AVERTISSEMENT

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

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

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

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

ACADÉMIE DE NANCY-METZ

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

FACULTÉ D'ODONTOLOGIE

Année 2016 N° 9064

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

par

Alexandre SCHLOSSER

Né le 22 Septembre 1990 à Sarrebourg (Moselle)

ÉTUDE DU LIEN ENTRE DENTISTERIE ET OREILLE À TRAVERS UNE INNOVATION DANS LE TRAITEMENT DE LA SURDITÉ : LE SYSTÈME SOUNDBITE

Présentée et soutenue publiquement le 29 mars 2016

Examinateurs de la thèse :

Pr. J-M. MARTRETTE	Professeur des Universités	Président
Dr. V. MOBY	Maître de Conférences	Directeur de thèse
Dr. N. MARCHETTI	Praticien Hospitalier	Juge
Dr. N. PAOLI	Assistante Hospitalo-Universitaire	Juge

Par délibération en date du 11 décembre 1972, la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'attend leur donner aucune approbation ni improbation.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Faculté d'Odontologie

Président : Professeur Pierre MUTZENHARDT

Doyen : Professeur Jean-Marc MARTRETTE

Vice-Doyens : Pr Pascal AMBROSINI –- Dr Céline CLEMENT

Membres Honoraires : Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENCWEIG - Pr M. VIVIER – Pr ARTIS -

Doyen Honoraire : Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

Professeur Emérite : Pr J.P. LOUIS

Maître de conférences CUM MERITO : Dr C. ARCHIEN

Sous-section 56-01 Odontologie pédiatrique	Mme Mme M. Mlle Mlle M.	**DROZ Dominique (Desprez)** JAGER Stéphanie PREVOST Jacques HERNANDEZ Magali LAUVRAY Alice MERCIER Thomas		Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maitre de Conférences Assistante * Assistante Assistant *
Sous-section 56-02 Orthopédie Dento-Faciale	Mme M. Mlle Mlle	**FILLEUL Marie Pierryle** EGLOFF Benoît BLAISE Claire LACHAUX Marion		Professeur des Universités * Maître de Conférences * Assistante Assistante
Sous-section 56-03 Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie légale	Mme M. Mme	**CLEMENT Céline** CAMELOT Frédéric LACZNY Emily		Maître de Conférences * Assistant * Assistante
Sous-section 57-01 Parodontologie	M. Mme M. M. Mlle Mlle	**AMBROSINI Pascal** BISSON Catherine JOSEPH David PENAUD Jacques BÖLÖNI Eszter PAOLI Nathalie		Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistante Assistante *
Sous-section 57-02 Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique Anesthésiologie et Réanimation	Mme M. Mlle Mlle M. Mlle M.	**GUILLET-THIBAULT Julie** BRAVETTI Pierre PHULPIN Bérengère BALZARINI Charlotte DELAITRE Bruno KICHENBRAND Charlène MASCHINO François		Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistante Assistant Assistante * Assistant
Sous-section 57-03 Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)	M. M.	**YASUKAWA Kazutoyo** MARTRETTE Jean-Marc		Maître de Conférences * Professeur des Universités *
Sous-section 58-01 Odontologie Conservatrice, Endodontie	M. M. M. M. M. Mlle M.	**MORTIER Éric** AMORY Christophe BALTHAZARD Rémy ENGELS-DEUTSCH Marc BON Gautier MUNARO Perrine VINCENT Marin		Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Assistante Assistant *
Sous-section 58-02 Prothèses (Prothèse conjointe, Prothèse adjointe partielle, Prothèse complète, Prothèse maxillo-faciale)	M. M. Mme Mme M. M. M. Mlle	**DE MARCH Pascal** SCHOUVER Jacques VAILLANT Anne-Sophie CORNE Pascale GILLET Marc HIRTZ Pierre KANNENGIESSER François SIMON Doriane		Maître de Conférences Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistante * Assistant Assistant * Assistant Assistante
Sous-section 58-03 Sciences Anatomiques et Physiologiques Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie	Mme Mme M. M.	**STRAZIELLE Catherine** MOBY Vanessa (Stutzmann) SALOMON Jean-Pierre HARLE Guillaume		Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Associé

Souligné : ***responsable de la sous-section*** * temps plein

Mis à jour le 01.11.2015

REMERCIEMENTS

À NOTRE PRÉSIDENT DE THÈSE,

Monsieur le Professeur Jean-Marc MARTRETTE

Docteur en Chirurgie Dentaire
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Doyen de la Faculté d'odontologie de Nancy
Chef de service du CSERD de Nancy
Docteur en Sciences Pharmacologiques
Habilité à diriger des recherches
Sous-section : Sciences biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, Génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie).

Qui nous a honoré d'accepter la Présidence de cette thèse.

Nous avons apprécié, durant nos années d'études, la pertinence de ses enseignements ainsi que la justesse de ses propos nous permettant d'aborder notre avenir professionnel avec un œil plus aiguisé.

Nous espérons que vous trouverez dans ce travail la marque de notre profonde considération et de notre respect.

À NOTRE JUGE ET DIRECTEUR DE THÈSE,

Madame le Docteur Vanessa MOBY

Docteur en Chirurgie Dentaire
Maitre de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section : Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie.

Nous vous adressons nos plus sincères remerciements pour avoir accepté de diriger cette thèse.

Votre enseignement ainsi que vos conseils nous ont permis de progresser tout au long de nos études et ce fut un honneur de vous avoir comme mentor. Nous vous remercions également pour le temps que vous nous avez consacré ainsi que pour la patience dont vous avez fait preuve tout au long de ces mois de travail.

Veuillez trouver dans cette thèse, la marque de notre profonde gratitude.

À NOTRE JUGE,

Madame le Docteur Nancy MARCHETTI

Docteur en Chirurgie-Dentaire

Praticien Hospitalier

Nous vous remercions d'avoir accepté d'être membre du jury de notre thèse. Nous avons pu apprécier durant les stages hospitaliers, votre constante disponibilité pour les étudiants ainsi que votre bienveillance auprès des patients. Nous vous remercions également pour le soutien et l'intérêt que vous avez témoignés à l'égard de notre sujet de travail.

Considérez cette thèse comme le témoin de notre sincère considération.

À NOTRE JUGE,

Madame le Docteur Nathalie PAOLI

Docteur en Chirurgie-Dentaire

Assistante Hospitalo-universitaire

Sous-section : Parodontologie

Diplômée Universitaire de Parodontologie et Implantologie Clinique

Nous vous remercions de vous être intéressée à notre sujet de thèse et d'avoir accepté de siéger parmi les membres du jury.

Nous espérons que notre travail saura répondre à vos attentes.

Veuillez trouver dans cette thèse, l'expression de nos sincères remerciements.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I. Les nuisances sonores, description générale et impact en pratique dentaire.

I.1. Les désagréments sonores de la pratique professionnelle
I.1.1. Généralités
I.1.2. Le cas particulier du cabinet dentaire
I.2. Le patient déficient auditif
I.2.1. Généralités
I.2.2. La gestion de l'adulte déficient auditif au cabinet dentaire
I.3. La dent, cause de surdité
I.3.1. La proximité de l'oreille et de la cavité orale
I.3.2. Les affections bucco-dentaires en lien avec l'oreille
I.3.3. Les précautions à prendre en chirurgie-dentaire

II. Les ondes : omniprésentes en dentisterie

II.1. Les ondes dans l'instrumentation
II.1.1. Principes physiques des ondes
II.1.2. Techniques instrumentales
II.2. Les tissus dentaires et parodontaux : des conducteurs d'ondes
II.2.1. Les tissus dentaires
II.2.2. Le parodonte
II.2.3. Conclusion

III. L'innovation du système SoundBite

III.1. Le système auditif
III.1.1. Anatomopathologie de l'oreille
III.1.2. La transmission des informations auditives au cerveau
III.2. Le système SoundBite
III.2.1. Introduction
III.2.2. Histoire
III.2.3. Présentation
III.2.4. Comparatif avec les autres moyens de traitement de la surdité
III.2.5. Discussion

CONCLUSION

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Présentation des différentes perceptions du son selon leur niveau sonore (source : CABA, 2015). 23
- Figure 2 : La constitution de l'oreille et son lien avec les structures pharyngées (d'après : Biarge, 2014).....55
- Figure 3 : Trajet du nerf trijumeau (m. = muscle) (d'après : Moore et coll., 2001). 56
- Figure 4 : Trajet du nerf facial (source : Netter, 2007). 58
- Figure 5 : Trajets des différents nerfs par rapport au méat acoustique externe (a. = artère, v. = veine) (d'après : Moore et coll., 2001). 59
- Figure 6 : Présentation de la proximité entre le méat acoustique et l'ATM (d'après : Moore et coll., 2001). 63
- Figure 7 : Longueur d'onde d'une onde longitudinale en haut et d'une onde transversale en bas (d'après : Marchandise et coll, 2006).....73
- Figure 8 : Amplitude d'une onde transversale (source : Lam et Tramba, 2012).....74
- Figure 9 : Différentes intensités d'un son (source : Pire, 2003). 76
- Figure 10 : Aspect fréquentiel de différents sons (source : Pire, 2003).....77
- Figure 11 : Aspect fréquentiel de sons de hauteurs différentes (source : Pire, 2003). 77
- Figure 12 : Propagation d'une onde élastique longitudinale dans un ressort (a) et dans un tuyau (b) (d'après : Babu-Jacq, 2010).....80
- Figure 13 : Comportement d'une onde électromagnétique (source : Aurengo et coll., 2013). 83
- Figure 14 : Planche de bande dessinée illustrant le phénomène d'interaction entre les amalgames et les ondes radio (source : Janssens et Ernst, 2001).....85
- Figure 15 : Explication du phénomène de cavitation (d'après : Hodnett, 2011). 87
- Figure 16 : Fonctionnement du détartreur piézomagnétique (source : Blanc, 2008)..88

- Figure 17 : Fonctionnement du détartreur piézoélectrique (source : Blanc, 2008).....89
- Figure 18 : Coupe frontale de l'oreille droite (d'après : Martin, 2003). 118
- Figure 19 : Schématisation du fonctionnement du système SoundBite (d'après : sonitus medical, 2013). 136
- Figure 20 : Résultats du questionnaire concernant l'expérience générale et la qualité de vie (d'après : Woodby et Galow, 2014).....146
- Figure 21 : Résultats du questionnaire APHAB montrant l'avantage apporté par le dispositif pour les catégories CE, RV, BN et GBL (avantage global correspondant à la moyenne des catégories CE, RV et BN réunies) (d'après : Gurgel et Shelton, 2013). 149
- Figure 22 : Résultats du questionnaire de satisfaction (d'après : Gurgel et Shelton, 2013). 150

LISTE DES IMAGES

- Image 1 : Les différents composants du système SoundBite (d'après : Sonitus Medical, 2013). 131
- Image 2 : Partie BTE du système SoundBite avec son microphone intra auriculaire (d'après : Sonitus Medical, 2013). 132
- Image 3 : Partie ITM du système SoundBite (d'après : Sonitus Medical, 2013).....133
- Image 4 : Boîtier de chargement du système SoundBite (d'après : Sonitus Medical, 2013). 134
- Image 5 : Positionnement réglementaire de la partie BTE (source : Sonitus Medical, 2013). 137
- Image 6 : Technique de positionnement de la partie ITM (d'après : Sonitus Medical, 2013). 137
- Image 7 : Positionnement réglementaire de la partie ITM (d'après : Miller, 2010). ..138
- Image 8 : Station de programmation du système SoundBite (d'après : Sonitus Medical, 2013). 153
- Image 9 : Empreintes alginates sectorielles et empreinte complète (source : Sonitus Medical, 2013). 156
- Image 10 : Démonstration d'un ajustement de l'ITM à l'aide d'une pince à trois mors (source : Sonitus Medical, 2013). 156
- Image 11 : Règle de polissage de la partie ITM, sur modèle en plâtre (d'après : Sonitus Medical, 2013). 157
- Image 12 : Le système SoundBite du centre At-Bristol (photographie personnelle). 159

- Image 13 : Présentation de la source sonore du système avec en 1 : le MP3, en 2 : le haut-parleur, en 3 : le tube en verre et la barre en métal (photographie personnelle). 160
- Image 14 : Présentation de la barre en métal, sortant du tube de verre, et de la surface à mordre avec sa paille à usage unique (photographie personnelle). 160
- Image 15 : Test du dispositif SounBite par notre "volontaire" avec oreilles bouchées (photographie personnelle). 161

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Présentation de l'équivalence de la sensation entre une situation de bruit professionnel ou domestique et du niveau sonore généré (source : Interson Protac, 2015). 20
- Tableau 2 : Exemple de niveaux sonores de bruits environnementaux (source : Martin, 2003, d'après Frachet, 2001).....22
- Tableau 3 : Equivalence de différentes corrélations bruit/durée d'exposition, pour un même effet auditif correspondant à une exposition dangereuse (source : Interson Protac, 2015). 26
- Tableau 4 : Durée d'exposition quotidienne à ne pas dépasser, en fonction du niveau sonore (source : Martin, 2003, d'après Legent et coll., 2002). 30
- Tableau 5 : Niveau sonore des différents instruments utilisés au cabinet dentaire (d'après : Nizard, 2010).....34
- Tableau 6 : Degré de sévérité des troubles auditifs et leurs conséquences (d'après : Binggeli et coll., 2009).....44
- Tableau 7 : Célérité de l'onde sonore dans différents milieux (d'après : Aurengo et coll., 2013). 79
- Tableau 8 : Présentation de différents types d'inserts ultrasonores et leurs indications thérapeutiques (d'après : Decup et Lasfargues, 2012). 93
- Tableau 9 : Récapitulatif des différentes célérités d'une onde longitudinale appliquée sur différents tissus. 116

INTRODUCTION

La déficience auditive est une maladie touchant des millions de personnes à travers le monde. En France, elle concerne 4,09 millions de personnes, mais la perte auditive dépend de la nature de l'affection, de sa sévérité et de la zone auriculaire touchée. Il est cependant à noter que toute déficience auditive peut être source de désagréments et entraîner un handicap. Ceci est d'autant plus alarmant que seules 600 000 personnes sont appareillées. Il s'agit donc d'un véritable phénomène de santé publique d'autant plus que la surdité professionnelle atteint la deuxième place des maladies professionnelles en France. Ce dernier point est essentiel car le bruit en milieu de travail est, parmi de nombreuses autres, une cause principale. Le métier de chirurgien-dentiste n'en est pas exempt, puisque le praticien utilise une instrumentation bruyante par nature pour prodiguer ses soins. Il devient donc important, pour nous, chirurgiens-dentistes, de réagir face à cette affection, d'apprendre à mieux prendre en charge les patients qui en souffrent mais aussi, dans un autre ordre d'idée, de comprendre comment les affections bucco-dentaires peuvent se répercuter aux structures auriculaires

Le lien entre dentisterie et oreille ne s'arrête pas là et c'est l'objet de cette thèse. En effet, la surdité peut être traitée de diverses manières. Celle qui nous intéresse est l'utilisation, bien connue, de la conduction osseuse puisque, pour la première fois, un appareil auditif va utiliser la conduction à travers l'organe dentaire ancré dans l'os pour traiter la surdité. Il s'agit du système SoundBite, une innovation technologique ayant de nombreux avantages par rapport aux autres systèmes de traitement et permettant ainsi d'améliorer la qualité de vie d'un public plus large. Ce système va utiliser le son, onde mécanique pouvant se propager à travers les différents tissus dentaires, pour pallier un grand nombre de déficiences auditives. Nous allons le démontrer dans cette thèse en commençant par l'étude du son, de son impact sur la santé et de sa gestion au cabinet dentaire. Nous poursuivrons par l'étude des causes orales de la déficience auditive, puis par l'étude des ondes en dentisterie et de la transmission des sons dans l'organe dentaire. Enfin nous étudierons le système auditif, le dispositif SoundBite en lui-même et son caractère novateur.

I. Les nuisances sonores, description générale et impact en pratique dentaire.

I.1. Les désagréments sonores de la pratique professionnelle

Le bruit en milieu professionnel constitue un véritable problème. Outre le stress induit par les nuisances sonores, il en résulte une perte progressive de l'audition qui est d'autant plus rapide et dévastatrice si aucune mesure de protection n'est mise en place. Des secteurs comme celui des travaux publics, de la métallurgie et de l'industrie, sont encadrés par des textes législatifs concernant le bruit au travail ; ainsi la médecine du travail permet, par son rôle informatif, préventif et de suivi, d'établir des mesures pour lutter contre les nuisances sonores et leur impact au long cours. Ce n'est pas le cas de la profession de chirurgien-dentiste qui, étant majoritairement libérale, ne dispose d'aucune mesure de prévention vis-à-vis de ces nuisances. Cet état de fait a le plus souvent pour conséquence une négligence inconsciente des chirurgiens-dentistes dans leur pratique professionnelle ce qui peut entraîner une atteinte chronique de l'oreille interne avec le temps.

En effet, les agressions sonores peuvent endommager prématurément l'oreille et entraîner des difficultés dans la vie professionnelle. En soi, cela constitue un cercle vicieux, illustré par les bruits perçus au cabinet dentaire et leurs conséquences sur le dentiste. L'environnement du cabinet dentaire est naturellement bruyant ; d'une part il y a le bruit engendré par les instruments utilisés pour soigner et d'autre part les bruits que nous qualifierons d'annexes, ceux inhérents à la vie du cabinet : cris des patients, sonnerie du téléphone ou encore les bruits provenant de la salle d'attente. Ces agressions sonores pourront être la cause d'effets auditifs (surdité, acouphènes…) mais aussi d'effets généraux (fatigue…) que nous décrirons plus tard (Martin, 2003).

I.1.1. Généralités

Pour analyser ces désagréments sonores il convient d'étudier le son mais aussi les caractéristiques qui le distinguent du bruit.

I.1.1.1. Le son et l'audition

Le son peut alors être défini de deux manières, par son aspect physique et par son aspect physiologique.

Du point de vue physique, le son se propage sous forme d'onde, ce sont des ondes mécaniques vibratoires. Il se propage généralement dans l'air jusqu'à notre oreille, mais il se transmet également dans les liquides et les corps solides.
Les ondes sonores sont multiples. Outre les sons perceptibles, il existe des fréquences imperceptibles à l'oreille humaine, qu'elles soient trop élevées : les ultrasons ou trop basses : les infrasons. Mais toutes les ondes sonores sont caractérisées par une intensité, mesurée en décibels (dB) et une fréquence, mesurée en Hertz (Hz). Nous développerons l'aspect physique des ondes sonores par la suite (cf. chapitre II).

Du point de vue physiologique, le son est défini comme une sensation auditive provoquée par une onde acoustique (Le Petit Larousse, 2015). La perception des sons par l'organe de l'oreille donne naissance au sens de l'ouïe, qui est un des cinq sens nous permettant de nous reconnaître dans notre environnement. Ce sens fait donc intervenir le milieu extérieur, l'ambiance sonore ainsi que deux organes, l'oreille qui réceptionne le son et le cerveau qui l'interprète. L'ouïe est un sens fragile ; même si l'oreille a la capacité de s'adapter aux différents niveaux sonores, elle s'use avec le temps, le sens s'émousse avec le vieillissement des cellules auditives ce qui peut conduire à une altération définitive en cas d'agression sonore trop importante (concert, casque audio…) (Theoleyre et Chirat, 2013).
Le fonctionnement de l'oreille est essentiel dans l'intégration sociale et dans la perception de l'environnement qui nous entoure.

Sur cette dernière notion, l'oreille nous permet de faire un tri dans les différents sons perçus, on fait ainsi la différence entre le fait « d'entendre » et « d'écouter ».

- **« Entendre »**

On « entend » tous les sons provenant de notre environnement du moment que leur fréquence est du domaine de l'audible : entre 16 Hz et 20 kHz (Martin, 2003) ; mais l'audition étant en permanence sollicitée, elle est la plupart du temps inconsciente. L'oreille fonctionne alors sur un mode passif pour ne pas surcharger le cerveau en informations sonores. C'est le cas des « bruits de fond » sans importance que l'on ne va percevoir consciemment que dans deux cas de figure : celui de la concentration délibérée sur une cible sonore et celui du bruit à proprement parler.

- **« Ecouter »**

La bascule vers l'écoute se fait inconsciemment, quand un son attire notre attention, l'oreille fonctionne alors sur un mode actif par concentration sur la cible sonore. Cette notion est essentielle pour la survie des espèces.
En effet, lors des repas, tout animal se trouve à la merci de prédateurs, la perception d'un bruit suspect, différent de l'ambiance sonore constitue alors un signal d'alarme permettant d'avertir du danger.
L'écoute est également nécessaire à la communication et un marqueur d'intégration sociale. En effet, étant essentielle à l'apprentissage du langage, elle nous permet de décoder et de reproduire les accentuations, intonations et rythme d'une phrase écoutée. Ces différences entre les sons, constituant la richesse sonore, sont autant d'informations émotionnelles et affectives permettant de détecter les intentions de l'interlocuteur et d'y répondre de manière adéquate.

I.1.1.2. Le bruit

❖ Définition

Le bruit a plusieurs définitions mais on le considère dans la majorité des cas comme un son jugé indésirable. Selon l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), *on parle de bruit lorsqu'un ensemble de sons est perçu comme gênant. Il s'agit donc d'une notion subjective : le même son peut être jugé utile, agréable ou gênant selon la personne qui l'entend et le moment où elle l'entend. Mais, lorsque le niveau sonore est très élevé, tous les sons sont perçus comme gênants et peuvent même être dangereux* (Canetto et Guillemy, 2007).

La notion de nuisance sonore, corrélée à celle du bruit, dépend donc de chaque individu. Des variations génétiques, telles que la qualité de perception sonore de l'oreille, mais aussi la facilité d'accommodation à des fréquences plus ou moins hautes, font que le seuil de bascule du « son » perçu, vers le « bruit » proprement dit, varie d'une personne à l'autre. Mais d'un point de vue physique, il n'y a aucune différence entre un son et un bruit. De plus, même s'il nuit à la santé à forte puissance, le bruit fait partie intégrante de la vie ; l'absence totale de bruit est admise comme très difficile à supporter par l'Homme (Travailler mieux, 2015).
Il y a donc existence d'une échelle de bruit, qui différencie le bruit perçu comme non gênant (le bruit de fond) de la gêne auditive proprement dite. Le tableau ci-dessous (tableau 1) fait la corrélation entre les différentes ambiances sonores professionnelles ou domestiques et la sensation de gêne perçue.

Tableau 1 : Présentation de l'équivalence de la sensation entre une situation de bruit professionnel ou domestique et du niveau sonore généré (source : Interson Protac, 2015).



❖ Les sources du bruit

Le bruit a différentes sources (tableau 1). Pour les comprendre, il faut analyser la propagation du bruit dans l'environnement.

Il se transmet différemment en fonction des matériaux qu'il utilise comme support. Ainsi, il se propage dans l'air à la vitesse de 340 m/s, dans l'eau à 1500 m/s et dans l'acier à 5000 m/s. Le taux de nuisances sonores varie donc avec le milieu dans lequel on se trouve (Aurengo et coll., 2013).

Mais il existe des sources bruyantes invariables comme les différents transports : le train, le trafic aérien (dont le mur du son) et les nuisances sonores liées à la circulation automobile. Une source particulièrement bruyante est l'ambiance liée aux travaux de chantier, elle constitue un panel très varié de niveaux sonores : explosion, marteau piqueur ou encore conduite d'engins (tableau 1) (Gazsi, 2005).
Le bruit au travail peut être divisé en deux catégories : les bruits dits « aériens » et les bruits solidiens. Les bruits dits « aériens » sont les bruits intérieurs aux bâtiments. Ce sont ceux transmis par exemple par l'électroménager, les paroles, les bruits d'impact, les bruits causés par les équipements du bâtiment tels que les ascenseurs. Les bruits solidiens sont les bruits transmis par les murs et les structures du bâtiment. Un bruit solidien se transmet différemment en fonction du type de matériau qu'il doit traverser, ainsi l'utilisation de matériaux comme le liège par exemple, va freiner le son du fait de sa constitution poreuse (Canetto et Guillemy, 2007).

❖ Mesures du bruit

Le bruit est par définition perçu comme gênant, sa mesure est donc nécessaire afin d'identifier, de différencier les sources sonores bruyantes et de s'en protéger avec des moyens adaptés.
Cette mesure est réalisée par l'évaluation de certains paramètres spécifiques du son : son niveau (ou intensité), sa fréquence et son timbre.

- **Paramètres :**

  - L'intensité et l'échelle des décibels (dB) : l'intensité sonore est exprimée en décibels (dB). Elle permet de déterminer si un son est fort ou faible. En effet, l'échelle des décibels permet de mesurer la force d'un son ; plus le son est fort plus le nombre de décibels mesuré est grand. Cette échelle a été créée dans le but de simplifier les mesures sonores car l'oreille humaine est capable de percevoir une très grande quantité d'intensités sonores. Le son le plus fort que l'on puisse détecter est 1000 fois plus fort que le son le plus faible perçu. On utilise une échelle pondérée notée dB(A) qui prend en compte la sensibilité

propre à l'oreille humaine (Vincent et Gissinger, 2011). Cette échelle a pour avantage de ramener à une étendue de 0 à 130 le niveau d'intensité que l'oreille peut percevoir ; le niveau « décibel 0 » correspondant au seuil de l'audition humaine. Une variation sonore est perceptible par l'oreille humaine à partir d'1 décibel minimum mais on n'« entend » vraiment cette variation qu'à partir d'un écart de 3 dB entre deux sons. La plupart des sons de la vie courante sont compris entre 30 et 90 décibels. Les sons supérieurs à 90 dB se retrouvent essentiellement dans le milieu professionnel mais aussi dans d'autres lieux comme les discothèques. Dans ces dits lieux, y compris les salles de concert, le niveau de décibels maximal autorisé est de 105, il s'agit donc là d'une exposition devant rester exceptionnelle car elle entraîne une fatigue auditive importante (Interson Protac, 2015). Le tableau ci-dessous (tableau 2) présente les niveaux de décibels de différentes sources sonores.

Tableau 2 : Exemple de niveaux sonores de bruits environnementaux (source : Martin, 2003, d'après Frachet, 2001).

Seuil auditif d'un sujet jeune en bonne santé	0 dB
Respiration humaine à 3 m de distance	10 dB
Bruissement de feuilles d'arbres	20 dB
Maison vide	30 dB
Quartier résidentiel de nuit	40 dB
Restaurant calme	50 dB
Circulation dans une artère animée	70 dB
Aspirateur	80 dB
Usine bruyante	90 dB
Marteau-piqueur à 10 m de distance	100 dB
Moto en accélération à 5 m de distance	110 dB
Concert rock	120 dB
Seuil de la douleur	130 dB

D’autres sources de bruit intense sont dangereuses s’il n’y a pas de protection, comme les explosions, les armes militaires (canons…) ou encore le décollage des fusées ; ces sources émettent d’emblée des niveaux sonores supérieurs à 130-140 dB pouvant même aller jusqu’à 200 dB (tableau 1) (Gilbert, 2004), ce qui peut entraîner des désordres irréversibles au niveau de l’oreille. En effet, la souffrance auditive augmente avec le niveau de décibels (tableau 1).

On peut ainsi déterminer qu’en dessous de 20-25 dB l’ambiance sonore est « très calme », ce qui correspond à des bruits comme la respiration humaine, qu’entre 20-25 et 35-40 dB elle est « calme », correspondant au niveau sonore d’un ordinateur, que les bruits courants s’étendent alors jusqu’à 65-70 dB, ceux d’une conversation par exemple, qu’entre 65-70 et 80 dB l’ambiance sonore est bruyante, correspondant au niveau sonore d’un restaurant ou encore d’une sonnerie de téléphone, et qu’à partir de 80 dB elle est considérée comme dangereuse et difficilement supportable, ce qui correspond aux bruits engendrés par le métro et, au niveau professionnel, par des outils comme la simple scie circulaire, le marteau piqueur mais aussi par des technologies plus complexes comme les avions (figure 1) (CABA, 2015).



Figure 1 : Présentation des différentes perceptions du son selon leur niveau sonore (source : CABA, 2015).

- La fréquence ou qualité **:** un autre paramètre permettant la mesure du son est la fréquence, s’exprimant en Hertz (Hz). Nous savons que le son est une onde vibratoire, ce paramètre décrit donc la vitesse de vibration du son (on compte le nombre de vibrations par seconde). Plus cette vitesse est grande, plus le son est aigu et plus elle est faible, plus le son est dit grave. Ainsi l’oreille perçoit, dans le meilleur des cas, les sons allant de 16 Hz (son très grave) à 20 kHz (son très aigu). En dessous de ce domaine, on parle d’infrasons et au-dessus, on parle

d'ultrasons. Il est à noter qu'un son de haute fréquence est plus nocif pour l'oreille qu'un son de basse fréquence car le transfert de l'énergie acoustique y est maximum (Martin, 2003).

- Le timbre : ce paramètre est directement lié à la fréquence. Il se réfère au domaine musical puisqu'il est défini comme l'ensemble des caractéristiques d'un son qui le réfèrent à un instrument donné. Il est dépendant des intensités relatives des harmoniques composant le son (un harmonique est un son susceptible d'être émis par une source sonore et dont la fréquence est un multiple de la fréquence du son fondamental). Ce paramètre va influencer la perception d'un son par l'oreille, le rendant plus ou moins grave ou aigu (exemple : la voix humaine) (Leipp, 2010).

- **Moyens de mesure :** à partir des paramètres du son, deux techniques vont permettre de le mesurer :

  - La sonométrie : c'est la mesure du son et de la pression acoustique de l'air à l'aide d'un sonomètre. Il s'utilise dans les études d'acoustiques environnementales pour évaluer le bruit et quantifier les nuisances sonores. En sonorisation et en étude architecturale, il est utilisé afin d'évaluer la répartition sonore dans les locaux. L'unité de cette mesure est le décibel, ce dispositif est utilisé pour des mesures ponctuelles directement au poste de travail, il est plus précis que l'exposimètre mais nécessite la présence constante d'un technicien durant toute la durée de la mesure (Canetto et Thiery, 2009).
  - L'exposimétrie : c'est la mesure du son à l'aide d'un exposimètre. Celui-ci permet de suivre l'exposition sonore d'un employé sur une longue période puisque qu'il est porté en permanence par le travailleur. Afin de garantir la meilleure prévention possible, il faut ainsi savoir qu'une exposition à un niveau sonore de 104 dB durant 1 minute et 52 secondes équivaut à une exposition à un niveau sonore de 80 dB durant 8h, on atteint donc d'emblée un seuil égal au seuil inférieur

d'action (cf. Chapitre I.1.1.4.), ce qui augmente les risques pour la santé (Canetto et Thiery, 2009).

❖ Les caractéristiques nocives du bruit

Le bruit dispose de plusieurs caractéristiques qui le rendent nocif pour nos oreilles.
L'AFSSE (Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale), dont l'un des rôles est d'évaluer les risques sanitaires liés à l'environnement, a publié en 2004 un rapport, « Impacts sanitaires du bruit – Etat des lieux, indicateurs bruit-santé », rappelant l'incidence nocive de ces caractéristiques (BruitParif, 2014).
Entrent en jeu (BruitParif, 2014) :

- **L'intensité :** comme nous l'avons vu, l'intensité d'un son est mesurée en décibels (cf. Chapitre I.1.1.2.). Le risque d'apparition d'une déficience auditive s'accroit avec l'augmentation du nombre de dB.
- **La pureté du son (cf. Chapitre I.1.1.2.) :** un son pur est un son composé d'une seule fréquence, il est impossible à obtenir naturellement, il est plus dangereux pour l'ouïe qu'un son avec un spectre de fréquences plus large, mais même s'il a été créé par l'Homme, il est quasi absent des milieux professionnels. Il s'agit par exemple du signal sonore téléphonique.
- **La qualité du bruit :** Il s'agit là de la fréquence du bruit, mesurée en Hertz. L'oreille n'a pas la même sensibilité selon les fréquences, on admet qu'elle va être beaucoup plus sensible aux sons médium qu'aux sons très graves ou très aigus, c'est le domaine de l'audibilité humaine. Mais dans cet intervalle audible, les fréquences aiguës sont plus dangereuses pour l'ouïe que les fréquences graves, à intensité égale.
- **Le rythme et l'émergence du bruit :** un bruit soudain, brutal, d'intensité d'emblée maximal, et impulsionnel est beaucoup plus nocif qu'un bruit d'émergence progressive en gradation et continu. Ceci mettant en jeu la capacité d'adaptation de l'oreille à l'environnement sonore.
- **La vulnérabilité :** la fragilité acoustique varie d'un individu à l'autre notamment par l'hérédité génétique mais aussi par les antécédents comme la survenue d'infection ORL, les traumatismes crâniens ou encore

l'augmentation de la tension artérielle, qui peuvent accroitre l'intensité du bruit. L'âge est également un facteur de vulnérabilité puisque les cellules auditives, comme toutes les cellules du corps, tendent à perdre de leur efficacité avec le temps.

- **La durée d'exposition :** pour un même environnement sonore, là où un son d'intensité non nocive est présent, une durée d'exposition trop longue va entraîner, malgré tout, des lésions pouvant aller jusqu'à l'oreille interne. Ceci est également le cas en cas d'exposition répétée à des environnements exceptionnellement bruyants (comme les concerts). Il est ainsi admis que l'ouïe est en danger à partir d'une exposition à un niveau sonore de 80 dB pendant 8h. Pour un même effet auditif, cette durée d'exposition varie avec l'intensité du bruit (tableau 3) : plus le niveau sonore est haut (en dB) plus l'exposition va devoir être courte pour éviter au maximum l'apparition de lésions auditives.

Tableau 3 : Equivalence de différentes corrélations bruit/durée d'exposition, pour un même effet auditif correspondant à une exposition dangereuse (source : Interson Protac, 2015).

Une exposition à :

[80 dB(A) *pendant* 8 heures] = [98 dB(A) *pendant* 7 minutes] = [122 dB(A) *pendant* 2/10 de seconde]

Bruit dB(A)	80	83	86	89	92	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122
Durée d'exposition	8	4	2	1	30	15	7	3	1	56	28	7	8/10	4/10	2/10
	en heures				en minutes					en secondes					

- **L'association à d'autres facteurs de risque :** les caractéristiques précédemment citées sont d'autant plus nocives qu'elles sont combinées à d'autres éléments comme les produits chimiques, les médicaments (antibiotiques) ou encore les vibrations.

I.1.1.3. Les conséquences du bruit au travail

Le sens de l'ouïe est en danger à partir d'une exposition continue à 80 dB pendant une journée de travail de 8h, mais les effets sur la santé vont être différents selon l'intensité sonore d'exposition et vont débuter en-dessous de 80 dB (Canetto, 2006 ; Canetto et Guillemy, 2007 ; Canetto et Thiery, 2009 ; Interson Protac, 2015) :

- **En dessous de 80 dB :** une exposition prolongée au bruit entraîne une fatigue nerveuse, une anxiété, une augmentation de la pression sanguine et de la fréquence cardiaque ainsi que des troubles du sommeil. De plus les effets sur la qualité du travail peuvent être importants, avec une augmentation du risque d'accident due à la pénibilité accrue de travail et une communication de plus en plus difficile, accompagnée d'une irritabilité.
- **Au-dessus de 80 dB :** une exposition prolongée au bruit peut entraîner une perte momentanée de l'audition avec des bourdonnements et des sifflements. Cette surdité est réversible à condition de ne pas s'exposer au bruit durant la période de « guérison ». Cette dite période varie selon les individus et la durée d'exposition sonore, elle peut aller de quelques jours à plusieurs semaines. Il s'agit là d'une fatigue auditive.
- **A partir de 140 dB :** par exemple dans le cas d'une explosion, d'un bruit intense, brutal et soudain, la notion de réversibilité est plus incertaine. La surdité peut être totale ou partielle, touchant l'oreille externe, moyenne ou interne. Ce stade peut entraîner une irréversibilité de la surdité et on admet qu'à ce niveau, une exposition même de courte durée, est dangereuse.

La prévention du bruit est donc nécessaire, car ses effets sur le corps humain sont multiples.
Il devient important de mettre en place des moyens de lutte contre le bruit en cabinet dentaire car l'instrumentation utilisée émet un niveau sonore pouvant dépasser 80 dB avec des niveaux de crête dépassant les 100 dB (cette notion sera développée dans la partie I.1.2.2. de cette thèse).

I.1.1.4. La prévention du bruit au travail

Le bruit nuit donc fortement à la qualité du travail, de plus il altère la communication entre les différents membres du personnel. En effet, dans un environnement bruyant de 80 dB, deux personnes en conversation, et distantes de 60 cm, doivent élever leur voix de 5 à 10 dB au-dessus du bruit pour se faire comprendre.
La prévention du bruit au travail passe par une réglementation impliquant le code du travail. Ainsi, depuis 2006, il impose à l'employeur de protéger ses employés en prévenant les risques, en aménageant le lieu de travail et en faisant participer un médecin du travail. Son rôle est également d'évaluer le niveau des nuisances sonores (Legifrance, 2006).

❖ La réglementation générale

La réglementation s'appuie sur trois points (Legifrance, 2006) :

- **La prévention du bruit au travail :** en agissant sur les machines bruyantes et le traitement acoustique des locaux de travail dès leur conception. Ce principe est présenté par l'article R. 4213-5 à 4213-6 du Code du travail. C'est donc une prise en charge le plus tôt possible, au moment de la construction de l'entreprise.
  Les directives s'appliquent donc aussi aux fabricants. Il leur est imposé d'informer l'acheteur des caractéristiques sonores d'une machine par exemple, afin que l'employeur puisse choisir le matériel le moins dangereux mais aussi analyser l'impact sur le lieu de travail et ainsi mettre en œuvre les moyens préventifs qui s'imposent.

- **L'évaluation des nuisances sonores sur le lieu de travail :** en effet, même une prévention du bruit dès la conception des lieux de travail ne permet pas de l'éliminer entièrement. Ce point vise donc à évaluer les risques provoqués, ainsi qu'à mettre en place des mesures de lutte contre le bruit présent pour

protéger les employés. Ce principe est présenté par les articles R. 4431-1 à R. 4437-4 du Code du travail.

Le critère de base pour cette évaluation est le niveau d'exposition quotidienne au bruit, noté $\mathbf{L_{EX,8h}}$, où **L** signifie « *Level* » et **Ex** signifie « *Exposition* », il représente le niveau sonore reçu par un opérateur sur une période de 8h de travail. Il existe aussi l'indice $\boldsymbol{L_{EX,40h}}$, moins utilisé, qui représente le niveau d'exposition au bruit pendant une semaine (Canetto, 2012).

Il existe un second critère, noté $\mathbf{L_{pc}}$, où **L** signifie « *Level* » et **pc** signifie « *pression crest* », c'est le niveau de pression acoustique de crête exprimé en dB. Il permet de prendre en compte des événements sonores impulsionnels, brefs et de niveaux élevés tout au long de la journée, car ces derniers sont très souvent responsables de problèmes auditifs à long terme (Canetto, 2012).

Pour ce faire, il existe deux méthodes de mesure, la **sonométrie** et l'**exposimétrie**. Toutes deux permettent de mesurer l'exposition sonore en continu sur une journée de 8h (cf. chapitre I.1.1.2.).

Ces deux paramètres acoustiques ($\boldsymbol{L_{EX}}$ et $\boldsymbol{L_{pc}}$) sont ensuite comparés à des valeurs réglementaires : le seuil inférieur d'action, le seuil supérieur d'action et les valeurs limites d'exposition.

- Le seuil inférieur d'action : il est défini par une valeur $\mathbf{L_{EX,8h}}$ = 80 dB ou une valeur $\boldsymbol{L_{pc}}$ = 135 dB. Si ce seuil est dépassé, il est imposé à l'employeur de mettre à disposition des travailleurs, des mesures de protection individuelles contre le bruit comme le port de bouchons d'oreille ou de casques (tableau 1). Ces deux mesures sont de même efficacité et permettent de réduire instantanément de 20 dB le bruit (Canetto, 2012).

- Le seuil supérieur d'action : il est défini par une valeur de $\mathbf{L_{EX,8h}}$ = 85 dB ou une valeur de $\boldsymbol{L_{pc}}$ = 137 dB. Si ce seuil est dépassé, l'employeur doit obliger les travailleurs à porter les mesures de protection individuelles (tableau 1), mettre en place des signalisations au niveau des zones à risque sur le lieu de travail et assurer un suivi médical de ses employés (Canetto, 2012).

- Les valeurs limites d'exposition (tableau 4) : ce sont des valeurs qui ne doivent pas être dépassées. Leur mesure consiste à retrancher du milieu sonore ambiant relevé, l'atténuation apportée par les mesures de protection individuelles (casques, bouchons…). Pour illustrer l'utilité de ces valeurs limites, il faut savoir qu'à partir de 110 dB, on peut être victime d'un traumatisme sonore en quelques minutes (Gilbert, 2004).

Tableau 4 : Durée d'exposition quotidienne à ne pas dépasser, en fonction du niveau sonore (source : Martin, 2003, d'après Legent et coll., 2002).

Durée maximale d'exposition quotidienne	Niveau de bruit équivalent à :
8 h	85 dB
4 h	88 dB
2 h	91 dB
1 h	94 dB
30 mn	97 dB
15 mn	100 dB
7 mn 30 s	103 dB
3 mn 45 s	106 dB
1 mn 52 s	109 dB
56 s	112 dB
28 s	115 dB
14 s	118 dB
7 s	121 dB

- **Le suivi de ces mesures de prévention :** l'employeur doit constamment évaluer leur efficacité afin de garantir une protection constante et maximale de ses employés.

❖ Le rôle du médecin du travail

Depuis 1963, la surdité est reconnue comme maladie professionnelle ; son apparition brutale la classe dans les accidents de travail.

Le dépistage de cette perte auditive doit donc être réalisé le plus tôt possible. Pour cela l'employeur a l'obligation de mettre en place des consultations réalisées par un médecin du travail. Des consultations annuelles sont effectuées par chaque employé.

Depuis sa création, en 1942, la médecine du travail a un rôle exclusivement préventif et met tout en œuvre pour éviter toute altération de la santé des salariés du fait de leur travail. Le médecin du travail doit ainsi repérer les risques par la tenue d'une fiche d'établissement, rédiger les attestations d'exposition au bruit et participer à la veille sanitaire. Il doit également alerter les travailleurs sur les risques encourus et, si nécessaire, demander leur suppression à l'employeur. Il présente alors la fiche d'établissement au CHSCT (Comité d'Hygiène de Sécurité et de Conditions de Travail) et va rédiger les arrêts de travail en cas d'exposition trop forte au bruit.

En plus de son devoir de prévention et d'information, la médecine du travail peut mesurer les niveaux de bruit d'un environnement professionnel donné, via un organisme agréé, et réaliser des audiométries de dépistage et de contrôle sur les travailleurs. Ces tests sont très souvent pratiqués pour des professions à forte exposition sonore.

Pour exemple, le médecin du travail peut évaluer la surdité professionnelle en calculant l'Indice Précoce d'Alerte (IPA), déterminé comme la perte tonale moyenne sur les fréquences 3, 4 et 6 kHz. Comme la surdité professionnelle est due au traumatisme sonore chronique, touchant d'abord les fréquences aiguës, il s'avère que le calcul de l'IPA est essentiel pour quantifier ce type d'atteinte et mettre en œuvre des actions de prévention (Efficience Santé au Travail, 2012 ; Nizard, 2010).

