

Progrès  
& dispositifs  
médicaux  
NOUVELLE ÉDITION

# INNOVATION EN AUDIOLOGIE



LE DISPOSITIF MÉDICAL  
**snitem**  
Pour faire avancer la santé



# SOMMAIRE

LE DISPOSITIF MÉDICAL

# snitem


Pour faire avancer la santé

Maison de la Mécanique  
39, rue Louis Blanc  
CS 30080  
92038 La Défense Cedex

Directeur de la publication : Éric Le Roy  
Responsable d'édition : Nathalie Jarry  
Rédactrice : Géraldine Bouton  
Édition déléguée : Presse Infos Plus  
([www.presse-infosplus.fr](http://www.presse-infosplus.fr))  
Secrétariat de rédaction et édition : Studio Hartpon  
Création graphique : ArtFeelsGood  
Maquette : Didier Michon

Crédits photos, tous droits réservés : Adobe Stock,  
Cochlear France, Oticon Medical, Sonova France,  
Sivantos.

Impression : Imprimerie de l'Étoile 61190 Tourouvre  
Nouvelle édition - septembre 2020  
ISBN : 979-10-93681-26-9

Les mots techniques ou scientifiques expliqués  
en fin de livret dans la partie glossaire sont signalés  
dans le texte par le symbole 

3  
4  
6  
10  
13  
22  
26  
32  
34  
38  
40  
42

PRÉFACE

INFOGRAPHIE

INTRODUCTION

Enjeux

L'audition, un enjeu de santé publique

Aide auditive non invasive et adaptable  
en conduction aérienne

Une solution désormais multiservice

Implant à conduction osseuse

Les implants au service de la vibration osseuse

Implant cochléaire

Une révolution dans la prise en charge  
de la surdité sévère à profonde

Implant du tronc cérébral

Entendre sans nerf auditif

Implant de l'oreille moyenne

Amplifier les mouvements des osselets  
plutôt que ceux du tympan

REGARDS DE PATIENTS

GLOSSAIRE

SOURCES & REMERCIEMENTS

# Prévenir et rétablir la santé auditive, les défis de l'audiologie

## PRÉFACE



### **Pr Christophe Vincent**

*Chef du service d'otologie et oto-neurologie  
au CHRU de Lille*

L'innovation des dispositifs médicaux en audiologie a permis d'améliorer de manière exponentielle la qualité de la prise en charge des patients souffrant de troubles auditifs. Ainsi, si le principal défi de cette science a toujours été de compenser le handicap de surdité, quel qu'en soit le degré, son champ d'actions s'est considérablement étendu et, au fil des décennies, les dispositifs sont devenus de plus en plus performants.

Le travail porté sur l'ergonomie et la miniaturisation des dispositifs a permis de gagner en discrétion et en confort, des critères essentiels pour les patients. Également, les apports des nouvelles technologies et de l'intelligence artificielle offrent aujourd'hui une très large gamme de fonctionnalités, apportant des réponses aux différentes pathologies auditives, là encore au bénéfice du patient.

Cette innovation est plus que jamais nécessaire, au regard de l'enjeu que représente la santé auditive, d'ailleurs inscrite au programme de la stratégie nationale de santé. On ne saurait ignorer, en effet, que l'audition a des répercussions sur l'ensemble de l'organisme humain. Plus encore, une perte auditive influe négativement sur la vie sociale, familiale et professionnelle de celui qui en souffre : facteurs d'isolement, il est aujourd'hui acquis que les troubles auditifs favorisent le déclin cognitif, la perte d'autonomie et les états dépressifs, particulièrement chez les personnes âgées.

Dans le contexte de vieillissement de la population que nous connaissons, il est donc plus que jamais essentiel de rendre ces dispositifs accessibles à tous *via* une prise en charge complète, avec un reste à charge réduit, et le développement de la télé-audiologie, notamment pour les personnes isolées géographiquement ou ne pouvant se déplacer.

Mais soigner n'est pas tout : il faut également œuvrer à la prévention et à la promotion de la santé auditive au travail, à la maison et dans toute la société afin de réduire les pollutions sonores et les conduites à risque.

Si cela concerne toutes les tranches d'âges, les plus jeunes doivent faire l'objet d'une sensibilisation particulière : en effet, si les progrès réalisés en audiologie sont absolument admirables, avec en particulier le développement de l'audiométrie vocale dans le bruit, préserver son capital auditif doit rester une priorité.

# L'OREILLE ET LES TROUBLES AUDITIFS

En France, 10 millions de personnes ont un problème d'audition, et 6 millions sont concernées par la malentendance (dont 2 millions ont moins de 55 ans). En outre, 2 Français sur 3 n'ont jamais fait contrôler leur audition, et seuls 15% des personnes concernées par un trouble auditif sont appareillées. Or le déclin cognitif est 30 à 40% plus rapide chez les personnes âgées souffrant de surdité.

Sources : CNA-Synam-Synea-Unsaf, JNA-IFOP, Marc Boulet Audition, Drees, Le Figaro Santé 2014.

## OREILLE EXTERNE

PAVILLON

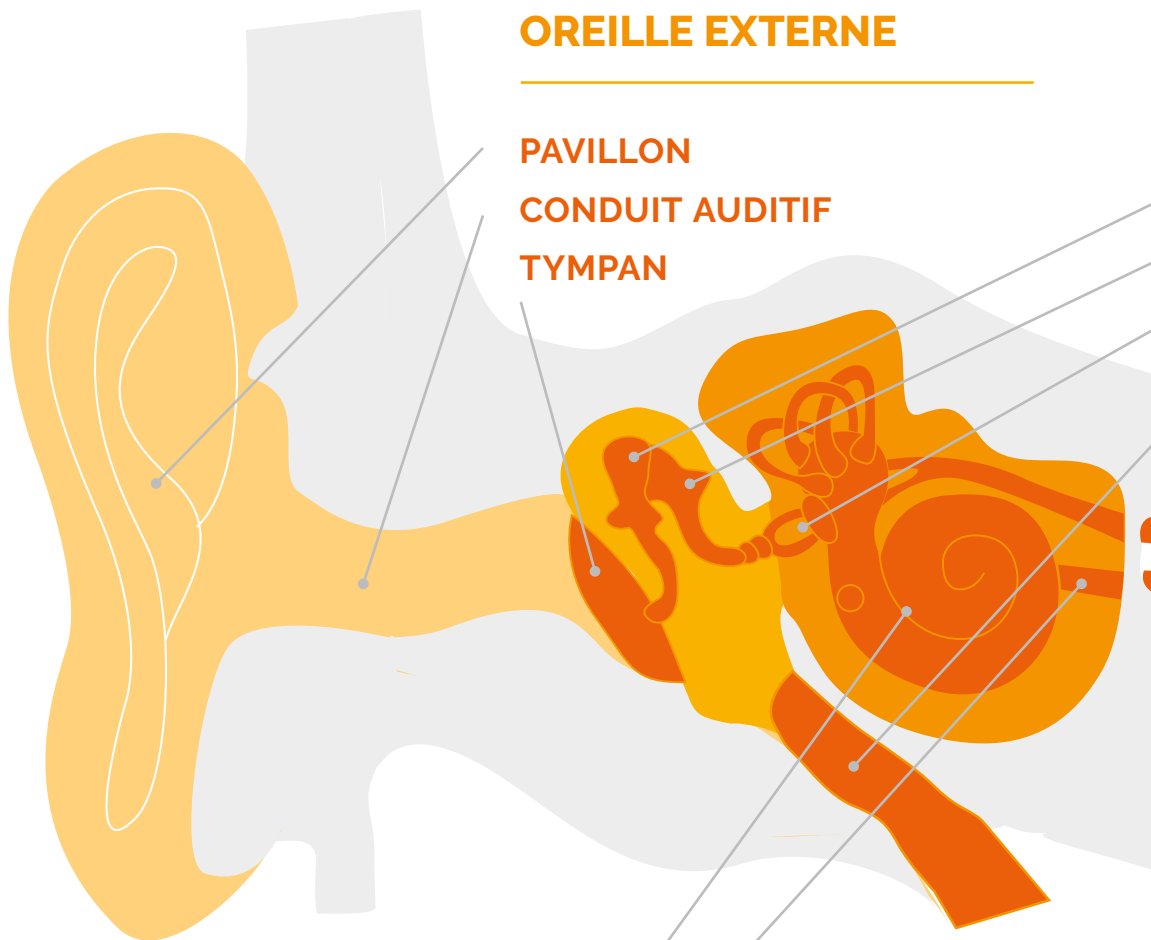
CONDUIT AUDITIF

TYMPAN

## OREILLE INTERNE

COCHLÉE

NERF AUDITIF



# OREILLE MOYENNE

MARTEAU

ENCLUME

ÉTRIER

TROMPE D'EUSTACHE

## LES DEGRÉS DE PERTE AUDITIVE

**ENTRE 20 ET 40 DB**  
**perte auditive légère**

> 55% des Français malentendants

**ENTRE 40 ET 70 DB**  
**perte auditive moyenne**

> 33% des Français malentendants

**ENTRE 70 ET 90 DB**  
**perte auditive sévère**

> 9% des Français malentendants

**90 DB**  
**perte auditive profonde**

> 3% des Français malentendants

### La surdité mixte

- **Quoi ?** Surdité due à une mauvaise transmission du son des oreilles externe et moyenne vers l'oreille interne, et à une cochlée endommagée.
- **Causes ?** Maladies, certains médicaments, traumatisme crânien, obstruction, malformation..
- **Solution ?** Traitement médical ou chirurgical et/ou aides auditives.

### La surdité cognitive

- **Quoi ?** Surdité se manifestant par l'incapacité à reconnaitre certains sons ou bruits connus, les mélodies, les timbres de voix, etc.
- **Causes ?** AVC, traumatisme crânien, troubles neurologiques, tumeur ou abcès cérébral.
- **Solution ?** Selon la cause, et s'accompagne souvent de r ducation.

### La surdité de transmission

- **Quoi ?** Surdité le plus souvent temporaire où l'oreille externe ou moyenne ne transmet plus correctement le son.
- **Causes ?** Obstruction du conduit auditif, infection, perforation du tympan..
- **Solution ?** Traitement médical.

### La surdité de perception

- **Quoi ?** Surdité caus e par la destruction des cellules ciliées de la cochlée.
- **Causes ?** Vieillissement, exposition prolongée à des bruits excessifs, traumatisme crânien, certaines maladies..
- **Solution ?** Aides auditives.

### Les acouphènes

- **Quoi ?** Sensations auditives (sifflement, bourdonnement, etc.) non causées par un bruit extérieur.
- **Causes ?** Traumatismes, vieillissement, bouchon de cérumen, otite..
- **Solution ?** Processus d'habituation.

## INTRODUCTION

### DISPOSITIFS MÉDICAUX ET PROGRÈS EN AUDIOLOGIE

# L'INNOVATION À L'ÉCOUTE DES PATIENTS

De la main portée derrière l'oreille – premier amplificateur naturel – aux appareils numériques aux capacités de calcul phénoménales, de nombreuses étapes ont été franchies pour permettre à l'homme d'entendre non seulement correctement mais bien plus encore.



Les êtres humains ont toujours rivalisé d'ingéniosité pour améliorer leur audition. D'abord naturellement, en plaçant leur main en creux derrière le pavillon de leur oreille pour amplifier les sons, puis, du V<sup>e</sup> au XV<sup>e</sup> siècles, grâce à des ustensiles modelés à partir de cornes d'animaux et de coquillages. Les premiers cornets acoustiques étaient nés. Depuis, ils n'ont eu de cesse de se mécaniser et de se perfectionner. Dès 1757, le Dr Claude-Nicolas Le Cat, chirurgien français, inventait un cornet acoustique proposant une amplification du son comprise entre 5 et 15 décibels (dB).

Les premiers appareils, à l'image du cornet utilisé par le P<sup>r</sup> Tournesol dans la bande dessinée *Tintin*,

étaient en tôle, argent, bois, cuivre ou autre alliage. Ils permettaient de recueillir les ondes sonores et de les orienter dans le conduit auditif. Ils étaient de différentes tailles et formes. À tel point qu'en 1841, un chirurgien britannique spécialisé dans l'oreille, John Harrison Curtis, mit au point un fauteuil acoustique flanqué, sur chaque bras, de deux cornets destinés à capter le son et de deux tubes d'air comprimé chargés de l'amplifier.