I.1.2. Le cas particulier du cabinet dentaire

I.1.2.1. Introduction

Le métier de chirurgien-dentiste ne correspondant ni à une profession salariale du secteur privé, ni à une profession agricole, ni à une profession à dimension fonctionnariale, n'est pas soumis à la médecine du travail et ce, malgré des nuisances sonores pourtant bien présentes.
En l'absence d'obligation liée à la médecine du travail, la pratique de la profession de chirurgien-dentiste souffre d'un déficit de prévention, d'information et de suivi face aux dangers inhérents à son exercice. Ces dangers, comme nous allons le voir, sont en grande partie représentés par le risque de surdité professionnelle, risque qui est accentué par le cumul des nuisances sonores au sein même du cabinet et par le caractère vieillissant de la profession (en 2006 la moyenne d'âge était de 47 ans).
Sans mesures de prévention des risques encourus, les chirurgiens-dentistes restent seuls juges des nuisances sonores qu'ils éprouvent et de leur impact sur leur santé (Binhas et coll., 2011 ; Nizard, 2010).

I.1.2.2. Le bruit au cabinet

A l'inverse d'autres professions médicales ou de santé, la pratique odontologique nécessite une présence quasi constante du dentiste dans son cabinet. Son exercice lui impose également des conditions de travail particulières : il doit notamment utiliser plusieurs instruments dont certains sont pourvoyeurs d'un haut niveau sonore. En outre, la durée moyenne de son activité est de 4 à 6 jours par semaine donc environ 30 à 50 heures de pratique durant lesquelles les désagréments sonores sont légion.
Il existe différentes sources de bruit au cabinet dentaire : l'instrumentation utilisée et les bruits annexes.

❖ L’instrumentation utilisée

Les instruments tels que les turbines, les contre-angles, les pièces à main, les deux aspirations, commune et chirurgicale et le détartreur, sont d’autant plus bruyants qu’ils ne sont pas entretenus. Selon les études, ces bruits ont une intensité se situant entre 60 et 90 dB avec un spectre de fréquence compris entre 4,8 et 9,6 kHz et des niveaux de crête dépassant les 100 dB. Les lésions auditives sont d’ailleurs principalement dues aux hautes fréquences caractérisant les sons aigus. Ce fait est d’autant plus marqué que le bruit est pulsatile et de haute intensité (Nizard, 2010).

- **La turbine :** c’est l’instrument le plus incriminé, elle tourne jusqu’à 500000 tours/minutes aujourd’hui. Cet instrument, très pourvoyeur de bruit, engendre un niveau sonore d’environ 85dB, donc au-delà de la limite de danger des 80 dB, mais les intensités varient beaucoup en fonction de la marque, de l’ancienneté et de l’usure de la turbine. Les études montrent que la fréquence se situe entre 4 et 16 kHz, ce qui correspond à la zone de sensibilité maximale de l’oreille humaine. Les anciens modèles de turbines sont beaucoup plus bruyants ; leur fréquence peut ainsi atteindre 80 kHz et leur intensité 110 dB environ (Binhas et coll., 2011 ; Martin, 2003).
- **L’aspiration :** le niveau sonore est également dépendant du modèle d’aspiration et du système utilisé (embout chirurgical plus bruyant), il se situe entre 71 et 85 dB pour des fréquences comprises entre 3,5 et 6,3 kHz (Nizard, 2010). Les décibels obtenus vont varier et dépasser les 80 dB lors de l’utilisation en bouche.
- **Les ultrasons :** le niveau sonore varie également en fonction des inserts utilisés, du type de détartreur, de son usure et de la puissance à laquelle on l’utilise. Au niveau fréquentiel, le domaine ultrasonore se situe entre 25 et 40 kHz, qui correspondent à des sons inaudibles par l’oreille humaine, mais l’utilisation de l’instrumentation ultrasonore produit un fort niveau de bruit se situant entre 20Hz et 15 kHz environ (domaine audible). Ces considérations prises en compte, l’intensité sonore des ultrasons utilisés en dentisterie varie entre 75 et 95 dB (Martin, 2003) avec une moyenne d’environ 85 dB (Binhas et coll., 2011 ; Nizard, 2010). La limite de 80 dB (danger pour l’ouïe) étant

dépassée lorsque l'instrumentation ultrasonore est utilisée sur le patient (tableau 5).

- **Le compresseur :** il est indispensable au fonctionnement du cabinet dentaire. En effet, l'air comprimé y représente une des plus importantes sources d'énergie avec l'électricité. Il permet le fonctionnement de tous les instruments rotatifs tels que les turbines, les contre-angles mais aussi le détartreur et la seringue pour sa composante air. Cependant, son fonctionnement engendre une grande quantité de bruit difficile à supporter par le praticien sur le long terme (Binhas et coll., 2011).

A. Martin décrit dans sa thèse en 2003, que les études menées par Taylor et coll. en 1965 et par Man et coll. en 1982, prouvent que les bruits des différentes sources (turbines, aspiration, ultrasons et compresseur), pris séparément et hors de la cavité orale, ne provoquent pas vraiment d'effets nocifs sur la santé. Cette conclusion est appuyée en 2010, par l'étude de J. Nizard, démontrant que le risque d'apparition de troubles auditifs est majoré en cas d'addition de ces différentes sources (tableau 5) : l'action de la turbine mêlée à l'aspiration provoque un niveau sonore dépassant la limite dangereuse des 80 dB (tableau 1 et figure 1) alors qu'ils restent en dessous de 80 dB à vide et séparément.

Tableau 5 : Niveau sonore des différents instruments utilisés au cabinet dentaire (d'après : Nizard, 2010).

	Niveau sonore (en dB(A))
Turbine (à vide)	78,7 en moyenne
Aspiration (à vide)	79 en moyenne
Aspiration (sur le patient)	Entre 83 et 92
Turbine + Aspiration (sur le patient)	Entre 86 et 92
Ultrasons (sur le patient)	Autour de 84

Une autre étude récente, effectuée dans plusieurs facultés d'odontologie, cabinets dentaires et laboratoires, démontre que l'ambiance sonore (ensemble des bruits du cabinet) y est considérée comme étant proche de la limite de risque de perte

auditive : environ 80 dB (Qsaibati et Ibrahim, 2014). Une réduction de l'exposition à ces niveaux sonores est donc nécessaire.

❖ Les bruits annexes

Ce sont ceux propres au cabinet, comme la sonnerie du téléphone, les bruits provoqués par le personnel, la salle d'attente et les bruits à l'extérieur du cabinet qui rendent compte de la qualité de son isolation sonore. Ainsi, l'emplacement du cabinet est à prendre en compte, les nuisances seront d'autant plus importantes qu'il se situe, par exemple, à côté d'une ligne de tramway, d'une rue animée, en centre-ville ou à proximité d'un aéroport. Le chirurgien-dentiste est donc soumis à un univers sonore varié qui peut se révéler nocif à long terme pour le système auditif (Nizard, 2010).

I.1.2.3. L'avis des chirurgiens-dentistes

Les nuisances sonores au cabinet dentaire peuvent être à l'origine de nombreux désagréments, que ce soit au niveau auditif ou au niveau de l'état de santé général. En effet, une baisse de l'audition, des acouphènes ou encore une fatigue auditive peuvent survenir (ces notions seront développées dans la partie I.2. de cette thèse) ainsi que des effets plus généraux comme des troubles psychiques, digestifs, cardiovasculaires et respiratoires (Martin, 2003).

Des études ont été menées dans plusieurs cabinets afin de mesurer ces différentes conséquences autant sur la santé du dentiste que sur son travail. Ainsi, une étude récente, menée par Nizard en 2010 sur 27 chirurgiens-dentistes, montre que 45 % des praticiens ne considèrent pas le bruit comme une contrainte majeure dans leur pratique quotidienne, et que seuls 33 % y décèlent une importante cause de désagréments professionnels (le reste de l'échantillon n'étant que moyennement gêné par le bruit). Les avis sont donc partagés, certains considèrent le bruit comme insupportable et vont même jusqu'à cesser leur activité sur l'instant alors que d'autres tolèrent très bien toutes les sortes de nuisances sonores. D'autres encore

s'estiment gênés à certains moments de la journée uniquement ou lors de circonstances particulières (salle d'attente pleine, travaux…). Concernant la source sonore la plus gênante, ce n'est pas la turbine, mais l'aspiration, que désigne la grande majorité des praticiens de l'échantillon (70 %). Ce résultat est sans doute dû à la présence de l'aspiration tout au long des soins (Nizard, 2010).
Un autre questionnaire a été délivré au même échantillon pour savoir si les dentistes avaient conscience du potentiel nocif du bruit. Il en ressort malgré tout que 48% en ont conscience (tous font partie des praticiens très gênés et moyennement gênés par le bruit), 41 % n'en sont pas conscients et 11 % n'ont pas d'avis sur la question (Nizard, 2010).
Les conclusions de cette étude sont donc que les praticiens de l'échantillon ne sont que moyennement gênés par le bruit de leur activité professionnelle et que, même s'ils ont conscience de la nocivité du bruit, ils la vivent comme un inconvénient nécessaire à l'exercice de leur profession. Malheureusement, les chirurgiens-dentistes sont bien soumis à des traumatismes auditifs et même s'il n'y a pas de vraie prise de conscience, la progression vers la surdité est vraisemblable (Binhas et coll., 2011 ; Nizard, 2010).

Une autre conclusion de l'étude est que la grande majorité des praticiens n'utilisent pas de mesures anti-bruit, certains pensent que cela altérerait leur image de professionnels de santé, alors que d'autres ne savent tout simplement pas que ces mesures existent (Nizard, 2010).

Une étude effectuée en 2011 sur 437 chirurgiens-dentistes de Meurthe-et-Moselle appuie ces conclusions (Bernard-Masse, 2011).

Il y a donc bien un souci d'information sur le risque sonore engendré par la pratique de l'exercice dentaire.

I.1.2.4. Les moyens de gestion

Le microcosme du cabinet dentaire nécessite des mesures de prévention sonore relativement différentes des autres professions à risques. Elles sont réparties en deux groupes en fonction de la source du bruit : interne ou externe à la salle de travail.

❖ Sources internes du bruit

Lorsque la source bruyante est interne, les mesures de prévention sont les suivantes :

- **Le choix du matériel :** lors de la constitution d'une instrumentation professionnelle (turbine, contre-angle, détartreur…), il convient de choisir le matériel le plus performant, mais aussi le moins bruyant possible. Ce critère est aujourd'hui le troisième à être utilisé pour guider le choix des chirurgiens-dentistes. Les avancées technologiques permettent aujourd'hui un meilleur confort sonore grâce à des instruments toujours plus performants et à niveau sonore plus faible qu'il y a quelques années. Les contre-angles atteignent une vitesse de 140 000 tours/minute pour un niveau sonore de 70 dB, ce qui est plus faible que la turbine (cf. chapitre I.1.2.2.) (Binhas et coll., 2011).
- **L'emplacement du matériel :** par leur utilisation, les instruments rotatifs précédemment cités, doivent être placés dans la pièce opératoire, au plus près du chirurgien-dentiste, ne laissant que peu de place à d'autres mesures que la prévention individuelle. Idéalement, le compresseur doit être placé dans une pièce éloignée au maximum de la salle opératoire et de la salle d'attente. Si tel n'est pas le cas, l'utilisation de plots anti-vibration et d'une armoire d'insonorisation peut s'avérer nécessaire. Il en est de même pour le moteur de l'aspiration, qui est malheureusement souvent placé à côté du fauteuil du fait de la disposition de la salle opératoire (Binhas et coll., 2011).
- **L'entretien du matériel :** comme nous l'avons dit, l'usure des instruments et autres matériels est un facteur important du niveau sonore produit. Il est donc nécessaire d'effectuer une maintenance régulière afin de s'assurer de leur bon

fonctionnement et de respecter les conseils d'entretien préconisés par le fabricant (Binhas et coll., 2011).

- **L'isolation acoustique interne :** la pratique dentaire nécessite une certaine observation dans l'agencement des différentes pièces du cabinet. Ainsi, la salle opératoire nécessite une isolation acoustique par rapport à la salle d'attente. Pour cela, on parle de correction acoustique. Il s'agit d'atténuer la réverbération des fréquences sonores élevées dans le local. On peut alors utiliser divers matériaux comme le liège en revêtement de sol et des dalles absorbantes au plafond. Les plus efficaces sont les matériaux dits poreux ou fibreux, ralentissant les ondes sonores qui y pénètrent (Binhas et coll., 2011 ; Zananiri, 2002).

  Cependant, il faut éviter de transformer la salle opératoire en chambre « sourde » (pièce dont les murs sont entièrement composés de matériaux absorbants, empêchant la réflexion des ondes sonores) pouvant entraîner des défauts d'intelligibilité en conversation et des malaises. Il faut donc mélanger autant que possible les différents matériaux.
- **L'individualité de chaque praticien :** c'est ici que les caractéristiques physiologiques propres à chaque individu entrent en compte. En effet, les travaux du Docteur Alfred Tomatis (*L'oreille directrice, Edition Soditap 1967),* montrent l'importance de l'oreille directrice dans la perception sonore au niveau du cortex cérébral. Ainsi, l'oreille droite chez un praticien droitier (l'oreille gauche pour un gaucher) aura une meilleure sensibilité et une meilleure qualité de perception et de transmission des sons à fréquence élevée (Binhas et coll., 2011).
- **Les mesures de protection individuelles :** ce sont les mêmes que pour les autres professions à risque (casque anti-bruit et bouchons d'oreille…). Cependant, en dentisterie, ils ne doivent pas altérer la communication avec le patient et doivent être manipulés avec une asepsie maximale, d'où la difficulté de leur utilisation permanente (Binhas et coll., 2011).

On peut en conclure qu'une correction acoustique optimale du local ne peut se définir uniquement par son assourdissement (chambre sourde). En effet, les instruments bruyants utilisés ne sont pas concernés par cette mesure, en raison de

leur proximité avec le praticien. Il faut donc assurer une maintenance constante de son matériel et agencer stratégiquement son cabinet.

❖ Sources externes du bruit

Lorsque la source bruyante est externe, les mesures sont les suivantes :

- **L'isolation de la salle opératoire par rapport aux bruits extérieurs :** l'isolation de la salle opératoire des bruits extérieurs est nécessaire pour le confort du praticien, mais aussi du patient, car les nuisances sonores sont pourvoyeuses de stress. Cette isolation passe par plusieurs facteurs comme le volume de la pièce, les transmissions latérales et directes par les murs et les fenêtres mais aussi les transmissions sonores dites « parasites ». Ce sont celles qui s'échappent des conduits de ventilation et des entrées d'air. Comme dit précédemment, la nature et la qualité des matériaux d'isolation entrent aussi en compte (temps de réverbération et d'absorption différents selon les matériaux) (Binhas et coll., 2011 ; Zananiri, 2002).
- **Le choix des fenêtres :** une bonne isolation sonore du cabinet vis-à-vis des bruits du milieu extérieur passe par un contrôle de l'étanchéité des fenêtres mais aussi des portes. Il ne saurait y avoir de simple vitrage qui n'est étanche, ni au niveau thermique, ni au niveau acoustique dans un cabinet dentaire. Le double vitrage ou même le triple vitrage, sont plus appropriés (Binhas et coll., 2011).
- **Le choix du lieu d'implantation du cabinet :** lors de la création, de la reprise d'un cabinet ou d'une collaboration/association, il convient d'étudier la qualité de la prévention en amont. En effet, le niveau sonore du milieu environnant le cabinet (campagne, ville, carrefour, aéroport à proximité…) est un facteur de risque plus ou moins élevé de surdité ou de déficience auditive à long terme, ainsi que de pénibilité du travail. Il convient alors de le prendre en compte lorsqu'un choix s'offre à nous (Binhas et coll., 2011).

I.1.2.5. Le paradoxe de la musicothérapie

Dans certains cabinets dentaires on écoute de la musique en continu, car elle permettrait d'atténuer le côté anxiogène et stressant de notre lieu de travail.
Le son n'aurait donc pas qu'un aspect négatif en pratique dentaire, mais il faut dissocier les musiques dites d'ambiance, des musiques utilisées à visée thérapeutique (Ducourneau, 2014 ; Robin, 1982) :

- Les musiques d'ambiance doivent impérativement être utilisées à l'état de « fond sonore », à un niveau sonore audible au minimum, correspondant à un bruit de fond. Ceci est nécessaire pour ne pas surajouter de bruit au risque, déjà important, de traumatismes sonores dans le cabinet.

- Mais la musique est utilisée dans de nombreuses disciplines de santé pour ses actions prouvées analgésiques et thérapeutiques :

  - Son action analgésique est utilisée au cours de nombreuses thérapeutiques telles que la chimiothérapie, l'endoscopie ou en cas de douleurs chroniques. Le principe est simple, il s'agit d'isoler le patient de son milieu extérieur par l'utilisation d'un casque individuel et par l'audition d'un bruit « blanc » comme le bruit d'une cascade. C'est une médecine psychosomatique équivalant à une relaxation par le son.

  - Son action anxiolytique est également très utile dans notre domaine puisqu'elle permet le « traitement » de la peur et de la douleur. En effet, une enquête du Dr. Olivier Robin nous montrait qu'environ la moitié des 112 dentistes interrogés dans la Région Rhônes-Alpes (43 %) utilisaient la musique dans leur cabinet pour réduire l'anxiété et le stress de leurs patients et que la quasi-totalité des 141 patients (92,2 %) interrogés dans cette même étude, appréciaient la musique au cabinet dentaire et lui concédaient une certaine utilité dans la diminution de leur anxiété.

Cependant, il faut considérer dans l'interprétation de ces différentes informations, la variabilité individuelle des goûts musicaux et conclure que les sons à visée thérapeutique ne sont utiles que si leur composition fait partie des goûts du patient ciblé (Bernard-Masse, 2011).

I.2. Le patient déficient auditif

Nous avons décrit le problème que représente le bruit au cabinet dentaire, ses conséquences et son approche. La déficience auditive dont souffrent certains patients nous oblige à modifier nos habitudes d'exercice pour effectuer les soins et obtenir le meilleur résultat possible chez ces patients.
Il est à noter que, selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), la déficience auditive incapacitante atteint 360 millions de personnes dans le monde. Cette déficience auditive (entraînant des difficultés de communication) est considérée comme une perte de l'audition supérieure à 40dB chez l'adulte et supérieure à 30dB chez l'enfant (OMS, 2015). Dans notre thèse, nous étudierons uniquement le patient adulte.

I.2.1. Généralités

I.2.1.1. Définition

On considère qu'une personne est atteinte de troubles de l'audition lorsqu'elle n'est plus capable d'entendre comme un individu ayant une audition normale. La limite seuil séparant la personne malentendante de la personne entendante se situe autour de 20 dB dans les deux oreilles.
Dans la déficience auditive, nous distinguerons la surdité de l'acouphène.

❖ L’acouphène

Il s’agit d’une sensation de gêne auditive perçue de jour comme de nuit, non due à un bruit extérieur, mais à un son semblant provenir de l’intérieur de l’organisme du patient lui-même. Les acouphènes sont très variables, ils sont tantôt définis comme un « chuintement », tantôt comme un « bourdonnement » ou encore comme un « sifflement ». Ils sont d’intensité, de sévérité, de durée variables et sont souvent liés à une pathologie comme l’hypertension ou le stress ; mais ils peuvent aussi être dus à un traumatisme sonore (usage excessif de casque audio, mp3, concerts…) ou physique (fracture de la partie tympanique de l’os temporal). L’acouphène se différencie des hallucinations auditives, car il est réellement entendu par le patient. Il est bilatéral ou unilatéral et peut même entraîner une grande souffrance. Dans les cas graves, l’acouphène est assimilable à une véritable douleur chronique, car son intensité variable passe par exemple de la perception d’un son équivalent à un rasoir électrique à celui d’un réacteur d’avion (Leonard, 2014 ; Theoleyre et Chirat, 2013).
Pour pallier ces sons parasites, on cherche à introduire un bruit blanc pour détourner l’attention du patient de l’acouphène. Ainsi certaines aides et prothèses auditives génèrent elles-mêmes ce type de bruit. Cette correction auditive a un rôle de rééducation pouvant prendre plusieurs semaines voire des mois pour désensibiliser l’ouïe du patient.
En général, ce type d’atteinte ne s’accompagne pas de lésion du tympan mais d’une hypersensibilité aux sons extérieurs, dénommée hyperacousie ou inversement d’une hyposensibilité, l’hypoacousie, voire de la surdité (Leonard, 2014 ; Theoleyre et Chirat, 2013).

On distingue les acouphènes objectifs des acouphènes subjectifs. Les premiers sont plus rares et sont audibles à titre de bruit organique par l’entourage, les deuxièmes, plus fréquents, sont audibles uniquement par le malade. D’autres classifications existent : acouphènes aigus/subaigus/chroniques, en fonction de la durée de l’affection et acouphènes compensés/décompensés en fonction de l’impact de l’affection sur la vie du malade (Leonard, 2014 ; Theoleyre et Chirat, 2013).

❖ La surdité

Cette perte d'audition est classée en légère, moyenne et lourde. Les personnes malentendantes atteintes de perte moyenne et lourde souffrent de problèmes de communication avec leur entourage, ce qui peut être un frein à la réalisation de traitements dentaires optimaux. Des aides sont toutefois disponibles, comme l'apprentissage de la langue des signes et l'utilisation d'appareils auditifs.
Ces aides sont nécessaires, car la perte d'audition entraîne un isolement de la personne atteinte. Cette notion est à mettre en balance avec la sévérité de la perte, sa nature et son origine, il s'agit donc de considérer chaque cas de surdité et d'adapter son approche, surtout en dentisterie (Terre d'audition, 2015).
La surdité peut être classée en différents types selon sa sévérité mais aussi selon le type de structures atteintes :

- **Selon la sévérité (BIAP, 1997) :**

  - L'audition subnormale : la perte moyenne n'excède pas 20 dB, cette atteinte n'engendre pas de troubles d'intégration sociale, il s'agit d'une légère perte tonale sans gravité.
  - La surdité légère : la perte moyenne se situe entre 21 et 40 dB, cette atteinte n'engendre pas non plus de troubles de la conversation mais on note une difficulté dans la perception de la parole lointaine ou basse.
  - La surdité moyenne : elle se classe en deux degrés ; le premier degré correspond à une perte moyenne comprise entre 41 et 55 dB et pour le second degré, elle se situe entre 56 et 70dB. Dans ce cas, la perception de la parole ne se fait qu'à voix élevée ; la communication est alors plus facile par lecture sur les lèvres de l'interlocuteur.
  - La surdité sévère : elle aussi comprend deux degrés ; le premier correspond à une perte moyenne comprise entre 71 et 80 dB et le deuxième à une perte moyenne comprise entre 81 et 90 dB. Pour cette atteinte, la parole n'est perçue qu'à voix forte et à proximité de l'oreille ;

la personne n'entend également que les bruits forts de l'environnement et pas les bruits de fond.

- La surdité profonde : cette atteinte comprend trois degrés ; le premier se caractérise par une perte moyenne comprise entre 91 et 100 dB, le deuxième par une perte comprise entre 101 et 110 dB et le troisième par une perte d'audition comprise entre 111 et 119 dB. La personne a de gros problèmes de communication puisqu'elle ne perçoit pas les paroles mais uniquement les bruits très puissants.
- La surdité totale ou cophose/anacousie : la perte moyenne considérée est de 120 dB minimum. Le patient ne perçoit aucun son, le handicap de la surdité atteint son paroxysme.

Cependant, ce classement peut varier selon les ouvrages (tableau 6). Cette différence réside dans le nombre de décibels marquant le passage d'un stade de surdité à l'autre, elle n'excède toutefois pas 10 dB.

Cette classification est très importante car, plus la surdité est sévère, moins les appareils auditifs sont efficaces et moins les possibilités thérapeutiques sont nombreuses (tableau 6). Il faut donc adapter le traitement à chaque cas de surdité.

Tableau 6 : Degré de sévérité des troubles auditifs et leurs conséquences (d'après : Binggeli et coll., 2009).

Perte auditive moyenne en décibels (dB)	Description	Conséquences
Inférieure à 30 dB	Surdité légère = hypoacousie	Sans appareil auditif, la compréhension du chuchotement est difficile.
30 à 60 dB	Déficience auditive moyenne: la personne est malentendante ou demi-sourde	Sans appareil auditif, il est difficile de comprendre une conversation à voix normale.
60 à 90 dB	Hypoacousie sévère, à la limite de la surdité (ou demi-surdité sévère)	Sans appareil auditif, il n'est pas possible de comprendre une conversation à voix normale.
90 à 120 dB	Surdité profonde	Les facultés auditives résiduelles peuvent éventuellement être utiles pour la compréhension du langage.
Plus de 120 dB	Surdité totale	Le langage parlé ne peut plus être compris, même avec un appareil auditif.

- **Selon le type de structures atteintes (cf. chapitre III.1.1.) (Theoleyre et Chirat, 2013) :**

    - La surdité de transmission : cette atteinte auditive touche l'oreille externe ou moyenne ; son nom vient du fait qu'elle empêche la transmission optimale du son à l'oreille interne. Il s'agit généralement d'une perte d'ouïe légère ou moyenne de l'ordre de 25 à 65 dB. Cette surdité est réversible en utilisant le traitement adapté à l'origine du problème.
    - La surdité de perception : ce type d'atteinte concerne cette fois l'oreille interne. Elle est aussi appelée *surdité neurosensorielle,* car elle se traduit par une perte de cellules sensorielles, nommées cellules ciliées, ou par leur détérioration au sein de la cochlée. Cette surdité, généralement irréversible, est déclinée en légère, moyenne, sévère et profonde. Des aides auditives sont utiles pour les deux premiers stades (légère et moyenne) alors que pour les deux derniers stades (sévère et profonde), il sera nécessaire d'utiliser des implants cochléaires.
    - La surdité mixte : cette atteinte résulte de l'association d'une surdité de transmission et d'une surdité de perception.
    - La surdité rétrocochléaire : elle se traduit directement par une absence ou une lésion du nerf auditif (Neurofibromatose de type 2). C'est donc la surdité la plus profonde, caractérisée par sa permanence. L'information sonore ne peut pas atteindre le cortex auditif, les appareillages auditifs et les implants cochléaires sont donc inutiles. La seule solution pour pallier ce type de surdité est la pose d'un implant (électrodes) au niveau du tronc cérébral (*Auditory Brainstem Implant* ou ABI).

I.2.1.2. Causes

Les déficiences auditives ont différentes causes, nous distinguerons les causes congénitales et les causes acquises :

- **Congénitales (Theoleyre et Chirat, 2013) :** il s'agit soit de causes génétiques et héréditaires dont nous n'avons pas le contrôle, pouvant entraîner des malformations à la naissance (aplasie), soit d'un problème survenant durant la grossesse ou lors de l'accouchement. Dans tous les cas, ces causes sont présentes avant ou peu de temps après la naissance.
  Pour les complications non héréditaires, il peut s'agir de maladies comme la rubéole, la syphilis, la toxoplasmose ou toute autre infection survenant chez la mère durant la grossesse, d'un accouchement prématuré, d'une asphyxie à la naissance ou encore d'une jaunisse contractée par le nouveau-né, pouvant léser le nerf auditif.
  Une autre cause qui nous intéresse particulièrement, car elle entre dans notre pratique quotidienne, est l'utilisation excessive et inappropriée d'antibiotiques (gentamycine) durant la grossesse (cf. chapitre I.3.3.2.).

- **Acquises (Theoleyre et Chirat, 2013 ; OMS, 2015) :** ces causes, opposées aux causes congénitales, sont caractérisées par leur absence d'âge de survenue, en effet elles peuvent apparaître à tout moment de la vie :

  - Les traumatismes crâniens : ils peuvent entraîner une lésion du nerf auditif ou des structures anatomiques de l'oreille comme la partie pétreuse de l'os temporal.
  - Les infections chroniques de l'oreille : entraînant des écoulements chroniques au niveau de l'oreille, ces infections peuvent parfois être mortelles en causant des méningites ou des abcès au niveau du cerveau.
  - Les maladies infectieuses de l'enfance : (comme la rougeole, les oreillons) peuvent entraîner des lésions du tympan causant des surdités à l'âge adulte.
  - Les otites (cf. chapitre I.3.2.5) : la présence prolongée de liquide ou encore d'éléments étrangers (sable) dans l'oreille peut conduire à une inflammation des structures de l'oreille. Les otites sont elles-mêmes des sources possibles de surdité. Ainsi, les otites moyennes, dues à la

présence de liquide au niveau de l'oreille moyenne, sont la première cause de surdité chez l'enfant.

- Les bruits excessifs : comme nous l'avons déjà précisé, un niveau sonore trop élevé et prolongé peut très souvent entraîner une déficience auditive.
- L'âge : plus l'Homme avance en âge, plus le risque de déficience ou de perte des cellules ciliées et de l'adaptation des structures de l'oreille au bruit, est élevé. C'est ce que l'on nomme *presbyacousie.*
- Les médicaments ototoxiques (cf. chapitre I.3.3.2.): ce sont certains médicaments comme les antibiotiques ou les antipaludéens qui, par leur prise inadéquate, peuvent léser l'oreille interne.
- Le stress et les chocs émotionnels : ceux-ci peuvent entraîner des acouphènes, ils peuvent alors être la marque d'un traumatisme psychologique et d'un événement émotionnel dont le « deuil » n'a pas encore été fait.

I.2.1.3. Prévention

Le dépistage des personnes à risque est essentiel dans la prévention. Il doit se faire dès l'enfance et doit être doublé de mesures informatives pour réduire au maximum les futures affections de l'oreille.

La prévention relève donc de plusieurs mesures, dont la plupart sont à effectuer durant l'enfance : la vaccination contre les maladies de l'enfance (méningites, oreillons, rubéole) le suivi des nouveau-nés à haut risque : ceux dont on connaît la présence de surdité familiale et les enfants de petit poids. D'autres mesures de prévention sont à effectuer comme la vaccination contre la rubéole des femmes en âge de procréer, l'information des femmes enceintes sur les infections (toxoplasmose), la vigilance lors de la prescription de médicaments ototoxiques chez ces mêmes personnes et l'amélioration des soins péri-nataux dans les salles d'accouchement (OMS, 2015).

La prévention des conséquences d'une exposition excessive au bruit est également très importante.

I.2.2. La gestion de l'adulte déficient auditif au cabinet dentaire

Le patient déficient auditif nécessite une prise en charge particulière lors des soins au cabinet dentaire. Nous allons nous intéresser au cas du patient adulte.

I.2.2.1. Une approche humaine

Le handicap de la surdité entraîne souvent chez les patients atteints, une honte et une volonté de dissimuler par des stratagèmes leur déficience auditive. Il faut donc « apprendre » à soigner le patient malentendant et adapter nos habitudes de travail afin de ne pas le brusquer et d'éviter d'entraîner un sentiment d'humiliation et de méfiance.
Le devoir du chirurgien-dentiste est de veiller à ce que le patient se sente bien dans son cabinet ; c'est la base de la communication dentiste-patient, elle garantit la confiance et ainsi la réussite, ou du moins un risque moindre d'échec des traitements réalisés.

❖ Identification du patient déficient auditif

Les patients arrivant dans notre cabinet ne nous disent malheureusement pas toujours les affections dont ils souffrent. Cela peut être le cas pour la déficience auditive ; pourtant sa connaissance nous permet de préparer notre intervention en amont afin de la faciliter et d'économiser du temps.
Voici quelques indices permettant de détecter une déficience auditive (Pouyssegur et Mahler, 2010) :

- Le patient ne répond pas et se plaint que le chirurgien-dentiste parle indistinctement.
- Le patient peut demander au praticien d'ôter son masque quand il s'adresse à lui.

- Le patient demande plusieurs fois au praticien de répéter ce qu'il dit et distinctement.
- Dans le même ordre d'idée, le patient ne donne pas de réponse adaptée aux questions du chirurgien-dentiste. Il y a un manque de cohérence dans ses propos, signe d'une incompréhension de sa part.
- Lorsque le patient s'adresse au praticien, il peut parler avec une voix non ajustée, soit trop haute, soit trop basse et de timbre inégal (voix nasillarde).
- Si le praticien parle au patient derrière lui, en préparant son matériel par exemple, celui-ci ne répond pas.
- Le patient se plaint également des bruits inhérents à la salle opératoire et des bruits de fond qui peuvent le gêner.

Le praticien identifiant un de ces signes doit donc adapter la prise en charge du patient afin que ce dernier n'ait ni à donner d'explications ni à se justifier. Il est également du devoir du chirurgien-dentiste de prendre le temps, de ne pas s'impatienter, d'avoir une attitude positive et compréhensive à l'égard du patient (Binggeli et coll., 2009).

❖ Vers une meilleure prise en charge

Plusieurs règles sont donc à suivre afin de répondre aux devoirs précisés par l'article R4127-233 du Code de déontologie du chirurgien-dentiste (ONCD, 2009) :

« *Le chirurgien-dentiste qui a accepté de donner des soins à un patient s'oblige :*

A lui assurer des soins éclairés et conformes aux données acquises de la science, *soit personnellement, soit lorsque sa conscience le lui commande en faisant appel à un autre chirurgien-dentiste ou à un médecin ;*

A agir toujours avec correction et aménité envers le patient et à se montrer compatissant envers lui ;

A se prêter à une tentative de conciliation qui lui serait demandée par le président du conseil départemental en cas de difficultés avec un patient. ».

Les règles sont les suivantes (Binggeli et coll., 2009 ; Cuminetti, 2012 ; Dupuis et Leonard, 2010 ; Pouyssegur et Mahler, 2010) :

- Lors de l'entretien avec le patient, il est nécessaire de se mettre au calme et d'éviter les nuisances sonores comme la sonnerie de téléphone, les interruptions de l'assistante… Il faut donc s'isoler et si besoin fermer la porte de la salle opératoire afin d'obtenir une acoustique optimale.
- Le praticien doit éviter de porter un masque lorsqu'il s'adresse à son patient. En effet, la déficience auditive peut entraîner une nécessité de lire sur les lèvres ; il faut donc s'organiser, expliquer d'abord la démarche thérapeutique et seulement ensuite, mettre le masque pour commencer le soin. Si l'information est nécessaire au cours de l'intervention, il faut d'abord arrêter le soin, enlever ou abaisser le masque et seulement parler au patient.
- De même, pour faciliter la lecture labiale, le praticien doit toujours privilégier la parole en face de son patient et non derrière lui.
- Toujours dans le même ordre d'idée, le praticien doit être bien éclairé, ne pas être dans l'ombre et ne pas être à contre-jour pour que le patient perçoive le mouvement de ses lèvres ainsi que ses gestes et ses expressions faciales.
- Si le patient ne comprend pas tout à fait ce qui a été dit, il peut être nécessaire de répéter plusieurs fois l'information en variant les mots et en utilisant des tournures de phrase les plus simples possibles.
- Une question test peut s'avérer utile afin de vérifier si le patient a bien compris l'information qui lui a été délivrée. Il faut privilégier les questions offrant des réponses concrètes autres que « oui » ou « non ».
- Avant le soin, il peut être utile de convenir d'une série de gestes simples comme des mouvements digitaux (index levé, tapotement d'épaule…) choisis pour prévenir de l'action de fraiser, d'aspirer, de souffler, de rincer…
- De plus, il est profitable de se mettre d'accord, avant le rendez-vous, de la manière à adopter pour communiquer, que ce soit par écrit, par gestes ou par lecture labiale.
- Lors du rendez-vous, le praticien peut faciliter la compréhension de son propos en l'étayant de schémas, de démonstrations et d'exemples imagés (dent en trois dimensions).

- La gestuelle associée à la parole facilite grandement la compréhension de l'idée que l'on veut communiquer.
- Il faut également aller chercher directement le patient dans la salle d'attente et ne pas essayer de l'appeler afin d'éviter une situation gênante pour lui comme pour le chirurgien-dentiste.
- Pour éviter tout malentendu, il est impératif de fixer le prochains rendez-vous par écrit et de le remettre au patient.
- Un point important est le secret médical. Les patients déficients auditifs peuvent venir au cabinet accompagnés d'une aide, il est alors primordial de rechercher le contact direct avec le patient et de ne pas fuir la difficulté en s'adressant tout de suite à la personne accompagnante. Cette mesure, montrant les efforts effectués, ne pourra que renforcer la confiance du patient envers son dentiste.
- Concernant cette même confiance, il est évidemment déplacé et déconseillé de rire d'un patient malentendant ou sourd lorsqu'il a du mal à comprendre ce qui lui est dit.
- Pour une meilleure prévention, il est judicieux de noter l'affection dont souffre le patient dans son dossier dentaire.

I.2.2.2. L'impact de la surdité sur les possibilités thérapeutiques

❖ Le consentement du patient déficient auditif

L'obtention du consentement du patient en dentisterie est une prérogative à ne pas déroger. La signature du consentement nous permet, en tant que praticien responsable, de nous protéger financièrement et professionnellement en cas d'insatisfaction du patient à la fin du traitement par exemple.

- **Législation :**

Ce consentement est défini par l'article R4127-236 du Code de déontologie du chirurgien-dentiste (ONCD, 2009):

*« **Le consentement de la personne examinée ou soignée est recherché dans tous les cas, dans les conditions définies aux articles L. 1111-2 et suivants.*** (Code de la Santé Publique précisant le droit à l'information sur l'état de santé du malade).

Lorsque le patient, en état d'exprimer sa volonté, refuse les investigations ou les traitements proposés, le chirurgien-dentiste doit respecter ce refus après l'avoir informé de ses conséquences.

Lorsqu'il est impossible de recueillir en temps utile le consentement du représentant légal d'un mineur ou d'un majeur légalement protégé, le chirurgien-dentiste doit néanmoins, en cas d'urgence, donner les soins qu'il estime nécessaires. »

Dans le cas du patient sourd ou malentendant, l'obtention du consentement est plus délicate. En effet, il convient d'être vigilant et de s'assurer qu'il a compris et les informations relatives à son état de santé ainsi que les risques et conséquences encourues en l'absence de traitement et les différentes possibilités thérapeutiques qui s'offrent à lui, afin qu'il puisse lui-même décider en son âme et conscience, de la conduite à adopter et du traitement qui lui correspond le mieux, que ce soit financièrement, esthétiquement ou fonctionnellement.

De plus la cour de cassation a précisé (le 14/10/1997) que l'information délivrée au patient doit être « **loyale**, **claire** et **appropriée** ».

Comme dit précédemment, la loi du 4 mars 2002 (L1111-2 du code la santé publique), précise l'obligation du consentement :

« L'information porte sur les investigations, les traitements ou les actions de prévention qui sont proposés, leur utilité, leur urgence éventuelle, leurs conséquences, les risques fréquents ou graves normalement prévisibles, les autres solutions et les conséquences prévisibles en cas de refus. Si, postérieurement aux actes, des risques nouveaux sont identifiés, la personne concernée doit en être informée. ».

- **Marque du consentement (Binggeli et coll., 2009) :**

En dentisterie, le consentement du patient sur le plan de traitement choisi, doit être clairement établi. Il ne s'agit donc pas de réaliser une attestation de décharge, mais plutôt un document décrivant les investigations et soins à réaliser, c'est le propre du devis.
Le devis en règle doit préciser un certain nombre de choses, la qualité du dentiste et du patient, la date de réalisation, la description des actes à effectuer, leur cotation CCAM, leur prix respectif, le total du montant, l'origine des matériaux ainsi que leur nature, la partie prise en charge par les organismes de sécurité sociale, la durée de validité de six mois et les signatures du praticien et du patient. Une fois les différents devis remplis, il est nécessaire de laisser au patient un délai de réflexion d'au moins deux semaines pour prendre la bonne décision thérapeutique. A la suite de ce délai, le devis choisi est signé par le patient et la séquence de soins peut être initiée. Ce devis a plusieurs rôles, celui de marque du consentement mais aussi celui d'information au patient et de protection du praticien d'un point de vue financier et professionnel.
En plus du devis, nous pouvons réaliser un document papier, signé par le patient et précisant qu'il a été informé des différentes possibilités thérapeutiques et des risques qu'elles comportent et qu'il les accepte.

❖ L'impact thérapeutique de la surdité

En dentisterie, la communication praticien-patient est indispensable pour réaliser un plan de traitement personnalisé correspondant au mieux aux attentes du patient, à travers les différentes possibilités thérapeutiques qui s'offrent à lui. Malheureusement, cette communication est mise à mal lorsque le patient est déficient auditif (Pouyssegur et Mahler, 2010).

Pour se faire comprendre, le praticien doit donc avoir recours à différents moyens (interprète, langue des signes…) entraînant des désagréments dans la pratique de l'art dentaire :

- La difficulté de communication va rallonger la durée des rendez-vous.
- Le concours d'un interprète est un risque pour la préservation du secret médical, s'il n'y est pas tenu.
- La difficulté de communication peut s'avérer fatigante pour le praticien (phrases répétées et articulées).
- L'obtention des antécédents médicaux du patient peut être incomplète, voire erronée s'il a mal compris ou s'il n'a pas compris ce qui lui a été demandé.
- Certaines étapes opératoires peuvent être fastidieuses sans communication avec le patient (empreintes secondaires).
- La difficulté de compréhension peut entraîner une dégradation du rapport de confiance entre le praticien et son patient, surtout si les efforts de communication deviennent infantilisants.

L'impact majeur de la surdité sur le déroulement des soins est donc la difficulté de communication praticien-patient (Binggeli et coll., 2009). Nous ne détaillerons pas la surdité congénitale ou liée à la vieillesse, qui s'accompagne parfois d'une déficience mentale et de troubles d'autres sens et qui peut entraîner d'autres difficultés de soins et de prise en charge. Cela ne constitue pas le sujet de cette étude.

I.3. La dent, cause de surdité

Le lien entre l'oreille et la dent existe ; de nombreuses pathologies touchant la cavité orale se répercutent à l'oreille et inversement (Legent et coll., 2001).

I.3.1. La proximité de l'oreille et de la cavité orale

La communication entre l'oreille et la cavité orale est établie par de nombreuses structures anatomiques composant le massif facial et le crâne (os,muqueuses…).

Deux de ces structures sont principalement incriminées dans la transmission des affections :

- Le réseau nerveux, serpentant entre et à travers les structures cranio-faciales.
- Les dents de sagesse, dont la position favorise la communication auriculo-orale.

I.3.1.1. Communication nerveuse

La cavité orale est en lien étroit avec l'oreille par l'intermédiaire des tissus la constituant (peau, muqueuse et os) et par la trompe auditive, conduit cartilagineux et osseux, faisant communiquer l'oreille avec le pharynx au niveau des fosses nasales (figure 2) (Biarge, 2014).

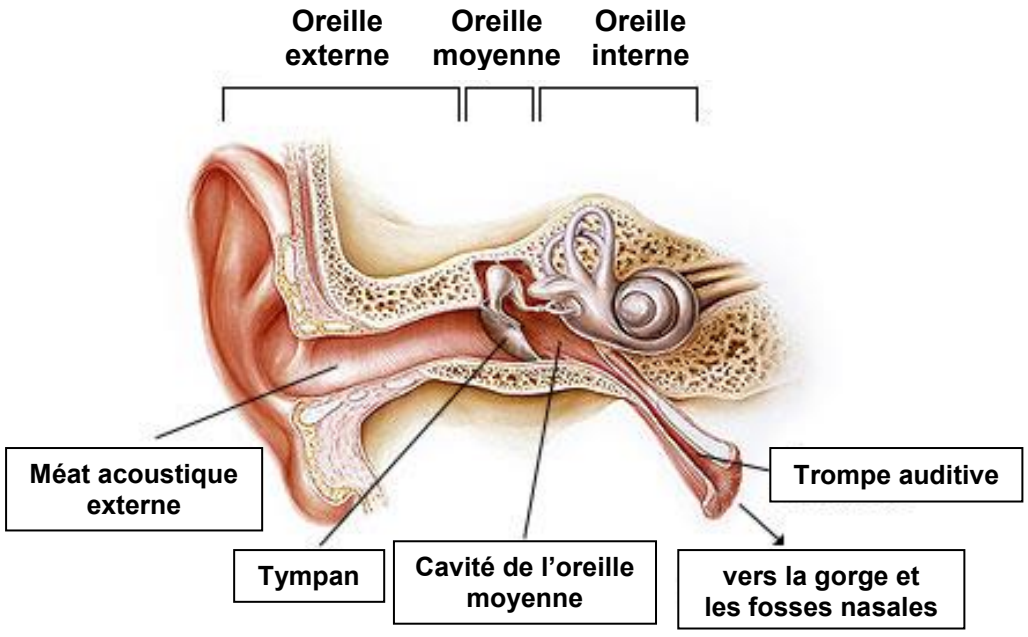


Figure 2 : La constitution de l'oreille et son lien avec les structures pharyngées (d'après : Biarge, 2014).