### Bond électrique

La première révolution audiolgogique a eu lieu en 1899, lors de la création d'une aide auditive

## La première révolution audiolologique a eu lieu en 1899, lors de la création d'une aide auditive électrique.

électrique. Constituée d'un micro composé de granules de charbon porté autour du cou, d'un amplificateur et d'une batterie, elle permettait une amplification réglable. Dès lors, les recherches se concentrèrent sur l'amélioration du rendement du micro.


Des progrès concernèrent également la taille des appareils. Dans les années 20, les appareils fonctionnant grâce à des tubes à vide se généralisèrent. Ces derniers, qui se portaient dans une poche, furent remplacés par les appareils à transistor. Ce qui constitua la deuxième révolution du secteur de l'audiologie. Le transistor, de petite taille, ouvrit en effet la voie à des modèles miniaturisés : les contours d'oreilles (1952), les lunettes dans les branches desquelles étaient montées les aides auditives (1954) puis les intra-auriculaires (1975). Il permit en outre le traitement du son de façon analogique, renforçant la performance des appareils auditifs.

### Sursaut vibratoire

Parallèlement aux progrès des aides auditives fonctionnant par conduction aérienne (le message acoustique, amplifié par l'aide auditive, est restitué




dans le conduit auditif au moyen d'écouteurs), se développèrent des aides auditives fonctionnant par conduction osseuse. Ces dernières, utilisées lorsque le conduit auditif externe et/ou l'oreille moyenne ne permettent pas d'être exploités pour transmettre le son en aérien, furent développées dès le XIX<sup>e</sup> siècle. Elles connurent un essor en 1923, lorsqu'apparurent les premiers vibreurs électriques. Placés au niveau de l'os du crâne derrière l'oreille, ils permettaient à l'oreille interne de capter les sons que l'oreille moyenne et l'oreille externe ne pouvaient plus transmettre.

### Des aides « intelligentes »

En 1996, un pas important fut franchi avec l'invention du premier appareil entièrement numérique : un microprocesseur  analysait et restituait désormais le son en quelques millièmes de seconde dans l'écouteur. En fonction du son (bruit ou parole, intensité, fréquence, provenance...), celui-ci était traité et amplifié différemment. La compréhension de la parole dans le bruit était considérablement améliorée.

Ce type de microprocesseur s'est ensuite généralisé à la totalité des aides auditives existantes, >>>

## L'AUDITION ISSUE D'UN PARTENARIAT OREILLE-CERVEAU

L'oreille est divisée en trois parties. L'oreille externe, composée du pavillon et du conduit auditif qui mène jusqu'au tympan, capte, amplifie et focalise les sons vers l'oreille moyenne. Lorsque les ondes sonores frappent le tympan, celui-ci se met à vibrer. Ces vibrations parviennent jusqu'à l'oreille moyenne constituée de trois petits os articulés (le marteau, l'enclume et l'étrier) formant la chaîne ossiculaire. Ces osselets transmettent jusqu'à une membrane appelée fenêtre ovale, située à l'entrée de l'oreille interne. Cette dernière renferme la cochlée , une structure en forme de spirale composée de 15 000 cellules ciliées  capables de transformer les vibrations en signaux électriques transmis par le nerf auditif  jusqu'au cerveau. C'est essentiellement à ce niveau que les sons sont traités, interprétés et mémorisés.

1899

Première aide auditive électrique et portable

1923

Première aide auditive électrique à conduction osseuse

1948

Utilisation des transistors

1952


Premiers contours d'oreilles

1957

Pose du premier implant cochléaire

1975

Premier appareil auditif intra-auriculaire

»»» implantables comme non implantables. Ces dernières, avec leurs algorithmes , ont désormais plus de capacités de calcul que n'en avait la navette spatiale Apollo 11 ! Et ce, tout en continuant à se miniaturiser, jusqu'à pouvoir être totalement placées dans le conduit auditif (dispositif intra-canal auditif) ou sous la peau (implant).

## Une technologie sans fil

Depuis les années 50, grâce au système de boucle auditive (système utilisant une boucle d'induction

magnétique), le son provenant du micro d'un orateur, d'un équipement de sonorisation ou encore d'un poste de télévision est directement transmis à l'appareil auditif de la personne qui peut ainsi l'entendre sans être gênée par des bruits ambiants. Mais, depuis quelques années, avec l'arrivée des technologies de communication sans fil haut débit proposées désormais par les fabricants d'aides auditives, les personnes appareillées disposent en prime de l'accès direct à leurs appareils *via* le Bluetooth® (ordinateurs portables, téléphones mobiles, etc.).

## L'audition, un capital à préserver

L'homme est pourvu d'environ 12500 cellules ciliées externes, 3500 cellules ciliées internes et 30000 neurones auditifs. Un capital d'autant plus précieux qu'il ne se renouvelle pas. À partir de l'âge de 20 ans, la perte des cellules ciliées est estimée entre 3,5 et 7% par décennie. À 70 ans, environ la moitié des cellules ciliées externes et le quart des cellules ciliées internes ont disparu de manière naturelle.

(Source : France Acouphènes)

## La voie de l'implant ?

Les implants auditifs peuvent être une voie de recours lorsque les aides auditives non invasives ne sont pas suffisantes pour régler les troubles de l'audition. Ils constituent, qu'il s'agisse de l'implant cochléaire, de l'implant de l'oreille moyenne, de l'implant du tronc cérébral ou de l'implant à ancrage osseux, de véritables prouesses à la fois technologiques et chirurgicales. Apparus dans les années 50 et 70, ces dispositifs n'ont cessé d'évoluer, tant sur l'ergonomie des parties externes que sur la qualité de la stimulation. Ils bénéficient, pour la plupart, des technologies développées pour les aides auditives en conduction aérienne. Enfin, les progrès technologiques ont « simplifié » le geste chirurgical et, de fait, réduit le risque de lésions inhérent à l'acte d'implantation.

## Des objets « multi-usages »

Le recours aux technologies d'intelligence artificielle et aux capteurs  embarqués dans les aides



1977

Pose du premier  
implant par  
conduction osseuse

1996

Premier appareil  
auditif totalement  
numérique

1998

Essor des implants  
de l'oreille moyenne

2010

Développement  
des technologies  
Bluetooth®



auditives fait progressivement évoluer ces dispositifs médicaux, dont les plus récents sont dotés de fonctionnalités qui vont bien au-delà de la seule correction auditive.

Véritables « solutions auditives », ils peuvent désormais permettre, notamment par le biais d'applications à télécharger sur son smartphone, le suivi de l'activité physique d'une personne, la détection de

chutes, la géolocalisation ou encore la traduction instantanée des langues étrangères.

## Santé auditive et santé globale

Toutes ces technologies visent, avant toute chose, à améliorer l'audition de personnes souffrant de surdité. Elles leur permettent d'entendre, d'écouter et de rester « connectées » au monde qui les entoure. Un problème auditif peut rapidement perturber les relations sociales d'un patient, fondées sur la parole.

Ainsi, à tout âge, la perte d'audition est un facteur d'isolement aux conséquences délétères sur la qualité de vie personnelle, sociale et professionnelle. De nombreuses études montrent l'accélération du déclin cognitif chez les personnes atteintes de presbycusie (perte neurosensorielle progressive de l'audition liée à l'âge, bilatérale et symétrique). Dans un contexte de vieillissement de la population, la santé auditive est, plus que jamais, un enjeu de santé publique majeur.

Puissances sonores non audibles en fonction des types de surdité



130db

Surdité  
profonde



90db

Surdité  
sévère



70db

Surdité  
moyenne



40db

Surdité  
légère



20db

Audition  
normale

# L'AUDITION, UN ENJEU DE SANTÉ PUBLIQUE

Le secteur de la santé auditive connaît une dynamique importante, tant sur le plan technologique que dans la prise en compte de l'audition comme facteur clé de santé. Dans un contexte marqué par le vieillissement de la population et le développement accru des technologies de santé connectée, de nouveaux paradigmes s'imposent dans la prise en charge de la perte auditive.



### La santé auditive et le bien-vieillir

«À 60 ans, 50% de la population présente une surdité, souligne Philippe Metzger, audioprothésiste. La perte d'audition liée à l'âge, ou presbycousie, est un phénomène dont les proportions sont plus ou moins grandes selon les personnes. Le patrimoine génétique ou encore l'exposition aux risques auditifs entrent également en ligne de compte. Toutefois, deux tiers environ des plus de 65 ans ont des difficultés de

compréhension de la parole dans un environnement bruyant. Un premier signe de surdité qui ne doit pas être négligé car les répercussions sur la santé générale sont considérables».

Depuis près de 30 ans, le monde de la recherche s'applique à démontrer les liens étroits entre audition et cognition. En 2018, l'Inserm a publié les résultats d'une étude menée durant 25 ans sur une cohorte de suivi du vieillissement (3777 personnes de 65 ans et plus vivant en Gironde ou Dordogne). Cette vaste étude épidémiologique montre qu'il y a

un surrisque de démence (+22%), de dépendance (entre +17% et +33% selon le type d'activité) et de dépression (+43% pour la population masculine) chez les personnes âgées ayant des troubles de l'audition et qui ne portent pas d'aides auditives. Notons qu'en 2070, les Français de plus de 65 ans seront 22 millions contre 13 millions aujourd'hui (source : Insee, novembre 2018).

L'enjeu et le défi de l'accessibilité aux aides auditives sont donc de taille, d'autant qu'en 2017, seul un tiers des personnes diagnostiquées malentendantes portent une aide auditive. « *Les freins sont de plusieurs ordres, note Philippe Metzger. Il y a une réticence psychologique liée à l'image du port d'une aide auditive qui renvoie à une certaine idée du vieillissement. Les deux autres grands freins avancés par les patients sont la complexité des parcours de soins et le coût estimé d'une aide auditive.* »

Sur ce dernier point, le contexte a quelque peu évolué puisque la loi sur le reste à charge zéro s'applique aux prothèses auditives depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2019. La prise en charge par l'Assurance maladie et la complémentaire santé se fera à 100 % début 2021 pour des appareils dits de « classe 1 ». Ces derniers (contours d'oreilles classiques, contours à écouteur déporté, intra-auriculaires) doivent répondre à un certain nombre de critères – comme disposer au moins de l'une des trois options suivantes : système anti-acouphène, connectivité sans fil (Bluetooth®), réducteur de bruit du vent, synchronisation binaurale, directivité microphonique adaptative, bande passante élargie supérieure ou égale à 6 000 hertz (Hz), fonction

apprentissage de sonie, dispositif anti-réverbération. Et ce, en plus des spécifications minimales obligatoires, telles que la directivité automatique, un système d'abaissement fréquentiel, un réducteur de bruit, un système anti-Larsen, etc. Au total, il existe 14 options de base.

## La prise en charge à distance

Le défi de l'accessibilité est aussi géographique. En France, l'évolution démographique annoncée devrait s'accompagner d'une hausse du nombre de porteurs de solutions auditives, sur un territoire où il existe des disparités dans la répartition des professionnels de santé et où l'avancée en âge



# 65%

Plus de 65 % des plus de 65 ans sont touchés par la surdité. Celle-ci concerne également 0,25% des nouveau-nés, 6% des 15-24 ans, 9% des 25-34 ans et 18% des 35-44 ans.

s'accompagne parfois d'une perte d'autonomie. Un contexte dans lequel se développe la télé-audiologie. Une telle procédure de télé-santé peut-elle favoriser un meilleur accès aux soins, au dépistage, à l'observance de la personne déjà appareillée ? Née de l'essor des technologies numériques, la télé-audiologie est d'abord apparue aux États-Unis au milieu des années 90 grâce à un système de vidéoconférence. Mais ce n'est qu'en 2008 que cette branche de la télémédecine s'est réellement développée avec la mise en place de programmes nationaux aux États-Unis et en Australie. D'autres pays ont suivi ce mouvement avec des approches plus ou moins différentes. Ce n'est qu'au détour des années 2010 qu'elle fera son apparition en France, où elle reste encore un terrain expérimental. Dans son acception la plus large, la télé-audiologie doit permettre aux professionnels de santé de prendre en charge à distance des patients *via* une plateforme dédiée et de réaliser des tests >>>

»» d'audiologie conventionnelle. Elle regroupe des outils combinant visioconférence, télé-audiométrie, télé-otoscopie 📞 et télé-réglage des aides auditives. Si les solutions technologiques existent, des limites demeurent sur les plans juridique, réglementaire, organisationnel et technique. « *L'une des populations qui pourrait être concernée par la télé-audiologie est celle des EHPAD (établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes) dont la mobilité est restreinte, souligne Philippe Metzger. Encore faut-il que la personne soit à l'aise avec l'outil informatique et qu'il y ait le matériel adéquat, un personnel formé et disponible pour accompagner le malentendant et assurer la liaison avec le professionnel de santé auditive.* Aujourd'hui, une autre application de la télé-audiologie est intégrée à l'ensemble des aides auditives et implants de dernière génération : le télé-réglage.



Via une application installée sur un smartphone, l'utilisateur explique les difficultés rencontrées avec son réglage avant de les envoyer à l'audioprothésiste qui les reçoit sur un logiciel dédié. Averti par notification, le professionnel de santé ajuste le réglage via la plateforme, et le renvoie de la même manière au patient qui téléchargera son nouveau module de réglage et pourra le comparer avec l'ancien. S'il est satisfait, il lui restera à enregistrer cette nouvelle version dans son aide auditive grâce à son smartphone.

Sur un plan purement technique, la télé-audiologie nécessite un accès à l'Internet haut débit. L'utilisation du cloud 📞, un serveur informatique distant, facilite, via le net, le stockage et l'exploitation des données. Ainsi, la présence de zones blanches sur le territoire français pourrait constituer un autre frein au déploiement de la télé-audiologie.

## Vers la détection d'une surdité cachée

Des chercheurs travaillent depuis près d'une décennie sur le phénomène de *hidden hearing loss* ou « surdité cachée ». Celle-ci concerne des patients qui entendent dans le silence mais éprouvent une gêne à percevoir la parole dans un environnement sonore bruyant. Classiquement, les surdités se caractérisent notamment par l'augmentation des seuils auditifs et la dégénérescence des cellules de la cochlée. Mais il arrive qu'elles soient dues à des dommages irréversibles causés aux fibres du nerf auditif, par exemple par une exposition importante au bruit. « *Ces lésions ne seront pas forcément détectables par un audiogramme tonal classique,* explique Jérôme Nevoux,

médecin ORL et de chirurgie otologique au CHU Bicêtre (AP-HP). *En effet, un phénomène de récupération peut avoir lieu quelques temps après une exposition au bruit. Les seuils redeviennent alors normaux et une compensation s'effectue au niveau du nerf auditif. De ce fait, la surdité n'est pas repérable à l'audiogramme. C'est un vrai changement de paradigme pour les ORL. Les progrès, notamment en termes de microscopie, ont permis la découverte de ce mécanisme de lésion auditive. Aujourd'hui, certains patients concernés par ce phénomène sont équipés d'aides auditives, mais dans le cadre de protocoles de recherche.* »

## LES AIDES AUDITIVES

**AIDE AUDITIVE  
NON INVASIVE ET  
ADAPTABLE EN  
CONDUCTION AÉRIENNE**

## UNE SOLUTION DÉSORMAIS MULTISERVICE

Les aides auditives dites conventionnelles, qui transmettent le son par conduction aérienne, sont les plus répandues chez les patients souffrant de troubles de l'audition. La miniaturisation électronique, ainsi que l'avènement du numérique et du big data, les transforment peu à peu en véritables solutions auditives multiservices.



### DE LA THÉORIE...

Ce sont les aides auditives les plus couramment utilisées pour corriger les pertes légères à profondes. Elles équipent près de 99% des patients porteurs d'une aide auditive non implantable. Elles se présentent sous la forme de contours d'oreilles et d'intra-auriculaires voire, très rarement, de lunettes auditives (voir encadrés pages 14 et 16). Ces appareils peuvent être préconisés pour des surdités de transmission, de perception ou mixtes,

même s'ils compensent la plupart du temps des affections de la perception, et donc de l'oreille interne. Ils ne peuvent être portés que si l'oreille externe du patient est intègre.

### À LA PRATIQUE

Le son est capté par deux microphones. Le signal est traité par un microprocesseur, amplifié en fonction de la perte auditive du patient puis retransmis dans le conduit auditif externe à l'aide d'un écouteur. >>>

1947

Révolution  
du transistor

1952

Premiers contours  
d'oreilles

1954

Premières lunettes  
auditives par  
conduction aérienne

1975

Premier  
appareil auditif  
intra-auriculaire

1980-90

Apparition des appareils  
pilotés par télécommande

1993

Premier intra-auriculaire  
introduit complètement  
dans le conduit auditif  
(intra-canal)

## Exit les piles

Les aides auditives à piles (classiques ou rechargeables) ont peu à peu laissé la place aux appareils dotés de batteries rechargeables. « *Les récents développements technologiques des aides auditives, notamment les fonctionnalités streaming, sont gourmands en énergie*, explique Philippe Metzger, audioprothésiste. *Pour certains modèles, il faudrait changer les piles tous les trois jours !* ».

La version rechargeable facilite la vie des patients. « *Ils les déposent dans le chargeur la nuit et les récupèrent au réveil prêtes à l'emploi*, poursuit-il. *La manipulation est facilitée, notamment pour les personnes malvoyantes ou ayant des difficultés à manipuler de petits objets* ». Le recours aux batteries Lithium-ion a permis de progresser en termes d'autonomie. « *La charge est plus rapide et l'aide auditive peut fonctionner en moyenne jusqu'à 24 heures sans être rechargée* ».

»» Différentes formes, puissances, et différents niveaux de sophistication existent, et le choix de ces caractéristiques dépend de l'importance de la surdité et du milieu de vie dans lequel évolue la personne malentendante.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Les premières aides auditives conventionnelles « modernes » virent le jour à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, avec l'adaptation du principe d'amplification électrique aux appareils auditifs. À cette époque, lesdits appareils se présentaient sous la forme d'un écouteur relié à un microphone au carbone alimenté par des batteries. Assez volumineux et lourds, ils étaient souvent des modèles de table. Une nouvelle étape fut donc franchie avec Miller Reese Hutchison qui, dès 1899, créa aux États-Unis la première aide auditive électrique portable à tubes à vide.

Dès le début des années 20, les tubes électroniques (ou « tubes à vide ») servirent d'amplificateurs de signal à tous les appareils auditifs. Trois à six tubes étaient utilisés pour accroître la puissance des appareils. Les dispositifs en question étaient constitués

d'un récepteur au niveau de l'oreille, d'un microphone et de deux batteries. Ils comportaient deux boîtiers : le premier réservé aux piles et le second aux autres composants de l'appareil. Ils étaient portés autour du cou, à la ceinture ou dans un sac. Par la suite, l'ensemble fut réuni en un seul boîtier.

## La révolution du transistor

Mis au point en décembre 1947, le transistor, composant électronique qui module et amplifie un signal électrique, permit aux aides auditives de traiter le son de manière analogique. Ainsi les sons, captés par le micro, étaient transmis à l'écouteur après être passés par l'amplificateur qui les traitait conformément aux réglages prévus par l'audioprothésiste. En outre, le transistor, infiniment plus petit que le tube à vide, permit, dans les années 50, la fabrication d'aides auditives assez petites pour être dissimulées à l'intérieur d'une barrette à cheveux ou d'une pince-cravate, ou pour être portées directement sur l'oreille. De nouveaux modèles de différentes formes se développèrent ensuite : les contours d'oreilles en 1952, les lunettes auditives

1996

Première aide auditive numérique (contours d'oreilles)

2000-05

Apparition des systèmes anti-effet Larsen et des mini-contours

2007-08

Premier système à écouteurs déportés

2010

Essor de la connectivité radio et Bluetooth®

Années  
2010

Essor de l'intelligence artificielle dans le domaine des aides auditives



par conduction aérienne en 1954. En 1975, un nouveau type de microphone dit « électret », plus petit, moins sensible aux chocs et possédant une bande passante très large, équipa les aides auditives transistorisées. En parallèle, la miniaturisation des circuits électroniques progressa, au point de pouvoir installer l'amplificateur et ses composants directement dans l'embout auriculaire.

## Qualité et clarté du son

Outre l'électronisation et la miniaturisation des composants, la qualité du signal sonore transmis aux personnes appareillées fut perfectionnée. « *Les premiers appareils auditifs électroniques traitaient le volume du son mais pas la qualité du son, témoigne Éric Bizaguet, Président d'honneur et Secrétaire général du Collège national d'audioprothèse. En conséquence, lorsque les personnes souffrant de perte auditive augmentaient le volume du son transmis par leur appareillage, tous les sons étaient amplifiés sans distinction. Les sons forts leur parvenaient trop forts et, lorsqu'elles baissaient le volume, elles ne percevaient plus les sons faibles.* » >>>

840 085  
aides auditives

## Chiffre clé

C'est le nombre des aides auditives délivrées en France au cours de l'année 2018, soit 10% de plus qu'en 2017.

Source : Snitem.

»» Une deuxième génération de produits avait permis un autoréglage partiel de la qualité du son : ils étaient dotés d'un système qui « mesurait » l'intensité du bruit et « coupait » les sons trop forts. Une troisième génération de produits, née dans les années 70-80, permet de filtrer les sons graves comme les sons aigus.

Dès les années 80, les aides conventionnelles les plus puissantes autorisaient quelques réglages au niveau de la tonalité, du volume maximum de sortie (destiné à éviter les traumatismes sonores), du gain et de la compression du son. Et, en 1986-87, les résistances, ou diodes, furent placées en série au sein de l'amplificateur afin de démultiplier le nombre de réglages et ainsi s'adapter aux petites comme aux grandes surdités.

### L'apport du numérique

Puis les aides auditives programmables firent leur apparition. Avant, les résistances contenues dans l'amplificateur étaient modulées une à une par l'audioprothésiste grâce à de petits tournevis.



## Des aides auditives pour soulager l'acouphène

De nombreuses études montrent que les cas d'acouphène sont souvent associés à une perte d'audition. L'acouphène se caractérise par une sensation de bruit continu, ou « son fantôme », malgré l'absence de source sonore extérieure. Ce son est en fait généré par le cerveau en réponse à un endommagement des cellules de l'oreille interne (vieillesse de l'oreille ou traumatisme acoustique par exemple). Parmi les réponses apportées pour soulager l'acouphène, les aides auditives permettent de masquer la gêne et de limiter voire de supprimer la perception de l'acouphène grâce à un stimulus sonore (à l'instar d'un bruit blanc).



**À SAVOIR**

Le mot «sonotone» vient de l'entreprise américaine du même nom qui fabriquait des aides auditives de 1929 à 2005 et qui, en 1932, mit au point le premier appareil auditif à conduction osseuse portable.

À compter de 1987, les performances des aides auditives étaient réglées par le biais d'un logiciel – plus précisément, d'une interface de programmation sur un module de programmation, appelée à devenir plus tard des ordinateurs – et d'un câble électrique. Ainsi, le traitement du signal restait analogique mais la programmation devenait numérique.


Les appareils auditifs entièrement numériques firent leur apparition à partir de 1996. Les transistors furent remplacés par une puce électronique capable de traiter des milliers d'informations à la seconde. *«Les appareils étaient désormais capables, grâce à des algorithmes, d'analyser et de comparer les sons : ceux qui venaient de devant, de derrière, de gauche ou de droite, ceux qui étaient graves ou aigus, ou encore ceux qui relevaient du bruit ambiant et de la parole, détaille Éric Bizaguet. Grâce à ces appareils, les patients sont passés de 30-40% à 70% de gain d'audition».*

Ces nouveaux appareils, équipés d'un microphone directionnel, pouvaient, chez les patients qui en portaient deux (un par oreille), être interconnectés

pour que les informations captées puissent être échangées et analysées. Cette communication dite «binaurale» évite les déséquilibres de réglage, facilite la localisation des sons dans l'espace, la discrimination de la parole dans le bruit, et reproduit une écoute stéréophonique. Aujourd'hui, les appareils auditifs s'orientent automatiquement en fonction de la provenance du son.

Dans les années 2000-2005, des systèmes anti-effet Larsen apparurent et équipèrent les nouveaux appareils afin d'éviter les sifflements aigus causés par les retours d'amplification de l'écouteur au microphone. Les nouveaux systèmes ouverts (ou *open-fit*) éliminent l'effet de résonance dont certaines personnes souffraient avec leurs autres appareils. En outre, les nouveaux systèmes à écouteurs déportés, nés dans les années 2006-2007, envoient le son directement à l'intérieur du conduit auditif. Les nouvelles générations d'intra-auriculaires et de contours d'oreilles sont de plus en plus résistants à l'eau, à l'acidité de la peau et de la transpiration ainsi qu'aux poussières grâce à de nouveaux traitements de surface.

## En quête de miniaturisation et de connectivité

La miniaturisation a toujours été une préoccupation pour les fabricants. Les circuits étant de plus en plus petits, les intra-auriculaires ont pris moins d'espace dans la conque  de l'oreille, au point de s'insérer aujourd'hui complètement dans le conduit auditif : l'intra-canal naquit ainsi

dans les années 80. Quant aux contours d'oreilles, ils ont perdu en volume pour ne plus mesurer aujourd'hui que 2 centimètres de large et ne peser que 2 grammes.