De plus, l'innervation de ces différents tissus est bien souvent prise en charge par les mêmes nerfs crâniens (Legent et coll., 2001) : le nerf trijumeau (V), le nerf facial (VII), le nerf glossopharyngien (IX) et le nerf vague (X).

- **Nerf trijumeau :** ce nerf a une fonction sensitive notamment par deux de ses branches principales : V2 (nerf maxillaire) et V3 (nerf mandibulaire).

    - Le nerf maxillaire (figure 3) va innerver l'arcade dentaire supérieure, la gencive, le palais et la lèvre supérieure. Mais il va aussi innerver le pharynx au niveau des fosses nasales par le nerf pharyngien. Ces fosses nasales sont en communication avec l'oreille moyenne par l'intermédiaire de la trompe auditive (figure 2), qui va elle aussi être innervée sensitivement par le V2 ; il est donc possible que des informations sensitives (douleur) se transmettent de la cavité orale à la partie auriculaire, même si ce phénomène est principalement réalisé par le V3 (Moore et coll., 2001).

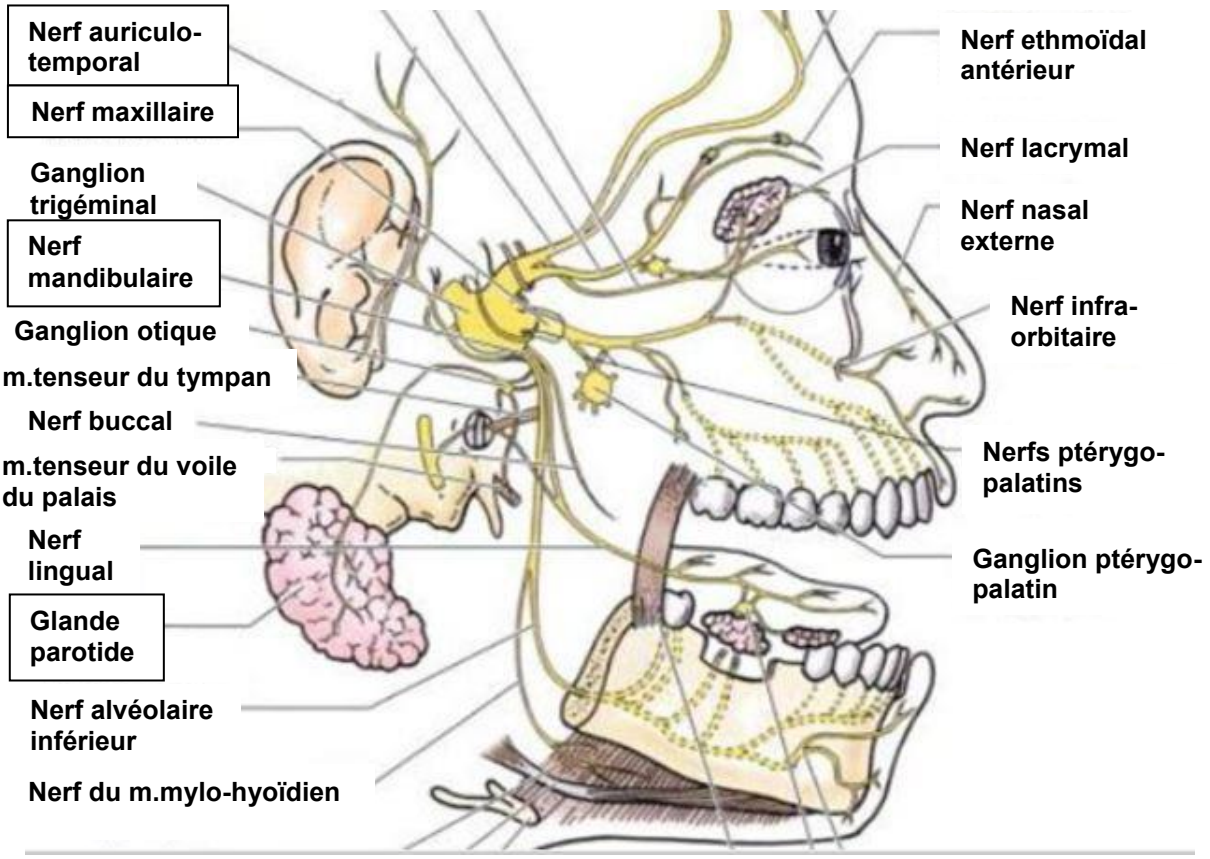


Figure 3 : Trajet du nerf trijumeau (m. = muscle) (d'après : Moore et coll., 2001).

    - Le nerf mandibulaire (figure 3) va innerver l'arcade dentaire inférieure, la gencive, la lèvre inférieure et la muqueuse linguale. Mais il va aussi donner naissance, à sa sortie de l'os temporal (par le foramen ovale),

au nerf auriculo-temporal (figure 3). Ce dernier va traverser la parotide, passer devant l'oreille et se terminer au niveau de la tempe (figures 4 et 5) ; il va donc innerver la partie antérieure de l'auricule, le méat acoustique externe, la face externe de la membrane du tympan et la peau supra-auriculaire. Lors d'une névralgie (atteinte douloureuse d'un territoire nerveux) du nerf trijumeau, il n'est donc pas surprenant de ressentir des douleurs au niveau de la cavité orale et de la zone auriculaire (particulièrement la tempe). La communication entre l'oreille et la cavité orale peut être mise en évidence par le syndrome auriculo-temporal (syndrome de Frey), apparaissant généralement après ablation complète de la glande parotide. Du fait de la régénération aberrante du nerf auriculo-temporal sectionné, ce syndrome va entraîner une hyperesthésie, une apparition de rougeur ainsi qu'une sudation élevée sur le territoire innervé, en réponse à une stimulation gustative ou à la mastication. Une autre marque de cette communication réside dans l'innervation motrice du muscle tenseur du voile du palais par le nerf V3. En effet, la contraction de ce muscle va mobiliser la trompe auditive, mais un tonus musculaire irrégulier à ce niveau peut provoquer un dysfonctionnement de cette dernière avec congestion de l'oreille moyenne et apparition d'acouphènes (Moore et coll., 2001).

- **Nerf facial (figures 4 et 5) :** ce nerf est mixte, son trajet faisant un véritable lien sensitivo-moteur entre la cavité orale et l'oreille. En effet, naissant au niveau du tronc cérébral, il va pénétrer dans le méat acoustique interne puis va traverser l'os temporal au niveau du foramen stylo mastoïdien (figure 4). Sa portion intrapétreuse est complexe, la partie labyrinthique de cette portion va passer en arrière de la cochlée et en avant du vestibule alors que la partie tympanique va cheminer dans la paroi médiale du cavum tympanique de l'oreille moyenne et passer en dessous et en avant de la cochlée de l'oreille interne. Le nerf facial va alors émerger de la base du crâne et va traverser la parotide en donnant naissance à une branche temporale qui va se diriger en haut et en avant vers le condyle mandibulaire puis passer devant l'arcade

zygomatique et finir son trajet dans les muscles auriculaires, antérieur et supérieur. Au niveau buccal, le nerf facial va innerver les deux tiers antérieurs de la langue pour sa fonction gustative, au niveau facial, il va innerver les muscles peauciers de la face (muscles des mimiques) et au niveau auriculaire, il va innerver la zone de Ramsay et Hunt comprenant le tympan, la paroi postérieure du méat acoustique externe et la conque du pavillon de l'oreille. Le lien entre oreille et cavité orale est représenté par la paralysie faciale, pouvant être provoquée par une otite moyenne ou encore par une tumeur de la glande parotide, qui va altérer les fonctions dynamiques de la face, la mastication, l'élocution ainsi que la fonction gustative (agueusie), mais aussi provoquer une hyperacousie (quand la lésion du nerf se situe au-dessus du muscle de l'étrier) ou une surdité (lors de fracture de la partie pétreuse de l'os temporal par exemple) (Moore et coll., 2001).

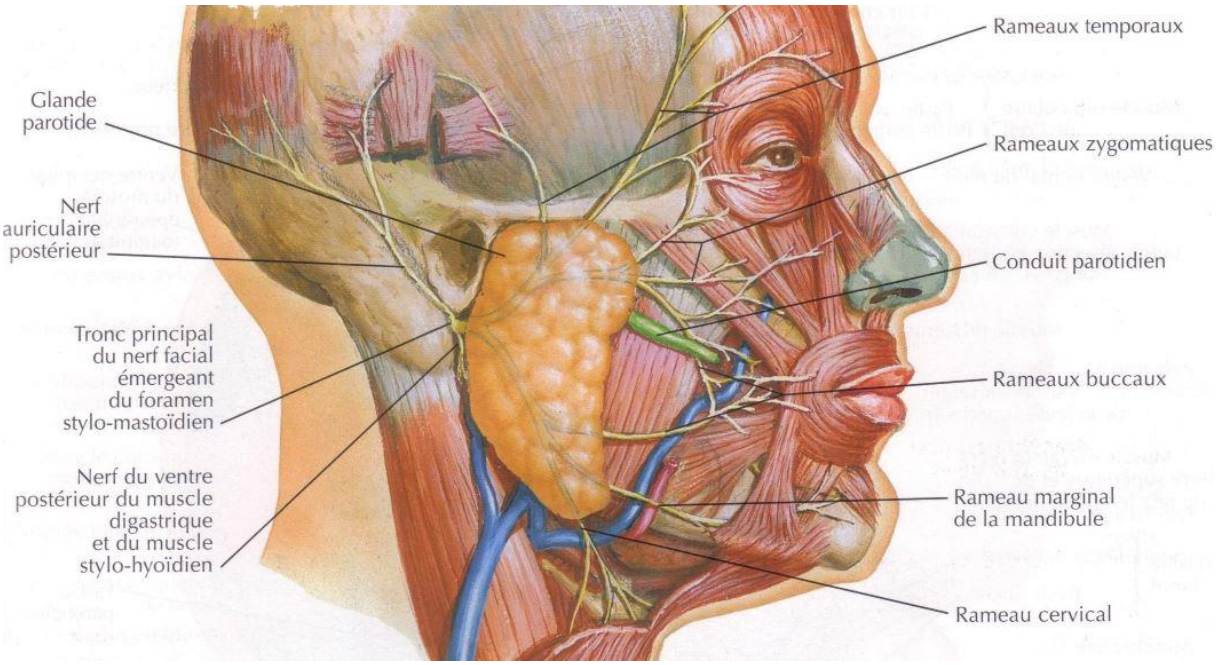


Figure 4 : Trajet du nerf facial (source : Netter, 2007).

- **Nerf glossopharyngien (figure 5) :** il part du bulbe rachidien. C'est un nerf mixte également ; il va ainsi permettre une innervation motrice du pharynx, de la glande parotide et de l'oreille moyenne. L'innervation de l'oreille moyenne est assurée par une branche du nerf lors de son trajet extra-crânien : le nerf tympanique. Ce dernier va cheminer jusqu'à la caisse du tympan où il va

émettre des ramifications innervant la muqueuse tympanique : le nerf petit pétreux profond, le nerf grand pétreux profond et le nerf carotido-tympanique. Au niveau buccal, c'est lui qui assure l'innervation sensitive du tiers postérieur de la face dorsale de la langue (gustation). Le lien entre l'oreille et la cavité orale est démontré par la présence d'une agueusie des 2/3 postérieurs de la langue, ainsi que de douleurs au niveau de l'oreille moyenne lorsqu'il y a une lésion du nerf (tumeur) (Moore et coll., 2001).

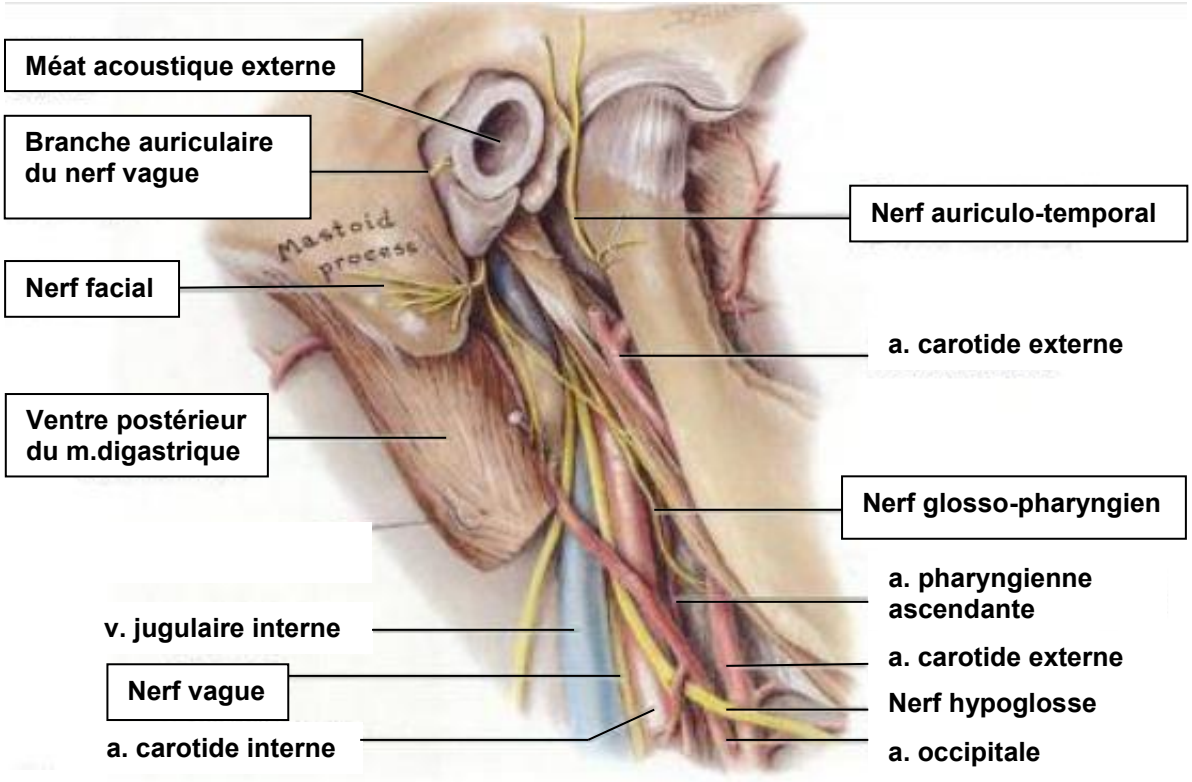


Figure 5 : Trajets des différents nerfs par rapport au méat acoustique externe (a. = artère, v. = veine) (d'après : Moore et coll., 2001).

- **Le nerf vague (figure 5) :** c'est un nerf mixte s'étendant de la région céphalique jusqu'au thorax et à l'abdomen. Son territoire est donc le plus étendu mais, au niveau de la cavité orale, c'est l'innervation du larynx qui nous intéresse, car il permet la phonation. Le lien avec l'oreille se fait au niveau de la partie céphalique de son trajet, à la sortie du bulbe rachidien, ce nerf donne une branche auriculaire qui va passer derrière le méat acoustique externe

pour innerver une partie de sa peau ainsi qu'une partie du pavillon de l'oreille (Moore et coll., 2001).

La description de ces quatre nerfs nous permet de mettre en évidence la richesse de la communication nerveuse existant entre la bouche et l'oreille. Nous pouvons en déduire que des informations douloureuses peuvent aisément cheminer entre ces deux éléments anatomiques et qu'une pathologie orale peut se répercuter au niveau auriculaire et réciproquement.

I.3.1.2. Les dents de sagesse

Les dents de sagesse sont les troisièmes molaires ; ce sont des reliquats de la mâchoire primitive, elles ont une évolution tardive et sont inconstantes que ce soit dans leur poussée ou leur nombre. En effet, certains patients n'en auront aucune, alors que d'autre en auront trois ou quatre ; certains n'en auront qu'à la mandibule et pas au maxillaire, à gauche et pas à droite…
Leur position postérieure au niveau de l'arcade dentaire leur confère une influence non négligeable sur d'autres structures anatomiques cranio-faciales. Ainsi, à la mandibule, la dent de sagesse se situe à proximité immédiate de la branche mandibulaire et se trouve le plus souvent en étroite relation avec le nerf mandibulaire sous-jacent. Au maxillaire, elle se situe dans la partie la plus postérieure de l'os maxillaire, en étroite relation avec le sinus maxillaire sus-jacent (lui-même communiquant avec les fosses nasales par l'ostium maxillaire). Ce dernier rapport est essentiel ; une infection de la dent de sagesse maxillaire pouvant se compliquer d'une sinusite, elle-même entraînant parfois des douleurs auriculaires (Berhaut, 2009 ; Korbendau et Korbendau, 2001).

La proximité avec ces différents éléments peut entraîner une diffusion des affections d'une structure à l'autre. Ainsi, un accident d'éruption d'une dent de sagesse mandibulaire, ou péricoronarite, peut entraîner de grandes douleurs dentaires, une inflammation des muqueuses (cellulite) et une difficulté à l'ouverture de la bouche par douleur au niveau de l'Articulation-Temporo-Mandibulaire (ATM).

L'inflammation tissulaire, entraînant une constriction des mâchoires (trismus), peut se répercuter à l'oreille et se traduire par des douleurs et/ou par un « bourdonnement » perçu en permanence (Berhaut, 2009 ; Korbendau et Korbendau, 2001).

I.3.2. Les affections bucco-dentaires en lien avec l'oreille

I.3.2.1. Les infections dentaires

Les infections dentaires ont très souvent toutes la même cause : l'accumulation de bactéries au niveau des dents, se présentant sous la forme de plaque puis de tartre, va entraîner des infections de deux ordres : endodontique et/ou parodontale.

❖ Les infections endodontiques

L'endodonte constitue la partie interne de la dent. Lorsque la pulpe est touchée par les antigènes bactériens, elle va s'enflammer, entraînant des douleurs et va alors traverser plusieurs stades d'inflammation : pulpite réversible, pulpite irréversible (aiguë ou subaiguë) puis nécrose pulpaire. Si aucun traitement n'est réalisé, la diffusion d'amas bactériens et de résidus pulpaires se fera ensuite aux tissus entourant la dent, on parle alors de LIPOE (Lésion Inflammatoire Périradiculaire d'Origine Endodontique) (aiguë puis chronique), se traduisant par une destruction du parodonte sous la forme d'un granulome (Simon et coll., 2012).
Ce granulome est composé d'un tissu inflammatoire très actif qui va pouvoir évoluer en diffusant aux tissus environnants (cellulites…). Ces infections peuvent entraîner de vives douleurs, pouvant être à l'origine d'une sensibilisation générale et de douleurs oro-faciales chroniques. L'inflammation va ainsi pouvoir s'étendre aux structures auriculaires par l'intermédiaire de la trompe auditive au niveau du pharynx (figure 2), du sinus maxillaire et des nerfs faisant communiquer l'oreille et la cavité

orale. Une infection endodontique va donc pouvoir entraîner des douleurs ainsi qu'une inflammation de l'oreille, c'est l'otite (Simon et coll., 2012).

❖ Les infections d'origine parodontale

Elles ont la même origine que les infections endodontiques ; l'accumulation de plaque et de tartre va entraîner une inflammation de la gencive et du parodonte, dénommées respectivement gingivite puis parodontite. Ces inflammations peuvent évoluer en abcès gingivaux et parodontaux, véritables réservoirs bactériens pouvant diffuser au même titre que les granulomes endodontiques. Elles s'accompagnent de pertes osseuses horizontales ou verticales, ces dernières pouvant être aggravées par le traumatisme occlusal. Les pertes verticales, appelées aussi lésions angulaires, peuvent constituer de véritables zones d'accumulation bactérienne, entraînant alors une aggravation de la destruction osseuse et donner naissance à des atteintes endodontiques par diffusion bactérienne à retro à travers les canaux pulpaires.
La parodontite d'origine bactérienne est un facteur de risque dans certaines pathologies comme les maladies respiratoires et cardio-vasculaires, car les bactéries, grâce aux vaisseaux présents autour de la dent, ont un accès direct au réseau vasculaire du corps entier et vont pouvoir se disséminer (Detienville, 2002).

Les infections d'origine dentaire et/ou parodontale sont donc dues à des bactéries orales pouvant diffuser et atteindre les différentes structures à proximité, telles que la gorge et l'oreille (cf. figure 2) si aucun traitement n'est entrepris.

I.3.2.2. Troubles de l'ATM

L'ATM est une diarthrose réunissant le condyle de la branche mandibulaire à la fosse mandibulaire de l'os temporal par l'intermédiaire d'un disque articulaire. Elle assure les mouvements buccaux (ouverture-fermeture, protrusion, diduction, rétrusion) à l'aide des muscles manducateurs (Jeanmonod, 1988 ; Seuret, 2001).

Cette articulation se situe juste en avant des parois du méat acoustique (figure 6) ; il n'est donc pas surprenant qu'une affection de l'ATM se répercute aux structures de l'oreille. L'ATM est une articulation complexe prenant en charge des forces importantes. Le disque absorbe les forces de mastication et les distribue dans l'espace articulaire. Cependant ce disque peut, à la suite d'un traumatisme par exemple, se déplacer, s'user ou se calcifier, entraînant des dysfonctionnements de l'appareil manducateur (DAM). Ces dysfonctionnements sont eux-mêmes à l'origine d'otalgies réflexes et d'acouphènes (cf. chapitre I.3.2.5.) en raison de la présence de troubles neuromusculaires (ces structures ayant une innervation commune par le V3) entraînant une hypertonie des muscles de l'oreille moyenne. Ces douleurs peuvent être spontanées ou encore être déclenchées par la mastication (Jeanmonod, 1988 ; Seuret, 2001).

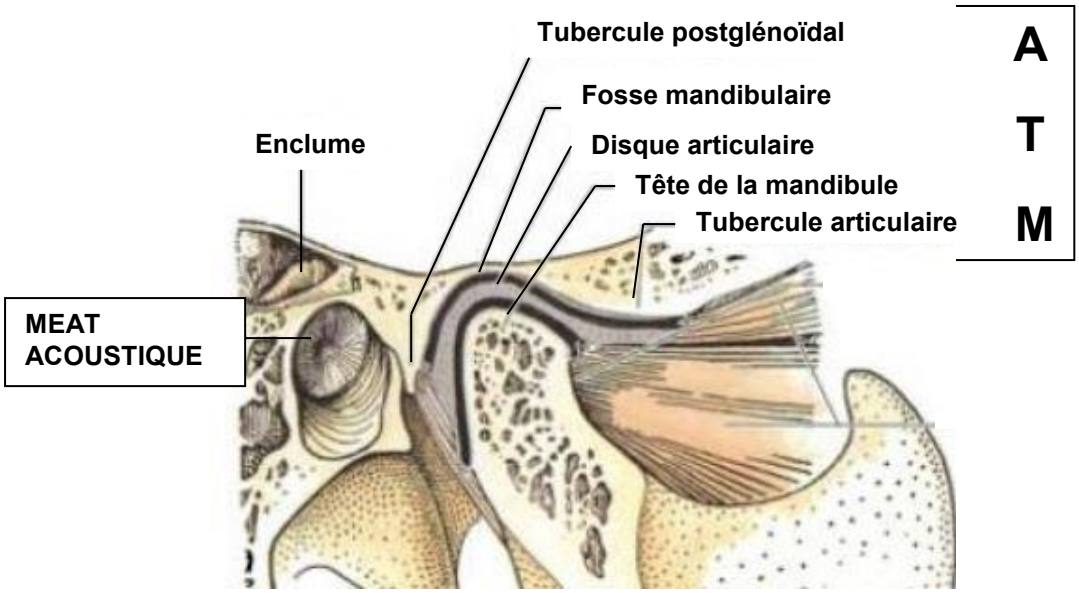


Figure 6 : Présentation de la proximité entre le méat acoustique et l'ATM (d'après : Moore et coll., 2001).

I.3.2.3. La parotidite

La parotide est la plus volumineuse des glandes salivaires du corps humain, elle est en rapport avec, en avant, la branche mandibulaire et en haut/en arrière, les structures de l'oreille (méat acoustique externe) (figure 4).

Du point de vue de sa structure, elle est constituée de deux lobes, un superficiel et un profond, séparés par la division du nerf facial (cf. chapitre I.3.1.1.). Elle dispose également d'un canal permettant l'excrétion salivaire : le canal parotidien, qui va émerger dans le vestibule oral en regard de la deuxième molaire supérieure.
Le lien entre oreille et parotide s'établit de différentes façons :

- Au niveau anatomique : grâce à la proximité immédiate entre l'oreille et la parotide.
- Par la présence du nerf facial qui traverse la parotide et qui peut ainsi véhiculer des informations douloureuses vers d'autres structures comme l'oreille (cf. chapitre I.3.1.1.)

Le lien oreille/parotide s'exprime aussi à travers la parotidite qui est une inflammation de la glande parotide. Elle se diagnostique par la présence d'une tuméfaction jugale, de douleurs importantes partant de la glande et remontant jusqu'à l'oreille et d'une constriction des mâchoires avec troubles de l'ATM.
Cette pathologie peut avoir plusieurs causes, comme des infections bactériennes pouvant évoluer vers la chronicité, mais aussi des infections virales, comme c'est le cas dans les oreillons. En effet, cette dernière est une maladie essentiellement infantile, contagieuse, due au virus ourlien, entraînant de nombreux symptômes dont certains illustrent à nouveau le lien entre l'oreille et la cavité orale : douleurs simultanées à l'oreille et à la mâchoire ainsi qu'une tuméfaction douloureuse à la palpation au niveau de la parotide, c'est la parotidite ourlienne.

I.3.2.4. Les lésions tumorales

Ces lésions correspondent aux cancers des Voies Aéro-Digestives Supérieures (VADS).
Leurs symptômes peuvent être une plaie saignante ne guérissant pas, des mobilités dentaires, une gêne à la déglutition, une tuméfaction, une anesthésie de certains nerfs comme le nerf mandibulaire… et plus particulièrement, des douleurs au niveau des structures auriculaires et orales (langue).

Les VADS sont constituées des fosses nasales, des sinus, du pharynx, du larynx et de la cavité orale. La structure qui nous intéresse est le cavum, c'est la partie supérieure du pharynx, aussi appelée nasopharynx, les tumeurs la touchant sont particulièrement enclines à entraîner des affections auditives, car les parois du cavum contiennent les orifices d'abouchement de la trompe auditive, en lien direct avec l'oreille moyenne. Ainsi une affection tumorale à ce niveau va pouvoir entraîner une hypoacousie plutôt unilatérale et des otites séreuses, qui constituent des signaux d'alarme de ce type de lésions (La ligue contre le cancer, 2009).

I.3.2.5. Les conséquences auriculaires des affections bucco-dentaires

❖ Les otites

L'otite est une inflammation de l'oreille qui peut très souvent avoir une étiologie dentaire. En effet, toutes les infections bucco-dentaires (kyste, carie et même aphte) peuvent, par diffusion tissulaire, atteindre le pharynx et se répandre à l'oreille par l'intermédiaire de la trompe auditive (figure 2). En fonction des structures auriculaires touchées, on parle d'otite externe, moyenne et interne (Hauteville, 2011 ; Theoleyre et Chirat, 2013).

- **Externe :** c'est une inflammation du méat acoustique externe (CAE), il est limité par le tympan en arrière et le tragus en avant. Elle est le plus souvent d'origine bactérienne et se manifeste par de vives douleurs, un œdème des tissus et un suintement : l'otorrhée. Elle peut être diffuse ou nécrosante (Theoleyre et Chirat, 2013).

- **Moyenne :** c'est une inflammation de la muqueuse respiratoire tapissant la cavité tympanique ; on distingue les otites moyennes aiguës, chroniques et adhésives. Les inflammations à ce niveau sont bactériennes et virales. Ces otites sont très fréquentes chez les jeunes enfants ; lors d'une

rhinopharyngite, l'inflammation peut diffuser dans la trompe auditive entraînant un trouble de la ventilation. Les sécrétions normalement évacuées dans l'arrière-gorge vont alors stagner et risquent d'être infectées par les microbes remontant de la gorge. L'otite moyenne aiguë peut également se compliquer d'une paralysie faciale si elle n'est pas traitée (cf. chapitre I.3.1.1.) (Theoleyre et Chirat, 2013).

- **Interne :** il s'agit d'une complication exceptionnelle d'une otite moyenne ou survenant à la suite d'épisodes répétés d'otite moyenne aiguë. Elle va entraîner, par diffusion de l'inflammation au labyrinthe, des vertiges, des acouphènes ou une surdité.

❖ Les acouphènes

Ce sont des bruits parasites entendus en permanence par le patient (cf. chapitre I.2.1.1.). Ils sont en général dus à la lésion des cellules ciliées de l'oreille interne, mais de plus en plus de dentistes constatent qu'ils peuvent être entraînés par des problèmes dentaires ou encore musculo-articulaires.
Ce type d'acouphène est somato-sensoriel, il peut être entraîné par des tensions musculaires dans la nuque et dans la mâchoire, comme c'est le cas pour les DAM et les troubles de l'occlusion dentaire. Les otites peuvent également entraîner des acouphènes (Leonard, 2014 ; Hartmann, 2015).

❖ Les douleurs auriculaires

La douleur est une des caractéristiques de l'inflammation (*dolor, tumor, rubor et calor*), elle-même résultant fréquemment d'une infection, souvent d'origine dentaire. Concernant les douleurs atteignant l'oreille, nous distinguons deux types (Theoleyre et Chirat, 2013) :

- **Les otodynies :** aussi appelées otalgies primitives, ce sont des douleurs de l'oreille en elle-même, atteignant la partie externe, moyenne ou interne, elles sont causées le plus souvent par des inflammations comme l'otite (Hauteville, 2011).

- **Les otalgies réflexes :** ce sont des douleurs atteignant l'oreille, mais ne mettant pas en cause ses propres structures. En effet elles sont le plus souvent dues à une affection d'un territoire innervé par certains nerfs crâniens. Ainsi, du fait de l'innervation commune par le nerf V (cf. chapitre I.3.1.1.), une carie, un granulome/kyste ou toute autre affection de la cavité orale (aphtes, stomatites, glossites, ulcérations pharyngées…), y compris les accidents d'éruption dentaire à l'origine d'une infection ou d'une inflammation, vont pouvoir entraîner une douleur projetée au niveau de l'oreille (Hauteville, 2011).

I.3.3. Les précautions à prendre en chirurgie-dentaire

En pratique dentaire, il convient de prendre en compte le lien entre oreille et cavité orale afin d'éviter de créer des affections auditives iatrogènes chez le patient.

I.3.3.1. Les extractions

Extraire une dent peut s'avérer très invasif en fonction de son ancrage dans l'os et les tissus environnants. L'extraction des dents de sagesse mandibulaires, notamment celle des dents incluses, peut s'avérer très traumatisante pour l'os et l'ATM. En effet, pour dégager ce type de dent, il est souvent nécessaire de réaliser un lambeau d'accès, une alvéolectomie et parfois une séparation des racines de la dent, et d'user d'une force importante pour enlever la dent. Toutes ces interventions peuvent entraîner un traumatisme osseux, des troubles de l'ATM, des douleurs de la

mâchoire pouvant remonter jusqu'à l'oreille (Jeanmonod, 1988 ; Seuret, 2001). Nombreux sont les témoignages de patients qui se plaignent de douleurs importantes à l'oreille après une extraction de dent de sagesse, notamment du fait du non-respect des tissus par le praticien au moment de l'acte; ceci est particulièrement vrai lors des extractions faites par un stomatologue sous anesthésie générale (Hauteville, 2011).

Il convient donc d'effectuer le geste avec précision, en étant le moins invasif possible, en prenant le temps, en évitant la précipitation et en préférant la séparation de racines à l'extraction avec force.

Le deuxième point important dans la procédure d'extraction, est l'étape post-opératoire. En effet, une dent avulsée va laisser derrière elle une alvéole ouverte en contact direct avec l'environnement oral ; il est donc de la responsabilité du praticien d'effectuer des points de suture quand cela est possible, pour refermer la gencive au-dessus de l'alvéole et de donner au patient des recommandations post-opératoires afin d'assurer une bonne cicatrisation (ne pas fumer, ne pas cracher, ne pas faire d'effort physique intense, ne pas manger trop chaud ou trop froid pendant une semaine…).

En quoi cela concerne-t-il l'oreille ? Dans certains cas, principalement si les recommandations précédemment citées ne sont pas respectées, la cicatrisation de l'alvéole ne va pas se faire et cela va entraîner une alvéolite. L'os est alors à nu, ce qui va entraîner de vives douleurs irradiant parfois jusqu'à l'oreille, ainsi que des migraines, une halitose et des difficultés d'ouverture buccale. Ces symptômes durent 10 à 15 jours et ne peuvent être soulagés que par la pose de mèches imbibées d'eugénol (Hauteville, 2011).

I.3.3.2. Les prescriptions

Certains médicaments peuvent entraîner des affections auditives et vestibulaires, ils sont ainsi appelés *ototoxiques.* Les lésions provoquées concernent essentiellement l'oreille interne (cochlée), le nerf auditif et le nerf vestibulaire (cf. chapitre III.1.). L'oreille moyenne et l'oreille externe ne sont pas touchées.

De nombreuses classes de médicaments sont ainsi remises en causes et la toxicité varie en fonction de la classe médicamenteuse. Ainsi l'ototoxicité est avérée pour certains antibiotiques, antipaludéens, diurétiques, anticancéreux (chimiothérapie) et salicylates. En revanche, la toxicité de l'ibuprofène et de certains anti-dépresseurs (IMAO) est potentielle et ce, en usage prolongé et à haute dose (Arcier, 2008 ; Seligmann et coll., 1996).

En dentisterie, nous nous intéresserons aux cas des antibiotiques, des anti-inflammatoires et des anesthésiques loco-régionaux.

❖ Les antibiotiques

Les antibiotiques incriminés dans l'ototoxicité font essentiellement partie de la famille des *aminosides*. Il s'agit de la gentamycine, tobramycine, streptomycine, amikacine, neomycine, sisomycine, nétilmycine, viomycine, dibékacine, spectinomycine, framycétine, paromycine et kanamycine. La néomycine est la substance la plus cochléotoxique alors que la streptomycine est la plus vestibulotoxique, provoquant une déficience auditive dans 4 à 15 % des cas. Tous ces médicaments sont aujourd'hui peu utilisés en thérapie du fait de la découverte d'autres molécules n'ayant pas ces inconvénients mais sont néanmoins nécessaires dans certaines thérapeutiques. La perte auditive qu'ils induisent touche d'abord les fréquences élevées puis s'étendent aux fréquences basses. Elle est potentialisée par l'utilisation d'ambiance sonore au cabinet, il convient donc d'en tenir compte. L'effet ototoxique est similaire qu'ils soient administrés par voie parentérale, entérale, en aérosol ou par application locale.

D'autres antibiotiques peuvent avoir des effets néfastes sur l'oreille, c'est le cas de la vancomycine, le chloramphénicol et des macrolides comme l'erythromycine qui a un potentiel ototoxique dose dépendant (débutant à 4 g/j) surtout lorsqu'elle est prise en voie intraveineuse, mais ses effets restent réversibles en général (Arcier, 2008 ; Seligmann et coll., 1996).

❖ Les anti-inflammatoires

L'effet ototoxique de ces molécules a été mis en évidence du fait de la banalisation de leur utilisation pour traiter les douleurs, les céphalées ou la fièvre. L'effet néfaste est généralement réversible, mais cette sensibilité dépendant des individus, il est donc difficile d'estimer la dose ototoxique. Les médicaments potentiellement délétères pour l'oreille sont l'aspirine (cochléotoxique à partir de 2,7 g/j), le diclofenac, l'indométhacine, le piroxicam, le phenylbutazone, le naproxène, le kétoprofène et l'ibuprofène. Il convient alors de les remplacer, quand cela est possible, par du paracétamol (Arcier, 2008 ; Seligmann et coll., 1996).

❖ Les anesthésiques

Les produits incriminés concernent certains anesthésiques utilisés pour diminuer la sensibilité au niveau d'un tronc nerveux : la lidocaïne, la bupivacaïne, la tétracaïne qui peuvent entraîner des acouphènes ou des vertiges. Il convient donc, dès l'apparition de ces symptômes, de changer de molécule anesthésiante et de préférer, par exemple, l'articaïne (Arcier, 2008 ; Seligmann et coll., 1996).

II. Les ondes : omniprésentes en dentisterie

II.1. Les ondes dans l'instrumentation

Les ondes sont omniprésentes dans la profession dentaire, qu'elles soient mécaniques : ondes sonores et ultrasonores, ou électromagnétiques comme les rayons X.

II.1.1. Principes physiques des ondes

II.1.1.1. Définition

Selon l'Encyclopédie Larousse, une onde est une « *modification de l'état physique d'un milieu matériel ou immatériel, qui se propage à la suite d'une action locale avec une vitesse finie, déterminée par les caractéristiques du milieu traversé »* (LAROUSSE, 2015).
Selon le Dictionnaire illustré des termes de médecine, c'est un « *phénomène vibratoire qui se propage »* (Garnier et coll., 2009).
On distingue plusieurs types d'ondes, elles peuvent être classées selon leurs caractéristiques physiques : ondes mécaniques, électromagnétiques ou encore selon leur propagation : longitudinale et transversale :

- **Onde longitudinale :** une onde est dite longitudinale si elle provoque une perturbation de direction parallèle à la direction de propagation de l'onde. L'onde sonore est une onde longitudinale.
- **Onde transversale :** une onde est dite transversale si elle provoque une perturbation de direction perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

Plusieurs classifications existent mais les ondes sont toutes caractérisées par cinq données physiques communes : la longueur d'onde, la fréquence, l'amplitude, la période et la vitesse (Zananiri, 2002).

❖ La longueur d'onde

Notée **λ** et mesurée en unité de mètre, elle correspond à la distance séparant deux points rigoureusement identiques d'une onde à un instant donné. Elle est différente en fonction du type d'onde (transversale ou longitudinale) :

- **Pour une onde longitudinale :** il s'agit de la distance comprenant à la fois une zone de compression et une zone de décompression (figure 7) (Babu-Jacq, 2010 ; Pire, 2003). C'est le cas du son qui, en tant qu'onde vibratoire, entraîne une variation de la pression du milieu traversé, appelée pression acoustique. On peut comparer cet effet à la propagation d'une perturbation le long d'un ressort. Ainsi, pour le cas de l'air par exemple, il se trouve dans l'ensemble à la pression atmosphérique, mais lorsqu'il est perturbé par un son, il peut se produire une augmentation locale de sa pression (la compression) ou une diminution locale (la raréfaction). L'intensité de cette variation de pression va dépendre de la température et de la masse volumique, ou densité, du milieu traversé par l'onde sonore, qu'il soit solide, liquide ou gazeux (Aurengo et coll., 2013 ; Pire, 2003).

- **Pour une onde transversale :** c'est la plus petite distance séparant deux points dans le même état vibratoire (comme les points A et B sur la figure 7). Il peut ainsi s'agir de la distance séparant les sommets de deux crêtes positives (point le plus haut atteint par l'onde sur le schéma d'une sinusoïde) ou de deux crêtes négatives (point le plus bas atteint par l'onde) (Pire, 2003).

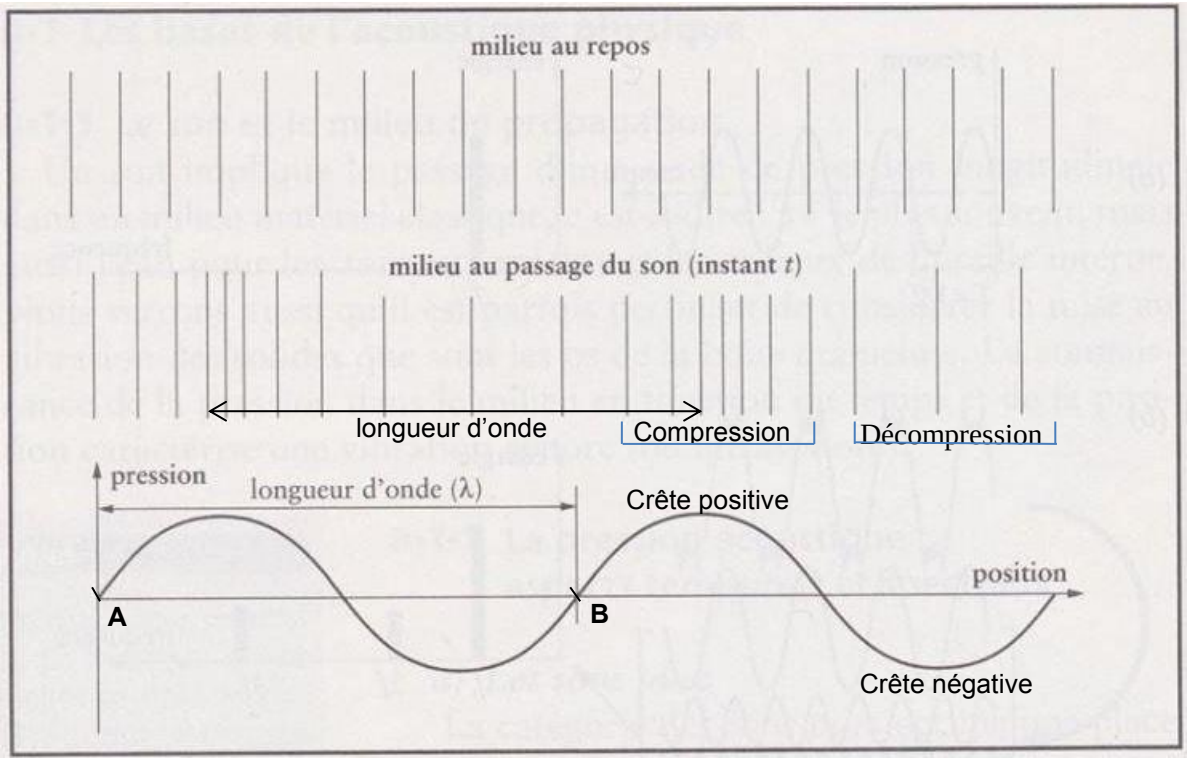


Figure 7 : Longueur d'onde d'une onde longitudinale en haut et d'une onde transversale en bas (d'après : Marchandise et coll., 2006).

❖ La fréquence

Notée ***f***, c'est le nombre de cycles réalisés par une onde par unité de temps. Pour la mesurer, on compte le nombre de cycles qui se sont formés en un point selon une unité de temps, la référence temporelle habituelle étant la seconde ; il a donc été créé une nouvelle unité de mesure correspondant à la quantité de cycle par seconde : le Hertz (Hz). Un cycle se déroulant en une seconde correspond donc à 1 Hz (Babu-Jacq, 2010).