La connectivité fut un autre axe de recherche et de développement important. Dans les années 80-90, certains patients pouvaient, à l'aide d'une télécommande, piloter à distance leur appareil auditif pour lancer certains programmes par le biais du Bluetooth®, augmenter ou baisser le volume du son et, plus tard, le connecter directement à plusieurs périphériques (radio, téléviseur, téléphone, etc.). >>>



## DEUX GRANDES « FAMILLES » D'APPAREILS AUDITIFS NON INVASIFS

### > Les contours d'oreilles :

Ils correspondent à la partie électronique de l'appareil. Ils se placent derrière le pavillon de l'oreille et sont reliés à un embout situé dans le conduit auditif à l'aide d'un tube transparent. L'écouteur (ou haut-parleur) se trouve à l'intérieur du boîtier. Le tube permet la transmission du son dans le conduit. L'embout est un moulage en acryl<sup>®</sup> ou en silicone adapté à la morphologie du conduit auditif.

- Les mini-contours (ou solutions *open-fit*) :

Apparus en 2004, les mini-contours reposent sur le même principe que les contours d'oreilles. La partie électronique se situe ainsi derrière le pavillon. En revanche, leurs écouteurs entrent (un peu) dans le conduit auditif et peuvent revêtir plusieurs formes : les micro-canules universelles (en acryl. ou en plastique très aéré) qui permettent une bonne ventilation du conduit auditif ; les micro-embouts sur mesure. Ces appareils, de taille réduite, permettent à des personnes atteintes de pertes auditives légères de s'appareiller et d'éviter les difficultés d'adaptation liées aux contours d'oreilles classiques ou aux intra-auriculaires.

- Les contours d'oreilles à écouteurs déportés : Il s'agit de mini-contours nouvelle génération.

L'écouteur est positionné directement dans le conduit auditif. Il est relié à l'appareil situé derrière l'oreille par un fil électrique. Ceci permet d'obtenir un appareil plus discret. Il permet de corriger des pertes auditives de plus de 80 décibels (dB).

### > Les intra-auriculaires :

Ils se placent dans des sections plus ou moins profondes du conduit. Conçus sur mesure, les intra-auriculaires sont de plusieurs types :

- L'intra-conque qui remplit entièrement le pavillon de l'oreille,

- L'intra-conduit placé dans le conduit auditif externe,

- L'intra-canal dont toute l'électronique est contenue dans une coque logée entièrement et profondément dans le conduit auditif ; très discret, il n'est pas indiqué en cas de conduit trop étroit et de surdité sévère.

Créés récemment, de nouveaux systèmes intra-auriculaires peuvent être positionnés dans le conduit auditif au plus près du tympan sans avoir à être insérés et retirés chaque jour. Analogiques et non numériques, ils comportent une pile longue durée à changer tous les trois mois seulement.

»» Les patients reçoivent ainsi le son émis par ces périphériques directement dans les deux oreilles. On parle alors de streaming audio direct.

Aujourd'hui, la télécommande tend à disparaître au profit du smartphone qui permet, *via* la technologie Bluetooth<sup>®</sup> et le téléchargement d'applications mobiles, de contrôler ses aides auditives, d'activer des options en fonction de l'environnement sonore, de consulter l'historique des réglages, et bien plus encore. Jusqu'à présent, cette connexion directe entre les aides auditives et les périphériques audio se faisait uniquement sur des appareils *Made for iPhone* (MFi). Depuis octobre 2018, certains modèles d'aides auditives sont équipés de puce Bluetooth<sup>®</sup> Classic pour les appels mains-libres et la diffusion audio depuis n'importe quel smartphone iOS ou Android<sup>™</sup>. Au-delà du téléphone mobile et des systèmes domotiques, la connectivité des aides auditives permet l'accès au cloud *via* smartphone et ouvre des perspectives importantes en termes de capacité de calcul et de puissance des microprocesseurs.



## Démultiplier les puissances de calcul

L'innovation est continue au point que de nouvelles générations de produits apparaissent en moyenne tous les dix-huit mois. « *Le développement de l'aide auditive suit la loi de Moore*, précise Philippe Metzger, audioprothésiste. *Cela évolue au rythme de la puissance de calcul des ordinateurs* ». Ainsi, les solutions

**À SAVOIR**

En 1983, le président des États-Unis, Ronald Reagan, porteur d'un appareil auditif intra-canal, contribua à mieux faire accepter ces appareils au grand public.

auditives numériques ont vu, au cours des dernières années, la capacité de calcul des processeurs être multipliée par trois et les mémoires intégrées dans les prothèses être doublées.

Plus la puce et la plateforme sont puissantes, plus la possibilité de traiter des algorithmes est importante. L'aide auditive moderne, dont la vitesse de traitement du signal est de 5 à 10 millisecondes environ, permet de classifier les sons de manière toujours plus précise. Les systèmes de réduction de bruit évoluent à mesure que les algorithmes se développent. Les données fournies par les utilisateurs viennent « nourrir » l'algorithme qui, par une méthode d'apprentissage (*machine learning* ) et *deep learning* ) , affine de manière autonome le traitement du signal.

Ainsi, des programmes automatiques toujours plus précis définissent et classent des situations d'écoute. Les réglages se font alors en fonction de l'environnement, des préférences et des besoins déterminés par l'utilisateur. Aides auditives et patients « communiquent » *via* une application dédiée et installée sur le smartphone.

S'il est donc aujourd'hui possible de contrôler ses préférences sonores, les recherches actuelles

s'orientent vers la mise au point d'une aide auditive capable d'identifier sur quelles sources sonores le cerveau du patient se focalise et d'ajuster l'écoute en conséquence.

Le cerveau encode différemment les sons sur lesquels l'attention se fixe. Partant de ce postulat, les chercheurs enregistrent un électroencéphalogramme *via* des électrodes qui captent les signaux du cerveau. Une fois la source sonore identifiée, il serait alors possible d'amplifier la voix de l'interlocuteur et d'atténuer les bruits alentours.

### Vers des « plateformes multiservices »

Les toutes dernières générations d'aides auditives sont dotées de capteurs de mouvement (gyromètre,

accéléromètre...). Combinées à des algorithmes, les données récoltées par les capteurs permettent de suivre certaines activités physiques (nombre de pas, rythme cardiaque...) et cognitives (temps de parole, d'écoute...) de ses utilisateurs. Aujourd'hui, il est même possible de détecter les chutes et d'envoyer une alerte à un proche, par exemple. Ces aides auditives permettent également de recevoir des conseils personnalisés sur son téléphone mobile et/ou de se fixer des objectifs. Tous ces développements ouvrent le champ de la télésurveillance et de la télé-audiologie (*voir pages 10-12*). Car les dispositifs sont désormais équipés pour être réglés à distance par l'audioprothésiste *via* un logiciel dédié et le cloud. L'aide auditive investit également un nouveau champ : celui de la traduction simultanée. >>>



## FOCUS

# L'aide auditive non invasive et adaptable en conduction osseuse : quand le crâne devient le vecteur du son

**La conduction osseuse désigne le phénomène de propagation du son jusqu'à l'oreille interne *via* les os du crâne.**

**Grâce à elle, l'écoute se fait directement par les vibrations des os du crâne et s'affranchit du passage par le conduit auditif et l'oreille moyenne.**

Les systèmes à conduction osseuse pallient des surdités causées par des pathologies de l'oreille moyenne. L'oreille interne restant fonctionnelle, l'objectif est de contourner l'oreille externe et l'oreille moyenne. Ils sont également utilisés en cas de contre-indication au port d'un appareillage conventionnel (en cas de malformation de l'oreille externe, par exemple) ou de cophose<sup>①</sup> unilatérale (surdité totale de l'une des deux oreilles).

Ces dispositifs utilisent la capacité intrinsèque de l'os à relayer les vibrations sonores. Le signal acoustique est capté par le microphone, converti et transmis *via* un vibreur embarqué dans un processeur à la paroi osseuse qui entoure la cochlée. Cette dernière sert, au sein de l'oreille interne, à percevoir les sons.

### De l'électrique à l'électronique

La première véritable aide auditive à conduction osseuse, baptisée dentaphone, naquit en 1879

aux États-Unis. Il s'agissait d'une fine membrane fixée au bout d'une tige que les sons faisaient vibrer. L'autre extrémité de la tige étant placée dans la bouche, les vibrations sonores étaient transmises dans les dents puis stimulaient l'oreille interne par conduction osseuse.

Le premier appareil auditif à conduction osseuse portable fut créé en 1932. Il disposait d'un vibreur maintenu derrière l'oreille grâce à un serre-tête ou un bandeau, afin que les vibrations soient directement transmises sur le crâne. Ce type d'aides auditives se généralisa avec l'apparition des lunettes à conduction osseuse dans les années 50. Cette fois, microphone et vibreur sont placés sur les branches des lunettes.

Aujourd'hui, il est possible de clipser le processeur à conduction osseuse sur un adhésif collé derrière l'oreille. « *L'adhésif doit être changé tous les trois à sept jours* », précise Franck Lefèvre, audioprothésiste.

Les aides à conduction osseuse électroniques, programmables, permirent, dès la fin des années 90, le traitement dynamique des signaux sonores et le filtrage intelligent des sons. Les plus récentes intègrent toutes les solutions de connectivité en Bluetooth<sup>®</sup> pour percevoir les sons d'une télévision, d'une radio, d'un ordinateur ou d'une tablette numérique.

### La voie de l'ancrage osseux

Dans les années 70 vinrent les appareils auditifs à ancrage osseux. Le vibreur est désormais placé sur un pilier implanté dans la mastoïde<sup>②</sup> et posé par un chirurgien. L'aide auditive, adaptable sur le pilier après quelques semaines d'ostéo-intégration, est quant à elle positionnée et réglée par un audioprothésiste. Cette technique, à la frontière entre l'aide invasive (implant sous-cutané) et non invasive, a permis d'ouvrir de nouvelles perspectives, notamment en matière d'implants.

À noter que la partie externe de ces implants peut être utilisée de manière non invasive avec un bandeau lorsque le patient refuse l'intervention chirurgicale ou ne peut pas en bénéficier (qualité osseuse moindre après radiothérapie ou os trop fin pour les enfants par exemple).

# 1%

Les affections de l'oreille moyenne peuvent souvent être corrigées par la chirurgie. C'est pourquoi les aides auditives à conduction osseuse représentent, à l'heure actuelle, 1% du marché des aides auditives.



»» Des algorithmes de traitement naturel du langage permettent désormais de traduire en temps réel les propos de l'interlocuteur de l'utilisateur, dans différentes langues. Les données remontent dans le cloud. Ainsi, les paroles traduites transitent par ce système avant d'être envoyées dans le smartphone et l'aide auditive. Le décalage est infime, notamment lorsque l'utilisateur est dans une zone pourvue d'un réseau mobile puissant. L'évolution de la puissance de ces réseaux devrait permettre une transmission de données encore plus rapide. Seule limite, les zones blanches. Sans réseau mobile suffisant, l'utilisateur voit les possibilités de son dispositif limitées. L'un des prochains défis consistera donc sans doute à embarquer les capacités de calcul directement dans l'aide auditive.

## Datalogging : outil d'analyse

Depuis de nombreuses années, les aides auditives sont équipées d'un datalogging, c'est-à-dire d'une mémoire intégrée qui permet à l'audioprothésiste d'analyser la façon dont le patient utilise sa prothèse : environnement sonore, temps de port, directivité du microphone... Aujourd'hui, le datalogging s'est généralisé à l'ensemble des dispositifs.

# IMPLANT À CONDUCTION OSSEUSE

## LES IMPLANTS AU SERVICE DE LA VIBRATION OSSEUSE


Héritiers de dispositifs du type lunettes auditives, les implants à conduction osseuse offrent de nouvelles possibilités en cas de surdité de transmission ou de surdité mixte. Comme ils sont fixés sur la mastoïde, on parle aussi d'implants mastoïdiens. Leur indication est aujourd'hui étendue aux surdités unilatérales sévères à profondes.



### DE LA THÉORIE...

Les implants à conduction osseuse, tout comme les aides auditives à conduction osseuse non implantables (voir pages 13 à 21), transmettent le son par transmission directe à l'oreille interne *via* l'os du crâne, en contournant l'oreille moyenne (et/ou l'oreille externe). En laissant le canal auditif libre, ils réduisent les risques d'infection chronique de l'oreille et d'allergie, mais aussi et surtout, ils peuvent être utilisés sur une oreille instable ou qui coule, par exemple.

### À LA PRATIQUE

Que la solution soit chirurgicale ou non invasive, le principe reste identique : un vibreur placé dans le processeur convertit le signal acoustique capté par le microphone en signal vibratoire. Un implant et un pilier sont positionnés chirurgicalement au niveau de l'os de la mastoïde. Ces implants en titane sont totalement ostéo-intégrés et permettent ainsi une transmission optimale des vibrations. Le processeur clipsé sur le pilier transmet les vibrations directement à l'os temporal  puis à la cochlée.

Années

1950

Découverte de l'ostéo-intégration

1977

Première pose d'implants auditifs par conduction osseuse

1987

Commercialisation des premiers implants par ancrage osseux en France

2009-10

Création des piliers angulaires



Plusieurs configurations sont disponibles. Certains systèmes proposant un implant et un pilier sont dits percutanés, c'est-à-dire fixés dans l'os en perforant la peau. D'autres systèmes, plus récents, sont totalement sous-cutanés.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Les premiers implants auditifs par conduction osseuse furent posés en 1977 à l'hôpital universitaire Sahlgrenska de Göteborg, en Suède. Il s'agissait d'une fixation en titane de 4 millimètres de long et de 3,75 millimètres de diamètre, vissée dans l'os temporal. Le couple titane-os est solide grâce au phénomène d'ostéo-intégration<sup>®</sup> dont le patient bénéficie. La vis formait une saillie émanant du crâne à travers la peau, sur laquelle le dispositif externe (microphone et vibreur osseux) était fixé. Ce type d'implant apparut en France dès 1987, année au cours de laquelle les premiers patients français furent traités dans le service d'oto-rhino-laryngologie (ORL) de l'hôpital Necker-Enfants malades à Paris. >>>

5 ans

### Chiffre clé

C'est, en général, l'âge à partir duquel la pose d'un implant sur la mastoïde est possible. En effet, chez les enfants plus jeunes, la mastoïde est rarement assez dure et épaisse.

### Dispositifs percutanés

Inspirées par les découvertes du Pr Per-Ingvar Branemark (*voir encadré ci-dessous*), ces aides auditives à ancrage osseux étaient toujours constituées d'une vis en titane fixée dans l'os temporal derrière l'oreille, lors d'une brève opération chirurgicale sous anesthésie locale.

« *Un mois à un mois et demi après l'opération, temps nécessaire pour que le système se solidifie, le vibreur pouvait être clipsé sur la vis en métal qui dépassait du crâne*, précise le Pr Bruno Frachet, chirurgien à l'hôpital Rothschild à Paris. *C'est un système à peau ouverte, c'est-à-dire percutané* ». Le pilier sert de connexion directe entre l'appareil auditif et l'os, permettant ainsi au microprocesseur de recevoir le son, de le « transformer » en énergie vibratoire et de le transmettre à l'oreille interne *via* l'os du crâne. Ce type d'aide auditive

est utilisé avec succès pour les personnes souffrant d'une infection ou d'une inflammation chronique, ou d'une malformation congénitale au niveau de l'oreille moyenne ou externe, ou du conduit auditif. Il comporte des avantages par rapport aux aides à conduction osseuse non invasives, car l'implant percutané permet une transmission optimale des vibrations à la mastoïde, sans perte de signal due à la peau et aux tissus mous sous-cutanés.

Il persiste néanmoins un bémol : les aides auditives à ancrage osseux type pilier transcutané présentent un risque d'infection autour de ce pilier. « *Ce système dispose d'une partie implantable qui dépasse de la peau : il faut donc être soigneux et réaliser des soins locaux* », détaille le chirurgien ORL. « *Il arrive que l'épiderme repousse et recouvre le pilier*, souligne à son tour Franck Lefèvre, audioprothésiste. *Des infections peuvent également être observées. Un geste chirurgical peut alors s'avérer nécessaire* ».

### Piliers angulaires

Dès 2009-2010, les professionnels de l'audition comme les patients virent apparaître sur le marché de nouveaux modèles à ancrage osseux. Afin de réduire les éventuels inconvénients esthétiques ou techniques, comme les effets Larsen intempestifs, et d'améliorer l'écoute directionnelle, les chercheurs développèrent un nouveau type de pilier en titane : le pilier angulaire. Celui-ci positionnait l'appareil auditif, non plus perpendiculairement mais selon un angle de 10 degrés, ce qui permettait d'augmenter légèrement la distance entre la peau et l'appareil. Un nouveau système de clippage sur le pilier fut mis au point : le système de fixation du boîtier extérieur englobait désormais entièrement le pilier et évitait ainsi les irritations de la peau tout en facilitant la rotation du boîtier.

### Oreille pour oreille, dent pour dent

À la fin des années 50, le Pr suédois Per-Ingvar Branemark, chirurgien orthopédiste, étudia le phénomène de cicatrisation osseuse. Ses travaux de recherche l'amènèrent peu à peu à inventer le concept d'ostéo-intégration<sup>®</sup>, c'est-à-dire d'ancrage direct d'un implant au niveau osseux par la formation de tissu osseux autour dudit implant. Le Pr Branemark réalisa alors que de nombreuses applications pourraient découler de cette découverte, notamment en odontologie. Aussi, après 20 ans d'expérimentations animales

et d'applications cliniques, il présenta avec son équipe, en 1982 à Toronto (Canada), devant les plus grands spécialistes de chirurgie buccale et de prothèse dentaire du continent nord-américain, les extraordinaires possibilités du phénomène d'ostéo-intégration. Celles-ci allaient révolutionner la pratique de l'odontologie (notamment de la chirurgie dentaire et maxillo-faciale), et celle de l'audiologie. Le Pr Branemark est, aujourd'hui encore, considéré comme le précurseur de l'implantologie moderne.



Parallèlement, les appareils continuèrent à se perfectionner et permirent des réglages toujours plus précis en fonction de la perte auditive, grâce à des logiciels et des commutateurs de programme, pour passer d'une écoute omnidirectionnelle à une écoute directionnelle. Les sophistications des prothèses conventionnelles en matière de couplage avec les sources sonores bénéficient désormais à ces implants mastoïdiens.

### Systemes à peau fermée

Afin de limiter ces complications cutanées directement liées à la présence du pilier, des systèmes placés intégralement sous la peau ont vu le jour en 2011-2012. Après des années de recherche, les premiers systèmes sous-cutanés vibrants avec aimantation ont fait leur apparition. L'idée, développée à l'origine par une société d'implants dentaires puis appliquée aux implants auditifs, était simple : l'implant, d'une taille un peu inférieure à six centimètres de longueur, était fixé directement sur la surface du crâne et entièrement recouvert par le tissu cutané. Il était associé à un processeur audio externe qui recevait les sons du monde extérieur. Cet appareil était placé contre la peau, directement adjacent à l'implant, et maintenu en place par des aimants des deux côtés de la peau. Plus esthétique, ce système limitait également les problèmes d'intolérance et d'infection. En revanche, les vibrations devant traverser les tissus mous, il existait une perte de signal en comparaison avec une transmission directe de l'implant percutané.



Mais les recherches et les progrès se poursuivent. Plutôt que de transmettre au travers de la peau la vibration osseuse, une nouvelle approche apparut en 2013 : il s'agissait, non pas d'envoyer une stimulation mécanique au travers de la peau, mais une stimulation électrique alimentant par induction (comme pour l'implant cochléaire et l'implant d'oreille moyenne) un vibreur osseux implanté gommant les effets d'amortissement de la vibration mécanique transmise à travers la peau. De manière anecdotique, aux États-Unis, un autre système poursuivit son développement : il s'agissait de stimuler la conduction osseuse grâce à un

implant fixé non pas sur la mastoïde mais sur la mâchoire supérieure, celui-ci étant associé à un petit appareil amovible tenu sur deux dents au fond de la bouche.

La taille des processeurs a été considérablement réduite, tout en proposant de nouvelles caractéristiques garantissant toujours la performance. De manière générale, la gestion des paramètres d'écoute du processeur s'effectue *via* un smartphone ou à l'aide d'une télécommande pour les patients n'en possédant pas. La connectivité sans fil *via* un système Bluetooth® s'est généralisée sans compromettre ni la puissance ni la qualité du son. De nouveaux revêtements des piliers à ancrage osseux ont encore été développés récemment, pour réduire les risques de complications et d'infection au niveau de la peau.

### Vers un implant « actif »

Enfin, depuis 2018, un nouveau procédé s'appuyant sur un système piézoélectrique a vu le jour. Dans cette innovation, le traitement de la vibration ne se fait plus dans le processeur mais dans la partie interne de l'implant qui, de fait, devient actif. « *Les premiers résultats ont montré que le dispositif était plus puissant, notamment dans les fréquences aiguës, souvent difficiles à amplifier*, rapporte le Dr Jérôme Nevoux. *Et le recours à un système piézoélectrique permet aux porteurs de ce type d'implant de passer des IRM* ». Aujourd'hui, ce système n'est utilisé que dans le cadre d'études cliniques.

## UNE RÉVOLUTION DANS LA PRISE EN CHARGE DE LA SURDITÉ SÉVÈRE À PROFONDE

Véritable prouesse technologique, l'implant cochléaire, destiné à redonner de l'audition à des personnes qui n'ont parfois jamais entendu de leur vie, est né dans les années 50.



### DE LA THÉORIE...

L'implant cochléaire permet de redonner de l'audition à des personnes souffrant d'une surdité neurosensorielle sévère à profonde, pour laquelle aucune alternative n'existe. Son rôle ? Stimuler directement le nerf auditif, situé au niveau de l'oreille interne, au moyen d'électrodes implantées chirurgicalement. Il est indiqué chez le nourrisson et l'enfant dès que le diagnostic de surdité est établi, et chez l'adulte. Le processeur interne est garanti 10 ans, et la réimplantation se fait au regard du fonctionnement.

### À LA PRATIQUE

Le principe de l'implant cochléaire consiste à convertir le signal acoustique en signal électrique. Le dispositif se compose de deux parties. La partie externe dotée d'un ou de plusieurs microphones est appelée processeur audio. Elle est reliée par un mince câble à une antenne. Le processeur convertit les sons en signaux électriques et les transmet par radiofréquence via l'antenne à la partie interne implantée chirurgicalement. Cette dernière émet des impulsions électriques grâce à des électrodes (12 à 22 selon les modèles d'implant) positionnées

dans la cochlée de façon à stimuler directement les fibres du nerf auditif. La partie interne et la partie externe de l'implant sont maintenues en regard l'une de l'autre grâce à des aimants.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

En 1957, André Djourno, professeur de physique médicale, et Charles Eyriès, otologiste, cherchaient à remobiliser les traits figés d'un patient souffrant d'un cholestéatome des deux oreilles et présentant depuis de nombreuses années une paralysie faciale bilatérale, lorsqu'ils découvrirent de manière fortuite que cette stimulation électrique pouvait restaurer les sensations auditives. Ils posèrent alors le premier implant cochléaire, composé d'un couple

de bobines – l'une d'elles étant branchée à une électrode placée contre une branche du nerf auditif dans l'oreille interne. L'implant permettait de capter certaines sonorités et, ainsi, d'améliorer la lecture sur les lèvres (appelée lecture labiale).

Dans les années 60, William House, otologiste californien, reprit les recherches en définissant une approche chirurgicale précise pour le positionnement de l'électrode de stimulation – en introduisant cette dernière à travers la fenêtre ronde dans le tube cochléaire. Il mit au point un implant mono-électrode fiable, mais qui ne permettait pas d'entendre au-delà de 500-800 Hertz ni de distinguer les subtilités des voyelles et des consonnes.