Cette fréquence influence la tonalité dans le cas d'une onde sonore ; plus elle est élevée plus la tonalité du son est aiguë et plus elle est basse, plus la tonalité est grave. De plus, elle est liée à la période (figure 8) car plus cette dernière est grande, moins il y a de cycles par unité de temps et donc plus la fréquence est petite : $f=1/T$ (Gabillard, 1969 ; Pire, 2003).

❖ L'amplitude

Notée ***A***, c'est la hauteur maximale atteinte par une onde par rapport à sa position de repos. Elle est différente selon que l'onde est transversale ou longitudinale. En effet, pour une onde transversale, il s'agit de la hauteur maximale de crête positive ou de crête négative (figure 7) de l'onde par rapport à sa position d'équilibre, alors que pour une onde longitudinale c'est la quantité maximale de cycles d'onde par zone de compression (Pire, 2003 ; Zananiri, 2002).
Pour une onde transversale on distingue différents types d'amplitude (figure 8) (Pire, 2003 ; Zananiri, 2002) :

- **L'amplitude dite crête-à-crête :** c'est la hauteur totale mesurée entre le sommet de la crête positive et le sommet de la crête négative d'un cycle.
- **L'amplitude efficace :** ou valeur efficace, c'est la moyenne quadratique de la valeur du signal d'onde, l'amplitude équivalente en puissance durant tout le signal.
- **L'amplitude moyenne :** elle correspond à la valeur moyenne arithmétique du signal positif.

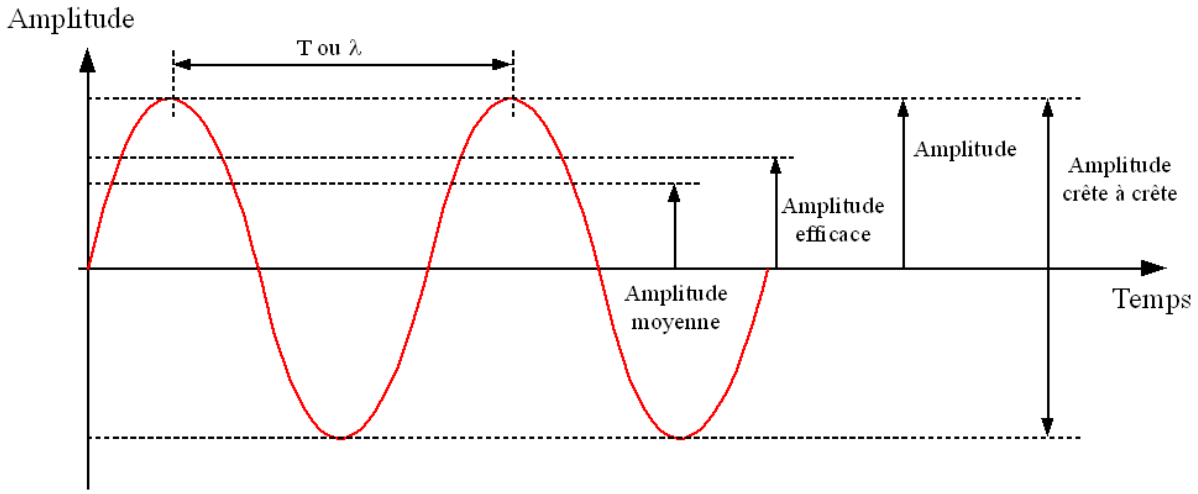


Figure 8 : Amplitude d'une onde transversale (source : Lam et Tramba, 2012).

L'amplitude est fonction de la quantité d'énergie transportée par l'onde, plus celle-ci est grande, plus l'amplitude est élevée. Elle est également mesurée en mètre, ou toute unité de distance.

❖ La période

Notée ***T***, c'est le temps que met une onde pour effectuer un cycle complet (figure 8). Pour la calculer, on mesure le temps nécessaire à l'onde pour parcourir la distance séparant deux points identiques en mètres. On peut la définir comme le temps nécessaire à l'onde pour parcourir une longueur d'onde. Elle est mesurée en unité de temps, la seconde (Pire, 2003 ; Zananiri, 2002).

❖ La vitesse

Une onde se caractérise également par sa vitesse, ou célérité, qui dépend de l'élasticité du milieu traversé (la célérité est proportionnelle à la racine carrée de l'élasticité d'un milieu), elle augmente donc avec la rigidité de celui-ci (Babu-Jacq, 2010).
On distingue deux types de vitesses (Gabillard, 1969 ; Lecerf, 1996) :

- **La vitesse de phase ou célérité :** pour une onde sinusoïdale, il s'agit de la vitesse à laquelle se déplace un point défini de l'onde dans l'espace. Elle dépend du milieu dans lequel l'onde se déplace.

- **La vitesse de groupe :** c'est la vitesse de phase d'un paquet d'ondes, elle correspond donc également à la vitesse de déplacement d'un point défini. Elle est calculée par la moyenne des vitesses de phase des différentes ondes superposées. Elle dépend de la dispersivité du milieu traversé.

II.1.1.2. Types d'ondes rencontrés en dentisterie

Les ondes sont omniprésentes en dentisterie, elles peuvent être évidemment sonores (bruits engendrés par l'instrumentation utilisée) et ultrasonores, par le détartreur, mais on rencontre également d'autres types d'ondes intéressantes : les ondes électromagnétiques.

❖ Onde sonore et ultrasonore

- **<u>Généralités :</u>**

Les ondes sonores et ultrasonores sont longitudinales mais, pour des soucis de clarté, nous utiliserons la représentation schématique d'une onde transversale (sinusoïde) (figure 9). Les ultrasons sont des ondes similaires aux sons à la différence que leur domaine d'intensité se situe au-delà de l'audible.
L'onde sonore est caractérisée par les notions physiques décrites précédemment (cf. chapitre II.1.1.1.) mais aussi par d'autres données, telles que l'intensité et le timbre (cf. chapitre I.1.1.2.) mais aussi la hauteur (Aurengo et coll., 2013).

- <u>L'intensité (figure 9) :</u> elle est définie par l'amplitude de l'onde sonore, plus elle est haute, plus l'intensité du son est élevée. Elle est exprimée en dB (Aurengo et coll., 2013).

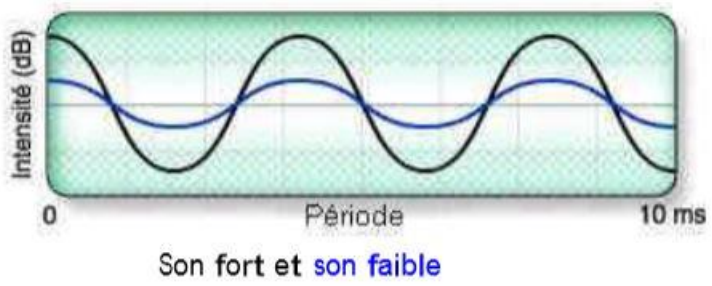


Figure 9 : Différentes intensités d'un son (source : Pire, 2003).

- Le timbre : il est lié à la forme de l'onde mais, dans la réalité, le tracé d'une onde sonore n'est représenté par une sinusoïde parfaite que dans de rares cas (c'est le cas dans les sons purs) (figure 10). En effet, pour la plupart des sons courants, ce schéma est plus complexe. Nous avons tout d'abord la représentation de la sinusoïde « de base », correspondant à la fréquence fondamentale, à laquelle se superposent ensuite plusieurs ondes de fréquence qui sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale, ce sont les **harmoniques** (son musical, figure 10). Ce timbre permet aussi la distinction entre un son et un bruit, car ce dernier est un son pour lequel on ne peut, entre autres, détecter de fréquences caractéristiques (figure 10) (Aurengo et coll., 2013 ; Pire, 2003).

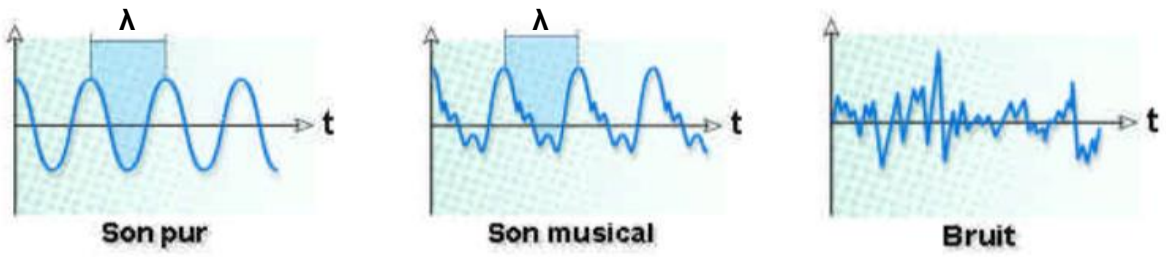


Figure 10 : Aspect fréquentiel de différents sons (source : Pire, 2003).

- La hauteur (figure 11) : elle est liée à la fréquence de l'onde sonore ; plus un son présente de cycles par unité de temps, plus le son est dit « haut » (aigu). À l'inverse, plus le nombre de cycles par unité de temps est petit, plus le son est dit « bas » (grave). La hauteur du son est ainsi inversement proportionnelle à sa période (Aurengo et coll., 2013).

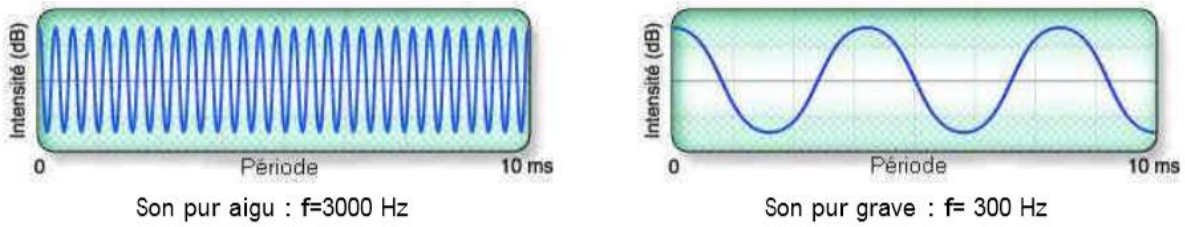


Figure 11 : Aspect fréquentiel de sons de hauteurs différentes (source : Pire, 2003).

- **Propagation du son (Zananiri, 2002) :**

La propagation d'un son est très variable, elle va dépendre de nombreux facteurs. Nous allons les étudier pour comprendre le comportement d'une onde sonore à travers les tissus composant la dent et le parodonte.

- Paramètres influençant la vitesse de propagation du son : la vitesse de propagation ou **célérité** d'une onde sonore dépend du milieu traversé (tableau 7). Elle varie avec deux grandes caractéristiques intrinsèques du milieu : la compressibilité (aptitude d'un corps à reprendre sa forme après le passage de la déformation) et la masse volumique. Plus ces deux paramètres sont faibles, plus la célérité de l'onde sera grande.

  - La compressibilité : c'est un paramètre très élevé pour les gaz, faible pour les liquides et très faible pour les solides. Plus la compressibilité d'un corps est faible, plus la célérité est grande. Elle va être inversement proportionnelle au coefficient d'élasticité du corps.
  - La masse volumique : c'est le rapport entre la masse et le volume d'un corps. Elle va être influencée par la température ainsi que par la pression imposée au corps. Elle diminue lorsque la température augmente et elle augmente en même temps que la pression (notamment pour les gaz).

On note quelques valeurs de base (Leipp, 2010) :

- La vitesse du son dans un air à 20°C est d'environ 330 m/s.
- La vitesse du son dans un liquide à 20°C est d'environ 1200 m/s (dans l'eau 1482 m/s environ) car les molécules des liquides sont plus proches (densité) et transmettent mieux les ondes.
- La vitesse du son dans un milieu solide est, de ce fait, encore plus grande et peut atteindre 5000 m/s.

Tableau 7 : Célérité de l'onde sonore dans différents milieux (d'après : Aurengo et coll., 2013).

Milieu (37 °C)	Célérité C ($m \cdot s^{-1}$)
Air	330
Poumons	330
Eau	1 480
Tissus mous	1 450 à 1 700
Os	3 000 à 4 000
Acier	5 000

Dans tous les cas, le son a besoin d'un milieu pour se propager, le vide ne le permet pas (contrairement aux ondes lumineuses). Il se propage **longitudinalement** dans le milieu gazeux, dans le milieu liquide et dans le milieu solide ; la déformation du milieu va alors être parallèle à la direction de propagation de l'onde. Quel que soit le son émis, la vitesse de propagation de l'onde transmise est la même pour un même milieu (Aurengo et coll., 2013 ; Ernst et coll., 1996 ; Leipp, 2010).

- Comportement d'une onde sonore dans un milieu : le comportement d'une onde sonore dans un milieu est variable et dépend, comme nous l'avons vu, de la compressibilité et de la masse volumique du corps traversé.

  - Influence de la compressibilité : dans un milieu compressible, une onde va se déplacer sous la forme d'une variation de pression, les molécules vont osciller pour permettre la transmission du son. Dans un milieu non compressible (solide) les molécules ont moins de liberté, leur déplacement est limité du fait de la densité du milieu. Dans tous les cas, l'application d'une onde sonore va entraîner une vibration du milieu ; les molécules vont s'agiter et devenir compressibles, il va alors y avoir des phases de compression/décompression des

molécules, permettant ainsi la propagation de la perturbation de proche en proche (figure 12) (Aurengo et coll., 2013 ; Babu-Jacq, 2010).

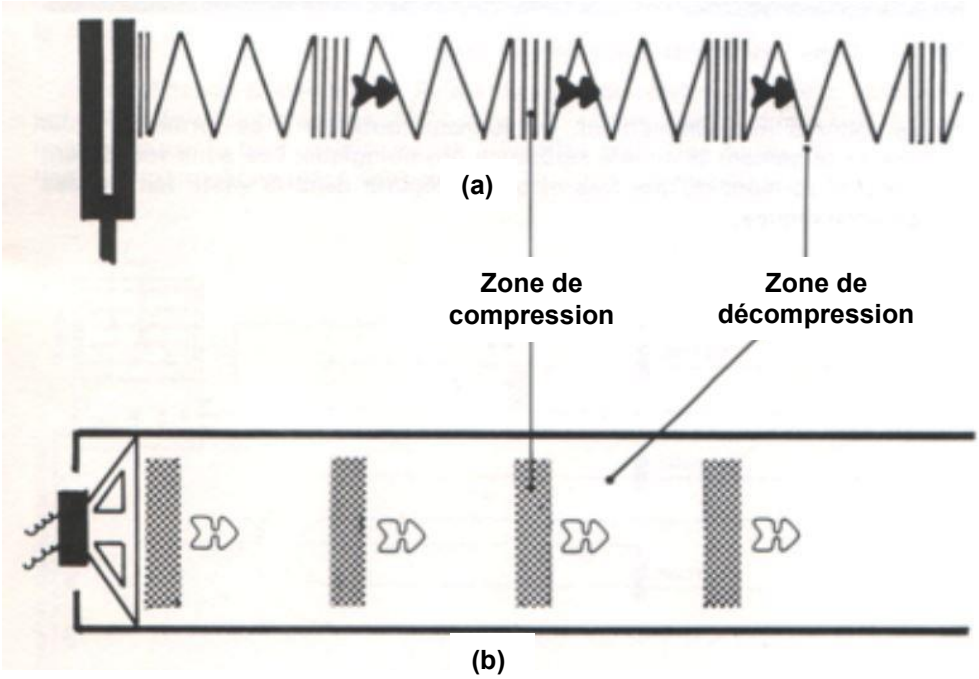


Figure 12 : Propagation d'une onde élastique longitudinale dans un ressort (a) et dans un tuyau (b) (d'après : Babu-Jacq, 2010).

- Influence de la masse volumique : la vitesse de propagation d'un son en dépend, mais pour qu'il y ait propagation et non diffusion de l'énergie transmise, il est nécessaire que les masses volumiques de deux régions consécutives du milieu soient identiques. En effet, si l'onde s'échappe d'une région à masse volumique élevée vers une autre à masse volumique moindre, il va y avoir une perte d'énergie entre les deux régions et l'énergie de sortie sera d'emblée moindre qu'à son arrivée (c'est le cas lors du passage entre les différents tissus dentaires).

  En outre, le corps traversé (comme la dentine par exemple) peut être constitué d'éléments de masses volumiques différentes. Cette composition hétérogène va entraîner des frottements de l'onde sonore, c'est le phénomène d'absorption de l'onde par le

milieu de propagation (Lecerf, 1996). En effet, une onde va transporter de l'énergie qui s'échange continuellement durant la propagation, cet échange peut être irréversible, provoquant une dégradation de l'onde sous forme de chaleur (Aurengo et coll., 2013 ; Leipp, 2010).

Nous nous intéressons, dans cette thèse, à l'étude de la propagation des ondes sonores dans la dent et ses différentes couches tissulaires.
Afin de mieux comprendre le comportement de ce type de perturbation au sein de l'organe dentaire, il est important de noter qu'une onde sonore arrivant à l'extrémité de son milieu de propagation va se réfléchir et qu'une partie de son énergie va repartir vers la source. L'autre partie énergétique va alors être transmise au lieu de propagation adjacent, c'est ici l'exemple de la traversée de l'émail, puis de la dentine, puis de la pulpe et ainsi de suite. Un autre phénomène applicable à ces derniers tissus est la réfraction (modification de l'orientation) qui se produit lors du passage de l'onde entre deux milieux différents du point de vue physique et du point de vue chimique (Lecerf, 1996).

- Calcul de la vitesse de propagation : la vitesse de propagation ou célérité se calcule classiquement par la formule suivante : $\upsilon = d/t$ où υ est la vitesse, **d** est la distance parcourue par l'onde entre deux points et **t** le temps nécessaire pour parcourir cette distance (Zananiri, 2002).
  Mais ce calcul est différent en fonction du milieu traversé par l'onde et va faire intervenir le module d'élasticité -ou module de Young- (rapport constant entre la déformation d'un matériau et la contrainte de traction ou de compression qui cause cette déformation) qui augmente avec la vitesse de propagation, et le coefficient de Poisson qui permet de caractériser la contraction de matière perpendiculairement à la direction de la force appliquée (on s'intéresse ici à la vitesse d'une onde longitudinale) :

- Pour un milieu **solide** : la célérité ***C*** se calcule par la formule $\boldsymbol{C = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}}}$ où ***E*** désigne le module de Young, ***ρ*** la masse volumique et **υ** le coefficient de Poisson du matériau. Cette vitesse décroit si la température augmente (Babu-Jacq, 2010 ; Chaussedent, 2002).

- Pour un milieu **liquide** : la célérité ***C*** se calcule par la formule $\boldsymbol{C = \sqrt{\frac{1}{X\rho}}}$ où ***χ*** est le coefficient de compressibilité adiabatique et ***ρ*** la masse volumique du liquide. La vitesse croit si la température augmente (Babu-Jacq, 2010 ; Gabillard, 1969).

En nous aidant de ces deux formules, nous calculerons, dans le chapitre suivant (cf. chapitre II.2.), la célérité d'une onde sonore successivement dans l'émail, la dentine, la pulpe et les tissus parodontaux (sur laquelle se base le système SoundBite).

❖ Onde radio et hypersensibilité électromagnétique

- **<u>Généralités (Aurengo et coll., 2013) :</u>**

Les ondes électromagnétiques représentent toutes les ondes de nature physique identique mais très différentes par l'énergie qu'elles transportent et par leurs possibilités d'interaction avec un milieu matériel. Ces ondes se caractérisent par deux champs, un champ électrique et un champ magnétique oscillant à la même fréquence. Ces deux champs sont perpendiculaires l'un par rapport à l'autre (figure 13) et se propagent dans un milieu selon une direction orthogonale. Ce sont des ondes transversales, la perturbation du milieu se déplace donc perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde.

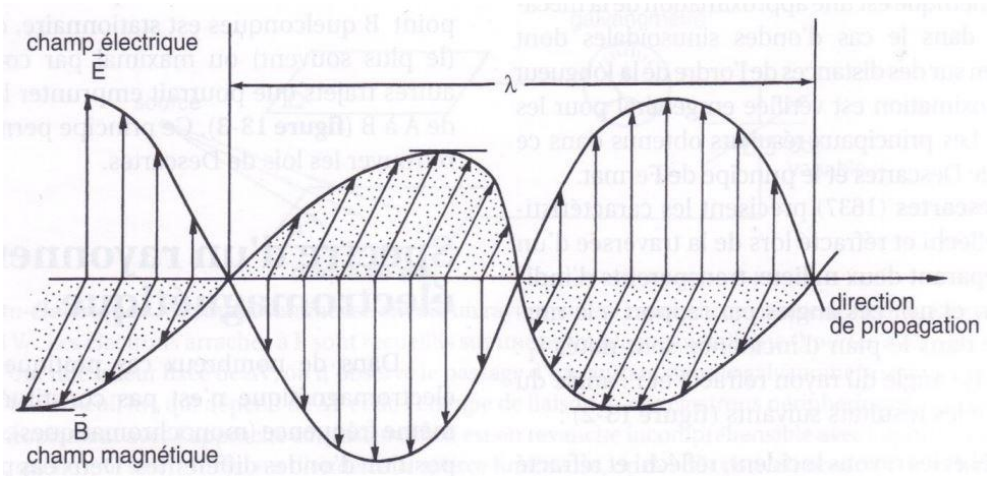


Figure 13 : Comportement d'une onde électromagnétique (source : Aurengo et coll., 2013).

Les ondes électromagnétiques sont utilisées en dentisterie sous la forme des rayons X, produits par un tube radiogène lors de la prise de radiographies.

Mais parmi ces ondes ce sont plutôt les ondes radio qui nous intéressent puisque, comme nous allons le voir, elles peuvent faire le lien entre perception sonore et cavité orale par les restaurations dentaires. Leur fréquence est inférieure à 300 GHz et leur longueur d'onde est supérieure à 1 mm. Comme toutes les ondes électromagnétiques, elles se déplacent dans le vide à la vitesse de la lumière (300 000 km/s). Dans l'atmosphère, elles peuvent subir des atténuations en fonction des précipitations et interagissent avec la partie haute de l'atmosphère : l'ionosphère.

La propagation de ces ondes est variable. En effet, dans un milieu homogène, elles se propagent en ligne droite, mais lors de la rencontre avec un obstacle, il va y avoir une diffraction. De plus, si le milieu change il y aura une réflexion mais aussi une réfraction de l'onde.

Pour schématiser, on peut dire qu'un matériau conducteur (comme l'amalgame) produira une réflexion de l'onde, alors qu'un matériau électrique entraînera une déviation ; cet effet est lié au rapport entre la dimension de l'objet et la longueur d'onde.

- **<u>Les interférences avec l'amalgame :</u>**

Les téléphones portables émettent des ondes radio, plus précisément des micro-ondes (de fréquences comprises entre 1 GHz et 300 GHz). Ces ondes vont avoir un

impact sur la bouche du fait de leur influence sur les restaurations dentaires, mais aussi sur des glandes comme la parotide. En effet, l'utilisation prolongée des téléphones portables va entraîner une augmentation de la sécrétion salivaire et une diminution de la charge protéique, reflétant l'agression de la glande salivaire par les ondes électromagnétiques (Goldwein et Aframian, 2010 ; Mortazavi et coll., 2008 ; Vereeck, 2011).

Les matériaux interférant avec des ondes électromagnétiques sont multiples ; certains les atténuent comme le béton et le verre. En revanche, les amalgames dentaires, constitués de différents métaux, mercure (50 %), argent (30 %), cuivre, étain et parfois zinc, permettent la réflexion des ondes électromagnétiques. Ce phénomène va alors s'accompagner d'une transmission d'énergie à la surface métallique rencontrée (Mortazavi et coll., 2008 ; Vereeck, 2011).

Cette interaction a de lourdes conséquences ; une étude iranienne, menée sur 14 sujets par la *Shiraz University of medical Sciences* (Mortazavi et coll., 2008), montre une augmentation de la quantité de mercure dans les urines des personnes utilisant fréquemment des téléphones portables par rapport à ceux n'en utilisant pas. Les ondes électromagnétiques émises entraînent donc une augmentation de la libération de mercure par les amalgames dentaire (due à la transmission d'énergie). De plus, les métaux constituant les amalgames sont les mêmes que ceux entrant dans la composition des téléphones portables.

Il s'agit donc d'un véritable problème de santé publique, car le mercure est toxique pour l'organisme à certaines doses : il a un effet neurotoxique sur les cellules neuronales et cytotoxique sur les cellules souches du système nerveux central (Vereeck, 2011).

Une autre conséquence particulière de l'interaction des ondes radio avec l'amalgame dentaire est définie par la présence de nombreux témoignages de patients ayant perçu certaines fréquences radio lors d'une importante exposition aux ondes électromagnétiques. En effet, ce phénomène a été observé chez des patients présentant de nombreux amalgames en bouche qui fonctionnaient alors comme une véritable « antenne radio ». Cette dernière notion est d'ailleurs entrée dans la légende populaire et se trouve particulièrement bien illustrée dans la bande dessinée « Les Zappeurs » (figure 14).



Figure 14 : Planche de bande dessinée illustrant le phénomène d'interaction entre les amalgames et les ondes radio (source : Janssens et Ernst, 2001).

Ce phénomène bien réel, illustrant le lien entre perception sonore et cavité orale, est même accentué chez les personnes souffrant d'hypersensibilité électromagnétique (intolérance environnementale que l'on attribue aux champs électromagnétiques) (Mortazavi et coll., 2008).

II.1.2. Techniques instrumentales

Ces techniques se basent essentiellement sur les sons et les ultrasons. Ces derniers ont été découverts en 1883 par le physiologiste anglais Francis Galton. Ce sont des ondes longitudinales, mécaniques et élastiques comprises entre 20 kHz et 10 MHz, leur gamme de fréquence les rend inaudibles à l'oreille humaine (Poblete-Michel et Michel, 2008).
Ils sont largement utilisés en dentisterie dans plusieurs domaines : le détartrage, la chirurgie, la dentisterie restauratrice et le nettoyage des instruments.

II.1.2.1. Le détartrage

Les détartreurs sont des instruments couramment utilisés en dentisterie. Il existe deux types de détartreurs :

- **Le détartreur sonique** (Blanc, 2008 ; Poblete-Michel et Michel, 2008) **:** le détartreur travaille par émission de vibrations sonores, de fréquences audibles de l'ordre de 6 kHz en moyenne (2500-16000 Hz). Les vibrations entraînent des micros déplacements, de 50 à 200 micromètres environ, de l'extrémité de l'insert ultrasonore, ce qui permet d'avoir une force de martèlement efficace pour détacher les amas durs de tartre. L'insert sonique réalise alors un mouvement elliptique quasi-circulaire. Les vibrations étant moins rapides et plus longues, les mouvements engendrés sont plus anarchiques que ceux des détartreurs ultrasonores mais sont en contrepartie plus faciles à refroidir et nécessitent moins d'eau.

- **Le détartreur ultrasonique** (Blanc, 2008 ; Poblete-Michel et Michel, 2008) **:** il se base sur le même principe de fonctionnement que le détartreur sonique mais, ici, la gamme de fréquence des ondes sonores émises se situe dans le domaine inaudible, de 25 à 40 kHz et plus. Il y a trois types de détartreurs pour différents usages : la magnétostriction, la piézo-électricité et la ferro-magnétostriction.

Ces trois types ont un point commun, la création d'un phénomène de **cavitation (figure 15) :**

Il s'agit de la production de bulles d'air oscillantes ainsi que de vapeur dans un liquide auquel on applique une dépression par onde sonore périodique. Cette dépression entraîne ainsi l'implosion croissante des bulles de gaz et une variation dans la densité des fluides touchés, ce qui permet le décollement du tartre. Mais ce phénomène n'apparait qu'à partir de 20 kHz en milieu salivaire. Les détartreurs ultrasonores sont donc plus adaptés que les détartreurs sonores pour cette action (Blanc, 2008).

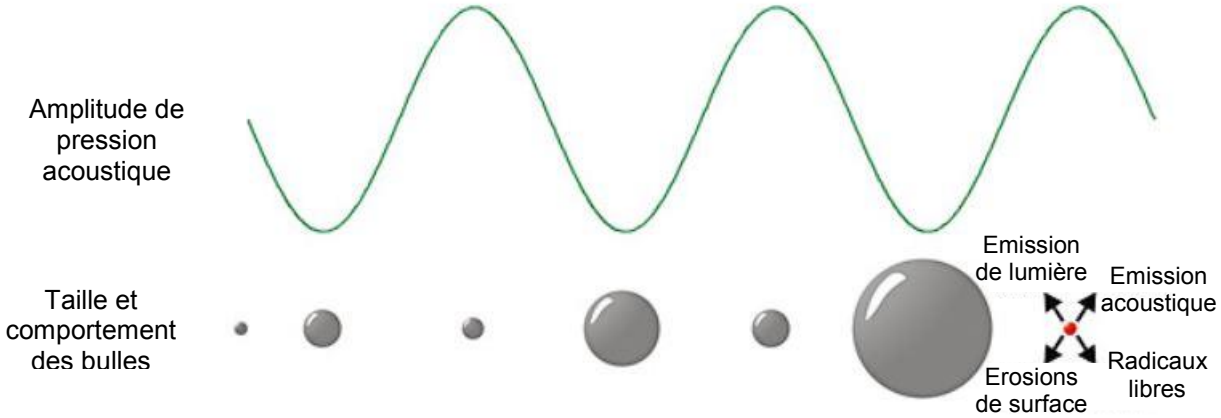


Figure 15 : Explication du phénomène de cavitation (d'après : Hodnett, 2011).

- La magnétostriction : aussi appelée piézomagnétisme, c'est la technique la plus ancienne de détartrage, elle s'appuie sur la caractéristique qu'ont les matériaux ferromagnétiques de se déformer sous l'action des champs magnétiques. Son fonctionnement est présenté ci-dessous (figure 16) : une bobine est excitée électriquement et va transmettre son énergie à des lamelles métalliques solidaires de la pointe de l'insert de détartrage. Celles-ci vont vibrer et se déformer, entraînant l'oscillation de la pointe avec des mouvements elliptiques de 10 à 100 microns. La gamme de fréquence de fonctionnement de ce détartreur se situe entre 18 et 40 kHz. Cette technique est très pourvoyeuse en eau du fait de l'échauffement des dites lamelles (Blanc, 2008 ; Poblete-Michel et Michel, 2008).

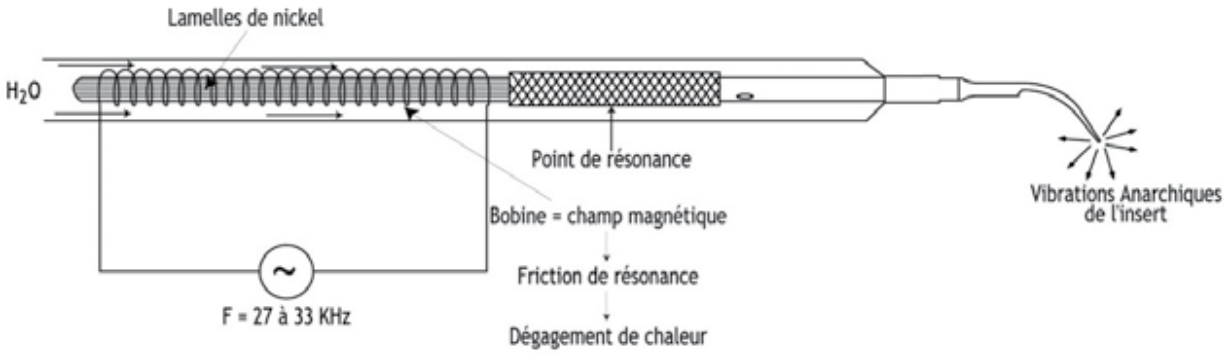


Figure 16 : Fonctionnement du détartreur piézomagnétique (source : Blanc, 2008).

- La ferro-magnétostriction : cette technique est peu utilisée mais son principe de fonctionnement est le même que celui de la magnétostriction. En effet, il s'agit toujours de l'excitation électrique de matériaux métalliques, mais ici, les lamelles de l'insert sont remplacées par un barreau de ferrite. Le ferrite est une céramique ferromagnétique obtenue par moulage d'oxyde de fer, de manganèse, nickel et autres. Ces propriétés lui permettent de ne pas se déformer comme les lamelles métalliques ; le détartrage peut donc être effectué à des fréquences plus élevées (42 kHz). Cette technique est avantageuse car elle permet d'offrir un confort opératoire au patient, en évitant les douleurs et donc l'anesthésie locale dans de nombreux cas (Blanc, 2008 ; Poblete-Michel et Michel, 2008).

- La piézo-électricité : c'est la propriété que possèdent certains matériaux de se polariser électriquement lorsqu'on leur applique une contrainte mécanique et réciproquement de se déformer sous l'action d'un champ électrique. Ce dispositif consiste à empiler des céramiques piézoélectriques serrées par deux plaques de métal de part et d'autre pour les protéger des contraintes (figure 17). Un champ électrique leur est appliqué, entraînant leur excitation. Les céramiques vont alors se contracter de quelques microns et ces contractions vont être amplifiées pour atteindre les 200 à 300 microns à la pointe de l'insert. Les mouvements engendrés sont ici à tendance linéaire. Le champ électrique appliqué doit avoir une certaine puissance, adaptée à

l'ensemble mécanique et aux céramiques, c'est pourquoi la fréquence de fonctionnement de ce type de détartreur se situe entre 20 et 30-50 kHz selon les auteurs. Cette technique est la plus utilisée actuellement. (Blanc, 2008 ; Poblete-Michel et Michel, 2008).

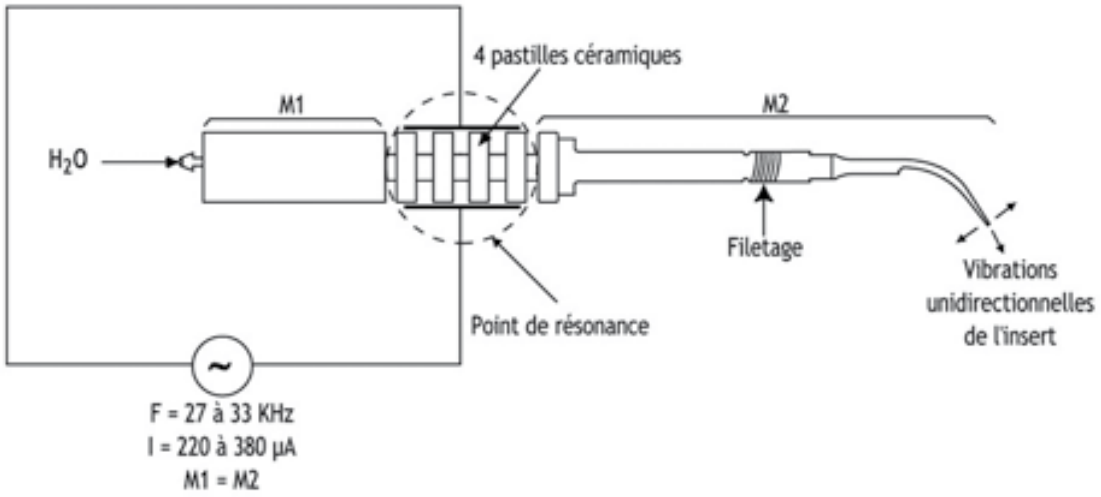


Figure 17 : Fonctionnement du détartreur piézoélectrique (source : Blanc, 2008).

II.1.2.2. La chirurgie

Les ultrasons ont progressivement investi d'autres domaines comme la chirurgie parodontale et implantaire à travers la **piézochirurgie**. Ce terme s'applique aux appareils chirurgicaux utilisant l'effet piézoélectrique des ultrasons.

Pour le chirurgien-dentiste, le maintien et la gestion des tissus parodontaux constituent un défi permanent ; en effet, il convient de garantir la pérennité de l'os et de préserver son intégrité afin de conserver son rôle fonctionnel et esthétique. Diverses techniques opératoires existent pour prévenir et gérer la perte osseuse post-chirurgicale (extractions ou pose d'implants endo-osseux) ou faisant suite à des pathologies (maladies parodontales, infections). La plupart de ces techniques ont recours à la chirurgie osseuse, qu'elle soit soustractive ou additive (Poblete-Michel et Michel, 2008 ; Siervo et coll., 2004).

Des générateurs d'ultrasons ont été mis au point pour servir d'ostéotomes (instruments servant à modeler l'os), car les ondes sonores permettent la section des

tissus durs. Ces appareils se distinguent des détartreurs classiques par la fréquence du générateur (28 à 36 kHz), la dureté et la forme des inserts. Ce système permet un réglage automatique de la fréquence utilisée en fonction de la réponse acoustique de l'insert, une meilleure maîtrise de l'amplitude vibratoire (4 à 200 microns) pour préserver au maximum les tissus mous environnants et une adaptation permanente de la puissance ultrasonore à la dureté tissulaire rencontrée (Poblete-Michel et Michel, 2008).

Une étude effectuée par Siervo et coll. (2004) sur un groupe de patients définis, montre l'efficacité des ultrasons, par rapport à l'instrumentation rotative dans plusieurs opérations comme la résection apicale, la surélévation du plancher sinusien, l'élargissement de la crête alvéolaire, la chirurgie parodontale et les extractions, notamment celles de dents de sagesse incluses en étroite proximité avec le nerf dentaire inférieur. En effet, parmi les 61 patients (hommes et femmes confondus) de l'étude, 65 opérations de piézochirurgie ont été effectuées avec 63 succès et seulement 2 échecs (une par perforation du plancher sinusien lors de la surélévation, l'autre par repousse tissulaire après tentative d'élongation coronaire), les inserts ultrasonores, plus fins et de formes variées, permettant un meilleur accès aux zones inter-proximales et difficiles d'accès (proximité du nerf alvéolaire inférieur) (Siervo et coll., 2004). La piézochirurgie a un intérêt particulier dans la greffe sinusienne puisqu'elle permet de réduire considérablement le risque de perforation du plancher sinusien (3 à 7 % de perforation au lieu de 14 à 56 % pour l'instrumentation rotative) grâce à une meilleure préservation des tissus mous (Younes et coll., 2014).

Ces évolutions techniques rendent la piézochirurgie plus avantageuse que la chirurgie par ostéotomie conventionnelle, car elles apportent une action de coupe tissulaire sélective, une précision du geste ainsi qu'une protection des tissus mous, vasculaires et nerveux. Ceci entraîne un meilleur confort post-opératoire pour le patient ainsi qu'une meilleure gestion osseuse fonctionnelle (préparation de la fenêtre osseuse avec des inserts spécifiques en greffe sinusienne) et esthétique (Younes et coll., 2014).

II.1.2.3. La dentisterie restauratrice

❖ La restauration dentaire à minima

- **<u>Généralités (Decup et Lasfargues, 2012) :</u>**

L'apparition des techniques sonores et ultrasonores a permis une nouvelle approche concernant les restaurations dentaires. En effet, depuis une vingtaine d'années, la dentisterie restauratrice a comme objectif la préservation maximale des tissus dentaires. De nouvelles méthodes ont donc fait leur apparition permettant une éviction carieuse moins délabrante et une préparation cavitaire moins invasive.
Ces techniques novatrices sont classées en deux catégories, les techniques mécaniques et non-mécaniques. Les techniques non-mécaniques concernent les lasers, l'air-abrasion ainsi que les méthodes chimio-mécaniques et enzymatiques.
Ce sont les techniques mécaniques qui nous intéressent ; outre l'excavation manuelle et rotative classique, elles concernent la sono-abrasion et l'ultrasono-abrasion.

On va alors utiliser, non plus des détartreurs mais des pièces à main sonores et ultrasonores :

- <u>Pièces à main sonores :</u> l'instrumentation actuelle s'utilise à une fréquence de l'ordre de 6 kHz et à une amplitude de 200 µm maximum. Son fonctionnement est classique ; la force vibratoire est produite par l'air comprimé de l'unit qui va actionner un rotor pneumatique engendrant les oscillations elliptiques dans les trois dimensions de l'insert sonore. Il est préférable, pour une préparation dentaire précise, que la pièce à main soit dotée d'un spray refroidissant. Cette pièce à main génère une puissance sonore de l'ordre de 70 dB. Ces instruments ne sont pas les plus appropriés pour l'éviction carieuse (tissus mous), puisque moins précises que les pièces à main ultrasonores, mais ils n'ont pas d'effet iatrogène sur le parodonte.

- Pièces à main ultrasonores : cette instrumentation s'utilise à des fréquences allant, évidemment, au-delà de 20 kHz et jusqu'à 40 kHz (fréquence bien moins élevée que les fréquences utilisées pour le nettoyage ultrasonore). Elles fonctionnent en général sur des générateurs piézoélectriques délivrant un courant alternatif conduit à travers des pastilles de céramique dans la pièce à main, comme nous l'avons vu précédemment. Ces instruments sont indiqués pour l'éviction carieuse, mais comme ils sont plus rapides que les instruments sonores, ils seront plus délabrants pour le parodonte.

L'efficacité et la précision de travail de ces instruments sonores et ultrasonores résident également dans l'utilisation d'inserts **diamantés**. Cette surface diamantée permet une abrasion constante des tissus touchés ; elle s'use par micro-clivage, ce qui va entraîner la formation continue de nouvelles arêtes vives sur le diamant fracturé.

L'action délabrante sur les tissus dépend de quatre effets inhérents à l'insert :

- L'effet thermique : cet effet peut être très important compte tenu de la vitesse de vibration et du temps de contact de l'insert contre la paroi dentaire. Afin de ne pas échauffer les tissus sains il convient d'utiliser en même temps, un spray d'eau et de travailler par intermittence.
- L'effet vibratoire : la vibration de l'insert dépend non seulement de la puissance du générateur utilisé mais aussi du type d'insert et de la quantité d'eau utilisée pour refroidir le mouvement.
- L'effet abrasif : il résulte de la rencontre du mouvement vibratoire avec la surface dentaire ; c'est un effet mécanique. Il dépend de la granulométrie du film diamanté à la surface de l'insert, mais aussi de la dureté du tissu : plus le tissu est mou, moins l'abrasion est efficace (les ultrasons sont plus efficaces que les sons sur les tissus mous).
- La cavitation (cf. chapitre II.1.2.1. et figure 15).

- **<u>Influence de l'atteinte carieuse :</u>**

Un large panel d'inserts a été créé pour répondre à toutes les situations cliniques. Le choix de l'insert va donc se faire en fonction de l'atteinte carieuse (tableau 8).

Tableau 8 : Présentation de différents types d'inserts ultrasonores et leurs indications thérapeutiques (d'après : Decup et Lasfargues, 2012).

1 insert entièrement abrasif : forme conique pointue	Prévention (sealant ouverture et préparation des sillons
1 insert entièrement abrasif : forme boule avec collerette	Minicavités occlusales, Accès aux lésions dentinaires
2 inserts MD biface : forme demi-boule ou hémisphérique	Préparations des mini-cavités proximales Finition des bords Abrasion sélective de surface
2 inserts MD biface : forme boxe proximal	Préparation des boites proximales Restaurations directes et inlays-onlays
2 inserts MD biface : forme hémi-ogivale	Franchissement interproximal Préparations des bords proximaux Préparations de facettes
2 inserts MD biface : forme lame lancéolée	Accès et franchissement interproximal Stripping/shapping Recontourage et finition des restaurations
MD = mésial/distal; Biface = face lisse et face diamantée	

- <u>Traitement des lésions débutantes (stades 0 et 1 SISTA) (Decup et Lasfargues, 2012 ; Ortet et coll., 2011) :</u> ici, c'est la technologie sono-abrasive qui sera la plus adaptée, la préparation se limite à un accès amélaire avec possibilité d'élimination de la dentine pathologique sous-jacente mais limitée au tiers dentinaire externe. Il n'y a pas besoin de compléter par un fraisage ; la vitesse des instruments sonores suffit pour éliminer l'affection des tissus dentaires.