## Émulation internationale

De nouvelles recherches furent menées simultanément aux États-Unis, en Australie, en Autriche et en France. Première avancée notable : les nouvelles générations d'implants n'étaient plus dotées d'une électrode mais de plusieurs. Le premier implant cochléaire multi-électrode (et donc multicanal) fut implanté chez un patient en 1973, à San Francisco. Il disposait de 4 canaux (permettant de capter 4 fréquences sonores différentes), chacun d'eux étant relié à une antenne émettrice et une antenne réceptrice. Ce dispositif stimulait les fibres du nerf auditif de façon distributive le long de la cochlée. Les patients pouvaient dès lors comprendre les paroles de leurs interlocuteurs sans avoir besoin de lire sur leurs lèvres. En parallèle, le laboratoire de

## Un implant cochléaire posé par un bras robotisé

À l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (AP-HP), à Paris, une équipe du service d'oto-rhino-laryngologie a été assistée par un bras robot pour insérer le porte-électrodes d'un implant cochléaire. Une première mondiale. L'intervention de ce robot « a permis une insertion à une vitesse lente inférieure à 0,5 millimètre par seconde, régulière, sans à coup et sans tremblement, permettant une stabilité remarquable pendant toute la durée de l'implantation, expliquent les représentants du service. C'est la première fois qu'une équipe va plus loin que le fraisage de l'os temporal en réalisant l'insertion de l'implant cochléaire de manière robotisée. »

recherche ORL de l'hôpital Saint-Antoine à Paris, dirigé par le Pr Chouard, démontra que la stimulation électrique à travers 8 ou 12 électrodes placées dans différents endroits de la cochlée fournissait des perceptions fréquentielles différentes chez des patients atteints de surdité totale unilatérale traumatique avec paralysie faciale. Les travaux du Pr Chouard et de son équipe >>>



# 1957

Pose du premier implant  
cochléaire (mono-électrode)  
chez un patient

# 1964

Mise au point d'un implant  
à 6 électrodes testé  
chez l'animal

# 1973

Premier implant multi-électrode  
chez l'homme

# 1977

Implant à  
12 électrodes

»»» aboutirent à la conception, en 1975, du premier implant cochléaire à 8 canaux. Cet implant ne disposait plus que d'une seule antenne, apportant aux sourds la totalité de l'éventail fréquentiel de la parole. En 1977 arriva un système à 12 canaux. Parallèlement, d'autres équipes développèrent leurs propres implants multicanaux : en Autriche, le couple d'ingénieurs autrichiens Ingeborg et Erwin Hochmair, et en Australie, le Pr Graeme Clark.

## Plusieurs modèles d'implants

Les différents processeurs d'implants cochléaires furent progressivement dotés de microprocesseurs améliorant le traitement du signal sonore. En France, la première implantation de ce type d'implants eut lieu à l'hôpital Saint-Antoine en septembre 1976.

Dans le courant des années 70 et 80, plusieurs entreprises issues de divers pays s'intéressèrent aux implants cochléaires. Leurs modèles d'implants reposaient sur certains principes communs : la pose de plusieurs électrodes et la transmission par radiofréquence des informations sonores par le processeur. Les ingénieurs américains, eux, se démarquèrent un temps en proposant des systèmes de transmission par le biais de boutons transcutanés, mais finirent par les abandonner. Les divers modèles différaient toutefois sur un point : les stratégies de codage des informations captées et transmises jusqu'à la cochlée. Ainsi, certains implants envoyaient la totalité des informations à la cochlée tandis que d'autres n'envoyaient que la partie la plus pertinente des informations.

Aujourd'hui, après des années de développement dans le traitement du signal, les systèmes proposés permettent d'offrir aux patients les meilleures conditions d'écoute, avec des programmes de réduction de bruit ainsi que des algorithmes automatiques de reconnaissance d'environnement.



1990-2000

Miniaturisation  
et électronique

2005

Lancement des recherches  
pour les implants cochléaires  
entièrement sous-cutanés

2013

Incorporation  
des technologies  
Bluetooth® aux  
implants cochléaires

## Miniaturiser et connecter

Chacun des modèles d'implant cochléaire a évolué vers une miniaturisation de ses composants. Les premiers boîtiers externes, assez volumineux, devaient quasiment être déposés sur une table à proximité du patient, ce qui limitait l'autonomie de ce dernier. Puis sont apparus les boîtiers mis au

point par l'équipe du Pr Chouard pour être portés autour du cou ou à la ceinture. Ils n'ont eu de cesse de devenir de plus en plus petits, à tel point qu'aujourd'hui, ils ne pèsent plus que 9 à 10 grammes. L'objectif est simple : optimiser l'ergonomie pour en faciliter le port.

Les éléments internes de l'implant n'ont pas échappé non plus à la miniaturisation. Au nombre

de 12 à 22 aujourd'hui, les électrodes sont plus petites. Les éléments implantables, plus fins, agrègent moins la cochlée (qui, pour mémoire, ne mesure que quelques millimètres). En outre, les chirurgiens disposent de deux types de solutions : des implants dont la structure de la partie implantée est courbe, afin d'épouser la forme de la cochlée, ou droite et flexible. La matière de cette partie implantée est toutefois restée identique (platine, titane ou céramique, et silicone).

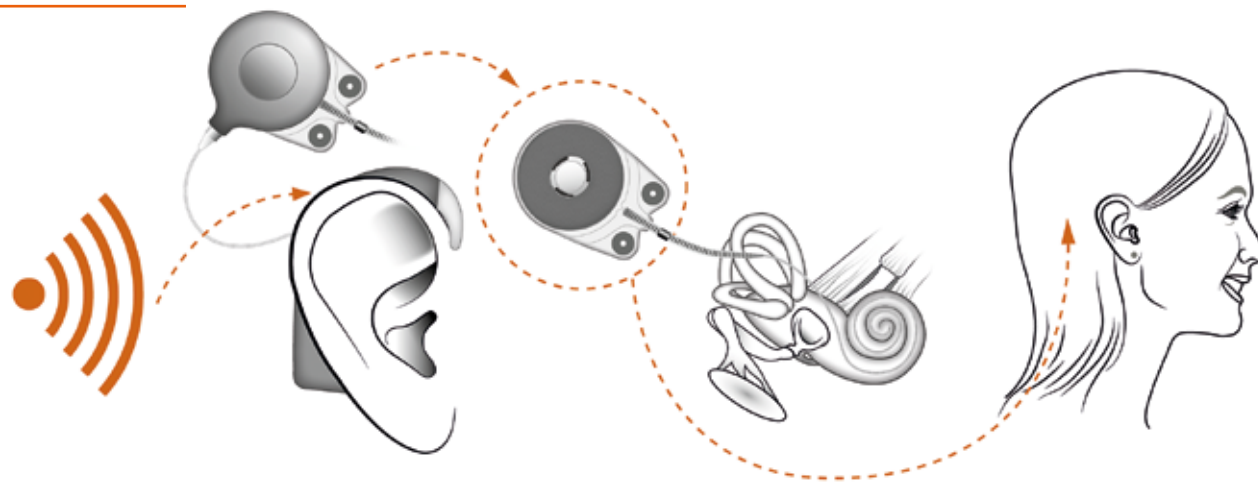
Par ailleurs, certains appareils sont équipés, comme les aides auditives conventionnelles, d'une boucle magnétique permettant aux personnes appareillées de mieux suivre la parole d'un orateur dans un lieu où l'écoute est difficile à cause d'une mauvaise acoustique ou de bruits ambiants. >>>

## Des évolutions dans la compatibilité IRM/implant

Comme pour tout dispositif implantable, des précautions particulières doivent être prises lors d'un examen IRM pour les porteurs d'implants cochléaires, car le champ magnétique de la machine peut interagir avec l'aimant de la partie interne – risquant de le déplacer ou de le démagnétiser. Les implants ont ainsi évolué au cours des toutes dernières années : une technique d'aimant auto-rotatif qui s'aligne sur les champs magnétiques de l'IRM existe depuis environ 5 ans. Une autre technique, reposant sur des aimants encapsulés dans des caissettes, est, pour sa part, plus récente (2019). Cela permet des micromouvements de l'aimant interne en présence du champ magnétique,

sans interaction avec les tissus environnants. De la même façon, les champs magnétiques de l'IRM sont susceptibles d'interagir avec les vibrateurs électromagnétiques intégrés dans les implants d'oreille moyenne. Il y a un risque d'artefact et, de fait, d'image dégradée de l'IRM.

Les implants du tronc cérébral furent également concernés jusqu'en 2011, date à laquelle a été développé le maintien de la partie interne par une sorte de filet en fils de titane recouverts de silicone. De manière générale, de nouveaux systèmes compatibles sous conditions avec cette imagerie se développent, mais la compatibilité IRM/implant reste un enjeu pour les fabricants.



»» Aujourd'hui, les processeurs disposent de protocoles de transmission sans fil de type Bluetooth® pour recevoir directement le son émis par la télévision ou encore le téléphone via une connexion sans fil, par exemple. La plupart des implants proposent des liaisons permettant la communication directe avec les systèmes d'exploitation. L'utilisation d'applications sur smartphone communiquant avec le processeur par ces liaisons sans fil offre notamment la possibilité aux utilisateurs de vérifier le bon fonctionnement de leur microphone ou le niveau de charge de leurs batteries.

De même, ces technologies sans fil peuvent être utilisées dans l'environnement du bloc opératoire pour recueillir simplement et rapidement les mesures électrophysiologiques dites objectives. Alors que ces enregistrements peuvent être

réalisés à partir d'un ordinateur et d'une interface filaire, la technologie sans fil 2.4 Gigahertz (GHz) permet désormais de s'affranchir des câbles et de communiquer sans fil avec la partie interne pour recueillir les mesures des potentiels évoqués par la stimulation électrique. Ce recueil permet l'optimisation des réglages du processeur.

### Vers l'invisibilité et l'écoute continue

Pour que les implants cochléaires soient plus discrets et plus agréables à porter, des efforts ont été faits sur la forme des éléments externes des dispositifs existants : un contour d'oreille qui intègre le microphone et le microprocesseur ou un boîtier classique « déporté ». Ce système est notamment conçu pour les jeunes enfants ou

pour les adultes qui ne supportent pas l'appareillage derrière l'oreille, qui peuvent également opter pour des versions de processeurs dits « boutons ». Le patient ne porte alors qu'un processeur maintenu en place par aimantation sur la partie interne, sans avoir de processeur sur l'oreille. À noter que l'ensemble de ces implants résiste à l'eau.

Dans les années 2000, de nouvelles voies de recherche ont été explorées pour développer des appareillages complètement sous-cutanés. Les premiers prototypes ont été proposés il y a une dizaine d'années. Dans ce modèle d'implant cochléaire totalement invisible, les microphones et le processeur sont intégrés dans la partie interne. Les patients ayant pu en bénéficier dans le cadre d'études cliniques ne portent donc plus de parties externes.

Néanmoins, cette innovation de rupture est associée à un grand nombre de défis technologiques. En effet, la qualité du signal acoustique capté par le microphone placé sous la peau du cuir chevelu est légèrement inférieure à celle d'un microphone placé sur l'oreille. Les travaux de recherche menés au cours de la dernière décennie ont également consisté à intégrer une batterie rechargeable combinant une autonomie d'au moins une journée, avec la possibilité d'être rechargée rapidement et simplement. Tous ces axes de développement devraient permettre d'aboutir, dans les prochaines années, à des systèmes totalement sous-cutanés proposés à une plus large population atteinte de surdité sévère à profonde.



## FOCUS

### Vers une évolution des indications et des techniques d'implantation

L'implant cochléaire constitue aujourd'hui la seule alternative thérapeutique pour les patients atteints de surdité neurosensorielle sévère à profonde bilatérale. Mais l'évolution des indications tend à le proposer également aux patients atteints de surdité neurosensorielle sévère à profonde unilatérale. Car il permet, entre autres, de restaurer une pseudo-binauralité et d'atténuer voire de supprimer les acouphènes perçus par certains patients. Structure fragile, la cochlée va devoir être préservée au maximum lors de la mise en place chirurgicale des électrodes. Afin d'évaluer le traumatisme en temps réel de l'insertion du porte-électrodes chez des patients présentant une audition résiduelle, des systèmes ont récemment été développés pour recueillir

les réponses spontanées de la cochlée. Même si, à ce jour, l'utilisation de ces données demeure au stade de développement clinique, ces mesures devraient prochainement permettre de guider le chirurgien dans son geste d'insertion du porte-électrodes. Au-delà des techniques utilisées par les chirurgiens, visant à minimiser le traumatisme de la cochlée lié à l'implantation, des équipes internationales travaillent également sur l'association de l'implant cochléaire et de molécules afin de préserver les cellules ciliées. Ainsi, différentes études évaluent d'ores et déjà l'intérêt d'électrodes chargées en dexaméthasone (hormone métabolique à effet anti-inflammatoire) sur la préservation de l'audition résiduelle.

# IMPLANT DU TRONC CÉRÉBRAL

## ENTENDRE SANS NERF AUDITIF

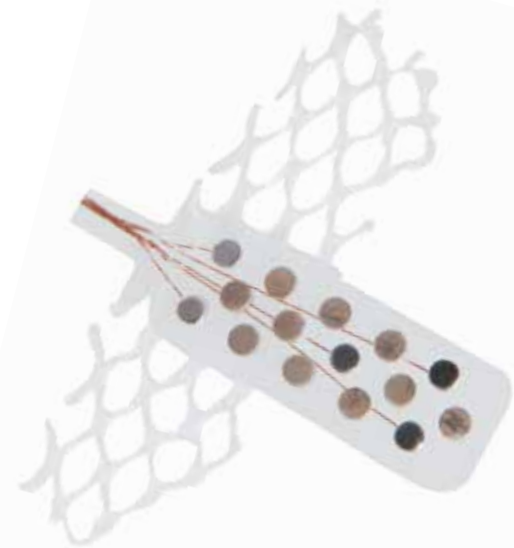
L'implant du tronc cérébral est destiné aux patients dont les nerfs auditifs ne fonctionnent plus. Jusque dans les années 80, ces patients ne pouvaient pas accéder au monde des sons. Ils peuvent désormais retrouver une sensation auditive.

### DE LA THÉORIE...

L'implant auditif du tronc cérébral contourne le nerf auditif et stimule directement les noyaux cochléaires dans le tronc cérébral. Il est indiqué en cas de surdité de perception bilatérale et, plus précisément, de surdité accompagnée d'importantes lésions ossifiantes des deux cochlées ou du nerf auditif. Son indication principale est la neurofibromatose de type 2 (NF2), une affection rare caractérisée par des neurinomes (tumeurs bénignes non cancéreuses) qui se développent sur le nerf auditif et qui affectent l'audition. Or, le retrait des tumeurs acoustiques peut causer des lésions au nerf auditif. Ce type d'implant peut aussi être indiqué en cas de malformation ou d'ossification des deux cochlées, par exemple. Une dizaine d'implantations sont réalisées chaque année en France (source : ScanSanté, acte CDLA002).

## 5 à 7

« C'est le nombre d'implants du tronc cérébral qui sont posés chaque année en France », estime le Pr Bruno Frachet du Centre de référence et de réglage des implants cochléaires (CRIC) de l'hôpital Rothschild à Paris.



### À LA PRATIQUE

Le processeur comporte un ou plusieurs microphones et est placé sur l'oreille. Il capte le signal acoustique et le convertit en signal électrique. Celui-ci est à son tour transmis à une électrode posée sur la zone auditive du tronc cérébral. La stimulation délivrée permet de se substituer aux fonctions naturelles du système auditif et le cerveau est alors en mesure d'intégrer l'information comme signal acoustique.

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

C'est en 1979 qu'une patiente a pu bénéficier pour la première fois d'un implant auditif du tronc cérébral. « Elle avait perdu son audition suite à l'exérèse



1964

Premiers essais  
d'implant sur tronc  
cérébral

1979

Première patiente  
implantée

1990

Fixation d'un implant  
dans le repli latéral  
du 4<sup>e</sup> ventricule cérébral

2011

Premier implant  
sur tronc cérébral  
compatible avec l'IRM

2013

Premier enfant  
implanté sur tronc  
cérébral

de neurinomes (schwannomes) de grandes tailles sur ses nerfs vestibulaires, conséquence de sa neurofibromatose de type 2, détaille Olivier Marek dans un mémoire soutenu en 2011 en vue de l'obtention du Diplôme d'État d'audioprothésiste. Une paire d'électrodes circulaires de 0,5 mm, distantes de 1,5 mm, fut implantée sur ses noyaux cochléaires et connectée à une prise transcutanée ».

Après quelques semaines, elle fut capable de distinguer le bruit d'un avion, l'aboïement de son chien, etc. Elle finit toutefois par ressentir des secousses musculaires. En juin 1985, la prise transcutanée lui fut donc retirée et « la paire d'électrodes circulaires fut connectée à un disque interne recouvert de titane intégré sous le scalp post-auriculaire », précise l'universitaire. Les secousses musculaires disparurent.

En parallèle, le House Ear Institute (HEI) et l'Huntington Medical Research Institute (HMRI), en Californie, mirent au point une électrode avec un substrat en filet de dacron (polyester) afin d'améliorer la stabilité du dispositif. « Un système d'aimants transcutanés fut mis en place pour limiter le risque d'infection en 1985 », poursuit Olivier Marek. Des améliorations furent apportées au processeur

ainsi qu'aux électrodes et, « en 1988 apparut un système de connexion/déconnexion pour remplacer la prise ou l'aimant sans toucher aux électrodes du tronc cérébral ».

## Le tournant des années 90

En 1990, la fixation d'un implant dans le repli latéral du 4<sup>e</sup> ventricule cérébral, qui jouxte le tronc cérébral (il se situe en effet entre le cervelet et le tronc cérébral), s'avéra efficace tout en minimisant les effets secondaires néfastes. En 1992, pour la première fois en Europe, un patient reçut un implant comportant 20 canaux de traitement du son. Depuis, les progrès se poursuivent. En 2011, un nouvel implant apparut sur le marché, compatible avec les systèmes d'imagerie par résonance magnétique ou IRM (voir encadré page 29). Et, en 2013, un Canadien âgé de 3 ans fut le premier enfant à bénéficier d'un implant auditif sur le tronc cérébral. La partie externe de son appareil était maintenue derrière son oreille grâce à un bandeau. À l'heure actuelle, les stratégies de codage du signal sonore utilisées pour les implants du tronc

## Une chirurgie de haute précision

L'opération chirurgicale, délicate, est réalisée par un ORL et un neurochirurgien afin que l'implant soit positionné sans affecter d'autres zones cérébrales. L'activation des électrodes est réalisée six semaines après l'intervention.

Une rééducation orthophonique et une évaluation régulière des résultats ainsi que des réglages de l'implant sont ensuite nécessaires.

cérébral sont identiques à celles prévues pour les implants cochléaires. L'implant du tronc cérébral devrait donc bénéficier des perspectives d'évolution de l'implant cochléaire (algorithme de prétraitement du processeur, fonctions de compressions, accessoires, etc.).

## IMPLANT DE L'OREILLE MOYENNE

# AMPLIFIER LES MOUVEMENTS DES OSSELETS PLUTÔT QUE CEUX DU TYMPAN

Les implants de l'oreille moyenne ont pour particularité la stimulation mécanique directe de l'oreille moyenne, le plus souvent au niveau de la chaîne ossiculaire. Les vibrations sonores arrivent à l'oreille en aval du tympan.



### DE LA THÉORIE...

Les systèmes d'implant de l'oreille moyenne captent les sons et les transforment en une oscillation mécanique. Les mouvements de la chaîne ossiculaire peuvent être plus amples, réglables. Le son est ensuite transmis normalement à l'oreille interne, encore plus en aval.

Aujourd'hui, les implants d'oreille moyenne sont destinés aux personnes atteintes d'une surdité neurosensorielle légère à sévère, d'une surdité de transmission ou d'une surdité mixte. Ils sont aussi

proposés aux patients qui, pour une raison médicale, ne tolèrent pas la présence de corps étrangers dans le conduit auditif (sujets à des inflammations chroniques ou à de l'eczéma dans le conduit auditif intraitable, par exemple); aux patients dont le conduit auditif ne peut être obstrué pour des raisons personnelles ou professionnelles – comme les musiciens et les chanteurs par exemple, qui ne souhaitent pas entendre les composantes harmoniques déformées par l'effet occlusif; enfin, aux patients qui ont besoin d'avoir une bonne perception des fréquences aiguës.

L'implant de l'oreille moyenne est habituellement connecté au deuxième des trois osselets de la chaîne ossiculaire : l'enclume.

## À LA PRATIQUE

Ce type d'implant est habituellement connecté au deuxième des trois osselets de la chaîne ossiculaire : l'enclume. Dans certains cas, on utilise un site de fixation encore plus près de l'oreille interne, un reliquat d'osselet ou l'une des deux fenêtres (rondes ou ovales) en contact avec l'oreille interne. Ces systèmes sont soit totalement implantables, soit semi-implantables avec une partie interne implantée comportant le vibreur fixé à un endroit adéquat de la chaîne des osselets. La partie externe, quant à elle, est un dispositif en forme de pièce de monnaie porté au-dessus du pavillon et maintenu par aimantation. Elle comporte la pile, le microphone et l'électronique.

« Ces implants augmentent la vibration mécanique de la chaîne ossiculaire, détaille le Pr Bruno Frachet, chirurgien au Centre de référence des implants cochléaires (CRIC) de l'hôpital Rothschild à Paris. Deux systèmes existent. Le premier est un système piézoélectrique par lequel un petit cristal se met à vibrer sous l'effet d'un courant électrique issu du microphone, ce qui a pour effet de faire vibrer l'osselet sur lequel l'implant est fixé. C'est robuste comme le

second des montres à quartz fonctionnant sur le même principe. Le second est un système électromagnétique avec une petite masselotte aimantée placée au centre d'un bobinage miniature. Elle vibre au gré du courant électrique généré par le microphone et qui tourne alternativement dans le bobinage, ce qui entraîne ainsi la vibration de l'osselet sur lequel il est connecté ou attaché et couplé. C'est puissant ».

Cette solution auditive ne comporte aucun élément dans le conduit auditif externe, ce qui explique pourquoi elle est proposée en cas d'intolérance physique au port d'un contour d'oreille ou d'un intra-auriculaire.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Les vibreurs d'oreille moyenne sont apparus pour la première fois dans les années 80, lorsque Naoaki Yanagihara et Jun-Ichi Suzuki développèrent un premier vibreur piézoélectrique. Ces appareils stimulaient mécaniquement et directement la chaîne ossiculaire ou les fenêtres de l'oreille interne par des vibrations. Ils permettaient ainsi de s'affranchir des problèmes d'amplification des hautes fréquences liés à l'effet Larsen et des problèmes >>>

## CHIRURGIE DE L'OREILLE MOYENNE : UNE ALTERNATIVE POSSIBLE

L'une des alternatives aux implants de l'oreille moyenne peut être de procéder à une opération chirurgicale visant à « réparer » l'oreille moyenne déficiente.

Il peut arriver que cette dernière ne permette pas toujours de retrouver un niveau normal d'audition pouvant impliquer, pour le patient, de compléter cette intervention par le port d'une aide auditive conventionnelle. « Aujourd'hui, des réflexions sont menées au sein de la communauté scientifique quant à la pertinence de multiplier les solutions chirurgicales pour améliorer l'audition lorsque l'aide auditive pourrait apparaître comme une réponse immédiate », explique le Dr Jérôme Nevoux, médecin ORL et de chirurgie otologique au CHU Bicêtre (AP-HP).

1980

Apparition des premiers  
vibrateurs piézoélectriques  
et électromagnétiques

1998

Diffusion du premier  
Floating Mass Transducer®  
(FMT)

1998-2006

Essor des implants  
de l'oreille moyenne

2007-08

Les implants deviennent  
totalement invisibles

»» d'intolérance physique au port d'un appareil dans le conduit auditif externe. Ils délivraient en outre un signal plus fort que celui des systèmes fonctionnant par conduction osseuse et se révélaient dès lors plus efficaces en cas de surdité sévère. Seules limites : des difficultés de couplage avec la chaîne ossiculaire et une capacité d'ampli-

fication limitée par la taille du cristal piézoélectrique. De son côté, dès 1986, Anthony J. Maniglia inventa un vibrateur électromagnétique : un aimant, positionné au niveau de l'oreille moyenne, vibrait sous l'effet du champ électromagnétique d'une bobine placée dans le conduit auditif externe ou dans la mastoïde.

utilisé pour les surdités neurosensorielles, a progressivement été préconisé pour les surdités mixtes. Les premiers implants actifs de l'oreille moyenne à modulateur mécanique furent quant à eux soumis à essais cliniques dès 2002, pour ensuite être diffusés à plus grande échelle.

#### À SAVOIR

### Tels les battements de cœur d'une fourmi

Geoffrey R. Ball, inventeur de l'implant de l'oreille moyenne intégrant la technologie de l'aimant mobile placé dans une bobine (voir ci-contre), a un jour déclaré que « la quantité de vibrations nécessaires pour stimuler l'audition est semblable aux battements de cœur d'une fourmi ». Il est lui-même atteint d'une surdité neurosensorielle.