- Mini-cavités occlusales : il s'agit surtout de la préparation des puits et sillons occlusaux. Ici, on va utiliser un insert de forme boule et fin afin d'avoir un accès optimal (tableau 8). La sono-abrasion va permettre d'explorer les fossettes marginales, de limiter la fragilisation des crêtes marginales et d'éviter les sur-préparations lors de l'ouverture des sillons occlusaux. Elle permet aussi de préserver l'intégrité des cuspides et d'éviter les micro-craquelures engendrées par une préparation trop délabrante.
- Mini-cavités proximales : ici, la procédure opératoire nécessite l'utilisation d'une fraise diamantée pour réaliser l'accès amélaire et d'un insert adapté (forme hémisphérique pour réaliser la cavité proximale) (tableau 8). La sono-abrasion va permettre de prévenir les lésions proximales iatrogènes de la dent saine adjacente.
- Mini-cavités cervicales : l'enjeu ici est la préservation de l'intégrité des tissus mous avoisinants (gencive…) car ils sont en étroite proximité avec ce type de lésion. On va alors utiliser de préférence un insert de type boule, permettant une élimination sélective de l'émail/dentine pathologique. De plus, ces inserts vont pouvoir atteindre les lésions s'étendant dans l'espace inter-proximal.
- Traitement des altérations amélaires des surfaces lisses : les inserts soniques sont adaptés pour l'élimination des défauts esthétiques que peut présenter l'émail, ceci en conservant les tissus adjacents.

- Traitement des lésions avancées (stades 2, 3 et 4 SISTA) (Decup et Lasfargues, 2012 ; Ortet et coll., 2011) : l'utilisation des sons et ultrasons en dentisterie restauratrice ne se limite pas aux cavités de petite étendue, ils jouent un rôle également dans le traitement de caries plus importantes grâce à leur précision d'éviction tissulaire, ce qui permet d'éviter la dévitalisation dans de nombreux cas.

Ces instruments offrent donc de nombreux avantages comparativement aux instruments rotatifs et manuels (Ortet et coll., 2011) :

- Une sensibilité moindre, rendant un meilleur confort opératoire au patient.
- Une très haute capacité de coupe due à la vitesse de vibration.
- Une grande qualité de finition, les sons et ultrasons permettent une coupe bien plus précise et bien plus fine.
- Une rapidité d'exécution accentuée par une visibilité augmentée et un meilleur contrôle du geste opératoire.
- Un respect toujours plus important des tissus avoisinants (parodonte), même si des différences existent entre les instruments, ainsi qu'un meilleur contrôle du saignement.
- Un risque bien plus faible d'agression du tissu pulpaire.
- Une diminution du risque de dommages aux dents voisines.

En conclusion, ce concept est particulièrement intéressant dans la préparation et la finition cervicale des cavités, afin d'éviter la fragilisation et l'atteinte des dents adjacentes saines par l'utilisation de fraises trop épaisses, mais aussi dans l'élimination ponctuelle de défauts tissulaires et de tissus carieux en étroite proximité avec le tissu pulpaire. La précision est le principal avantage mis en avant pour ce type d'instrumentation.

❖ L'endodontie (Lugand, 2013)

L'endodontie est une science complexe qui nécessite des connaissances, mais aussi une instrumentation fiable, efficace et adaptée à la situation clinique. De ce point de vue, les ultrasons constituent une véritable innovation. Ainsi, l'utilisation d'inserts ultrasonores fins permet une meilleure finition de l'acte endodontique, mais nécessite cependant une grande prudence ainsi qu'une parfaite maîtrise du geste à travers les différentes étapes du traitement :

- **L'élaboration de la cavité d'accès :** les ultrasons permettent de compléter l'instrumentation rotative. Ainsi ils permettent de supprimer des surplombs dentinaires persistants après le passage de la fraise Zékrya ®. Comme les inserts ne présentent pas de rotation de leur partie travaillante, ils permettent un contrôle de l'élimination tissulaire beaucoup plus précis.
- **L'accès aux entrées canalaires :** les inserts ultrasonores permettent de découvrir facilement les entrées canalaires par l'élimination précise des résidus dentinaires ainsi que des calcifications présentes et ce, sans risque de perforation.
- **La mise en forme canalaire :** Les ultrasons sont ici très utiles au travers de l'irrigation passive ultrasonique. Cette dernière consiste à activer une solution d'irrigation intra-canalaire, grâce à un insert ultrasonore, afin de transmettre les vibrations acoustiques aux parois canalaires pour créer un phénomène de cavitation acoustique. L'insert ne travaille donc pas directement sur les parois canalaires. Ce phénomène de cavitation permet une meilleure étanchéité de l'obturation canalaire finale.
- **L'obturation canalaire :** l'utilisation des inserts ultrasonores permet de favoriser l'étanchéité de l'obturation, notamment par une meilleure répartition du ciment de scellement du fait de la vibration présente, mais aussi par ramollissement de la gutta en contact avec l'insert. L'obturation se fait également grâce à des condenseurs ultrasonores qui, par poussée légère dans les canaux, vont permettre le scellement des différents cônes introduits.
- **Le retraitement endodontique :** les inserts ultrasonores sont indiqués dans le retrait de fragments d'instruments cassés dans les racines, inaccessibles à l'instrumentation rotative. Ils permettent également le retraitement endodontique en facilitant la dépose des reconstitutions corono-radiculaires.

❖ Les sons au service de l'esthétique

Nous avons vu que l'utilisation des sons a de nombreux avantages, notamment par la précision de préparation et de finition qu'ils offrent. Ceci est très intéressant du point de vue esthétique, lors de la réalisation de restaurations sur le secteur dentaire antérieur ; une précision maximale de travail étant nécessaire afin de préserver les

tissus mous (gencive…) et d'éviter leur récession ultérieure suite à un traumatisme par exemple. Ces instruments permettent un meilleur sens tactile pour l'obtention d'une limite nette et sans débris tissulaires résiduels.

Ainsi, les sons et ultrasons sont indiqués dans de nombreuses réalisations prothétiques (Ortet et coll., 2011) telles que :

- **Les bridges collés :** la précision de préparation favorise aussi une meilleure capacité de collage.
- **Les inlays-onlays :** les inserts soniques sont utiles ici pour réaliser la divergence symétrique des parois.
- **Les facettes :** la qualité de préparation dentaire, obtenue grâce aux sons et ultrasons, permet d'effectuer une meilleure empreinte et un meilleur collage de la facette.
- **Les couronnes :** l'utilisation des sons et ultrasons lors de la préparation coronaire permet d'augmenter la qualité esthétique de l'adaptation prothétique, surtout dans le cas de la réalisation de couronnes en secteur incisivo-canin. En effet, l'utilisation des instruments soniques ou ultrasoniques lors de la préparation sulculaire d'une dent antérieure permet d'avoir une meilleure précision instrumentale ; cette précision va retentir sur toutes les étapes prothétiques jusqu'à l'adaptation de la couronne en bouche.

II.1.2.4. Le nettoyage instrumental

Les ultrasons en dentisterie sont également utilisés pour le nettoyage des instruments souillés. Cette technique repose aussi sur le phénomène de cavitation (cf. chapitre II.1.2.1. et figure 15). On utilise alors un bac à ultrasons permettant un nettoyage rapide et optimal dans les moindres anfractuosités des instruments médico-chirurgicaux (Comptoir Médical Rochelais, 2010).

❖ Mode de fonctionnement (Comptoir Médical Rochelais, 2010)

Le but est de transformer l'énergie électrique produite par un circuit oscillateur électronique en énergie mécanique ultrasonique. Pour cela, le bac à ultrasons est muni de plusieurs transducteurs ultrasoniques qui vont générer des phases (ondes sonores à très haute fréquence : 20 kHz à 170 kHz) successives de compression-décompression. Les ultrasons ainsi produits vont se propager dans le liquide du bac et donner lieu au phénomène de cavitation précédemment expliqué. Les micro-bulles qui implosent vont dégager de l'énergie qui va frapper la surface des instruments immergés et ainsi décoller toutes les particules adhérentes. Il existe deux méthodes de nettoyage, l'une directe et l'autre indirecte. Dans les deux cas, on trouve deux éléments distincts, la cuve contenant le liquide et le panier en inox immergé contenant les instruments.

- **Méthode directe :** on remplit la cuve avec un mélange d'eau et de détergent pré-désinfectant, on place les instruments à nettoyer dans le panier en inox et on le plonge dans le mélange. Cette méthode permet une utilisation de la quasi-totalité de la longueur de la cuve, mais entraîne un dépôt des souillures détachées au fond de celle-ci. Le mélange doit donc être renouvelé à chaque nettoyage.

- **Méthode indirecte :** on remplit la cuve d'eau et de détergent pré-désinfectant, les instruments ne sont pas placés directement dans le panier en inox, mais dans un ou deux béchers, eux-mêmes remplis de solution pré-désinfectante ; on les place alors dans le panier, lui-même immergé dans la cuve. Cette méthode permet d'éviter les dépôts dans la cuve, car les souillures s'accumulent dans les béchers. En revanche, ces derniers ne peuvent contenir que de petits instruments.

❖ Avantages du nettoyage ultrasonique par rapport à la technique manuelle

Comparé à la technique manuelle, le nettoyage ultrasonique a plusieurs avantages (Comptoir Médical Rochelais, 2010) :

- Il permet un nettoyage rapide et optimal de toutes les surfaces instrumentales, y compris celles difficiles d'accès (fraises diamantées, instruments endodontiques et articulés, prothèses telles que les inlays-onlays, les couronnes et même les dentiers).

- Les ultrasons sont extrêmement efficaces sur toutes les surfaces rigides, qu'elles soient métalliques, céramiques, plastiques ou en verre.

- Cette technique est moins agressive que la technique manuelle ; elle offre ainsi une durée de vie prolongée aux surfaces instrumentales et protège les surfaces coupantes.

- L'effet aérosol (projection de particules dans l'air) de la solution détergente, présent lors du nettoyage manuel, est absent dans cette technique.

II.2. Les tissus dentaires et parodontaux : des conducteurs d'ondes

II.2.1. Les tissus dentaires

La dent est constituée de plusieurs tissus : en périphérie coronaire, on retrouve l'émail, alors qu'en périphérie radiculaire, on retrouve le cément. En dessous de ces deux tissus se trouve la dentine, puis la pulpe, partie vitale de la dent, en profondeur.

II.2.1.1. L'émail

❖ Présentation

L'émail est le tissu le plus minéralisé du corps humain, il est constitué d'une phase minérale de cristaux d'hydroxyapatite, représentant 91 % de son volume, d'une phase organique riche en protéines, représentant 2 % de son volume et d'une phase aqueuse représentant 11 % de son volume.
L'émail est le tissu le plus dur de l'organisme, mais cette caractéristique lui confère aussi une grande fragilité. Une fois l'émail détruit, il ne se régénère pas.
Il possède plusieurs propriétés mécaniques qui vont conditionner la transmission des ondes en son sein, dont un module d'élasticité de 84,1 GPa (Lasfargues et Colon, 2010).

❖ La propagation des ondes longitudinales dans l'émail

La constitution de l'émail lui permet de résister à des forces importantes et de réaliser sa fonction de coupe et de broyeur dans la fonction masticatoire. En effet, les forces exercées sur la face occlusale vont jusqu'à 5, voire 8 kg, ce qui est énorme compte tenu du fait que ces forces s'exercent répétitivement et se cumulent tout au long de la vie. Mais la structure cristalline régulière ainsi que l'empilement perpendiculaire des prismes d'émail, par rapport à la surface occlusale, permet une distribution homogène des contraintes à la dentine sous-jacente (Lasfargues et Colon, 2010).
Pour parler de la transmission des ondes dans l'émail nous ne pouvons donc pas dissocier ce dernier de la dentine car, en tant que support, elle confère à l'émail ses propriétés de résistance (en torsion, compression et cisaillement), ainsi que son module d'élasticité. En clinique, même sur des dents saines et soignées, on peut voir la marque de la transmission des ondes mécaniques masticatoires au niveau de l'émail. Ces traces sont les témoins de la vie de la dent (Jeanmonod, 1988).

Il s'agit notamment de (Lasfargues et Colon, 2010) :

- Facettes d'abrasion : ce sont les témoins d'une surcharge fonctionnelle en un point.
- Fissures : particulièrement présentes sur les dents du secteur incisivo-canin, elles peuvent être la marque d'un traumatisme.
- Ilots dentinaires : ils sont la marque d'une disparition du volume amélaire suite à une usure (syndrome érosif, bruxisme…).
- Modification de la couleur dentaire : dans certaines mesures, elle peut être la marque d'un traumatisme par transmission trop importante et rapide d'ondes mécaniques (choc sur une incisive centrale par exemple).

- **Mécanisme (Aurengo et coll., 2013 ; Leipp, 2010) :**

Lorsque l'on met les dents en occlusion, il y a naissance d'une onde de pression aux différents points d'occlusion (ceci est différent de la contrainte mécanique qui constitue l'accumulation traumatisante d'ondes mécaniques en un point). Cette onde s'apparente à une onde sismique ; il y aura alors formation d'ondes progressives longitudinales, mais aussi d'ondes transversales qui vont se propager au sein des cristaux d'hydroxyapatite constituant l'émail.

Pour l'onde longitudinale (exemple d'une onde sonore), l'excitation mécanique ainsi produite va entraîner une succession de compression/décompression (figure 7) des molécules d'hydroxyapatite (constituant la phase minérale de l'émail). Comme l'émail dispose d'un module d'élasticité de 84,1 GPa, les molécules comprimées vont, du fait de leur inertie, se détendre tandis qu'une autre zone de compression se forme plus loin. Ce module d'élasticité correspond au module de Young, plus il est élevé, plus le matériau est dit rigide. Le point suivant atteint par l'onde va reproduire la source de la perturbation avec une amplitude moindre et un retard dû à la durée nécessaire pour parcourir la distance séparant le point de la source.

Nous savons que l'émail est composé dans sa quasi-totalité de cristaux d'hydroxyapatite. Pour donner une idée de la vitesse de propagation d'une onde

sonore dans l'émail, nous allons donc calculer la célérité théorique de l'onde dans l'hydroxyapatite à partir des données trouvées dans la littérature.

Comme il s'agit d'un milieu solide, la formule utilisée est :

$\boldsymbol{C = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}}}$ (vue au chapitre II.1.1.2.) où ***C*** est la célérité d'une onde longitudinale.

Données :

- Masse volumique théorique $\boldsymbol{\rho}$ de l'hydroxyapatite = **3,15 g/cm^3** (ISO, 2012) = **3150 kg/m^3**
- Module d'Young ***E*** (Module d'élasticité) de l'émail = **84,1 GPa** = **84100000000 Pa** (Lasfargues et Colon, 2010)
- Le module de Poisson $\boldsymbol{\upsilon}$ est environ celui de l'os = **0,3** (Bessone et Fernandez, 2010)

On a donc :

$$C = \sqrt{\frac{841.10^8 \text{ x } 0{,}7}{3150 \text{ x } 1{,}3 \text{ x } 0{,}4}}$$

$$C = \boldsymbol{C \cong 5995\ \mathrm{m.s^{-1}}}$$

Donc, théoriquement, une onde longitudinale (sonore) se propage à une vitesse de 5995 m/s dans l'émail. Mais ce chiffre reste hypothétique car, aucune étude n'existant à ce sujet, il a été calculé à partir des données trouvées dans la littérature. De plus, ce résultat varie en fonction de la zone d'application de la contrainte ; en effet, l'épaisseur, la densité de l'émail ainsi que la quantité et l'orientation des cristaux d'hydroxyapatite varie d'une zone à l'autre de la couronne dentaire (plus on se dirige vers la jonction émail-cément, moins les prismes sont perpendiculaires, par rapport à la surface dentaire). De plus, ce résultat ne tient pas compte des autres

composants de l'émail, la phase organique et l'eau qui vont entraîner un ralentissement de l'onde du fait de leur plus faible densité.
Ce type d'onde va ainsi entraîner un déplacement d'énergie sans transport de matière.

II.2.1.2. La dentine

❖ Présentation

La dentine est recouverte par l'émail au niveau coronaire et par le cément au niveau radiculaire. Elle est constituée d'une phase minérale de cristaux d'hydroxyapatite pour 70 % de son volume, d'une phase organique de collagène pour 20 % de son volume et d'une phase aqueuse pour 10 % de son volume.
Elle possède plusieurs propriétés mécaniques qui vont conditionner la transmission des ondes en son sein, dont un module d'élasticité de 18,3 GPa.
Ces propriétés lui confèrent un rôle important puisqu'elles permettent d'amortir les forces transmises à l'émail sus-jacent tout en le préservant de la fracture. Cette capacité à absorber les contraintes est due à la forte présence de collagène, donnant à la dentine un important caractère élastique (Lasfargues et Colon, 2010).

❖ La propagation des ondes longitudinales dans la dentine

La structure particulière de la dentine lui confère sa propriété de réponse aux divers stimuli externes, thermiques, physicochimiques et tactiles. Une onde mécanique va alors entraîner une réponse biologique de la dentine ainsi que de possibles répercussions pulpaires. En effet, comme on ne peut dissocier l'émail de la dentine, il en est de même pour le complexe dentino-pulpaire : toute réaction dentinaire va avoir un effet sur cette couche sous-jacente. Comme nous l'avons dit précédemment, la constitution de la dentine va permettre une dissipation des contraintes transmises à l'émail (Lasfargues et Colon, 2010).

- **<u>Mécanisme (Aurengo et coll., 2013 ; Leipp, 2010) :</u>**

Le mécanisme de propagation d'une onde mécanique (sonore ou de contact), dans la dentine, est le même que celui d'une onde se propageant dans l'émail.

Lorsque l'on met les dents en occlusion, il y a naissance d'une onde de pression. Mais la dentine a une composition différente de l'émail. En effet, la matrice organique et l'eau occupent un volume plus important (30 %) alors que la phase minérale, constituée par les cristaux d'hydroxyapatite, est plus faible (70 %). Une onde progressive longitudinale va donc se propager au sein des cristaux d'hydroxyapatite à la même vitesse que dans l'émail, mais la dentine étant un tissu moins dense, cette onde va être freinée (diffractée) du fait de sa composition plus hétérogène et de la présence plus importante de collagène. L'onde va ainsi subir une perte d'énergie lorsqu'elle passe de l'hydroxyapatite rigide au collagène moins rigide car ces deux milieux ne permettent pas une transmission d'énergie équivalente.
L'excitation mécanique produite va entraîner une succession de compression/décompression (figure 7) des molécules dentinaires, mais comme la dentine dispose d'un module d'élasticité de 18,3 GPa (moins élevé que celui de l'émail, 84,1 GPa), les molécules vont se compresser et se détendre plus lentement car le tissu est moins rigide.

Nous savons que la dentine est composée en grande partie de cristaux d'hydroxyapatite. La vitesse de propagation d'une onde dans ces cristaux est donc la même que dans l'émail, soit environ **5995 m.s^{-1}**. Cependant, la proportion de matière organique étant suffisamment importante pour ne pas être négligée, nous allons calculer la célérité théorique de l'onde sonore grâce aux données trouvées dans la littérature, en prenant en compte toutes les phases de la dentine.

Comme il s'agit d'un milieu solide, la formule utilisée est : $\boldsymbol{C = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}}}$

où ***C*** est la célérité d'une onde longitudinale.

Données :

La masse volumique du collagène étant très variable en fonction du type, de sa localisation et de l'assemblage des acides aminés, nous allons utiliser celle de la gélatine, obtenue par hydrolyse partielle du collagène (sans perte de masse).

- Masse volumique théorique $\boldsymbol{\rho_1}$ de l'hydroxyapatite = **3,15 g/cm^3** (ISO, 2012) = **3150 kg/m^3**
- Masse volumique $\boldsymbol{\rho_2}$ de la gélatine = **0,68 g/cm^3** (CAELO, 2015) = **680 kg/m^3**
- Masse volumique $\boldsymbol{\rho_3}$ de l'eau = **1 g/cm^3 = 1000 kg/m^3**
- Module d'Young ***E*** (Module d'élasticité) de la dentine = **18,3 GPa** = **18300000000 Pa** (Lasfargues et Colon, 2010)
- Le module de Poisson $\boldsymbol{\upsilon}$ de la dentine = **0,31** (Bessone et Fernandez, 2010)

On a alors :

Masse volumique totale de la dentine $\boldsymbol{\rho}$ = ($\boldsymbol{\rho_1}$ x 70%) + ($\boldsymbol{\rho_2}$ x 20%) + ($\boldsymbol{\rho_3}$ x 10%)

$\boldsymbol{\rho} \cong (3150 \text{ x } 0{,}7) + (680 \text{ x } 0{,}2) + (1000 \text{ x } 0{,}1)$

$\boldsymbol{\rho} \cong 2205 + 136 + 100$

$\boldsymbol{\rho} \cong$ **2441 kg/m^3**

Donc :

$$C = \sqrt{\frac{183.10^8 \text{ x } 0{,}69}{2441 \text{ x } 1{,}31 \text{ x } 0{,}38}}$$

$$C = \boldsymbol{C} \cong \mathbf{3224\ m.s^{-1}}$$

Donc, théoriquement, une onde longitudinale (sonore) se propage à une vitesse de 3224 m/s dans la dentine. Mais ce chiffre reste hypothétique car, aucune étude n'existant à ce sujet, il a été calculé à partir des données trouvées dans la littérature. De plus, ce résultat varie, tout comme pour l'émail, selon la direction, selon la position de la source, selon les variations dans la composition dentinaire, selon son âge (sclérose) et sa densité. En outre, ce résultat est un ordre de grandeur car la masse volumique du collagène va, en toute logique, être plus élevée que celle de la gélatine (obtenue par séparation des acides aminés composant le collagène). Par contre, on constate la différence de vitesse par rapport à l'émail, l'onde étant freinée par la plus grande présence de collagène et d'eau.

II.2.1.3. La pulpe

❖ Présentation

La pulpe est la partie la plus interne de la dent, elle est constituée d'une phase organique (cellules et collagène) pour 25 % de son volume, d'une phase aqueuse pour 75 % de son volume ainsi que de structures nerveuses et vasculaires (Lasfargues et Colon, 2010).

❖ La propagation des ondes longitudinales dans la pulpe

Une des principales fonctions de la pulpe est la formation de la dentine par les odontoblastes ; on ne peut donc la dissocier du tissu dentinaire qui contient des structures nerveuses. Il est relié au système nerveux central, ce qui lui permet de transmettre des informations sensorielles et de réagir aux agressions par des réactions inflammatoires. Une onde mécanique trop importante va alors entraîner une réponse biologique de la pulpe par l'intermédiaire de la dentine. C'est ainsi qu'une agression dentinaire va entraîner la formation d'odontoblastes secondaires dans la pulpe, eux-mêmes à l'origine de la dentine réparatrice. La pulpe est un tissu

enfermé dans une structure de tissus durs, elle ne peut donc pas s'étendre lors d'un phénomène inflammatoire et va être comprimée, entraînant des douleurs.
Il existe des marques de la réponse pulpaire aux traumatismes mécaniques, il s'agit des pulpolithes. Ce sont des calcifications intra–pulpaires formées à partir des cellules nécrosées, elles sont présentes dans les pulpes saines et constituent donc uniquement la marque réactionnelle d'une pulpe agressée mécaniquement. L'adaptation du complexe pulpo-dentinaire aux agressions (carieuse, charge occlusale…) tout au long de la vie va entraîner une modification de l'anatomie dentaire interne (Lasfargues et Colon, 2010).

- **<u>Mécanisme (Aurengo et coll., 2013 ; Leipp, 2010) :</u>**

Le mécanisme de propagation d'une onde mécanique (sonore ou de contact) dans la pulpe est similaire, mais pas identique, à celui se produisant dans l'émail et la dentine.
Le principe de naissance d'une onde de pression par l'occlusion dentaire est identique, mais la pulpe a une composition différente de l'émail et de la dentine. En effet, bien qu'étant considérée comme un tissu, la pulpe est composée en majorité d'eau (75 %). Une onde progressive longitudinale va donc se propager cette fois au sein d'un liquide en proportion non négligeable. Cette propagation va donc se faire avec une vitesse bien moindre par rapport à celle s'effectuant dans les tissus durs sus-jacents, du fait de l'absence de structures dures et minéralisées. L'excitation mécanique produite va entraîner une succession de phases de compression/décompression (figure 7) des cellules pulpaires.

Le calcul de la vitesse de propagation d'une onde va se faire par la formule :

$\boldsymbol{C = \sqrt{\frac{1}{X\rho}}}$ (vue dans le chapitre II.1.1.2.), où $\boldsymbol{C}$ est la célérité d'une onde longitudinale dans un liquide.
Nous allons effectuer ce calcul en considérant la partie aqueuse de la pulpe à partir des données trouvées dans la littérature.

Données :

- Masse volumique de l'eau ρ **= 1000 kg/m^3**
- Coefficient de compressibilité adiabatique de l'eau χ **= 5.10^{-10} Pa^{-1}** (Carbonneau et coll., 2005).

Donc :

$$Ceau = \sqrt{\frac{1}{1000 \text{ x } 5.10^{-10}}}$$

$\boldsymbol{Ceau \cong 1414}$ **m.s^{-1}**

Donc, théoriquement, une onde longitudinale se propage à une vitesse d'environ **1414 m/s** dans la pulpe. Mais ce chiffre reste hypothétique car, aucune étude n'existant à ce sujet, il a été calculé à partir des données trouvées dans la littérature. Cependant, ce résultat est cohérent puisque l'on trouve dans la littérature que la célérité dans l'eau (à 20°C) d'une onde comme le son, est approximativement de 1480 m/s. Mais cette vitesse représente un ordre de grandeur permettant d'effectuer la comparaison avec l'émail et la dentine ; la célérité réelle d'une onde traversant la pulpe serait plus élevée, mais toujours en dessous de celle de la dentine, puisqu'elle aussi est composée de 25 % de matière organique dont 34 % de collagène. Cette vitesse va également varier en fonction de l'intensité de l'onde appliquée, de la pression engendrée sur le liquide et de la température de ce dernier.

II.2.2. Le parodonte

Le parodonte, qui constitue l'ensemble des tissus de soutien de la dent : cément, gencive, ligament alvéolo-dentaire et os, va assurer le bon ancrage des dents dans l'os maxillaire et mandibulaire pour permettre la fonction masticatoire. Cet ancrage permettant la transmission des ondes de la dent jusqu'à l'os, il est important que les

différents tissus parodontaux soient associés et forment un ensemble en étroit contact avec la dent (Gaspard, 1985 ; Lasfargues et Colon, 2010).

II.2.2.1. Le cément

❖ Présentation

Le cément est le tissu recouvrant la dentine au niveau radiculaire et remplaçant l'émail coronaire. C'est un tissu minéralisé, mais contrairement à l'émail, cette minéralisation n'est pas homogène. Il est constitué d'une phase minérale de cristaux d'hydroxyapatite pour 72 % de son volume ainsi que d'une phase organique pour 28 % de son volume (Lasfargues et Colon, 2010).

❖ La propagation des ondes longitudinales dans le cément

Le cément a donc deux fonctions principales : il permet l'ancrage de la dent dans l'alvéole et il a un rôle d'adaptation et de soutien mécanique des dents lors des contraintes occlusales. Ce tissu est donc très important dans la transmission des ondes mécaniques hors de la dent car il fait le lien avec l'os sous-jacent.
La preuve que les ondes mécaniques cheminent dans la dent et traversent le cément se retrouve dans les récessions parodontales (Gaspard, 1985 ; Lasfargues et Colon, 2010).
Récession parodontale : c'est une rétraction, un recul du parodonte (gencive, LAD, cément, os) dû à un défaut d'hygiène, à des maladies spécifiques, à l'hérédité, à l'âge avancé, à des traitements ou à des traumatismes occlusaux entraînant une mise à nu de la dentine radiculaire. Le sommet de la crête gingivale se trouve ainsi située apicalement par rapport à la jonction amélo-cémentaire (Zannini, 2011).
Dans cette pathologie, le cément va disparaître en même temps que l'os alvéolaire et le ligament alvéolo-dentaire. C'est le signe d'un excès d'énergie mécanique transmise à des tissus vivants, entraînant leur déséquilibre et parfois leur destruction.

- **<u>Mécanisme (Aurengo et coll., 2013 ; Leipp, 2010) :</u>**

Le mécanisme de la propagation d'une onde mécanique dans le cément est le même que dans les autres tissus calcifiés ; il va se produire une succession de compression/décompression (figure 7) des cellules cémentaires.
Le cément est un milieu solide, nous allons donc utiliser la même formule que pour l'émail et la dentine (on utilise toujours la masse volumique de la gélatine pour représenter celle du collagène) pour calculer la célérité d'une onde sonore en son sein : $\boldsymbol{C = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}}}$ où ***C*** est la célérité d'une onde longitudinale.

<u>Données :</u>

- Masse volumique théorique $\boldsymbol{\rho_1}$ de l'hydroxyapatite = **3,15 g/cm^3** (ISO, 2012) = **3150 kg/m^3**
- Masse volumique $\boldsymbol{\rho_2}$ de la gélatine = **0,68 g/cm^3** (CAELO, 2015) = **680 kg/m^3**
- Masse volumique $\boldsymbol{\rho_3}$ de l'eau = **1 g/cm ^{3} = 1000 kg/m^3**
- Module d'Young ***E*** (Module d'élasticité) du cément = **2,7 GPa** = **2700000000 Pa** (Bessone et Fernandez, 2010)
- Le module de Poisson $\boldsymbol{\upsilon}$ du cément = **0,30** (Bessone et Fernandez, 2010)

<u>On a alors :</u>

Comme pour la dentine : masse volumique totale du cément $\boldsymbol{\rho}$ = ($\boldsymbol{\rho_1}$ x 72%) + ($\boldsymbol{\rho_2}$ x 20%) + ($\boldsymbol{\rho_3}$ x 8%)
$\boldsymbol{\rho}$ = (3150 x 0,72) + (680 x 0,2) + (1000 x 0,08)
$\boldsymbol{\rho}$ = 2268 + 136 + 80
$\boldsymbol{\rho}$ = 2484 kg/m^3

La masse volumique du cément étant quasiment identique (cf. chapitre II.2.1.2.) à celle de la dentine (ce qui est confirmé par leur minéralisation similaire). L'onde sonore va donc traverser la dentine et se communiquer au cément sans véritable perte d'énergie.

Donc :

$$C = \sqrt{\frac{27.10^8 \text{ x } 0{,}70}{2484 \text{ x } 1{,}30 \text{ x } 0{,}40}}$$

$$\boldsymbol{C \cong 1210\ \mathrm{m.s^{-1}}}$$

Donc, en théorie, une onde sonore va se propager à une vitesse de 1210 m/s dans le cément. Mais ce chiffre reste hypothétique car, aucune étude n'existant à ce sujet, il a été calculé à partir des données trouvées dans la littérature. Ce chiffre est cohérent car, même si le cément et la dentine ont un taux de minéralisation équivalent, la vitesse est moins grande dans le cément du fait de son module d'élasticité plus faible (ce tissu est donc moins rigide que la dentine). Plus le module d'élasticité est élevé, plus le matériau considéré est rigide et plus une onde appliquée va s'y propager rapidement.

II.2.2.2. La gencive

La gencive est un tissu visible en bouche, permettant d'isoler la racine dentaire et les autres structures parodontales de l'environnement oral et salivaire. Elle se décompose en deux tissus, un épithélium stratifié plus ou moins kératinisé en fonction de l'importance des forces vibratoires et un tissu conjonctif, composé d'un important réseau fibreux de collagène, permettant l'ancrage de la dent ainsi qu'une bonne répartition des contraintes s'exerçant sur les dents. Les ondes mécaniques sont ainsi réparties de façon homogène dans la dent et le parodonte (Gaspard, 1985 ; Lasfargues et Colon, 2010 ; Wolf et coll., 2005).

L'étude de la propagation des ondes dans la gencive n'est pas le sujet de cette thèse car le système SoundBite va s'appuyer sur la transmission des ondes sonores dans la dent directement, puis aux tissus parodontaux profonds (LAD, cément et os). Comme tous les tissus parodontaux, la gencive va reculer (dénudation radiculaire) si l'onde de pression appliquée est trop intense, mais cela ne rentre pas dans le cadre du sujet étudié.

II.2.2.3. Le ligament alvéolodentaire (LAD)

❖ Présentation

Il s'agit d'un tissu conjonctif non calcifié entourant les racines de la dent. Aussi appelé desmodonte, il fait le lien entre le cément et l'os alvéolaire. Il est essentiellement composé de fibres de collagènes organisées en faisceaux et orientées, d'où sa fréquente dénomination de « ligament parodontal ». Ce tissu à un important rôle de protection de la dent car il crée un espace conjonctif élastique entre les racines dentaires et l'os, ce qui va permettre d'amortir les forces occlusales et favoriser ainsi la dispersion des ondes mécaniques. Il a une épaisseur de 150 à 350 micromètres (Gaspard, 1985 ; Lasfargues et Colon, 2010 ; Wolf et coll., 2005).

❖ La propagation des ondes longitudinales dans le LAD

Le LAD a donc une structure particulière, lui conférant un rôle essentiel dans la distribution homogène des ondes mécaniques, notamment transmises par les forces masticatoires. Il permet d'ancrer la dent dans les tissus parodontaux et d'amortir les forces occlusales par ses propriétés d'élasticité. Le ligament va ainsi distribuer les forces générées par la mastication, vers l'os. Pour se faire, le LAD contient des mécanorécepteurs interagissant avec les variations de pressions occlusales et envoyant des signaux à l'os. Ils sont utiles pour le remodelage osseux lors des contacts dento-dentaires et lors des changements de position de la dent (orthodontie) (Gaspard, 1985 ; Lasfargues et Colon, 2010).

- **<u>Mécanisme (Aurengo et coll., 2013 ; Leipp, 2010) :</u>**

La transmission d'une onde mécanique dans le LAD est similaire à celle survenant dans tous les autres tissus étudiés. Mais comme il n'est pas possible de lui attribuer une masse volumique définie, du fait de sa composition cellulaire importante, nous

allons étudier la vitesse de propagation d'une onde longitudinale (sonore) dans le collagène (environ 60 % du volume du LAD).

Données :

- Masse volumique ***ρ*** de la gélatine = **0,68 g/cm^3** (CAELO, 2015) = **680 kg/m^3**
- Module d'Young ***E*** (Module d'élasticité) du collagène = **2,5 GPa** = **2500000000 Pa** (Barkaoui, 2012)
- Le module de Poisson ***υ*** du collagène = **0,28** (Barkaoui, 2012)

On a donc :

$$C = \sqrt{\frac{25.10^8 \text{ x } 0{,}72}{680 \text{ x } 1{,}28 \text{ x } 0{,}44}}$$

$$\boldsymbol{C \cong 2168 \text{ m/s}}$$

Une onde sonore se propage donc théoriquement à **2168 m.s^{-1}** dans le collagène. Mais ce chiffre reste hypothétique car, aucune étude n'existant à ce sujet, il a été calculé à partir des données trouvées dans la littérature. De plus, compte tenu du fait que le collagène ne représente pas la totalité du LAD (se rajoutent, des cellules et des structures vasculaires et nerveuses), la vitesse réelle serait moins importante et avoisinerait celle du cément.

II.2.2.4. L'os alvéolaire

❖ Présentation

Il s'agit de l'os qui entoure les dents, il est contenu dans l'os maxillaire. L'os en général est composé de matières organiques pour 1/3 de son poids, en majorité cellulaire, fibreuse et protéique (osséine), noyées dans une substance

fondamentale amorphe contenant des sels minéraux inorganiques organisés en cristaux d'hydroxyapatite. Cette substance amorphe, composée majoritairement de collagène, contient également de grandes quantités de magnésium et de fer. L'os est aussi constitué d'eau pour un quart de son poids (Fawcett et Jensh, 2002 ; Hauteville, 2012 ; Lasfargues et Colon, 2010).

❖ La propagation des ondes longitudinales dans l'os

L'os est une structure dure et résistante adaptée à un rôle de protection et de soutien du squelette.

Il existe des signes mettant en lumière la transmission des ondes mécaniques à l'os. En effet, lors de traumatismes occlusaux, il n'est pas rare d'observer une atteinte osseuse sous la forme d'une lésion dite « **infra-osseuse** » (angulaire). La particularité de cette lésion est qu'elle a une position apicale par rapport à la crête osseuse (Guerroumi, 2010). Ceci démontre qu'une onde mécanique va se propager à travers la dent, le cément et le LAD pour ensuite se transmettre à l'os. Ce dernier a une grande capacité de régénération, mais une telle lésion montre que des forces mécaniques trop importantes et non réparties de façon homogène peuvent entraîner son remodelage et sa destruction (Keller et coll., 2013).

- **<u>Mécanisme (Aurengo et coll., 2013 ; Leipp, 2010) :</u>**

Le mécanisme de transmission d'une onde mécanique longitudinale dans l'os est similaire à celui dans tous les autres tissus durs étudiés précédemment puisqu'il s'agit d'un milieu solide (alternance de compression/décompression moléculaire…).

Comme il s'agit d'un milieu solide, la formule utilisée est : $\boldsymbol{C = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}}}$

où ***C*** est la célérité d'une onde longitudinale.

Données :

- Masse volumique $\boldsymbol{\rho}$ de l'os = **1,8 g/cm^3** (Aurengo et coll., 2013) = **1800 kg/m^3**
- Module d'Young ***E*** (Module d'élasticité) de l'os = **9,8 GPa** = **9800000000 Pa** (Baïotto, 2004)
- Le module de Poisson $\boldsymbol{\upsilon}$ de l'os = **0,30** (Bessone et Fernandez, 2010)

On a donc :

$$C = \sqrt{\frac{98.10^8 \text{ x } 0{,}7}{1800 \text{ x } 1{,}30 \text{ x } 0{,}40}}$$

$$\boldsymbol{C \cong 2707 \text{ m/s}}$$

La célérité d'une onde mécanique dans l'os est donc théoriquement de **2707 m/s**, mais ce chiffre est variable en fonction des caractéristiques de l'os et de la zone de prélèvement de l'échantillon testé. Les données de la littérature nous montrent qu'une onde sonore se propage à une vitesse d'environ 3000 m/s dans l'os, pouvant aller jusqu'à 3500 m/s, le résultat trouvé pour les données indiquées est donc cohérent. L'os étant un « matériau vivant » et hétérogène, le module d'élasticité (Young) varie en fonction du type d'os (fémur, patella, maxillaire…) et de sa nature (os compact, os spongieux). Ainsi, le module de Young de l'os spongieux varie de 75 MPa à 2988 MPa et celui de l'os cortical de 8 à 28 GPa (Hu et coll., 2008).

Une onde sonore va ainsi pouvoir se propager à travers les différentes structures osseuses en contact : l'os maxillaire qui s'articule avec l'os sphénoïde, lui-même en rapport avec l'os temporal contenant la cochlée de l'oreille interne dans sa partie tympanique (cf. chapitre III.1.1.3.).

II.2.3. Conclusion

La vitesse d'une onde sonore va décroître de la superficie à la profondeur de la dent alors qu'elle va croître dans le parodonte (tableau 9).

Tableau 9 : Récapitulatif des différentes célérités d'une onde longitudinale appliquée sur différents tissus.

TISSU	CELERITE DE L'ONDE
Email	5995 m/s
Dentine	3224 m/s
Pulpe	1414 m/s
Cément	1210 m/s
LAD	2168 m/s
Os alvéolaire	2707 m/s

En conclusion, on peut dire que la vitesse de propagation d'une onde sonore dans la dent va être globalement constante dans l'émail avant d'être en partie réfléchie et diffractée lors de son passage dans la dentine (une partie de l'onde va pouvoir se transmettre directement au cément) où l'onde va être freinée du fait de la constitution plus hétérogène de la dentine par rapport à celle de l'émail, avant d'être à nouveau en partie réfléchie et diffractée lors de son passage vers le cément. Là, l'onde va subir un freinage moins important du fait de la similarité de composition tissulaire avec la dentine. Le principal frein devrait s'effectuer théoriquement dans le LAD, du fait de sa grande hétérogénéité et de sa masse volumique variable, mais sa faible épaisseur devrait permettre de limiter cet effet. Enfin, l'onde va se propager à l'os maxillaire où elle va pouvoir conserver une vitesse stable dans une composition relativement homogène, ceci afin de se transmettre aux structures osseuses de l'oreille interne.

III. L'innovation du système SoundBite

Le système SoundBite constitue une innovation pour le traitement de certains types de surdités. Développé aux Etats-Unis, il offre une chance d'éviter les solutions thérapeutiques invasives, en s'appuyant sur les dents et la conduction osseuse (cf. chapitre II.2.), pour permettre aux patients sourds et malentendants d'entendre à nouveau.

III.1. Le système auditif

Pour étudier ce système innovant, il est essentiel de connaître l'anatomie de l'oreille et des structures en rapport, mais aussi les mécanismes de l'audition ainsi que les types de surdités découlant de leur altération.

III.1.1. Anatomopathologie de l'oreille

L'oreille, organe du sens de l'ouïe, est constituée de trois structures anatomiques, l'oreille externe, moyenne et interne (ces trois éléments donnant différents types de surdité en fonction de leur atteinte, comme nous l'avons vu dans la partie I.2.1.1. de cette thèse) (figure 18).

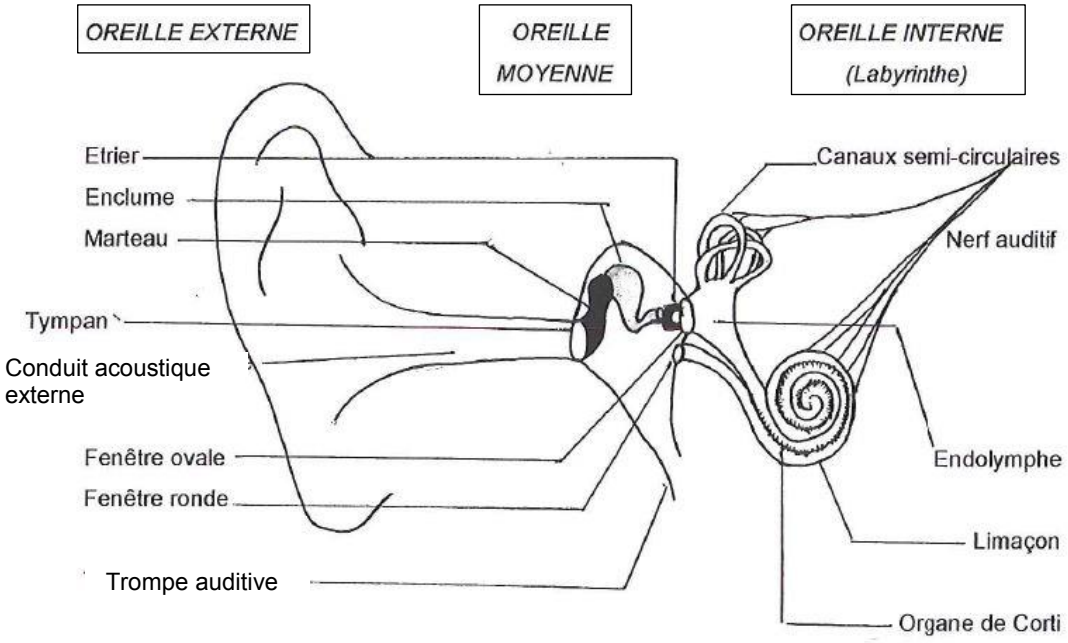


Figure 18 : Coupe frontale de l'oreille droite (d'après : Martin, 2003).

III.1.1.1. L'oreille externe

- **Anatomie :**

Cette structure de l'organe auriculaire est la partie la plus visible de l'oreille (figure 18), elle est constituée d'une partie externe et d'une partie interne.

- Partie externe : il s'agit de l'**auricule ou pavillon de l'oreille**, c'est une charpente cartilagineuse recouverte de peau, en rapport avec la face externe de l'os temporal, autour du méat acoustique externe médialement et entre la mastoïde en arrière et l'ATM en avant. La face latérale du pavillon est constituée d'une excavation : **la conque**. Celle-ci est bordée en avant par le tragus, en bas par le lobe, en arrière par l'anthélix et en haut par l'hélix. L'auricule est directement fixée à l'os temporal par plusieurs structures ligamentaires et musculaires (Trost et Trouilloud, 2011).

- Partie interne : il s'agit du **conduit acoustique externe** ; c'est un conduit ostéo-cartilagineux faisant le lien entre le méat acoustique externe et la membrane du tympan. Schématiquement, c'est un tube qui diminue en diamètre en se rapprochant de l'oreille moyenne. Son tiers latéral est fibro-cartilagineux alors que ses deux tiers médiaux sont osseux. Ce conduit est tapissé par de l'épiderme, faisant le lien avec l'auricule (Trost et trouilloud, 2011).

- **Rôles :**

L'oreille externe assure à la fois un rôle de protection et de résonance ; en effet un son transmis dans l'air est capté par l'auricule qui va l'amplifier en concentrant les ondes sonores. Mais le pavillon, par sa constitution cartilagineuse élastique, va permettre également la localisation spatiale des sons et la protection de structures internes, en amortissant la brutalité du passage de l'air libre à l'air confiné du tube auditif (Mudry, 2015).
Les ondes sonores vont alors traverser le méat acoustique avant d'atteindre la membrane tympanique ; ici le rôle de protection de l'oreille externe est défini par la production de cérumen, sécrétion permettant d'emprisonner les corps étrangers et bactériens avant qu'ils entrent en contact avec l'oreille moyenne (Mudry, 2015).

- **Pathologie :**

L'atteinte de l'oreille externe va donner naissance à une surdité de transmission (cf. chapitre I.2.1.1.2.). Elle est due le plus souvent à un bouchon de cérumen, à la présence d'un corps étranger ou encore à l'œdème inflammatoire d'une otite externe qui va obstruer le méat acoustique externe. Une surdité à ce niveau va donc se traduire par une diminution de l'amplification sonore et un défaut dans la localisation des sons (Theoleyre et Chirat, 2013). Il est donc impératif de traiter ce type de surdité pour garantir un meilleur niveau de vie au patient.

III.1.1.2. L'oreille moyenne

- **Anatomie :**

Cette structure auriculaire est constituée d'une chambre contenant de l'air, appelée le **cavum tympanique** ou caisse du tympan. Celle-ci est creusée dans la partie tympanique de l'os temporal et séparée du méat acoustique par la membrane tympanique fibro-élastique. La caisse du tympan contient les osselets, constituant la chaîne ossiculaire, au nombre de trois, ils se nomment respectivement, d'externe à interne : le **marteau**, l'**enclume** et l'**étrier** (figure 18) (faisant référence à leur forme particulière) (Trost et Trouilloud, 2011).
L'oreille moyenne va communiquer avec le pharynx par la trompe auditive (cf. chapitre I.3.1. et figure 2) et avec l'oreille interne par les deux fenêtres, ronde et ovale (figure 18) (Trost et Trouilloud, 2011).

- **Rôle (Mudry, 2015) :**

L'oreille moyenne va permettre de transmettre les vibrations sonores à l'oreille interne. Concrètement, le son provenant du méat acoustique arrive au niveau du tympan et le fait vibrer ; ce phénomène permet de transformer le son en énergie mécanique. La vibration aérienne se transforme en vibration solidienne au niveau du cavum tympanique (caisse du tympan) par l'intermédiaire de la chaîne ossiculaire, ceci pour éviter la perte d'énergie lors de la transmission de la vibration au milieu liquidien de l'oreille interne. Les osselets permettent aussi l'amplification de la vibration sonore, la vibration du tympan entraîne successivement celle du bloc marteau-enclume puis celle de l'étrier qui va alors la transmettre à l'oreille interne par la fenêtre ovale. Grâce à cette amplification, l'énergie sonore va être transmise dans sa quasi-totalité à l'oreille interne.
Il est à noter qu'à partir de 80 dB, niveau sonore limite (cf. chapitre I.1.1.2.), le réflexe **stapédien** (qui est un réflexe de protection acoustique neutralisant partiellement le système d'amplification de l'oreille moyenne) se produit pour protéger l'oreille interne en évitant la transmission de pressions trop élevées. Ce réflexe s'effectue par

l'intermédiaire des muscles rattachant le marteau et l'étrier au cavum tympanique mais il n'est efficace ni pour les pressions intenses, ni pour les fréquences élevées et il a une durée limitée ; ce qui l'implique directement dans l'apparition ou non de la surdité.
Outre ce réflexe, la pression est régulée naturellement et constamment par la trompe auditive. En reliant l'oreille moyenne aux fosses nasales, elle permet de préserver une pression équivalente de part et d'autre du tympan (figures 2 et 18).

- **Pathologie :**

L'atteinte de l'oreille moyenne va donner naissance à une surdité de transmission (cf. chapitre I.2.1.1.). Elle peut être due à une otite moyenne aiguë (inflammation d'origine infectieuse), une perforation tympanique post-traumatique (gifle ou traumatisme cranio-facial) ou encore une fracture de la partie tympanique de l'os temporal. Des otites moyennes chroniques ou séro-muqueuses, pouvant être causées par des tumeurs du pharynx et une obstruction de la trompe auditive, peuvent également être impliquées. Dans toutes les affections précédemment citées, le tympan est anormal ; il peut apparaitre enflammé, épaissi, mat ou encore suintant. Mais il existe des surdités de transmission avec tympan normal, c'est le cas de l'otospongiose : il s'agit du blocage des sons au niveau de la chaîne ossiculaire par ankylose de l'étrier (Theoleyre et Chirat, 2013).
Une surdité à ce niveau va donc se traduire par une diminution de l'amplification et de la transmission sonore à la cochlée et donc une possible abolition du réflexe stapédien (Theoleyre et Chirat, 2013). Il est donc impératif de traiter ce type de surdité qui peut être irréversible.

III.1.1.3. L'oreille interne

- **Anatomie :**

L'oreille interne est composée d'organes (intervenant dans l'ouïe et dans l'équilibre) contenus dans des cavités creuses de la partie tympanique de l'os temporal. On va distinguer deux labyrinthes : le labyrinthe membraneux responsable de l'équilibration et le labyrinthe osseux responsable de l'audition, c'est cette dernière notion qui va nous intéresser.
Le labyrinthe osseux est constitué de plusieurs vestibules, canaux semi-circulaires et contient la **cochlée** (figure 18). La cochlée est un tube creux d'environ 35 mm de long, enroulé sur lui-même autour d'un cône osseux et contenant un liquide appelé endolymphe. Ce tube va former deux tours et demi depuis sa base ; il sépare deux rampes, une vestibulaire et une tympanique remplies d'un liquide : la périlymphe. Le canal cochléaire est formé de trois parois, dont la principale (basilaire) contient l'organe de Corti (figure 18) qui est l'organe sensoriel auditif. Cet organe est tapissé de cellules ciliées (14000), à partir desquelles prennent naissance les fibres du nerf auditif (Trost et Trouilloud, 2011).

- **Rôle (Mudry, 2015 ; Puel, 1995) :**

L'oreille interne, et plus précisément la cochlée, va transformer les ondes sonores en signaux électriques pouvant être transmis, par la suite, au cerveau.
Concrètement, suite au mouvement de piston de l'étrier, la vibration sonore va se transmettre au milieu liquidien de la rampe vestibulaire, symbolisé par la périlymphe. En appuyant sur la fenêtre ovale, l'étrier va mettre en mouvement ce liquide qui va produire des vagues de compression (l'effet de soupape étant permis par la fenêtre ronde (figure 18) à l'autre extrémité de la rampe) entraînant la mise en mouvement de l'endolymphe dans le canal cochléaire. Ce mouvement est produit par la pression effectuée sur la paroi supérieure du canal (membrane de Reissner), il va stimuler les cellules ciliées de l'organe de Corti qui va lui aussi se mettre en mouvement. Les cellules ciliées ont toutes un rôle défini :

- Les cellules ciliées externes (CCE) : servent d'amplificateur de la vibration sonore transmise à la cochlée. Ces cellules permettent la transmission au cerveau des informations sonores inférieures à 50 dB.
- Les cellules ciliées internes (CCI) **:** servent d'analyseurs de fréquence de la vibration sonore transmise à la cochlée. Ces cellules permettent la transmission au cerveau des informations sonores supérieures à 50 dB.

Chaque type de fréquence va donc stimuler une partie spécifique de l'organe cochléaire : les fréquences hautes vont être captées par la base, alors que les fréquences basses vont être captées par le sommet de la cochlée.
La stimulation de la cochlée va provoquer des mouvements des stéréocils entraînant des réactions biochimiques par dépolarisation ionique, au sein des cellules ciliées. Il va alors se produire une réaction électro-physiologique au sein des fibres du nerf auditif en contact avec ces cellules.

- **Pathologie :**

L'atteinte de l'oreille interne va donner naissance à une surdité de perception (cf. chapitre I.2.1.1.). Elle peut être due à un trouble vasculaire (maladie ischémique…), une atteinte virale (virus ourlien, vu au chapitre I.3.2.3.), une fracture de la partie tympanique de l'os temporal, le vieillissement cognitif, une tumeur du nerf auditif (neurinome) ou encore des substances ototoxiques. Cette surdité touche donc l'oreille interne et les voies auditives du système nerveux central (Theoleyre et Chirat, 2013).
Une surdité à ce niveau va donc se traduire par une diminution globale de la perception acoustique, le plus souvent de façon irréversible (Theoleyre et Chirat, 2013). De plus, son arrivée brutale va se manifester par une gêne importante, car elle est le plus souvent unilatérale (maladie de Ménière, oreillons, chirurgie tumorale), ce qui entraîne une importante difficulté à localiser les sons. Il est donc impératif de traiter ce type de surdité pour le confort et l'intégration sociale du patient Nous allons voir que des innovations technologiques existent pour pallier cette affection (cf. chapitre III.2.).

III.1.2. La transmission des informations auditives au cerveau

III.1.2.1. La sortie cochléaire

Les cellules ciliées de la cochlée vont transmettre les informations auditives au nerf auditif à l'aide de plusieurs médiateurs comme le GABA (acide gamma-aminobutyrique), le glutamate et l'acétylcholine. Ces informations vont alors cheminer à travers le nerf auditif et plusieurs relais pour enfin atteindre le tronc cérébral où elles seront traitées et interprétées. Il existe ainsi deux voies auditives nerveuses dont la primaire (rapide) est la plus empruntée. La voie non-primaire, plus longue, permet de « faire le tri » entre les différentes informations sonores et de se focaliser sur un son en particulier. L'étude de ces voies n'est pas le sujet de cette thèse (Pickles, 2015 ; Puel, 1995 ; Pujol et Gil-Loyzaga, 2013 ; Trost et Trouilloud, 2011).

III.1.2.2. Le nerf vestibulo-cochléaire

C'est le nerf auditif (VIII), formé par la rencontre du nerf cochléaire et du nerf vestibulaire (figure 18) (Pickles, 2015 ; Pujol et Gil-Loyzaga, 2013 ; Trost et Trouilloud, 2011) :

- Le nerf cochléaire : il est formé par les axones efférents du ganglion spiral dans le modiolus (cône osseux central de la cochlée).
- Le nerf vestibulaire : il reçoit les fibres en provenance des récepteurs labyrinthiques de la cochlée.

Le nerf vestibulo-cochléaire, situé en arrière du nerf facial, va naître au niveau du méat acoustique interne, puis traverser l'angle ponto-cérébelleux avant de rejoindre le sillon ponto-médullaire dans la fosse latérale de la moelle allongée. Son trajet va se terminer par attache au noyau cochléaire et au noyau vestibulaire du tronc

cérébral (TC). Ce nerf va ainsi permettre la transmission de l'information nerveuse auditive de la cochlée vers le tronc cérébral.
La lésion de ce nerf (tumeur, intervention chirurgicale…) va pouvoir entraîner une surdité rétrocochléaire très incapacitante et très difficile à traiter (cf. chapitre I.2.1.1.) (Pickles, 2015 ; Pujol et Gil-Loyzaga, 2013 ; Trost et Trouilloud, 2011).

III.2. Le système SoundBite

III.2.1. Introduction

La surdité unilatérale ou SSD (*Single Sided Deafness*) est un type de surdité ne touchant qu'une oreille sur deux et pouvant aller jusqu'à la perte totale de la fonction auditive. Elle touche les patients de différentes manières et elle constitue un véritable obstacle à leur intégration sociale. En effet, ces patients se sentent généralement exclus et gênés par leur incapacité à suivre une conversation en groupe et dans un environnement bruyant. Ces situations difficiles entraînent souvent une nécessité d'orienter l'oreille saine vers la source sonore. Ce type de surdité peut être débilitant, s'accompagner d'acouphènes mais aussi être très dangereux lors de la traversée d'un passage piéton ou à vélo, par exemple. Ce défaut de localisation sonore s'explique notamment par l'effet **d'ombre de la tête** (*head shadow*), cette dernière s'opposant au passage de l'onde sonore. Cependant, cet effet dépend de la fréquence du son incident : il touche les fréquences supérieures à 1,5 kHz, c'est-à-dire les sons aigus plus que les graves (Pujol et Gil-Loyzaga, 2013). Il s'agit donc d'un vrai problème de santé publique qui nécessite des méthodes particulières de traitement.
Une méthode thérapeutique efficace consiste à utiliser la conduction osseuse afin de transmettre les sons depuis l'extérieur vers la cochlée de l'oreille saine et de pouvoir entendre, grâce à elle, du côté sourd (permettant de pallier l'effet d'ombre de la tête). Elle est utilisée depuis longtemps par les implants (**BAHA®** (*Bone Anchored Hearing Aid*), SOPHONO®…), ainsi que par d'autres technologies. Cependant, l'innovation

qui nous intéresse ici utilise, non seulement l'os, mais aussi la dent comme conducteur sonore (Miller, 2010).

C'est la société ***Sonitus Medical*** établie à San Mateo, aux Etats-Unis, qui est à l'origine de la création en 2006 du système **SoundBite**. Nous allons l'étudier et démontrer, en décrivant son fonctionnement et son histoire, qu'il s'agit bien d'une nouvelle technologie fiable mettant à l'honneur la profession de chirurgien-dentiste et les collaborations qui s'établissent entre trois professionnels : le médecin ORL, le chirurgien-dentiste et l'audioprothésiste. Cependant, cette méthode thérapeutique innovante a du mal à se faire une place au milieu de technologies plus anciennes.

III.2.2. Histoire

III.2.2.1. Beethoven, un précurseur du système SoundBite

L'utilisation des dents et de la conduction osseuse pour entendre n'est pas nouvelle puisqu'elle aida, il y a trois siècles, un compositeur Viennois bien connu : Ludwig van Beethoven.

En effet, ce dernier fut atteint de surdité progressive durant la deuxième moitié de sa vie ; commençant par l'oreille gauche à 26 ans, elle devint bilatérale et profonde à l'âge de 52 ans. Il s'agit d'une surdité acquise (otospongiose) et ce sont les fréquences aiguës et non les graves qui furent atteintes en premier. D'après les rapports d'autopsie, la surdité était mixte, puis complètement neuro-sensorielle (perception). Il n'y avait pas d'atteinte vestibulaire et Beethoven souffrait de phonophobie et d'acouphènes avant que la surdité ne devienne totale.

Avant que sa surdité ne soit profonde, Beethoven utilisait fréquemment une réglette en bois, une extrémité tenue entre ses dents et l'autre appuyée sur la caisse de résonance de son piano afin « d'entendre » les vibrations sonores produites. Il était alors atteint d'une surdité de perception légère ou moyenne, l'oreille interne n'étant pas encore totalement altérée.

Sans le savoir, Beethoven venait de mettre en œuvre l'ancêtre du système SoundBite. Il utilisait la propriété de conduction sonore du bois, afin de « guider » les vibrations émises par ses instruments, en dehors de la caisse de résonance, à travers la réglette en bois, puis au niveau des dents, pour ainsi être transmises, par conduction osseuse, à la cochlée de l'oreille interne.
Cette méthode démontre l'efficacité des dents et de l'os comme conducteurs sonores, car nous leur devons une grande partie des chefs-d'œuvre réalisés par Beethoven durant les vingt-cinq années de sa maladie (Cudennec et coll., 1983).

III.2.2.2. Petite histoire de la conduction sonore osseuse

Il existe deux types de conduction sonore : par voie aérienne et par voie osseuse. En 1923, Hugo Gernsback a été la première personne à décrire formellement un dispositif utilisant la conduction osseuse pour transmettre le son (Osophone). Ce dispositif consistait à utiliser un micro pour transmettre les vibrations phoniques aux dents et aux os du crâne.

❖ Applications dans le domaine médical

- **Utilisation par le médecin ORL (Theoleyre et Chirat, 2013) :**

La conduction osseuse est utilisée depuis toujours dans le domaine ORL pour l'exploration fonctionnelle otologique. Il en existe deux types : l'acoumétrie et l'audiométrie.

- Acoumétrie : elle consiste à explorer l'audition en utilisant un diapason. Elle permet de différencier une surdité de perception d'une surdité de transmission à travers deux évaluations : le test de WEBER et l'épreuve de RINNE.

- *TEST DE WEBER* : on applique le diapason sur le front du patient et on le fait vibrer à différentes fréquences. Si le patient entend le diapason des deux oreilles, le test est dit indifférent ; s'il est entendu uniquement du coté sourd, c'est une surdité de transmission et s'il est entendu uniquement du coté sain, c'est une surdité de perception.
- *EPREUVE DE RINNE* : elle utilise d'abord la conduction osseuse, puis la conduction aérienne pour comparer leur durée respective de perception sonore. Le diapason va d'abord être appliqué sur la mastoïde, puis, lorsque le patient n'entend plus le son, il est positionné en regard du méat acoustique. Si le patient entend à nouveau le son, c'est une surdité de perception (Rinne positif), mais s'il ne l'entend plus, c'est une surdité de transmission (Rinne négatif).

- Audiométrie : elle est essentiellement représentée par l'audiométrie tonale linéaire qui consiste à rechercher les seuils auditifs de chaque oreille en utilisant les deux conductions, aérienne et osseuse. Cette dernière va évaluer les performances de l'oreille interne par utilisation d'un vibreur apposé contre la mastoïde et relié à l'audiomètre. Les résultats sont alors présentés sous la forme d'un audiogramme.

- **Utilisation chirurgicale (Taghavi, 2012 ; Sylvester et coll., 2013) :**

La conduction vibratoire osseuse est principalement mise en évidence par l'implantation du système **BAHA®** sorti pour la première fois en 1998 (le système a été repris depuis par OTICON sous le nom de l'appareil PONTO®).
Cette solution, qui consiste à placer un implant en titane de 3 mm de long dans l'os du côté de l'oreille déficiente, est indiquée pour traiter les surdités de transmission, les surdités mixtes, mais aussi la surdité totale unilatérale. En effet, les différentes structures osseuses crâniennes étant soudées ou en contact, la pose d'un implant dans l'os du côté de l'oreille sourde va permettre la transmission des vibrations sonores jusqu'à la cochlée de l'oreille saine. Le patient va alors entendre grâce à

cette oreille. Les informations sonores sont captées par un petit boîtier électronique (processeur) fixé sur la vis implantaire et muni d'un microphone ; c'est lui qui va transmettre les sons à la vis qui va alors vibrer.
Cette méthode a pourtant un inconvénient majeur ; la vis étant transcutanée, elle est en contact avec le milieu extérieur et de nombreux cas d'infections cutanées post-opératoires ont été rapportés (Taghavi, 2012).
Une autre solution implantaire utilisant la conduction osseuse, est la pose d'un implant percutané représenté par le système BoneBridge® notamment. Conçu pour pallier les désagréments infectieux du système BAHA®, ce système propose la pose d'un implant (le transducteur) ostéo-intégré sous-cutané. La réception des informations sonores va se faire par un petit boîtier magnétique inductif placé sur la peau et permettant la transmission transcutanée des sons au transducteur qui va alors engendrer la vibration de la vis implantaire de 1,5 mm de long. Cette méthode a les mêmes indications que le système BAHA®.

❖ Applications High-Tech

L'ouïe par conduction osseuse a également séduit le marché des nouvelles technologies audio. Appelée ostéophonie, elle est utilisée par certains casques audio, smartphones et même lunettes.

- **Les casques audio :** ces casques reproduisent une écoute équivalente à l'audition par voie aérienne ; ils sont constitués de deux transducteurs se positionnant sur les tempes en avant de chaque oreille. Le transducteur électromagnétique va alors transformer le signal électrique en vibrations mécaniques captées par l'os temporal jusqu'à la cochlée. Ce système est avantageux car, exempt de compression auriculaire, il est également adapté aux environnements très bruyants, ce qui permet de percevoir les bruits extérieurs tout en restant concentré, par exemple, sur de la musique écoutée.
  Ce dispositif est également utilisé pour le traitement des personnes atteintes de déficience auditive sans atteinte de l'oreille interne, mais son efficacité reste limitée puisqu'elle est conditionnée par la force de contact des

transducteurs contre l'os sous-jacent (l'épaisseur de la peau étant un frein majeur à la transmission des ondes).

- **Les smartphones :** la conduction osseuse a également atteint le domaine de la téléphonie mobile en 2012 grâce à la marque Kyocera®. Ce système utilise des vibrations dans l'écran du téléphone portable pour transmettre le son à l'oreille, remplaçant ainsi l'enceinte traditionnelle du récepteur. Ceci permet d'atténuer les bruits de fond lors d'un appel téléphonique (Alabaster, 2012).

- **Les GoogleGlass® :** c'est un projet de lunettes à réalité augmentée lancé par le géant Google en 2012. Parmi les différentes technologies incluses dans le produit, c'est la technologie développée pour les malentendants qui est intéressante. Reproduisant les « lunettes auditives de conduction osseuse » pour personnes atteintes de surdité, elles disposent d'un transducteur, semblable à celui des casques audio, fixé dans leurs branches qui permet d'entendre les sons par pression sur l'os temporal. Mais l'efficacité de ce système est aussi influencée par l'épaisseur de la peau, la surface de contact et la pression exercée (une peau fine, une surface plane ainsi qu'une pression constante et homogène sont nécessaires pour une efficacité maximale). Ce dispositif a donc pour but principal d'améliorer le confort auditif, afin de favoriser l'intégration sociale des personnes malentendantes, tout en maximisant le camouflage du dispositif médical.

La conduction osseuse est donc une méthode moderne pour percevoir les sons, elle est ainsi au centre du fonctionnement du système SoundBite. Pourtant, ce dernier franchit un palier de plus dans l'innovation, puisqu'il va utiliser les dents comme conducteurs sonores.

III.2.3. Présentation

III.2.3.1. Description du système

Le système SoundBite est constitué de quatre composants lors de son utilisation par le patient (image 1) (Sonitus Medical, 2013) :

- La partie intra-buccale faite sur mesure, appelée ITM (*In-The-Mouth*).
- Le microphone, placé derrière l'oreille atteinte de surdité, appelé BTE (*Behind-The-Ear*).
- Deux pochettes de rangement, une pour le BTE et une pour l'ITM.
- Un système de chargement avec un chargeur et un adaptateur.



Image 1 : Les différents composants du système SoundBite (d'après : Sonitus Medical, 2013).

❖ La partie BTE

Cette partie est constituée d'un dôme intra-auriculaire contenant le microphone relié par un petit tube clair à peine perceptible, à la partie BTE proprement dite (image 2). Ce dôme va capter les sons extérieurs et les transmettre à la BTE.

Positionnée derrière l'oreille la plus atteinte, elle utilise un processeur de signal numérique pour traiter et transmettre le son à une puce (antenne) utilisant une transmission sans fil, afin d'apporter le signal au dispositif ITM.

Cette partie BTE est disponible en dix modèles avec cinq tailles pour chaque côté. L'assemblage du microphone avec le BTE doit se faire par un audioprothésiste et il est ensuite déconseillé de le détacher (Miller, 2010 ; Sonitus Medical, 2013).



Image 2 : Partie BTE du système SoundBite avec son microphone intra auriculaire (d'après : Sonitus Medical, 2013).

❖ La partie ITM

Cette partie est positionnée autour des deux dernières molaires ou prémolaires contiguës supérieures droites ou gauches. Elle contient les composants électroniques, les circuits, une batterie rechargeable étanche, ainsi qu'une puce sans fil (antenne) qui va recevoir le signal numérique issu de la partie BTE ; ces éléments sont positionnés au niveau du palais. L'ITM comporte également un transducteur

piézoélectrique en vestibulaire, qui va transformer le signal en vibrations qui seront donc transmises aux dents (image 3).
Tous ces composants sont protégés par un boîtier en plastique avec un joint étanche à l'air.
L'ITM est également conçu avec une batterie rechargeable intégrée, il suffit donc de sécher l'appareil et de le placer directement dans le chargeur.
Cette partie est faite sur mesure en collaboration avec le chirurgien-dentiste pour s'adapter parfaitement au contour des dents utilisées ; aucune modification de celles-ci n'est donc nécessaire. De plus, l'appareil peut être inséré et retiré facilement par le patient lui-même. Les deux côtés de la partie ITM sont reliés entre eux par un fil d'acier inoxydable, contenant de petits fils électriques, agissant comme une pince à ressort et appliquant la force et la tension nécessaires pour maintenir l'appareil au contact des dents.
Cette partie est conçue pour être la plus confortable possible en bouche, même durant les repas. Elle ne recouvre pas les dents et ne dispose d'aucune « gouttière » pouvant entraîner l'accumulation d'aliments ou de liquides (Sonitus Medical, 2013).

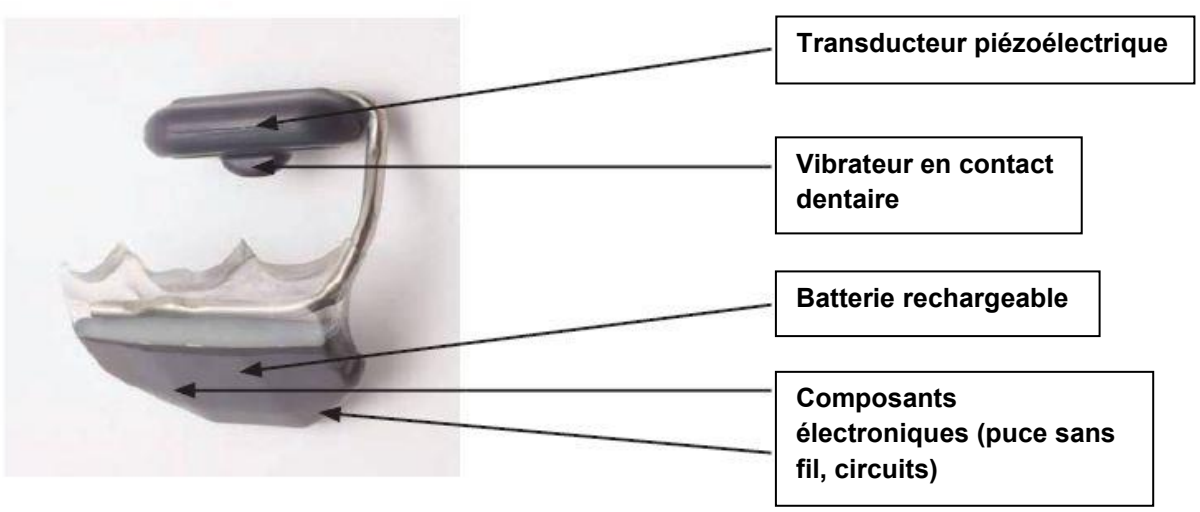


Image 3 : Partie ITM du système SoundBite (d'après : Sonitus Medical, 2013).

Cette partie est conçue sur mesure de manière à avoir des proportions dépassant la taille maximale d'un objet pouvant être avalé par un adulte. Elle est également réalisée pour résister à des forces d'écrasement nettement supérieures à la force

maximale de morsure d'un adulte (Gurgel et Shelton, 2013 ; Miller, 2010 ; Sonitus Medical, 2013).

❖ Le système de chargement

Il se compose d'un adaptateur pour prise d'alimentation standard, de deux emplacements pour les deux parties du dispositif ITM et d'un emplacement pour le dispositif BTE (image 4). Le chargeur est conçu pour permettre la recharge de toutes les parties du système SoundBite en même temps ; il dispose donc de 4 LED pour visualiser la charge de tous les composants.
La partie BTE a une durée de vie entre 15 et 18 h à pleine charge, alors qu'elle se situe entre 6 et 8 h pour la partie ITM. Il faut 3 à 5 h pour recharger complètement les différentes parties du système (Sonitus Medical, 2013).

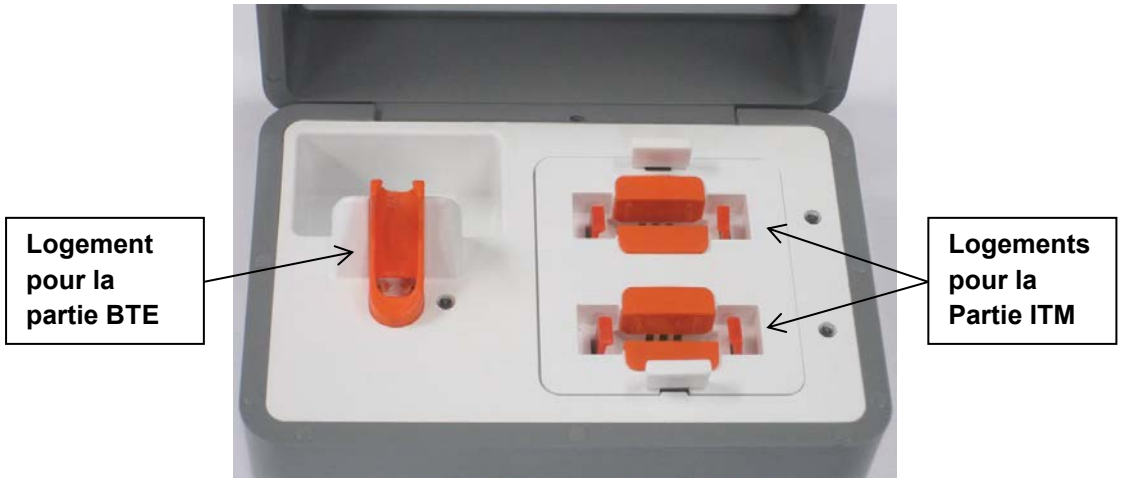


Image 4 : Boîtier de chargement du système SoundBite (d'après : Sonitus Medical, 2013).

Si l'un ou l'autre des composants du système a besoin d'être rechargé, un bruit semblable à une sonnette de porte se fait entendre par l'utilisateur.
Le fait de placer le système en charge a également une fonction de réinitialisation. Ceci permet d'éliminer les bourdonnements, sifflements et autres bruits parasites perçus lors de la précédente utilisation (Sonitus Medical, 2013).

III.2.3.2. Fonctionnement

❖ Principe

Le système SoundBite est un appareil auditif à conduction osseuse non-chirurgical et amovible, conçu pour transmettre imperceptiblement les sons à travers les dents jusqu'à la cochlée de l'oreille interne.

Pour ce faire, le son emprunte le chemin suivant (figure 19) (Miller, 2010 ; Sonitus Medical, 2013) :

- Captation de l'onde sonore par le dôme intra-auriculaire de la partie BTE, remplaçant le tympan.
- Transformation du son en signal électrique par le microphone contenu dans le dôme.
- Transmission filaire du signal électrique vers la partie BTE.
- Traitement du signal électrique et transmission à la puce sans fil dans la partie BTE.
- Emission du signal électrique sous forme d'ondes radio par la puce.
- Captation des ondes radio par l'antenne de la partie ITM située dans la partie palatine.
- Traitement du signal sonore sous forme électrique.
- Transmission filaire du signal électrique vers le transducteur piézoélectrique de la partie vestibulaire.
- Transformation du signal électrique en ondes mécaniques vibratoires par le transducteur piézoélectrique positionné contre les dents.
- Transmission des ondes vibratoires à travers les dents, puis à travers l'os maxillaire pour enfin atteindre la cochlée.

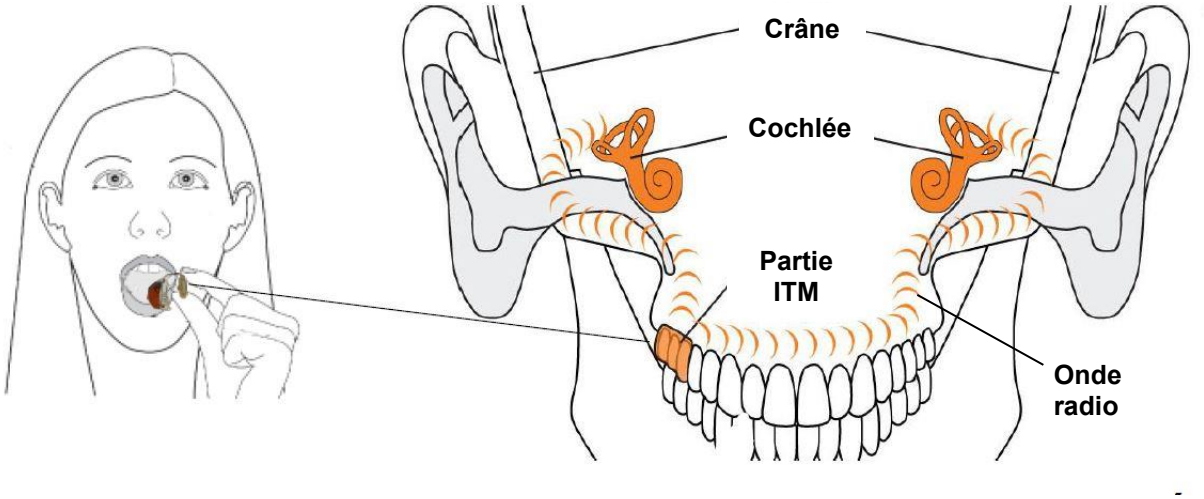


Figure 19 : Schématisation du fonctionnement du système SoundBite (d'après : Sonitus Medical, 2013).

Le système SoundBite utilise un panel de fréquences allant de 250 Hz à 12 kHz et marqué par huit bandes de fréquences : < 750 Hz, 1 kHz, 1,5 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz et > 7 kHz. Les six bandes du milieu sont les plus importantes lors de la programmation du dispositif. Des rapports ont montré que le système permet une amplification du son sur ce panel de fréquences (de 250 Hz à 12 kHz) (Gurgel et Shelton, 2013), ce qui est intéressant puisque le domaine de fréquences de la voix humaine s'étend d'environ 80 Hz à 3 kHz (Miller, 2010 ; Sonitus Medical, 2013).

Lorsque les parties BTE et ITM sont rapprochées d'environ 20 cm (8 pouces) elles se mettent automatiquement en liaison et commencent la transmission des signaux sonores. Ce lien persiste tant que les deux parties restent à une distance d'environ 25 cm (10 pouces) l'une de l'autre et il reste exclusif. En effet, le système SoundBite repose sur la technologie NFC (*Near Field Communication*), procédé par lequel deux appareils (ici la BTE et l'ITM) communiquent automatiquement entre eux. Le système SoundBite n'est donc pas sensible à la diaphonie (interférence provoquée par deux signaux se rencontrant) provoquée par la proximité d'un de ses semblables ou d'un téléphone portable (Miller, 2010 ; Sonitus Medical, 2013).

❖ Utilisation par le patient

Pour que le système SoundBite fonctionne correctement, il faut savoir placer convenablement ses différents constituants (Sonitus Medical, 2013) :

- La partie BTE est à placer sur et derrière l'oreille la plus atteinte de surdité et le dôme intra-auriculaire dans le méat acoustique (image 5).



Image 5 : Positionnement réglementaire de la partie BTE (source : Sonitus Medical, 2013).

- La partie ITM est à « clipser » sur les dents postérieures maxillaires (image 6). Elle peut être posée des deux côtés, mais il est préférable de la positionner du côté de l'oreille avec la meilleure ouïe pour diminuer la distance entre l'ITM et la cochlée la plus fonctionnelle.



Image 6 : Technique de positionnement de la partie ITM (d'après : Sonitus Medical, 2013).

Pour la positionner correctement, il existe une marche à suivre (Sonitus Medical, 2013) :

- S'assurer qu'elle est du bon côté et que le fil en acier se positionne bien en arrière de la dent la plus postérieure (image 7).
- La plus petite partie de l'ITM doit se positionner en vestibulaire des dents et la partie la plus grande en palatin (image 7).
- Lors du positionnement, l'ITM doit se « clipser » sur les dents, elle doit donc être enfoncée à fond et ne pas être lâche.

.

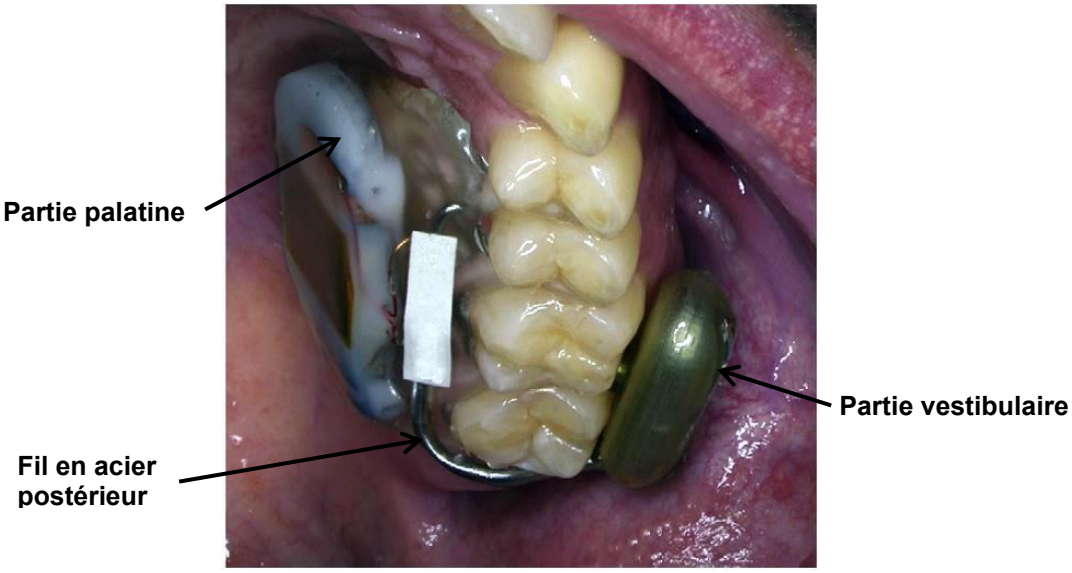


Image 7 : Positionnement réglementaire de la partie ITM (d'après : Miller, 2010).

III.2.3.3. Indications

Le système SoundBite est destiné à des patients âgés de 18 ans et plus, dont l'état de santé physique rempli les conditions suivantes (Miller, 2010 ; Sonitus Medical, 2013) :

- Le système est indiqué dans le cas de surdité de perception légère, moyenne ou sévère d'**une** oreille seulement avec une ouïe normale (supérieure ou égale à 25 dB) de l'autre. La surdité de perception doit donc être unilatérale (SSD).

- Le système est également indiqué dans le cas de surdité de transmission pour laquelle le seuil auditif moyen de conduction osseuse (mesuré à 0,5, 1, 2 et 3 kHz) est supérieur ou égal à 25 dB.
- Le patient doit posséder au moins deux molaires ou prémolaires supérieures contiguës, indemnes de lésions carieuses non traitées. Le mieux est évidemment d'avoir des dents saines mais s'il n'y a pas d'autre choix que d'utiliser des dents cariées, il faut restaurer ces dents et remplacer les restaurations trop anciennes, avant de s'équiper du système SoundBite.
- Au niveau du parodonte, les dents utilisées ne doivent pas présenter de poches supérieures à 5 mm et doivent être indemnes d'inflammations gingivales et parodontales.
- Les dents utilisées ne doivent pas avoir de mobilité pathologique.
- La radiographie des dents utilisées ne doit pas mettre en évidence de perte osseuse supérieure à 34 % sur leurs faces mésiale et distale.

Ces trois dernières notions sont essentielles pour assurer une conduction sonore osseuse optimale.

III.2.3.4. Contre-indications

Le système SoundBite est contre-indiqué dans certaines situations (Sonitus Medical, 2013) :

- Il ne peut être utilisé chez un patient présentant une allergie ou une intolérance à l'un des composants du dispositif, y compris aux polymères.
- L'appareil se présentant sous la forme d'une prothèse amovible, il est contre-indiqué chez les patients incapables d'utiliser leurs mains (paraplégiques).
- Il est également contre-indiqué chez les patients vulnérables, atteints de déficience mentale ou oculaire, qui ne sauraient être en mesure de respecter les avertissements figurant sur l'étiquetage du produit.
- Ne sont pas candidats, les patients ne présentant pas deux molaires ou prémolaires supérieures contiguës, ayant une perte osseuse supérieure à 34

% sur ces dents, ayant des dents candidates mobiles, ayant une mauvaise hygiène bucco-dentaire ainsi que toute autre inflammation gingivale ou parodontale contre-indiquant le port d'une prothèse dentaire.

- Le système SoundBite est inefficace pour les patients atteints de surdité de perception bilatérale ou de surdité totale bilatérale.
- L'utilisation du dispositif est contre-indiquée lors d'un examen IRM ; il faut le retirer avant l'exposition pour éviter son dérèglement.

III.2.3.5. Précautions d'utilisation

Le système SoundBite, bien qu'ayant l'aspect d'une prothèse amovible, est un dispositif médical à utiliser avec beaucoup de précautions (Miller, 2010 ; Sonitus Medical, 2013) :

- Il faut garder le dispositif à distance des champs magnétiques puissants qui pourraient modifier sa programmation.
- Il ne faut pas ingérer d'alcool ou de drogues en utilisant l'appareil, ceci peut altérer la conscience et ainsi entraîner un risque accru d'ingestion de l'ITM.
- Il faut éviter de faire du sport tout en portant le système, car il peut y avoir des contractures réflexes et des déplacements de la mâchoire pouvant endommager l'appareil.
- Il faut s'assurer que l'ITM est sèche avant de la charger pour éviter un endommagement du chargeur.
- L'appareil est individuel, il faut éviter de laisser un proche le tester pour ne pas le déformer.
- Le système SoundBite ne devrait pas être utilisé à proximité des téléphones portables, car les ondes électromagnétiques peuvent affecter la performance du dispositif. Il en est de même pour le passage de portiques d'aéroport.
- Il ne faut pas exposer les différents composants du système à une température supérieure à 60°C (ne pas le laisser près d'une fenêtre ou dans une voiture).

- Il ne faut pas exposer la partie BTE à l'eau pour éviter son endommagement. Il est donc conseillé de la retirer avant de prendre sa douche ou son bain et de la manipuler avec des doigts secs.
- Il faut retirer le système avant toute exposition aux rayons X (scanner, radiographies…) qui peuvent modifier le fonctionnement du dispositif.
- Dans le cas où la partie ITM est portée durant les repas :
  - Il faut commencer doucement en mangeant des aliments mous, de préférence du côté opposé au système.
  - Eviter les aliments collants et les chewing-gum, qui peuvent adhérer à l'appareil et altérer son fonctionnement et son hygiène.
- Il faut nettoyer régulièrement la partie ITM afin de garantir son fonctionnement et une bonne santé bucco-dentaire. Pour cela, ne pas utiliser d'eau de javel ou tout autre produit ménager, mais privilégier plutôt du savon ou du dentifrice et rincer à l'eau.
- Si un des composants de l'ITM est avalé, il est impératif de contacter le service des urgences.

III.2.3.6. Études

Le système SoundBite a fait l'objet de plusieurs études pour prouver, tout d'abord son efficacité et sa sûreté et, par la suite, son confort et les avantages procurés par son utilisation.

❖ Études de certification (efficacité et sécurité)

Deux études de certification ont été menées par la firme Sonitus Medical afin d'obtenir l'autorisation d'usage du dispositif par la **FDA** (*Food and Drug Administration*). Dans ces deux études collectives, tous les sujets étaient atteints de surdité unilatérale (*Single Sided Deafness* : SSD) à différents degrés.

- **<u>Étude à court terme (1 mois) (Murray et coll., 2011 ; Sonitus Medical, 2013) :</u>**

  - <u>Population ciblée :</u>

Cette étude est réalisée sur 28 patients atteints de SSD avec 54 % d'hommes et 46 % de femmes. L'âge moyen est de 46 ans avec un minimum de 25 ans et un maximum de 73 ans. L'ancienneté de l'atteinte est en moyenne de 9 ans et la proportion d'oreille gauche/droite atteinte est équivalente (50/50).

  - <u>Paramètres de l'étude :</u>

Le premier but de l'étude est de démontrer la sécurité et l'efficacité du système SoundBite dans l'amélioration de l'audition sur trente jours. Le critère d'efficacité consiste en une amélioration du score auditif maximal d'1 dB avec une source sonore positionnée en face du patient. Deux scores sont alors établis, l'un au premier jour sans aide auditive, l'autre au 30^{eme} jour avec l'appareil, après un mois d'usage. L'apport du système SoundBite est calculé par la différence entre ces deux scores.

Le second but de l'étude est de montrer que le système n'entraîne aucun dommage du point de vue dentaire et du point de vue médical. Pour cela, les patients ont porté l'appareil pendant une durée moyenne de 8,2 h par jour, ce qui correspond à la durée type d'usure d'une prothèse classique.

  - <u>Résultats :</u>

Le calcul de la différence entre les deux scores a montré une amélioration moyenne de 2,5 ± 1,0 dB de la perception sonore pour chaque patient. Ce résultat dépasse largement le critère cible d'efficacité. Sachant qu'un progrès d'1 dB correspond à une amélioration de 10 % de la capacité auditive, le système SoundBite est donc un dispositif permettant d'améliorer l'audition des personnes souffrant de SSD.
Après trente jours d'usage, l'étude de l'état bucco-dentaire, n'a montré ni trace de blessures, ni usure de l'appareil, ni inflammation ou modification dentaire. L'appareil est donc sûr et efficace pour une utilisation d'un mois.

- **<u>Étude à long terme (6 mois) (Miller et coll., 2011 ; Murray et coll., 2011 ; Sonitus Medical, 2013) :</u>**

  - <u>Population ciblée :</u>

Cette étude est menée sur 22 patients atteints de SSD avec 50 % d'hommes et 50 % de femmes. L'âge moyen est de 44 ans avec un minimum de 25 ans et un maximum de 65 ans. L'ancienneté de l'atteinte est en moyenne de 6,7 ans, la proportion d'oreille gauche touchée est de 59 % et de 41 % pour l'oreille droite. Tous les patients sont donc atteints de surdité neuro-sensorielle sans atteinte de la conduction et présentent une oreille saine. Le degré de perte auditive est sévère (71 à 90 dB) pour 6 sujets et profonde (91 dB et plus) pour 16 sujets.

  - <u>Paramètres de l'étude :</u>

L'étude a pour but de démontrer la sécurité du système SoundBite sur une durée de six mois du point de vue dentaire, auditif et médical. Pour cela, les patients ont porté l'appareil pendant une durée moyenne de 7 h par jour.

- Paramètres dentaires : le critère d'efficacité et de sécurité consiste en l'absence de modifications dentaires, d'inflammations parodontales, de blessures ou de tout autre événement similaire durant la période des six mois d'usage. Pour cela des indices sont calculés pour chaque patient : indice de plaque, indice de saignement, le sondage, la récession gingivale, la perte osseuse et les modifications de structures dentaires.

- Paramètres auditifs : le critère d'efficacité et de sécurité consiste en l'absence de modifications significatives dans la perception auditive d'une source sonore située en face du patient, ainsi qu'en l'absence de gêne auditive durant la période de six mois d'usage. Pour cela des critères de changements de seuil auditif sont utilisés :
  - Le seuil du patient appareillé depuis six mois ne doit pas augmenter de plus de 5 dB par rapport au seuil de départ

dans au moins deux des cinq, ou trois des six bandes de fréquences utilisées et n'affectant pas plus de deux bandes de fréquences adjacentes (cf. chapitre III.2.3.2.).

- La valeur du gain auditif ne doit pas changer de plus de 4 dB dans au moins trois des six bandes de fréquences du réglage initial et la valeur du gain au bout des six mois ne doit pas dépasser celle du premier jour de plus de 4 dB dans plus de deux bandes de fréquence adjacentes (cf. chapitre III.2.3.2.).

- Paramètres médicaux : le critère d'efficacité et de sécurité consiste en l'absence d'événements indésirables définis, comme des changements significatifs dans les examens otologiques réalisés à six mois par rapport à ceux effectués le premier jour.

- <u>Résultats :</u>

- Dentaires : au bout de six mois d'utilisation, aucun changement au niveau des tissus mous, ni des tissus durs n'a été constaté. Le système SoundBite a été accepté comme tout autre appareil amovible et l'environnement oral n'a eu qu'un impact mineur sur celui-ci. L'appareil est donc sûr pour son utilisation intra-orale.
- Auditifs : au bout des six mois, les 22 patients répondaient aux critères d'efficacité audiologiques. 21 des 22 patients ne présentaient aucun changement par rapport au réglage de base effectué le premier jour. Le seul patient présentant un changement se situait dans la fourchette acceptable de modification du seuil de dB. Le système SoundBite est donc sûr quant à sa stabilité en usage prolongé.
- Médicaux : l'utilisation du système durant six mois n'a entraîné aucun effet indésirable, ni modifié la constitution auriculaire et n'a pas ajouté d'autres problèmes médicaux sur aucun patient. Au contraire, la totalité des patients étaient satisfaits de l'utilisation de l'appareil, ainsi que de son utilité. Le système SoundBite est donc sûr du point de vue de l'état général du patient lors de son utilisation prolongée.

- **Autorisation d'usage (Sonitus Medical, 2013) :**

Au terme de ces deux études, la FDA a certifié, en janvier 2011, que le système SoundBite est « sûr et efficace », autorisant ainsi sa commercialisation sur le territoire des Etats-Unis et son utilisation pour le traitement de la surdité unilatérale. Plus tard, en Mars 2011, le marquage **CE** (Conforme aux Exigences) a été apposé au dispositif, autorisant son exportation européenne. Le lancement du produit en Angleterre, au Pays de Galles et en France était d'ailleurs prévu pour 2012.
Cette certification est confirmée par une étude récente sur une durée d'utilisation d'un an de l'appareil, sur 81 patients adultes atteints de SSD. Il en résulte que 93,8 % des patients sont satisfaits du dispositif à la fin des douze mois, le faible pourcentage d'insatisfaction étant dû à la difficulté d'alimentation avec l'appareil en place (Gurgel et coll., 2015). On constate donc que, quelle que soit la durée d'utilisation (un mois, six mois, un an), les conclusions sont toujours les mêmes : le dispositif est bien « sûr et efficace » pour le traitement de la SSD.

❖ Études sur le confort et les avantages obtenus

- **Étude à court terme (1 mois) (Woodby et Galow, 2014) :**

  - Population ciblée :

Cette étude est portée sur 117 patients atteints de SSD. L'étude vise à déterminer les avantages apportés par le système SoundBite lors d'un usage d'une durée de trente jours.

  - Paramètres de l'étude :

Les patients ont tous été munis du système et ont dû le porter dans des conditions quotidiennes typiques (7 à 8 h par jour). A la fin du mois, chaque patient devait remplir un questionnaire de satisfaction en ligne utilisant plusieurs notions comme

l'amélioration et la performance. Le questionnaire comportait 30 items répartis dans quatre catégories :

- L'expérience générale et la qualité de vie : basées sur des facteurs déterminant les avantages de l'usage du dispositif dans la vie de tous les jours ainsi que la satisfaction du patient.
- La capacité auditive : basée sur l'expérience auditive vécue par le patient en conditions quotidiennes.
- L'usage quotidien : couvre tous les facteurs associés au port quotidien du dispositif (durant les repas par exemple).
- Le processus d'obtention de l'appareil : couvre les étapes de sélection, de réalisation, de montage et de programmation du dispositif.

- Résultats :

Après une durée d'un mois d'usage du système SoundBite, 85 % des patients se disaient satisfaits du confort d'usage de l'appareil, 89 % estimaient avoir une meilleure qualité de vie et 88 % assuraient être plus à l'aise lors des conversations de groupe (figure 20).

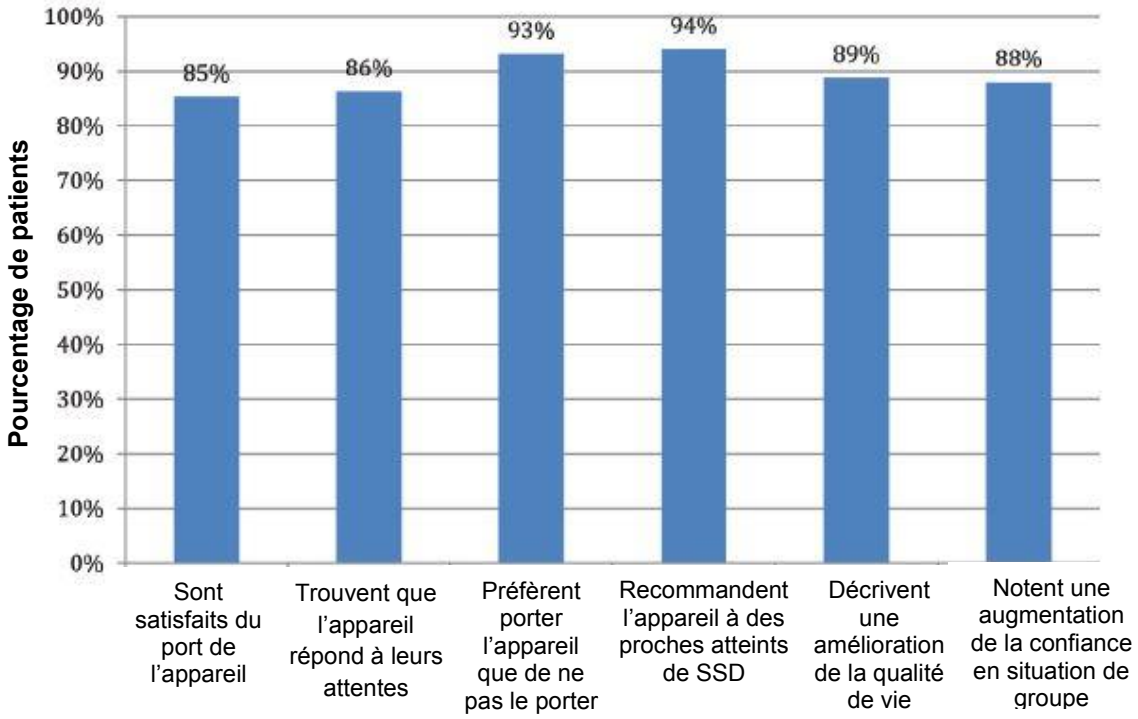


Figure 20 : Résultats du questionnaire concernant l'expérience générale et la qualité de vie (d'après : Woodby et Galow, 2014).

De plus 96 % des patients estimaient mieux entendre une personne qui leur parlait du coté atteint de surdité et 89 % étaient satisfaits de la capacité de discours, 84 % entendaient mieux dans un environnement bruyant. En revanche moins de 59 % des patients s'estimaient satisfaits de la capacité à manger avec l'appareil. La raison principale avancée étant la peur d'endommager l'appareil avec des aliments durs et d'y coincer de la nourriture.
Ce questionnaire a permis aux patients d'exprimer leurs préoccupations ainsi que leur volonté de modifier certains aspects du système, notamment une diminution de la taille de la partie ITM, une diminution de la fragilité de la partie BTE et une possibilité de réglage du volume.

- **Étude à long terme (6 mois) (Gurgel et Shelton, 2013) :**

  - Population ciblée :

Cette étude est réalisée sur 34 patients atteints de SSD avec 14 hommes et 20 femmes. L'âge moyen est de 51,4 ans. Sept sites d'études (situés en Floride, Utah, Arizona, Michigan, Texas et Californie) ont été utilisés, afin de représenter une large population d'utilisateurs. Tous les patients sont atteints de surdité de perception sans étiologie particulière et sans atteinte de la conduction osseuse.
Des conditions d'éligibilité ont été observées :

- Pour l'oreille entendant le plus, la moyenne des sons purs perçus sur quatre bandes de fréquences (500, 1000, 2000 et 3000 Hz) devait être ≤ 25 dB chez chaque patient.
- Pour l'oreille entendant le moins, la moyenne des sons purs perçus devait être ≥ 75 dB, ou inexistante chez chaque patient.
- Le patient devait présenter au moins trois dents maxillaires postérieures du coté assisté.
- Le patient ne devait présenter ni caries dentaires actives, ni maladies parodontales, ni matériel orthodontique.

- Paramètres de l'étude :

Le seuil auditif appareillé de chaque patient a été mesuré à l'aide d'un écouteur intra-auriculaire. Les patients devaient alors porter l'appareil pendant six mois et ensuite remplir un questionnaire. Ce questionnaire a permis d'évaluer la satisfaction, l'amélioration auditive et la probabilité de recommander l'appareil dans le traitement de la SSD du patient. Mais il a également évalué les événements indésirables survenus durant la période d'usage. Les patients ont aussi dû remplir le questionnaire **APHAB** (*Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit*) qui est l'outil conventionnel d'évaluation et de quantification des avantages fournis par une aide auditive.

Le APHAB se décline en 24 affirmations notées dans les quatre catégories suivantes : la facilité de communication (CE, effort pour communiquer dans des conditions favorables), le bruit ambiant (BN, communication dans un milieu comportant d'importants bruits de fond), la réverbération (RV, communication dans une pièce réverbérante) et les sons indésirables (SI, aspects gênants ou déplaisants des sons environnants. Catégorie non utilisée dans l'étude).

Un avantage significatif de l'aide auditive est alors définie par :

- Une différence ≥ 22 sur l'une des trois catégories (CE, BN, RV) entre le score final APHAB calculé sans aide auditive et celui calculé avec port de l'aide auditive.

OU

- Une différence ≥ 5 sur les trois catégories entre le score final APHAB calculé sans aide auditive et celui calculé avec port de l'aide auditive.

- Résultats :

A la fin des six mois, le seuil auditif mesuré le premier jour, avec port de l'appareil, ne s'est modifié chez aucun des patients de l'étude : la moyenne des sons purs perçus était de 17,5 dB, avec un écart type de 10, au premier jour et de 21,3 dB, avec un écart type de 8,5 au dernier jour, ce qui ne représente pas une différence statistique significative.

La comparaison des résultats, avant et après le port du système SoundBite, du questionnaire APHAB a mis en évidence un avantage significatif apporté dans les domaines CE, RV et BN pour 76 % des patients (figure 21).

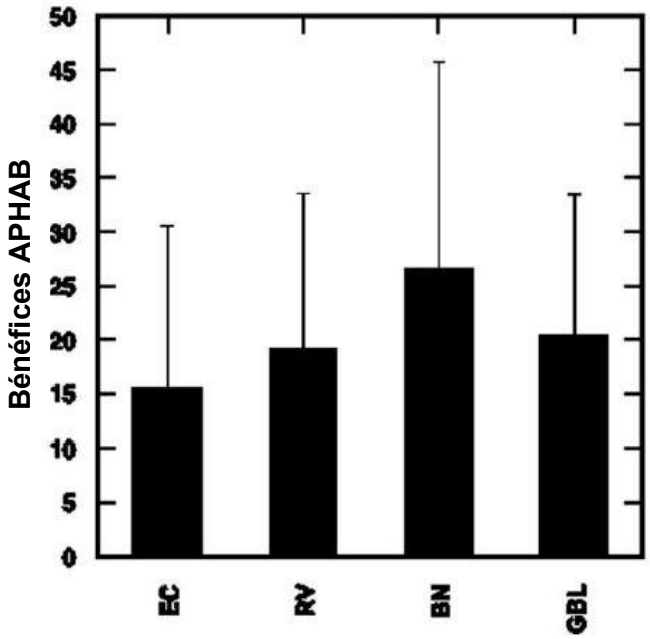


Figure 21 : Résultats du questionnaire APHAB montrant l'avantage apporté par le dispositif pour les catégories CE, RV, BN et GBL (avantage global correspondant à la moyenne des catégories CE, RV et BN réunies) (d'après : Gurgel et Shelton, 2013).

Les résultats du questionnaire de satisfaction (figure 22) rempli par chaque patient en fin d'étude, ont montré que 100 % des patients seraient susceptibles de recommander le dispositif pour le traitement de la SSD, 91 % ont préféré porter l'appareil plutôt que de ne pas le porter, 68 % trouvaient que le système avait un bon rapport qualité/prix et 88 % étaient satisfaits de la procédure d'obtention du dispositif. Le temps d'acclimatation à la prothèse était en moyenne de moins d'une semaine.

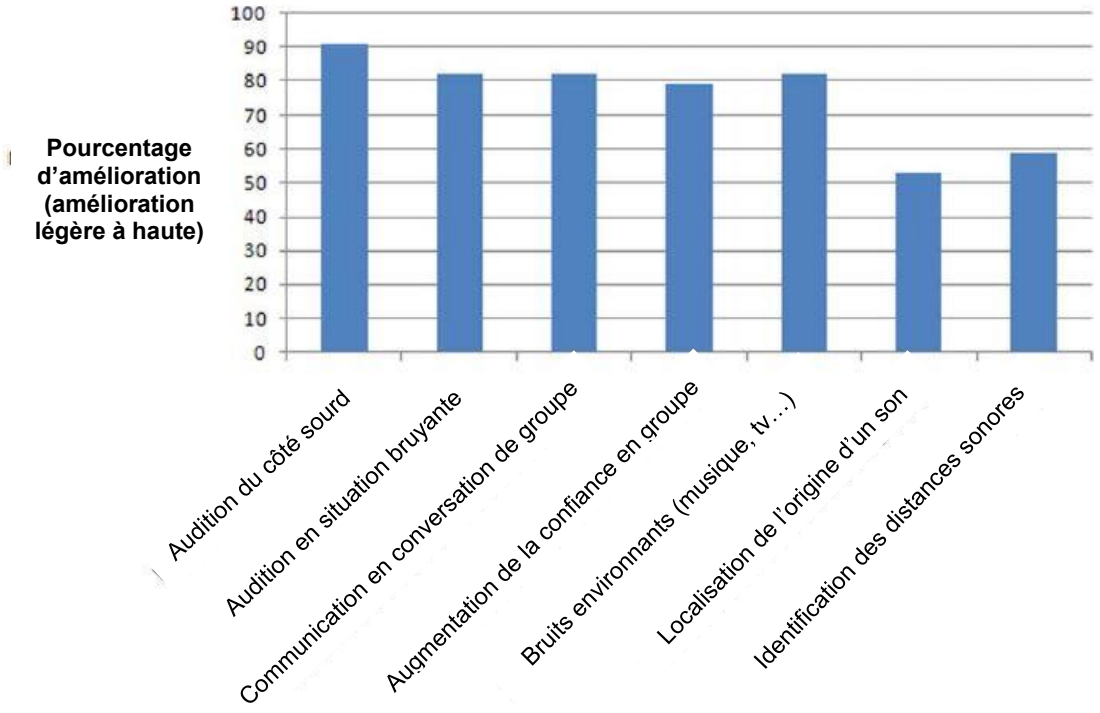


Figure 22 : Résultats du questionnaire de satisfaction (d'après : Gurgel et Shelton, 2013).

Après six mois d'usage, aucun événement indésirable lié à la mise en place de l'appareil, que ce soit du point de vue dentaire ou auditif, n'a été rapporté. En revanche, un événement oral est survenu chez un patient : des douleurs mineures de la muqueuse gingivale sous la partie ITM sont apparues, liées à une infection fongique superficielle qui a ensuite été traitée par le chirurgien-dentiste. Au niveau de la perception acoustique, 12 patients (35 %) ont subi un effet Larsen. Ce phénomène a été résolu pour 6 de ces patients en procédant à des ajustements au niveau du microphone. Pour les 6 autres, l'effet ne s'est pas résolu mais pour 4 d'entre eux il n'est qu'occasionnel.

En ce qui concerne le confort du port de l'appareil lors des repas, 68 % des patients étaient pleinement satisfaits, 21 % étaient insatisfaits et 12 % étaient très insatisfaits de leur capacité à manger avec l'ITM en place.
Concernant maintenant les différentes parties du système, 21 % des patients ont mentionné des problèmes d'inconfort dus à la taille de l'ITM, 15 % ont mentionné des problèmes d'inconfort (démangeaisons, inesthétique…) liés à la partie BTE et 8 % ont évoqué un inconfort du au besoin de recharge du dispositif.

Par ces résultats, on constate donc, qu'au bout d'un mois d'utilisation, les patients sont globalement satisfaits de l'appareil alors qu'au bout de six mois, même si le pourcentage de patients satisfaits reste au-dessus de 80 %, des affections dues à la durée d'utilisation du dispositif sont parfois apparues (douleurs intra orales ou encore effet Larsen).

- **Conclusion des deux études (Woodby et Galow, 2014 ; Gurgel et Shelton, 2013) :**

Ces études démontrent que le système SoundBite permet une amélioration de la capacité de communication, d'audition en environnement bruyant et de réverbération du son. Elles prouvent aussi une amélioration de la qualité de vie des patients notamment lors de conversations en groupe.
En revanche, même si un net confort d'usage est noté, certains effets indésirables tels que l'effet Larsen ou encore une gêne lors des repas sont observés. Grâce aux questionnaires (APHAB et de satisfaction), il est possible de déterminer que le système SoundBite offre de nombreux avantages aux patients atteints de surdité unilatérale (SSD) ; les inconvénients constatés peuvent être globalement traités, ou du moins atténués (par réglage des parties BTE et ITM notamment), mais la complète intégration du dispositif nécessite, avant tout, une adaptation ainsi qu'une acceptation de la prothèse par le patient.

III.2.3.7. La communication dentiste - médecin ORL – audioprothésiste

Le système SoundBite fait intervenir la cavité orale ainsi que la sphère ORL. L'élaboration de ce système va donc reposer sur une communication entre trois praticiens : le chirurgien-dentiste, le médecin ORL et l'audioprothésiste.

❖ Le rôle du médecin ORL (Miller, 2010)

- **Diagnostic et prescription :**

La déficience auditive est propre à chaque patient ; elle se décline en degrés de sévérité et en type de structures atteintes. Cela étant, il est nécessaire de la faire évaluer par un médecin ORL, afin de déterminer si elle rentre dans les indications du système (niveau de perte auditive et à quelle fréquence). Celui-ci va alors pouvoir être programmé pour correspondre au manque auditif visé.
Mais avant cela, le médecin ORL va devoir se mettre en relation avec le chirurgien-dentiste traitant du patient afin de confirmer, ou d'infirmer cette indication du point de vue bucco-dentaire. Après confirmation, le médecin ORL va pouvoir prescrire le système SoundBite auprès de Sonitus Medical et contacter le dentiste pour la réalisation de la partie ITM. La programmation par l'audioprothésiste ne peut se faire qu'après la réalisation de l'ensemble du dispositif et sa validation par le chirurgien-dentiste et le médecin ORL.

- **Suivi du patient :**

Une fois la programmation du dispositif effectuée, un examen acoustique est à réaliser une fois par an par le médecin ORL.

❖ Le rôle de l'audioprothésiste (Sonitus Medical, 2013)

- **La programmation :**

Cette programmation personnalisée est réalisée par un audioprothésiste en utilisant le logiciel fourni avec l'appareil. Cette unité de programmation se présente sous la forme d'une station contenant le logiciel d'installation (ce logiciel peut être installé sous Windows), qui va être branchée via un câble USB standard au PC à une extrémité, tandis que la partie BTE du système sera insérée dans l'autre extrémité

(image 8). Il est essentiel que le système SoundBite ne soit pas porté par le patient lors de sa programmation.

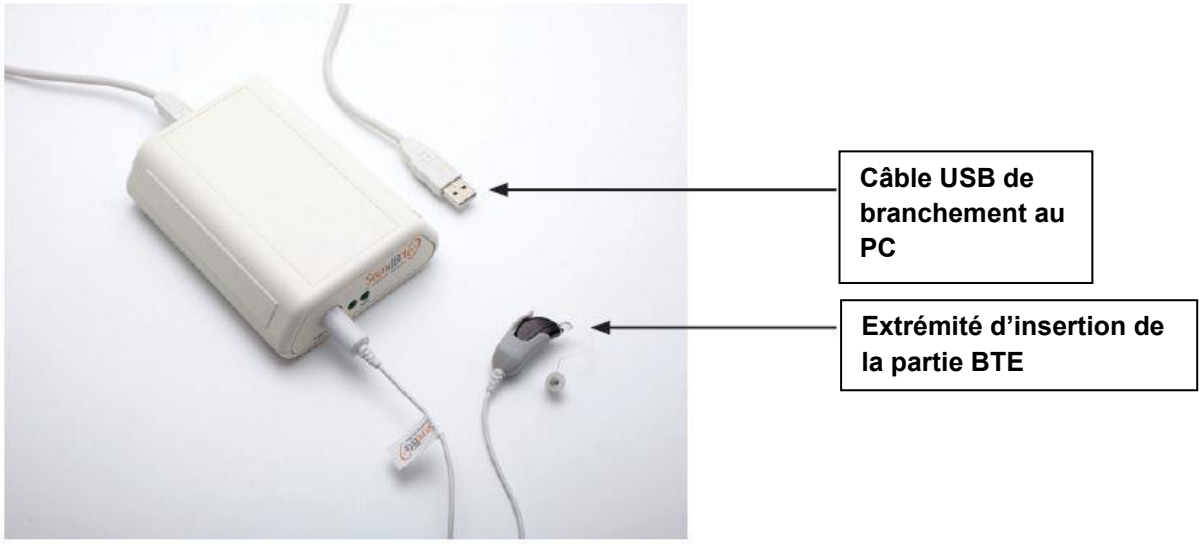


Image 8 : Station de programmation du système SoundBite (d'après : Sonitus Medical, 2013).

La procédure de programmation consiste à ajuster le signal de sortie du système jusqu'à ce que le patient perçoive le meilleur niveau sonore. Il s'agit donc d'adapter la partie BTE à la déficience auditive à traiter. On prend comme référence l'oreille avec la meilleure audition, on effectue alors des tests sur une gamme d'intensités et de fréquences sonores. A chaque fréquence, la différence de dB entre les deux oreilles, à l'intensité sonore testée, est utilisée pour programmer l'appareil afin qu'il pallie le manque auditif. Cette méthode de programmation a été démontrée comme étant sûre et efficace lors des essais cliniques.

L'audioprothésiste va utiliser un casque audiométrique qu'il va placer sur l'oreille atteinte de surdité, ainsi qu'un vibreur qu'il va placer contre la mastoïde du patient du coté indemne (audiométrie). Il va alors y avoir une exposition alternée d'un ensemble de fréquences modulées à 60 dB. La première exposition va se faire au niveau de l'oreille qui entend le moins et la deuxième va se faire sur l'oreille qui entend le plus. Le niveau de décibels à l'oreille entendant le moins va rester à 60 dB, alors que pour l'oreille entendant le mieux, ce niveau va être ajusté jusqu'à « entendre » une correspondance des intensités dans chaque oreille.

Pour chaque séquence d'ajustement, il faut expliquer au patient qu'il va entendre deux sons en séquence, puis une pause. Il faudra alors qu'il dise si le deuxième son est plus fort, moins fort ou s'il est le même que le premier. Plusieurs tonalités d'un même son seront alors étudiées.
Deux séquences d'ajustements sont effectuées :

- La marge haute : elle est obtenue par diminution des décibels à partir d'un niveau élevé (réponse « plus fort ») jusqu'à ce qu'une correspondance de l'intensité sonore perçue entre les deux oreilles soit faite (réponse « le même »).

- La marge basse : elle est obtenue par augmentation des décibels à partir d'un niveau bas (réponse « moins fort ») jusqu'à ce qu'une correspondance de l'intensité sonore perçue entre les deux oreilles soit faite (réponse « le même »).

- **Suivi du patient :**

Une fois le système programmé, le patient repart avec le matériel et un rendez-vous est donné trente jours après pour évaluer l'adaptation du patient à son appareil et, si nécessaire, procéder aux ajustements.

❖ Le rôle du chirurgien-dentiste (Miller, 2010 ; Sonitus Medical, 2013)

Le rôle du chirurgien-dentiste est primordial dans le traitement de la surdité par le système SoundBite. En effet, c'est lui qui va déterminer, après avis du médecin ORL, si le patient est candidat ou non du point de vue de sa situation bucco-dentaire, mais aussi réaliser la première étape de confection de l'appareil et effectuer son réglage final.

- **Examen bucco-dentaire :**

Un examen bucco-dentaire clinique, radiographique et de sondage est nécessaire car le système requiert un minimum de deux dents postérieures contiguës (dont la dent la plus postérieure existante) en bon état de santé, sans caries actives, ni inflammations parodontales, ni infections endodontiques. Ainsi, aucune restauration dentaire ne contre-indique l'utilisation de la dent ciblée, qu'elle soit obturée, couronnée, dévitalisée ou remplacée par un implant ; tant que ces dites restaurations sont sûres et efficaces. Les obturations et restaurations défectueuses doivent systématiquement être remplacées (ainsi que les couronnes anciennes) et l'hygiène bucco-dentaire doit être parfaite. Il appartient donc au dentiste de s'assurer de la motivation de son patient et de sa capacité à appliquer les règles d'hygiène imposées par le dispositif. En cas de dents non contiguës, il peut être nécessaire d'avoir recours à un traitement orthodontique avant de pouvoir utiliser l'appareil.

- **Rôle dans la confection prothétique :**

Afin de confectionner l'appareil, le chirurgien-dentiste doit effectuer une empreinte à l'alginate conventionnel (permettant d'enregistrer les tissus mous sans compression), soit de l'hémi-arcade concernée, soit de l'arcade maxillaire complète (image 9). Il est nécessaire d'enregistrer 2-3 mm de tissus mous avant la ligne médiane palatine, 2-3 mm de tissus du côté de la face vestibulaire et 2-3 mm de tissus en distal de la dernière dent postérieure. Les portes-empreintes perforés sectoriels sont recommandés en raison de leur facilité d'usage et de leur flexibilité. Comme l'appareil est réalisé à distance des rebords occlusaux dentaires, Il n'est pas nécessaire de réaliser l'empreinte antagoniste. Cependant, cette dernière va être nécessaire si une dent mandibulaire est en position distale par rapport à la dernière dent maxillaire (afin de positionner le fil en acier inoxydable). En outre, une empreinte de l'hémi-arcade contro-latérale est requise si des conditions médicales suggèrent que l'ITM serait mieux de ce côté. L'empreinte retirée doit alors être rincée à l'eau courante puis plongée dans une solution désinfectante et enfin modérément séchée.
Le praticien doit couler lui-même l'empreinte (le plus tôt possible < 24h), de préférence en plâtre dur mélangé à l'aide d'un vibreur. Une fois le modèle durci, il faut le placer dans le sachet, fourni par Sonitus Medical et l'envoyer à la firme.



Image 9 : Empreintes alginates sectorielles et empreinte complète (source : Sonitus Medical, 2013).

La société va alors créer la prothèse auditive sur mesure grâce aux données fournies par le dentiste. Avant son envoi, le dispositif ITM va être testé et son ajustement dentaire vérifié.

- **Ajustement de la partie ITM :**

Une fois la partie ITM réceptionnée, le chirurgien-dentiste doit l'insérer dans la bouche du patient et vérifier son adaptation autour des dents. Si l'appareil est mal ajusté, il est possible de le régler en utilisant une pince spéciale à trois mors en s'appuyant sur le fil en acier inoxydable pour resserrer les deux parties (vestibulaire et palatine) (image 10).



Image 10 : Démonstration d'un ajustement de l'ITM à l'aide d'une pince à trois mors (source : Sonitus Medical, 2013).

La prothèse doit se « clipser » sur les dents, pour éviter les risques de chute et d'ingestion, mais être malgré tout retirable par le patient lui-même. Le praticien va devoir ensuite vérifier l'occlusion en faisant mordre le patient, prothèse en place, sur un papier d'occlusion. Les points marqués gênant l'occlusion peuvent être fraisés légèrement avec une fraise pour résine acrylique, sur pièce à main et à faible vitesse (faire attention aux composants électroniques). Il faut ensuite polir les parties rugueuses avec une cupule en caoutchouc (image 11). Il est aussi important de vérifier avec du papier d'occlusion que seule la partie vibreur du transducteur de l'ITM (centre de la partie vestibulaire) soit en contact avec les dents.

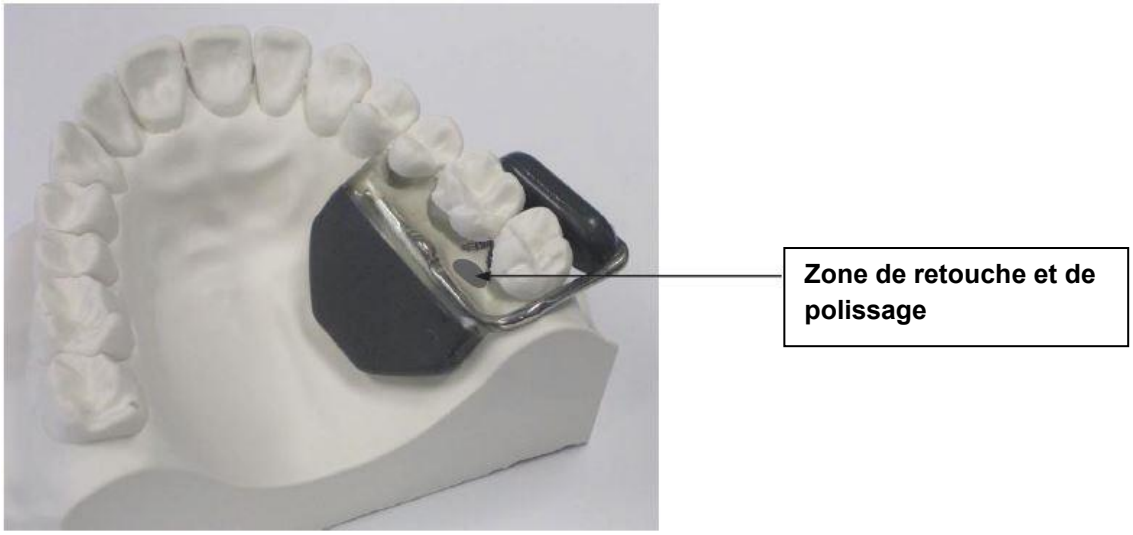


Image 11 : Règle de polissage de la partie ITM, sur modèle en plâtre (d'après : Sonitus Medical, 2013).

Si le patient mord sur le fil en acier, la prothèse est à refaire car on ne peut retoucher à cet endroit (présence de petits fils électriques à l'intérieur) sans entraîner une diminution de la qualité sonore et de la solidité de l'appareil. Ce type de morsure peut souvent être dû à la présence d'une troisième molaire mandibulaire, il convient alors d'envisager son avulsion avant de réaliser la prothèse.

Le rôle du chirurgien-dentiste est aussi d'apprendre au patient, une fois l'ITM réglée et ajustée, à l'insérer et à la positionner correctement en bouche de façon autonome (à l'aide d'une glace).

Une fois la partie ITM en place, la plupart des patients la trouvent confortable ; il faut la traiter comme une prothèse partielle : elle doit être portée pendant la journée, pas la nuit pour éviter les risques d'ingestion, le patient peut manger avec et doit la nettoyer régulièrement. Il est ensuite redirigé vers le médecin ORL afin de procéder à la programmation de sa prothèse.

- **Suivi du patient :**

Une fois l'appareillage programmé par l'audioprothésiste et validé par le médecin ORL, le patient va devoir faire effectuer un contrôle tous les six mois par son chirurgien-dentiste. Ce suivi est nécessaire pour contrôler l'hygiène bucco-dentaire et le nettoyage de la partie ITM, qui doit être effectué après chaque repas à l'aide d'une brosse à dent et de dentifrice ou de savon liquide, moins abrasif. Il faut également contrôler le bon maintien de la partie ITM, son innocuité vis-à-vis des muqueuses orales et, si nécessaire, procéder aux ajustements.

III.2.3.8. Témoignage

Le Centre des Sciences AT-BRISTOL, situé dans la ville de Bristol en Angleterre, est un centre visant à rendre la science accessible à tous. Dans cette optique, il accueille plusieurs expositions interactives abordant des thèmes éclectiques comme le corps humain, les étoiles et la physique où le son est largement représenté.
Dans le cadre de la compréhension de la perception sonore par le corps humain, le Centre dispose d'un prototype du système SoundBite mis à disposition du public. Les visiteurs peuvent ainsi tester la perception sonore par conduction osseuse sans être atteints de surdité.

Nous nous sommes rendus au Centre AT-BRISTOL et avons demandé à une personne de notre entourage de tester le dispositif et de nous décrire son vécu.

❖ Description de l'appareil

La source sonore est un lecteur mp3 fonctionnant à 50 dB. Celui-ci est branché par fil à un haut-parleur enfermé dans un tube en verre. Ce haut-parleur est directement en contact, par l'intermédiaire d'un petit conduit de plastique étanche, avec une barre en métal reliant les deux extrémités du tube (images 12, 13 et 14). Cette barre sort du tube par une de ses extrémités afin de permettre au visiteur de mordre dessus (image 14).

Ce tube est double afin de permettre à deux utilisateurs d'essayer le système en même temps, mais la source sonore est commune.

Les deux tubes en verre sont contenus dans un plus grand tube en plastique afin de les maintenir et d'éviter que les visiteurs ne touchent les fils et n'endommagent le lecteur mp3 (image 13).

Des pailles en papier sont à disposition des testeurs afin de ne pas mordre directement sur la barre en métal, pour une question d'hygiène (image 14).



Image 12 : Le système SoundBite du Centre At-Bristol (photographie personnelle).

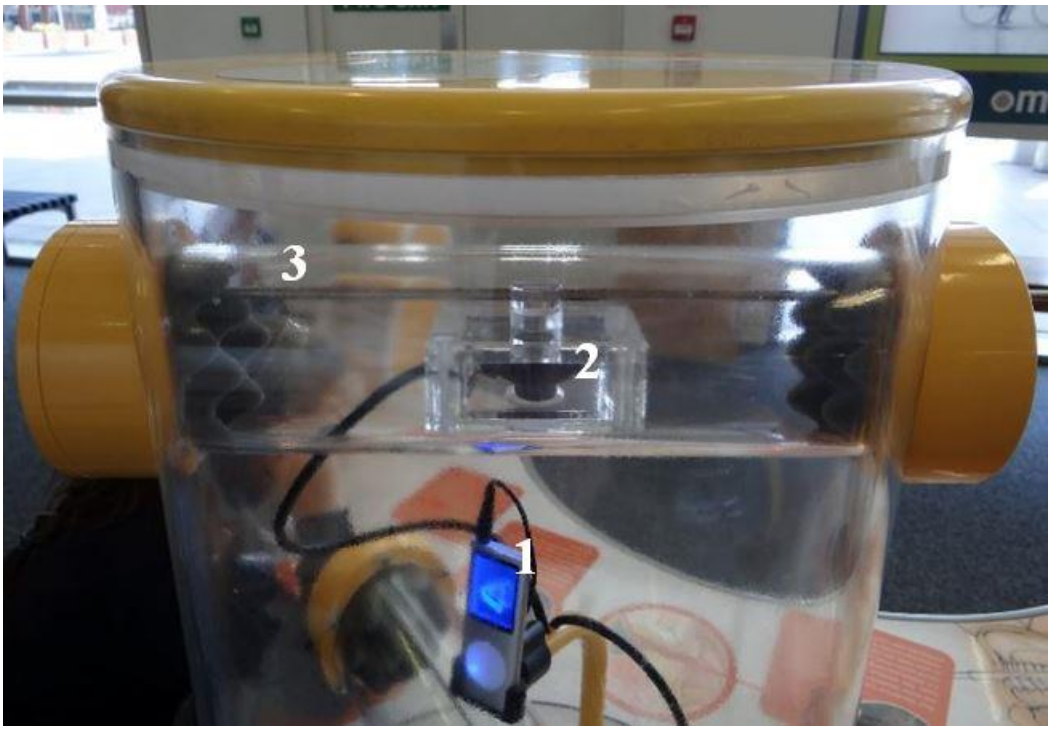


Image 13 : Présentation de la source sonore du système avec en 1 : le MP3, en 2 : le haut-parleur, en 3 : le tube en verre et la barre en métal (photographie personnelle).



Image 14 : Présentation de la barre en métal, sortant du tube de verre, et de la surface à mordre avec sa paille à usage unique (photographie personnelle).

❖ Expérience et ressenti

Le mp3 va transmettre des signaux électriques au haut-parleur qui va les transformer en sons. Les ondes sonores vont alors se propager à travers le conduit étanche vers la barre en métal et la faire vibrer. Lorsque l'utilisateur mord sur la barre, les ondes vibratoires se propagent à travers les dents et l'os maxillaire pour atteindre la cochlée et permettre l'interprétation des sons par le cerveau.

Notre « volontaire » a testé le dispositif (image 15) et a ensuite répondu à un questionnaire sur son ressenti. Il est à noter que notre « volontaire » a toutes ses molaires et prémolaires, à l'exception des troisièmes molaires. Les dents maxillaires présentent plusieurs restaurations à l'amalgame, mais sont toutes vivantes.



Image 15 : Test du dispositif SounBite par notre "volontaire" avec oreilles bouchées (photographie personnelle).

Notre « volontaire » a constaté que :

- Il n'y a pas de différence significative de perception sonore par morsure avec les prémolaires ou les molaires.
- La force de morsure sur la barre en métal ne change pas la perception sonore.
- Il y a une sensation dentaire durant l'expérience. Elle se traduit par un léger « chatouillement » qui n'est cependant pas désagréable.
- En revanche, aucune sensation n'a été décelée que ce soit dans les maxillaires ou même la langue.
- Si les oreilles sont bouchées avec les doigts, les sons produits par le mp3 sont audibles, parfaitement reconnaissables, par rapport à une écoute par écouteurs intra-auriculaires, mais atténués. S'en dégage une impression « d'ouïe voilée », comme si on se trouvait à l'extérieur d'une discothèque, car ce sont les basses qui sont surtout perçues.
- Si les oreilles ne sont pas bouchées, il y a une impression de bruit lointain ainsi qu'une nette superposition de la musique et des bruits extérieurs.
- La sensation auriculaire n'a cependant jamais été désagréable.

Ces résultats sont relatifs, ils dépendent de la sensibilité du patient et de son jugement. De plus, même si les oreilles sont bouchées, elles ne peuvent pas reproduire à 100 % la perception d'un patient atteint de surdité. Cette étude est donc présentée à titre indicatif, pour nous permettre de nous représenter la sensation perçue par conduction osseuse, mais n'est pas exhaustive.

III.2.4. Comparatif avec les autres moyens de traitement de la surdité

III.2.4.1. Comparatif avec les aides auditives par voie aérienne

❖ Définition (Macpherson et Ravichandiran, 2011 ; Miller, 2010)

Ces appareils sont les premiers à avoir été conçus pour le traitement de la surdité. Ils sont indiqués pour quasiment tous les types de surdités, mais l'oreille externe doit absolument être saine et intègre. Il en existe plusieurs types. Ces appareils ont un coût allant de 750 à 2000 €.

- **Les appareils en contour d'oreille :** ces appareils sont nombreux, ils varient notamment en fonction de leur taille, leur puissance et leur structure. Ils sont les plus utilisés (environ 72 % des personnes atteintes de surdité) en France. Ces dispositifs ont l'avantage d'être adaptés à tous types de surdité de l'oreille ciblée (à l'exception des surdités sévères et totales), d'être solides et relativement performants. En revanche, leurs inconvénients sont d'être parfaitement inesthétiques (même si un choix de couleurs en fonction de la peau est possible) et d'entraîner souvent une souffrance psychologique.

- **Les appareils intra-auriculaires :** ces dispositifs sont également nombreux (intra-conque, intra-conduit…) et sont utilisés par environ 27 % des personnes atteintes de surdité en France. Leurs principaux avantages sont d'être esthétiques et performants, mais ils ont en revanche la réputation d'être très fragiles.

❖ Comparaison avec le système SoundBite (Macpherson et Ravichandiran, 2011 ; Miller, 2010)

Les aides auditives précédemment citées utilisent la conduction aérienne pour pallier la surdité, alors que le système SoundBite utilise la conduction sonore osseuse. Or, l'utilisation de la conduction osseuse a permis d'obtenir de meilleurs résultats acoumétriques que l'appareillage conventionnel par voie aérienne, lors d'une épreuve de Rinne supérieure à 30 dB. Cela signifie que le temps d'audition est meilleur par conduction osseuse (Uzan, 2011) ; la voie aérienne permettant simplement d'augmenter le volume sonore (Miller, 2010).

- **Les avantages comparatifs du système :** le principal avantage se situe au niveau de son indication ; le système permet de traiter les surdités dans lesquelles l'oreille externe, ou moyenne, n'est pas indemne (surdité de transmission pure ou mixte) et la surdité totale unilatérale (non traitée par les aides auditives à conduction aérienne).

III.2.4.2. Comparaison avec les implants

❖ Définition (Taghavi, 2012)

Ces implants ont été conçus devant l'incapacité des aides auditives par conduction aérienne à traiter les surdités accompagnées d'une oreille externe ou moyenne déficientes. On en distingue différents types : il y a les implants cochléaires, qui vont stimuler électriquement le nerf auditif et dont l'avantage est de pouvoir traiter les surdités profondes bilatérales (ce n'est pas le sujet de cette thèse) ; les implants d'oreille moyenne (indiqués pour la surdité de transmission, la surdité de perception mais pas pour la surdité totale unilatérale (SSD)) et les implants à conduction osseuse tels que le Bonebridge® et le BAHA® (cf. chapitre III.2.2.2.). Ces derniers

ont les mêmes indications que le système SoundBite, c'est-à-dire les surdités de transmissions pures, les surdités mixtes et la SSD (notamment de perception). Ces implants par conduction osseuse fonctionnent sur un intervalle de fréquence de 700 Hz à 7 kHz. Ce système est composé de deux parties, l'implant en lui-même intra-osseux, trans ou percutané, qui va transmettre les vibrations à la cochlée, et le processeur externe, qui va capter les ondes sonores, les traiter, les transformer en vibrations et les délivrer à l'implant. En France, les implants (d'oreille moyenne ou osseux) ont un coût allant de 2500 à 7000 €.

❖ Comparaison avec le système SoundBite

Le système SoundBite a été conçu en tenant compte du pourcentage de patients qui ne supportent pas la mise en place des implants (intégration psychologique difficile). Le système a donc des avantages mais aussi des inconvénients vis-à-vis des implants.

- **Les avantages comparatifs du système (Gurgel et Shelton, 2013 ; Macpherson et Ravichandiran, 2011 ; Parmar, 2015 ; Sonitus Medical, 2013) :** le système SoundBite est un dispositif non-chirurgical, non-invasif et amovible. Il n'inclut donc pas de temps d'ostéointégration (trois mois) et ne nécessite pas d'anesthésie ni d'opération chirurgicale (1 h pour le BAHA®, 1 h 30 à 2 h pour l'implant d'oreille moyenne). Il est donc plus facile à accepter psychologiquement par le patient et est exempt des complications post-opératoires telles que les infections cutanées inhérentes au système BAHA® et le risque de dégradation de l'audition pour l'implant d'oreille moyenne.

  Le système SoundBite permet également de traiter la SSD, contrairement à l'implant d'oreille moyenne. De plus, il donne de meilleurs résultats auditifs sur un plus large intervalle de fréquence, de 250 Hz à 12 kHz (Popelka et coll., 2010), que les implants osseux. Les sons de plus hautes fréquences, masqués par le *head shadow* sont ainsi mieux perçus (cf. chapitre III.2.1.). Ceci permet un plus grand confort en presbyacousie, ainsi qu'une optimisation

de l'audition en SSD (Syms et Hernandez, 2014). Les scores APHAB sont ainsi meilleurs que ceux des implants osseux (Moore et Popelka, 2013).

Aux Etats-Unis, le système SoundBite coûte 6800 $ alors que les implants, avec leur processeur externe, coûtent en moyenne 7000 $. Certes, il faut rajouter environ 150 $ de frais dentaires et 750 $ de frais du fournisseur pour le système SoundBite, mais la pose d'un implant nécessite entre 2000 et 5000 $ de frais chirurgicaux et 1000 $ de frais professionnels (ce qui correspond à un total final d'environ 10000 $ par implant).

Il est à noter également que le coût total du système SoundBite est dépendant non seulement du taux de remboursement du patient, mais aussi de son état dentaire ; une réhabilitation dentaire (Implant, couronne, orthodontie…) pouvant entraîner des frais supplémentaires. Au final, le système SoundBite est moins cher qu'une solution implantaire (ce comparatif est effectué à partir des coûts des prestations de soins aux Etats-Unis, car le système SoundBite n'a jamais été commercialisé en France).

- **Les inconvénients comparatifs du système (Gurgel et Shelton, 2013 ; Macpherson et Ravichandiran, 2011 ; Miller, 2010 ; Sonitus Medical, 2013) :** un inconvénient principal du système est que la partie ITM peut être avalée si les réflexes du patient sont affaiblis. De plus, une bonne hygiène bucco-dentaire, ainsi que des conditions dentaires particulières sont nécessaires pour pouvoir confectionner le dispositif. Tous les patients ne sont donc pas candidats à la mise en place de l'appareil. Le système contre-indique l'absorption d'alcool et se comporte comme une prothèse dentaire classique en bouche ; il peut y avoir des irritations gingivales et des douleurs dans les premiers jours de port, mais aussi une usure de l'appareil avec le temps. Le dispositif est également mal toléré par certains patients, surtout pendant les repas. Par ailleurs, des effets Larsen (cf. chapitre III.2.3.6.) peuvent aussi être ressentis, mais c'est aussi le cas pour la solution implantaire.

III.2.5. Discussion

Le système SoundBite est donc une innovation technologique s'appuyant sur le principe bien connu de la conduction des sons par voie osseuse ; procédé déjà utilisé par les implants et autres technologies high-tech. Le but étant de traiter les surdités de transmission ou de perception partielle touchant une ou les deux oreilles et plus particulièrement la surdité de perception totale unilatérale (SSD). C'est pour cette dernière que la FDA a déterminé l'appareil comme étant « sûr et efficace » au terme de nombreuses études, qui ont notamment montré qu'il améliore la perception sonore de 26 %, soit de 2,6 dB (Miller, 2010). Le système a ainsi permis de soigner les personnes souffrant de surdité et ne désirant aucune chirurgie invasive, que ce soit par peur de l'anesthésie ou par souffrance psychologique une fois le « corps étranger » installé ; en effet, environ 3 % des implants BAHA® posés sont retirés par rejet du patient (Abdessemed, 2010).

La FDA a donné son approbation pour la commercialisation du système SoundBite en Janvier 2011 (Woodby et Galow, 2014), mais la NHSC (*National Health Service Corps*), chargée de délivrer des soins dans les zones mal desservies médicalement, a été dans l'impossibilité de déterminer le coût précis global du dispositif et en conséquence l'impact de son utilisation sur la santé dans ces zones. En effet, l'appareil étant garanti trois ans, il est fort probable que son usure nécessite le remplacement total du système après cette période ; la question du remboursement de l'appareil s'est donc posée, la firme Sonitus Medical désirant faire payer le minimum aux patients. La CMS (*Center for Medicare and medicaid Services*), responsable de la gestion des assurances maladies a déclaré en 2012 qu'elle ne prendrait pas en charge le remboursement du système, le considérant comme une aide-auditive (comme les appareils à conduction aérienne) et non pas comme une prothèse auditive à part entière (comme les implants) puisqu'il n'y a pas de recours à la chirurgie. Faute de remboursement, le système SoundBite est devenu trop cher vis-à-vis des implants qui sont remboursés, pour être un système viable et commercialisable. La firme Sonitus Medical a donc malheureusement déposé le bilan en Janvier 2015 (Parmar, 2015).

CONCLUSION

Le lien entre dentisterie et oreille est prouvé à travers de nombreuses notions. En effet, que ce soit au niveau anatomique avec la communication des affections entre la cavité orale et les structures auriculaires ou tout simplement par la présence d'un environnement naturellement bruyant au sein même du cabinet dentaire, le caractère indissociable des deux domaines, dentaire et auditif est démontré. Ainsi, la pratique dentaire se définit aussi par son aspect « sonore », puisque le bruit et ses conséquences font parties intégrantes de la vie professionnelle, tant pour le praticien lui-même, qui utilise une instrumentation portant en son sein les ondes sonores (ultrasons mais aussi instruments bruyants), que pour les patients atteints de déficience auditive qu'il faut gérer. L'étude des ondes sonores au sein du cabinet nous a permis de constater que, malgré le fort niveau de bruit présent, les sons en dentisterie ont aussi des avantages puisqu'ils permettent d'effectuer des soins de qualité. La gestion de la déficience auditive est un aspect important de l'exercice dentaire puisqu'il faut adapter les soins au patient afin de conserver le rapport de confiance praticien-patient. La prise en charge des troubles auditifs passe donc avant tout par un traitement adapté permettant une amélioration significative de la qualité de vie du patient. De nombreuses solutions existent donc selon le type d'atteinte (aides auditives, implants...) et nous avons montré que la conduction osseuse fait partie des plus efficaces pour transmettre les informations sonores. En outre, l'organe dentaire est un implant intra-osseux naturel ; à ce titre il permet la conduction des ondes vibratoires jusqu'aux tissus osseux maxillaires. Nous avons montré que tous les tissus dentaires et parodontaux, étaient à même de transmettre, plus ou moins rapidement, les ondes sonores. Cette notion n'est pas nouvelle car elle fut constatée à plusieurs occasions au cours de l'histoire, mais jamais une prothèse auditive ne s'était servie de ce phénomène. Au contraire, la pose d'implants cochléaires en titane s'étant généralisée, cette propriété dentaire naturelle a peu à peu sombré dans l'oubli, ne subsistant qu'à l'état de légende urbaine. C'est dans ce sens que le système SoundBite est innovant puisqu'il permet d'avoir une qualité de perception sonore équivalente aux implants tout en restant non-invasif. Ce système donne une place importante au chirurgien-dentiste qui intervient durant toutes les

étapes du traitement ; il pose les bases de la conception prothétique, règle le dispositif conçu et effectue une maintenance périodique. D'autres professionnels de santé étant impliqués, une véritable communication inter-disciplinaire se met en place, faisant du système SoundBite une solution fiable et intéressante pour le traitement de nombreux types de surdité, comme la surdité unilatérale.

Pourtant, en janvier 2015, la société Sonitus Medical fut contrainte de déposer le bilan suite à la décision de la CMS de ne pas rembourser l'appareil. Cette décision arbitraire met en avant l'inadéquation qui existe entre les programmes de santé et leur gestion au niveau de l'assurance maladie car, pour une simple définition désuète (la CMS considérant qu'une prothèse auditive nécessite une base chirurgicale), ce projet marqué sûr et efficace par la FDA fut avorté. Cette innovation technologique avait pourtant déjà trouvé son public. L'utilisation du système SoundBite a donc été stoppée en pleine ascension mais l'idée, elle, subsiste afin de garantir un jour à tous les patients, les meilleurs soins en adéquation avec les progrès technologiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdessemed C. *Surdité unilatérale : et puis vint le BAHA…* [en ligne]. 2010 [Consulté le 22/12/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.ecoute.ch/Solutions_Appareils_auditifs

- Alabaster J. Kyocera launches speakerless phone, uses vibrations to transmit sound to the ear [en ligne]. 2012 [Consulté le 01/06/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.computerworld.com/article/2503851/mobile-apps/kyocera-launches-speakerless-phone--uses-vibrations-to-transmit-sound-to-the-ear.html

- Arcier A. Des médicaments toxiques pour l'oreille [en ligne]. 2008 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.medecine-des-arts.com/Des-medicaments-toxiques-pour-l.html

- Aurengo A, Petitclerc T, Kas A. *Biophysique De la PACES à l'ECN*. 4e édition. Paris : Lavoisier, 2013, p. 163-179. Médecine Sciences Publications.

- Babu-Jacq S. *Etude des vibrations induites dans la sphère oro-faciale lors de l'utilisation des instruments rotatifs au cours des soins dentaires et implantaires*. Thèse d'exercice d'odontologie. Université de Nantes, unité de formation et de recherche d'odontologie ; 2010. 82 f.

- Baïotto S. *Modèle viscoélastique de remodelage osseux : approches théorique, numérique et expérimentale*. [Thèse de doctorat en biomécanique]. Paris : Université Paris XII – Val de Marne ; 2004. 172 p. Disponible à l'adresse : http://doxa.u-pec.fr/theses/th0214045.pdf

- Barkaoui A. *Modélisation multiéchelle du comportement mécano-biologique de l'os humain : de l'ultrastructure au remodelage osseux*. [Thèse de doctorat en génie mécanique]. Orléans : Université d'Orléans ; 2012. 177 p. Disponible à l'adresse : ftp://ftp.univ-orleans.fr/theses/abdelwahed.barkaoui_2616.pdf

- Berhaut P. Environnement anatomique des dents de sagesse maxillaires et mandibulaires. Protocoles chirurgicaux. [Thèse d'exercice d'odontologie. Nancy : Université Henri Poincaré – Nancy 1] ; 2009. 269 p. Disponible à l'adresse : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_TD_2009_BERHAUT_PAULINE.pdf

- Bernard-Masse C. *L'acoustique au cabinet dentaire : Enquête d'opinion auprès de chirurgiens-dentistes de Meurthe-et-Moselle et étude d'un cas particulier*. [Thèse d'exercice d'odontologie]. Nancy : Université Henri Poincaré – Nancy 1 ; 2011. 146 p. Disponible à l'adresse : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_TD_2011_BERNARD-MASSE_CLEMENT.pdf

- Bessone L, Fernandez B.E. Jr. Evaluation of Different Post Systems: Finite Element Method. *International journal of odontostomatology*, 2010, volume 4, n°3, p. 229-236.

- BIAP. Recommandations biap 02/1 bis, classification audiométrique des déficiences auditives [en ligne]. 1997 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.biap.org/index.php?option=com_content&view=article&id=5%3Arecommandation-biap-021-bis&catid=65%3Act-2-classification-des-surdites&Itemid=19&lang=fr

- Biarge G. L'otite de l'oreille moyenne chez le nourrisson et le jeune enfant [en ligne]. 2014 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://chiropracteur-saintjeandeluz.fr/lotite-de-loreille-moyenne-chez-le-nourrisson-et-le-jeune-enfant/

- Binggeli T, Lussi A, Zimmerli B. Le patient sourd ou malentendant, quelques informations pour améliorer la communication au cabinet de médecine dentaire. *Rev.Mens.Suisse Odontostomatol*, 2009, volume 119, n°8, p. 801-806.

- Binhas E, Kubler J-M, Petitjean B. *La gestion globale du cabinet dentaire volume 1*. Paris : Cdp, 2011, p. 95-132. Guide Professionnel.

- Blanc G. Les appareils à ultrasons et les soins dentaires. *Le Fil Dentaire*, 2008, n°31, p. 42-44.

- BruitParif. *Nocivité du bruit* [en ligne]. 2014 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.bruitparif.fr/bruit-et-sante/nocivite-du-bruit#.VTpLI5N2I2B

- CABA, centre antibruit d'Alsace. *Le bruit fait mal ! Malmenez-le !* [en ligne]. 2015 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.antibruit.org/

- CAELO. *Material Safety Data Sheet according to regulation (EC) n°1907/2006 (REACH), Gelatina alba Grießform, 160 Bloom* [en ligne]. 2015 [Consulté le 01/02/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjAoPz0_p7KAhXFvBoKHY8rCXkQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.caelo.de%2Fgetfile.html%3Ftype%3Dsdb_en%26cntry%3Den%26num%3D440c&usg=AFQjCNEnqoJEDdwGcOPQoeNyVFyIXm0dpQ

- Canetto P, Guillemy N. *Le bruit* [en ligne]. 5e édition. Paris : INRS, 2007. [Consulté le 17/07/2015]. Aide-mémoire juridique. Disponible à l'adresse : http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TJ%2016

- Canetto P, Thiery L. *Evaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit* [en ligne]. Paris : INRS, 2009. [Consulté le 17/07/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206035

- Canetto P. *Réglementation nuisances physiques, une approche commune* [en ligne]. Paris : INRS, 2012. [Consulté le 17/07/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206128

- Canetto P. *Techniques de réduction du bruit en entreprise. Quelles solutions, comment choisir* [en ligne]. Paris : INRS, 2006. [Consulté le 17/07/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20962

- Carbonneau X, Cazalbou J-B, Chassaing P, Joly L. *Mécanique des fluides PC-PSI*. Paris : Bréal, 2005, 191 p. Les nouveaux précis Bréal, physique.

- Chaussedent S. DEUG STU2 P1 – Propagation dans les solides [Présentation Powerpoint], Université d'Angers. 2002 [Consulté le 22/02/2015]. Disponible à l'adresse : http://slideplayer.fr/slide/1141258/

- Comptoir Médical Rochelais. *Catalogue « stérilisation autoclave »* [en ligne]. 2010 [Consulté le 20/03/2015]. Disponible à l'adresse : http://comptoir-medical-rochelais.fr/catalogue_autoclave.html

- Cudennec YF, Buffe P, Soubeyrand L. Ludwig van Beethoven. L'homme et son énigme médicale. *Les Cahiers d'O.R.L*, 1983, tome XVIII, n°1, p. 41-55.

- Cuminetti F. *L'enfant déficient auditif au cabinet dentaire : vers une meilleure prise en charge*. [Thèse de doctorat en Odontologie]. Nancy : Université Henri Poincaré – Nancy I ; 2012. 153p. Disponible à l'adresse : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_TD_2012_CUMINETTI_FANY.pdf

- Decup F, Lasfargues J-J. Préparations et restaurations adhésives à minima. Apport des techniques sono-abrasives. *Réalités Cliniques*, 2012, volume 23, n°3, p. 1-12.

- Detienville R. *Le traitement des Parodontites Sévères*. Paris : Quintessence International, 2002, p. 15-22. Réussir.

- Ducourneau G. *Eléments de musicothérapie*. 2e édition. Paris : Dunod, 2014, p. 107-127. Psychothérapies pratiques.

- Dupuis V, Leonard A. *Odontologie du sujet âgé : spécificités et précautions*. Paris : Elsevier Masson, 2010, p. 15-51. Pratique dentaire.

- Efficience, Santé au travail. *Le rôle du médecin du travail* [en ligne]. 2012 [Consulté le 06/01/2015]. Disponible à l'adresse : http://efficience-santeautravail.org/role-du-medecin-du-travail.html

- Ernst C, Gabriel M, Germain G. *Physique : Mécanique Thermodynamique Electricité Mouvements vibratoires Optique Radioactivité*. Paris : Masson, 1996, p. 148-167. Abrégés.

- Fawcett Don W, Jensh R.P. *HISTOLOGIE l'essentiel. « Bloom & Fawcett »*. Paris : Maloine, 2002, p. 109-126. Sciences fondamentales.

- Gabillard R. *Vibrations et phénomènes de propagation. Maîtrise d'E.E.A. C1-ondes et matière*. Paris: Dunod, 1969, p. 104-148.

- Garnier M, Delamare V, Delamare J, Delamare T. *Dictionnaire illustré des termes de médecine.* 30e édition. Paris : Maloine, 2009, 1054 p.

- Gaspard M. *Troubles de l'occlusion dentaire et SADAM : Orientations thérapeutiques*. Sèvres : Procodif, 1985, p. 170-180. Collection du chirurgien-dentiste.

- Gazsi M. Bruit : Silence, on travaille !. *Prévention BTP*, 2005, n°78, p. 39-47.

- Gilbert M. L'Ouïe, un sens à protéger. *Prévention BTP*, 2004, n°63, p. 48-49.

- Goldwein O, Aframian DJ. The influence of handheld mobile phones on human parotid gland secretion. *Oral Diseases*, 2010, volume 16, n°2, p. 146-150.

- Guerroumi N. Apport des dérivés de la matrice amélaire dans le traitement des lésions infra-osseuses. [Thèse de doctorat en odontologie]. Nancy : Université Henri Poincaré – Nancy I ; 2010. 156 p. Disponible à l'adresse : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_TD_2010_GUERROUMI_NOURREDINE.pdf

- Gurgel RK, Curtis SH, Shelton C. A novel intraoral bone conduction hearing prosthesis : one-year safety and efficacy study. *Otology & Neurotology*, 2015, volume 36, n°1, p. 106-110.

- Gurgel RK, Shelton C. The SoundBite Hearing System: Patient-Assessed Safety and Benefit Study. *The Laryngoscope*, 2013, volume 123, n°11 p. 2807-2812.

- Hartmann F. *Mal de dos, Fatigue, Migraine… si vous serrez les dents !*. Bluffy : Kawa, 2015, 208 p.

- Hauteville A. Anatomie de l'os alvéolaire [en ligne]. 2011 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://conseildentaire.com/2011/11/03/anatomie-de-los-alveolaire/

- Hauteville A. Dent et oreille, les otalgies d'origine dentaire [en ligne]. 2012 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://conseildentaire.com/2012/09/10/dent-et-oreille-les-otalgies-dorigine-dentaire/

- Hodnett M. Acoustic/Ultrasound : Measuring Cavitation in Ultrasonic Cleaners and Processors [en ligne]. 2011 [Consulté le 25/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.sensorsmag.com/sensors/acoustic-ultrasound/measuring-cavitation-ultrasonic-cleaners-and-processors-8161

- Hu X, Barbarat G, Labesse-Jied F. Création d'un modèle éléments finis du système couplé « fêmur-prothèse impactée » en vue de l'étude de la stabilité primaire des prothèses [en ligne]. 2008 [Consulté le 27/02/2015]. Disponible à l'adresse : http://liris.cnrs.fr/~cnriut08/actes/articles/173.pdf

- Interson Protac. Le bruit au travail, Décibels, Fréquence [en ligne]. 2015 [Consulté le 20/08/2014]. Disponible à l'adresse : http ://www.interson-protac.com/download/bruit_au_travail.pdf

- ISO. ISO 13175-3 : 2012 [en ligne]. 2012 [Consulté le 25/04/2015]. Disponible à l'adresse : https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13175:-3:ed-1:v1:fr

- Janssens J-L, Ernst S. *Les Zappeurs : La télé rend flou !*. Paris : Dupuis, 2001, 48 p.

- Jeanmonod A. *Occlusodontologie : applications cliniques*. Paris : Cdp, 1988, 358 p.

- Keller J-F, Feuillet D, Rodier P. Lésions infra-osseuses sévères, jusqu'où conserver ?. *Journal de Parodontologie & d'Implantologie Orale*, 2013, volume 32, n°3, p. 175-187.

- Korbendau J-M, Korbendau X. *L'extraction de la Dent de Sagesse*. Paris : Quintessence International, 2001, 136 p. Réussir.

- La ligue contre le cancer. Les cancers des voies aéro-digestives supérieures [en ligne]. 2009 [Consulté le 12/12/2014]. Disponible à l'adresse : http://www.ligue-cancer.net/sites/default/files/brochures/cancers-voies-aero-digestives-superieures.pdf

- Lam A, Tramba P. Sono-dentisterie *What did you expect ?*, *L'information dentaire,* 2012, volume 94, n°2, p. 2-6.

- Lasfargues J-J, Colon P. *Odontologie conservatrice et restauratrice*. *Tome 1 : une approche médicale globale*. Paris : Cdp, 2010, 480 p. JPIO.

- Le Petit Larousse illustré. Edition 2016. Paris : Larousse, 2015, 2048 p.

- Lecerf A. *Physique des ondes et des vibrations. Rappels de cours et exercices résolus*. 2e édition. Paris : Lavoisier, 1996, p. 65-77. TEC et DOC.

- Legent F, Billet J, Malard O. *Atlas pratique oreille et bouche*. Paris : Masson, 2001, 274 p.

- Legifrance. *Décret n° 2006-892 du 19 juillet 2006 relatif aux prescriptions de sécurité et de santé applicables en cas d'exposition des travailleurs aux risques dus au bruit et modifiant le code du travail (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat)* [en ligne]. 2006 [Consulté le 24/04/2015] Disponible à l'adresse : http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000425550&dateTexte=&categorieLien=id

- Leipp E. *Acoustique et Musique*. Paris : Presses des Mines, 2010, 376 p. Technologies.

- Leonard P. Acouphènes. *L'information dentaire*, 2014, volume 96, n°10, p. 18-19.

- Lugand M. *Les ultrasons en odontologie conservatrice et en endodontie : données actuelles*. [Thèse de doctorat en Odontologie]. Nancy : Université de Lorraine ; 2013. 120p. Disponible à l'adresse : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_TD_2013_LUGAND_MARC.pdf

- Macpherson MJ, Ravichandiran M. Listening with our teeth! The SoundBite Hearing Aid: a new technology for single-sided deafness. *University of Western Ontario Medical Journal*, 2011, volume 80, n°2, p. 10-11.

- Marchandise X, Bordenave L, De Certaines J, Grall Y, Idy-Peretti I. *Biophysiques pour les sciences de la vie et de la santé*. Sophia-Antipolis : Omniscience, 2006, p. 315-316. PCEM, PCEP/LICENCE.

- Martin A. *Troubles de l'audition et exercice professionnel chez le chirurgien-dentiste : mythes et réalités*. [Thèse de doctorat en odontologie]. Nantes : Université de Nantes, unité de formation et de recherche en odontologie ; 2003. 55p. Disponible à l'adresse : http://archive.bu.univ-nantes.fr/pollux/show.action?id=0e129a9c-2580-4fce-963a-53226a491154

- Miller R, Hujoel P, Murray M, Popelka GR. Safety of an intra-oral hearing device utilizing a split-mouth research design. *The Journal of Clinical Dentistry*, 2011, volume 22, n°5, p. 159-162.

- Miller RJ. It's time we listened to our teeth: the SoundBite hearing system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2010, volume 138, n°5, p. 666-669.

- Moore BC, Popelka GR. Preliminary comparison of bone-anchored hearing instruments and a dental device as treatments for unilateral hearing loss. *International Journal of Audiology*, 2013, volume 52, n°10, p. 678-686.

- Moore KL, Dalley A-F, Agur A. *Anatomie médicale: aspects fondamentaux et applications cliniques*. Paris : De Boeck, 2001, p. 1083-1106.

- Mortazavi SM, Daiee E, Yazdi A, et al. Mercury release from dental amalgam restorations after magnetic resonance imaging and following mobile phone use. *Pak J Biol Sci*, 2008, volume 11, n°8, p. 1142-1146.

- Mudry A. *Anatomie et physiologie de l'oreille* [en ligne]. 2015 [Consulté le 12/05/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.oreillemudry.ch/introduction/

- Murray M, Miller R, Hujoel P, Popelka GR. Long-term safety and benefit of a new intraoral device for single-sided deafness. *Otology & Neurotology*, 2011, volume 32, n°8, p. 1262-1269.

- Murray M, Popelka GR, Miller R. Efficacy and safety of an in-the-mouth bone conduction device for single-sided deafness. *Otology & Neurotology*, 2011, volume 32, n°3, p. 437-443.

- Netter FH. *Atlas d'anatomie humaine*. 4e édition. Pennsylvanie : Elsevier Masson, 2007, 640 p.

- Nizard J. Le traumatisme sonore en milieu professionnel : l'exemple des chirurgiens-dentistes. *Les Cahiers de l'Audition*, 2010, volume 23, n°4, p. 11-16.

- OMS. Surdité et déficience auditive : aide-mémoire n°300 [en ligne]. 2015 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/fr/

- ONCD. Devoirs des chirurgiens-dentistes envers les malades, R4127-233 [en ligne]. 2009 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.ordre-chirurgiens-dentistes.fr/code-de-deontologie/consulter-le-code-de-deontologie.html

- Ortet S, Toca E, Tassery H. Apport des instruments soniques et ultrasoniques dans les préparations à visée esthétique. *L'Information Dentaire*, 2011, volume 93, n°19, p. 16-24.

- Parmar A. CMS Killed My $80M Venture-Backed Startup [en ligne]. 2015. [Consulté le 28/05/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.mddionline.com/blog/devicetalk/cms-coverage-decision-killed-my-80m-venture-backed-startup-04-02-15

- Pickles JO. Auditory pathways: anatomy and physiology. *Handbook of Clinical Neurology*, 2015, volume 129, p. 27-53.

- Pire J. Les ondes sonores, extrait du dossier « Plus besoin de fil ni de branchement pour téléphoner… », dossier physique n°1, niveau 6 [en ligne]. 2003 [Consulté le 22/03/2015]. Disponible à l'adresse : https://www.uclouvain.be/cps/ucl/doc/emediasciences/documents/Les_ondes_sonores.pdf

- Poblete-Michel MG, Michel J-F. *Les Applications chirurgicales des Ultrasons*. Paris : Quintessence International, 2008, p. 11-28. Réussir.

- Popelka GR, Derebery J, Blevins NH, Murray M, Moore BC, Sweetow RW, et al. Preliminary evaluation of a novel bone-conduction device for single-sided deafness. *Otology & Neurotology*, 2010, volume 31, n°3, p. 492-497.

- Pouyssegur V, Mahler P. *Odontologie gériatrique, optimiser la prise en charge au cabinet dentaire*. 2e édition. Paris : Cdp, 2010, p. 80-83. Guide clinique.

- Puel J-L. Chemical synaptic transmission in the cochlea. *Progress in Neurobiology*, 1995, volume 47, n°6, p. 449-476.

- Pujol R, Gil-Loyzaga P. *Voyage au centre de l'audition, étudiants et professionnels* [en ligne]. 2013. [Consulté le 26/05/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.cochlea.eu/

- Qsaibati ML, Ibrahim O. Noise levels of dental equipment used in dental college of Damascus University. *Dental Research Journal*, 2014, volume 11, n°6, p. 624-630.

- Robin O. *La détente psychomusicale en odontologie parmi les techniques de relaxation*. Thèse d'exercice d'odontologie. Université Claude Bernard (Lyon) ; 1982. 145 f.

- Seligmann H, Podoshin L, Ben-David J, Fradis M, Goldsher M. Drug-Induced Tinnitus and Other Hearing Disorders. *Drug Safety*, 1996, volume 14, n°3, p. 198-212.

- Seuret O. Les relations entre l'occlusion et les désordres temporo-mandibulaires. [Thèse de doctorat en odontologie]. Nancy : Université de Nancy I ; 2001. 183 p. Disponible à l'adresse : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_TD_2001_SEURET_OLIVIER.pdf

- Siervo S, Ruggli-Milic S, Radici M, Siervo P, Jager K. La piézochirurgie intra-orale. *Rev.Mens.Suisse Odontostomatol*, 2004, volume 114, n° 4, p. 373-377.

- Simon S, Machtou P, Pertot W-J. *Endodontie*. Paris : CdP, 2012, p. 53-105. JPIO.

- Sonitus Medical. *SoundBite hearing system, professional instructions for use* [en ligne]. 2013 [Consulté le 10/11/2014]. Disponible à l'adresse : http://www.sonitusmedical.com

- Sylvester D, Gardner R, Reilly PG, Rankin K, Raine CH. Audiologic and Surgical Outcomes of a Novel, Nonpercutaneous, Bone Conducting Hearing Implant. *Otology & Neurotology*, 2013, volume 00, n° 00, p. 1-5.

- Syms MJ, Hernandez KE. Bone conduction hearing : device auditory capability to aid in device selection. *Otolaryngology Head and Neck Surgery*, 2014, volume 150, n°5, p. 866-871.

- Taghavi H. *A Novel Bone Conduction Implant System*. [Thèse de doctorat en ingénierie]. Göteborg : Chalmers University of Technology ; 2012. 48 p. Disponible à l'adresse : http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/155547.pdf

- Terre d'audition : correction auditive. Définition de la surdité [en ligne]. 2015 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.terre-audition.fr/profil-auditif/definition-de-la-surdite.html

- Theoleyre B, Chirat M. *ORL Stomatologie*. 2e édition. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2013, p. 51-60 et 157-174. Cahiers des ECN.

- Travailler mieux, la santé et la sécurité au travail. *Dangers et risques, bruit en milieu de travail* [en ligne]. 2015 [Consulté le 24/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.travailler-mieux.gouv.fr/Bruit-en-milieu-de-travail.html

- Trost O, Trouilloud P. *Tête, cou, nerfs crâniens & organes des sens*. Paris : Ellipses, 2011, p. 175-195. Les cours de PAES.

- Uzan R. *Etude comparative entre la BAHA (Cochlear) et la Ponto (Oticon Medical)*. [Mémoire d'audioprothèse]. Nancy : Université Henri Poincaré – Nancy I ; 2011. 67 p. Disponible à l'adresse : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_MAUDIO_2011_UZAN_RAPHAEL.pdf

- Vereeck E. Amalgames dentaires et téléphone portable [en ligne]. 2011 [Consulté le 25/04/2015]. Disponible à l'adresse : http://www.holodent.fr/index.php/amalgame/371-amalgames-dentaires-et-telephone-portable

- Vincent B, Gissinger V. Les effets du bruit sur la santé [en ligne]. 2011 [Consulté le 20/11/2014]. Disponible à l'adresse : www.acoucite.org/IMG/pdf/effets_bruit-sante_2011.pdf

- Wolf HF, Rateitschak KH, Rateitschak EM. *Parodontologie*. 3e édition. Paris : Masson, 2005, p. 1-20.

- Woodby L, Galow L. *Patients Satisfied with Intraoral Device for Single-Sided Deafness*. *The Hearing Journal*, 2014, volume 67, n°2, p. 16-18.

- Younes R, Lahoud P, Boukaram M. Apport de la piézochirurgie dans l'élévation sinusienne par voie latérale : intérêt du volet repositionné. *Le Fil Dentaire,* 2014, n°94, p. 28-32.

- Zananiri C. *Musique et Physique*. Paris : Ellipses, 2002, 144 p. La physique pour tous.

- Zannini M. Préparation parodontale pré-orthodontique des migrations dentaires d'origine pathologique. [Thèse d'exercice en odontologie]. Nancy : Université Henri Poincaré – Nancy I ; 2011. 147 p. Disponible à l'adresse : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_TD_2011_ZANNINI_MILENA.pdf

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE **9**

LISTE DES FIGURES **10**

LISTE DES IMAGES **12**

LISTE DES TABLEAUX **14**

INTRODUCTION **15**

I. Les nuisances sonores, description générale et impact en pratique dentaire **16**

I.1. Les désagréments sonores de la pratique professionnelle 16

I.1.1. Généralités 17

I.1.1.1. Le son et l'audition 17

I.1.1.2. Le bruit 19

I.1.1.3. Les conséquences du bruit au travail 27

I.1.1.4. La prévention du bruit au travail 28

I.1.2. Le cas particulier du cabinet dentaire 32

I.1.2.1. Introduction 32

I.1.2.2. Le bruit au cabinet 32

I.1.2.3. L'avis des chirurgiens-dentistes 35

I.1.2.4. Les moyens de gestion 37

I.1.2.5. Le paradoxe de la musicothérapie 40

I.2. Le patient déficient auditif 41

I.2.1. Généralités 41

I.2.1.1. Définition 41

I.2.1.2. Causes 45

I.2.1.3. Prévention 47

I.2.2. La gestion de l'adulte déficient auditif au cabinet dentaire 48

I.2.2.1. Une approche humaine 48
I.2.2.2. L'impact de la surdité sur les possibilités thérapeutiques 51
I.3. La dent, cause de surdité 54
I.3.1. La proximité de l'oreille et de la cavité orale 54
I.3.1.1. Communication nerveuse 55
I.3.1.2. Les dents de sagesse 60
I.3.2. Les affections bucco-dentaires en lien avec l'oreille 61
I.3.2.1. Les infections dentaires 61
I.3.2.2. Troubles de l'ATM 62
I.3.2.3. La parotidite 63
I.3.2.4. Les lésions tumorales 64
I.3.2.5. Les conséquences auriculaires des affections bucco-dentaires 65
I.3.3. Les précautions à prendre en chirurgie-dentaire 67
I.3.3.1. Les extractions 67
I.3.3.2. Les prescriptions 68
II. Les ondes : omniprésentes en dentisterie 71
II.1. Les ondes dans l'instrumentation 71
II.1.1. Principes physiques des ondes 71
II.1.1.1. Définition 71
II.1.1.2. Types d'ondes rencontrés en dentisterie 76
II.1.2. Techniques instrumentales 86
II.1.2.1. Le détartrage 86
II.1.2.2. La chirurgie 89
II.1.2.3. La dentisterie restauratrice 91
II.1.2.4. Le nettoyage instrumental 97
II.2. Les tissus dentaires et parodontaux : des conducteurs d'ondes .....**Erreur ! Signet non défini.**

II.2.1. Les tissus dentaires 99
II.2.1.1. L'émail 100
II.2.1.2. La dentine 103
II.2.1.3. La pulpe 106
II.2.2. Le parodonte 108
II.2.2.1. Le cément 109
II.2.2.2. La gencive 111
II.2.2.3. Le ligament alvéolodentaire (LAD) 112
II.2.2.4. L'os alvéolaire 116
II.2.3. Conclusion 116
III. L'innovation du système SoundBite 117
III.1. Le système auditif 117
III.1.1. Anatomopathologie de l'oreille 117
III.1.1.1. L'oreille externe 118
III.1.1.2. L'oreille moyenne 120
III.1.1.3. L'oreille interne 122
III.1.2. La transmission des informations auditives au cerveau 124
III.1.2.1. La sortie cochléaire 124
III.1.2.2. Le nerf vestibulo-cochléaire 124
III.2. Le système SoundBite 125
III.2.1. Introduction 125
III.2.2. Histoire 126
III.2.2.1. Beethoven, un précurseur du système SoundBite 126
III.2.2.2. Petite histoire de la conduction sonore osseuse 127
III.2.3. Présentation 131
III.2.3.1. Description du système 131
III.2.3.2. Fonctionnement 135

III.2.3.3. Indications 138
III.2.3.4. Contre-indications 139
III.2.3.5. Précautions d'utilisation 140
III.2.3.6. Etudes 141
III.2.3.7. La communication dentiste - médecin ORL – audioprothésiste 151
III.2.3.8. Témoignage 158
III.2.4. Comparatif avec les autres moyens de traitement de la surdité 163
III.2.4.1. Comparatif avec les aides auditives par voie aérienne 163
III.2.4.2. Comparaison avec les implants 164
III.2.5. Discussion 167
CONCLUSION 168
BIBLIOGRAPHIE 170

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Faculté d'Odontologie

Jury : Président : J-M. MARTRETTE– Professeur des Universités
Juges : V. MOBY– Maître de Conférence des Universités
N. MARCHETTI– Praticien Hospitalier
N. PAOLI– Assistante Hospitalier Universitaire

Thèse pour obtenir le diplôme D'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Présentée par: **Monsieur SCHLOSSER Alexandre**

né(e) à: **SARREBOURG (Moselle)** le **22 septembre 1990**

et ayant pour titre : « **Etude du lien entre dentisterie et oreille à travers une innovation dans le traitement de la surdité : le système Soundbite** ».

Le Président du jury

J.M. MARTRETTE

Le Doyen,
de la Faculté d'Odontologie

J.M. MARTRETTE

Autorise à soutenir et imprimer la thèse 9064

NANCY, le – 4 FEV. 2016

Le Président de l'Université de Lorraine

P. MUTZENHARDT

SCHLOSSER Alexandre – Etude du lien entre dentisterie et oreille à travers une innovation dans le traitement de la surdité : le système SoundBite. Nancy 2016 :188 pages. 22 figures ; 15 images ; 9 tableaux.

Th : Chir.-Dent. : Nancy : 2016

Mots clés :

- Conduction osseuse
- Onde sonore
- Oreille
- SoundBite
- Surdité

Résumé :

L'audition et le bruit occupent une place importante dans la vie du cabinet dentaire. Les nuisances sonores sont, en effet, omniprésentes dans le milieu professionnel et le chirurgien-dentiste n'en est pas exempt puisqu'il est notamment amené à utiliser une instrumentation bruyante durant son exercice. La surdité et le déficit auditif en général, constituent un véritable handicap psychosocial ; le patient atteint nécessitant une prise en charge particulière pouvant entraîner une restriction au niveau des soins qui lui sont prodigués. En outre, la symptomatologie met en avant le lien auriculo-oral puisque certains troubles auditifs peuvent avoir des causes bucco-dentaires. Ces considérations prises en compte, il est nécessaire de prendre les mesures qui s'imposent vis-à-vis de cette affection, tant en prévention qu'en traitement. C'est ainsi que l'organe dentaire, potentiel coupable, peut aussi être acteur de thérapie. En effet, des preuves montrent que les dents permettent la transmission d'ondes vibratoires à l'os. La société Sonitus Medical s'est donc penchée sur l'utilisation de cette conductivité pour transmettre les ondes sonores à l'oreille interne sans passer par l'oreille externe et/ou moyenne déficientes, mais aussi pour pallier la surdité unilatérale, véritable handicap social. A l'aide d'une prothèse fixée aux dents postéro-supérieures, les sons sont ainsi transmis à la cochlée. Le chirurgien-dentiste est directement impliqué dans ce traitement puisqu'il doit réaliser la prothèse et identifier les patients candidats, ceci en relation étroite avec un oto-rhino-laryngologiste et un audioprothésiste. Nous allons décrire ce système innovant et comprendre, par l'analyse du rôle du chirurgien-dentiste dans la gestion du déficit auditif, de la conduction sonore dentaire et de l'anatomie auriculo-orale, à quel point dentisterie et oreille sont liées.

Membres du jury :

Pr. J-M. MARTRETTE	Professeur des Universités	Président
Dr. V. MOBY	Maître de Conférences	Directeur de thèse
Dr. N. MARCHETTI	Praticien Hospitalier	Juge
Dr. N. PAOLI	Assistante Hospitalo-Universitaire	Juge

Adresse de l'auteur :

Alexandre SCHLOSSER

7 chemin des pommiers

57560 ABRESCHVILLER