### L'essor des années 2000

Puis Geoffrey R. Ball et Richard L. Goode eurent l'idée de placer un aimant mobile dans une bobine miniaturisée. L'aimant se comportait comme une masse flottante à l'intérieur de la petite bobine cylindrique, permettant à l'ensemble bobine-aimant de vibrer sous l'effet d'un signal électrique, d'où l'appellation de Floating Mass Transducer® ou FMT. Ce système électromagnétique d'implant d'oreille moyenne, plus petit que les modèles préexistants, conservait de bonnes capacités d'amplification sans élévation de température. Soumis à de premiers essais cliniques fructueux menés en 1996 à Zurich (Suisse), il fut diffusé en Europe dès mars 1998, puis aux États-Unis en 2000. Et à partir de 2006, cet implant, quasi-exclusivement

### Un panel de solutions

Il existe aujourd'hui plusieurs modèles d'implants de l'oreille moyenne. Ils ne se fixent pas tous au même endroit le long de la chaîne ossiculaire, mais essentiellement sur la branche descendante de l'enclume, sur l'apophyse lenticulaire Ⓞ de l'enclume, sur l'étrier ou encore sur un piston après avoir enlevé l'étrier. De plus, les systèmes d'accroche de ces implants sont très variés : les connecteurs, de différentes formes, permettent au chirurgien de choisir ceux qui sont les plus adaptés à l'anatomie du patient et aux restes ossiculaires. Les implants disponibles sur le marché proposent en outre des modalités et des puissances différentes, pour des surdités moyennes à sévères. De multiples plages d'utilisation sont disponibles. De nombreux progrès ont également été apportés

sur la fiabilité et l'étanchéité de la partie implantée et sur la durée de vie de l'implant (environ 10 ans). À noter que l'implant de l'oreille moyenne est régulièrement soumis à des vibrations quand l'implant cochléaire, lui, reste stable et enchâssé dans la cochlée.

## Le tout implantable : le défi de la batterie

« Des progrès majeurs ont été réalisés sur les implants de l'oreille moyenne en termes d'efficacité et de dissimulation, constate le Pr Frachet. Ils se sont sophistiqués tout en se miniaturisant ». Au point qu'au cours des années 2007-2008, des systèmes d'implants totalement invisibles ont été développés. Une avancée rendue possible après la résolution d'un problème majeur : la source d'énergie. Dans les dispositifs semi-implantables, la source d'énergie est hébergée à l'extérieur. Dans une version tout implantable, la source d'énergie se place, par définition, sous la peau, soit sous la forme d'une batterie de pacemaker, soit sous la forme d'un accumulateur qui se recharge quotidiennement à travers la peau par le biais d'une communication haute fréquence. « Les batteries ont beaucoup évolué. Elles sont aujourd'hui fiabilisées, note le Dr Jérôme Nevoux. Elles doivent pouvoir tenir jusqu'à douze ans, ce qui limite le nombre de réinterventions chirurgicales ». Autre évolution, le microphone. Implanté, il capte non seulement les sons extérieurs mais aussi ceux du corps comme la respiration, le fait de mâcher...

« Il y a encore peu de temps, le traitement de ces bruits internes se faisait via un système d'anti-feedback et de nombreux tests, rapporte le Dr Nevoux. Désormais, les algorithmes le font automatiquement et permettent à l'implant d'être fonctionnel dès qu'il est allumé ».

## Vers une évolution des techniques d'implantation

Enfin, ces dernières années ont vu une simplification du geste chirurgical dans la pose de dispositifs

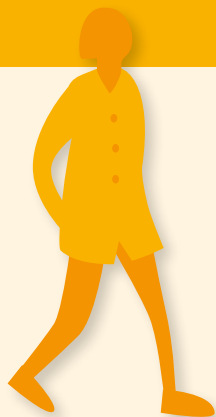
tout implantables. « Les étapes de chirurgie ont été raccourcies grâce à une diminution du matériel utilisé, explique le Dr Nevoux. Le montage de l'implant peut désormais se faire sur la table et non plus sur le site opératoire. Il y a encore peu, le système de vis nécessaire à la pose nous obligeait à réaliser un trou. Désormais, elles sont auto-taraudantes ».

Des logiciels ont également été mis au point pour réaliser des tests pendant l'opération pour vérifier le positionnement correct du vibreur et s'assurer ainsi de l'efficacité de la stimulation mécanique.



# « Les implants cochléaires me font oublier ma surdité »

## LE REGARD DU PATIENT



En 1991, Catherine Daoud, jeune ingénieure, est victime d'une brusque surdité bilatérale évolutive. Par méconnaissance, elle attendra 10 ans avant d'opter pour une implantation. Un choix qui bouleverse sa vie au point qu'elle crée, en 2002, le Centre d'information sur la surdité et l'implant cochléaire (Cisic). Son but ? Conseiller les personnes sourdes et accompagner les implantés dans leur utilisation de ce dispositif médical qui, au gré des innovations technologiques, les (re)connecte avec le monde sonore.

*« En 1991, j'avais 25 ans et la vie devant moi lorsque je suis devenue sourde en quelques jours à peine. Une surdité bilatérale évolutive qui allait totalement transformer mon quotidien professionnel et personnel.*

*Il m'est devenu difficile puis impossible de téléphoner, d'écouter la radio, etc. Converser est devenu un exercice compliqué. Rapidement, je ne suis plus parvenue qu'à détecter quelques syllabes dans une phrase. Je glissai vers une surdité profonde.*

*En 1995, je m'intéresse aux implants cochléaires mais beaucoup d'idées fausses circulent alors sur ces dispositifs : rééducation très longue, compréhension difficile... Et j'avais peur de sacrifier ce qu'il restait de ma cochlée avec la pose d'un implant.*

*Puis la rencontre de deux personnes implantées m'a fait changer d'avis. En 1999, je saute le pas. Une fois le premier réglage des électrodes fait, j'entends et comprends tout de suite. Un dispositif médical dont les progrès technologiques me font oublier ma surdité.*

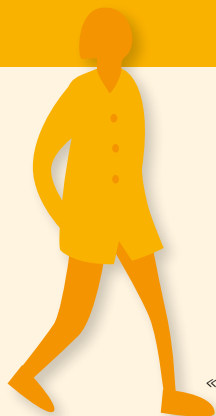
*Aujourd'hui encore, dans la permanence du Cisic, je croise des parcours similaires au mien. J'ai eu cinq processeurs différents depuis l'implantation. Si le premier m'a permis d'entendre la voix de mes enfants, et plus généralement la parole, le second m'a replongé dans la musique grâce à un programme dédié. La connectivité des implants, qui a notamment permis de recevoir le son directement dans l'oreille, a ouvert un nouveau champ*

*des possibles : téléphoner, écouter la radio dans de bonnes conditions, etc. Désormais, nous avons de magnifiques algorithmes qui offrent des capacités de réglages vraiment extraordinaires.*

*Autre évolution majeure aujourd'hui, les processeurs équipés de plusieurs microphones directionnels qui permettent, grâce aux réglages, d'entendre de mieux en mieux dans le bruit. J'ai pu retourner dans les transports en commun et les lieux fréquentés sans appréhension. Toutes ces innovations et les possibilités offertes aux patients sont nombreuses. L'accompagnement comportemental et technique est essentiel pour que chaque patient utilise pleinement le potentiel de ces dispositifs médicaux. »*

# « J'ai redécouvert les bruits du quotidien »

## LE REGARD DU PATIENT



Stéphanie Teixeira, 48 ans, a longtemps mis de côté sa surdité jusqu'à ce qu'elle devienne handicapante. Le manque de temps et le coût des aides auditives notamment l'ont amenée à remettre au lendemain le recours à ces dispositifs médicaux qui, aujourd'hui, lui sont devenus indispensables.

*« J'ai commencé à ressentir une légère gêne dans les années 2000. Je ne m'en suis pas vraiment préoccupée. Je mettais le son de la radio un peu plus fort. Je tendais l'oreille lorsqu'on s'adressait à moi. Puis la gêne s'est progressivement intensifiée jusqu'à devenir handicapante. En 2014, je me suis décidée à consulter un oto-rhino-laryngologiste. Ce dernier m'a annoncé que j'entendais aussi bien que si je portais des boules Quies® dans chaque oreille ! Je suis donc allée chez un audioprothésiste une première fois avant de repousser sans cesse le second rendez-vous. Le manque de temps, le reste à charge et le coût des piles à changer fréquemment sont autant d'éléments qui m'ont amenée à renoncer. Et j'avoue que la perspective de porter des aides auditives ne me renvoyait pas une image très*

*positive. Une image vieillissante.. Mais le quotidien devenait difficile. J'avais mis en place des stratégies pour comprendre les autres, comme lire sur les lèvres. Toute mon énergie passait dans la concentration que je mettais à essayer d'entendre. Dès le milieu de la journée, j'étais épuisée. Je suis assistante de direction dans une clinique. Au début de 2019, un collègue ORL m'a parlé des risques de démence liés à une prise en charge trop tardive de la surdité. Ce fut le déclic. J'ai repris les démarches et consulté à nouveau. Le scanner a révélé de multiples cicatrices sur mes tympans. Des cicatrices dues à des otites répétées et mal soignées. Je ne m'en étais pas rendu compte sur le moment mais, une ou deux fois par an, il m'arrivait de ressentir des douleurs au niveau des oreilles. Il s'agissait d'otites que je ne soignais pas.*

*Je porte des aides auditives depuis un an. Certes, il m'a fallu un temps d'adaptation pour les réglages. Car les sons sont décuplés. Mais je me suis appropriée au fil du temps toutes les possibilités offertes – comme les préréglages adaptés aux différents environnements sonores, la connexion à mon smartphone, etc. J'ai redécouvert les bruits du quotidien : les couverts sur la table, un vêtement qui glisse sur la peau... Aujourd'hui, je ne suis plus épuisée à force de concentrer toute mon attention sur mon interlocuteur. Je n'ai plus à lire sur les lèvres. Je peux faire plusieurs choses à la fois. J'entends parfaitement au téléphone puisque je reçois les appels directement dans mes aides auditives. C'est un vrai confort de vie qui me fait oublier ma surdité. »*

# GLOSSAIRE

---

## A

### Acryl

Matière plastique.

### Algorithme (ici)

Ensemble d'instructions et d'opérations réalisées sur des données dans un ordre précis afin d'obtenir un résultat et/ou de résoudre un problème.

### Apophyse lenticulaire

Partie saillante de l'enclume, laquelle constitue les trois osselets de l'oreille moyenne avec le marteau et l'étrier.

### Audioprothésiste

Sur la base d'un bilan tonal et vocal d'orientation prothétique, l'audioprothésiste détermine l'aide auditive la mieux adaptée, prend l'empreinte du conduit auditif, pose et règle le microprocesseur et apprend au patient à l'utiliser.

## B

### Binaural

Relatif à l'audition par les deux oreilles.

## C

### Capteur

Dispositif permettant de recueillir des données physiques (comme la radiation, la vibration, la température, la pression, etc.) ou des données chimiques (comme la concentration, la pression artérielle) et de les transformer en grandeurs analogiques afin de permettre l'enregistrement graphique, l'affichage

numérique, la formation d'images ou l'emploi dans un système automatisé.

### Ciliées (cellules)

Cellules sensorielles coiffées de structures filamenteuses, les stéréocils, qui tapissent la cochlée des vertébrés.

### Cloud computing

Modèle permettant un accès réseau pratique et sur demande à un *pool* partagé de ressources informatiques configurables tels des réseaux, des serveurs, du stockage, des applications et des services.

### Cochlée

Organe creux en forme d'escargot situé au niveau de l'oreille interne et rempli d'un liquide appelé endolymphe. Les cellules ciliées situées dans la cochlée et stimulées par le mouvement de l'endolymphe peuvent ensuite exciter les fibres nerveuses du nerf auditif.

### Conque

Cavité profonde du pavillon de l'oreille dans laquelle s'ouvre le conduit auditif / intra-conque : à l'intérieur de la conque.

### Cophose

Perte totale de l'ouïe.

## D

### Décibel (dB)

Un dixième de bel, unité de niveau sonore exprimant la puissance avec laquelle une source émet

un son. Si augmenter de 1 bel l'intensité d'un son équivaut à peu près à en doubler l'intensité, une telle différence entre deux sons est à peine audible.

### Decibel Hearing Level (dB HL)

Unité utilisée pour mesurer la perception auditive d'une personne lors d'un audiogramme.

### Deep Learning

Branche du *Machine Learning* (apprentissage automatique) consistant à soumettre à un ordinateur une très grande quantité de données, en vue de laisser ce dernier les analyser lui-même, les segmenter et y reconnaître des schèmes.

## E

### Effet Larsen

Sifflement aigu qui se produit lorsqu'un microphone est disposé trop près d'un haut-parleur auquel il est relié par un amplificateur : le son perçu par le microphone est amplifié et réémis par le haut-parleur, puis il est capté par le micro, réamplifié et réémis, etc.

## H

### Holster

Étui.

## M

### Machine Learning (ou apprentissage automatique)

Type d'intelligence artificielle qui confère aux ordinateurs la capacité d'apprendre sans être explicitement programmés. Cette technologie s'appuie sur



le développement de programmes informatiques capables d'acquérir de nouvelles connaissances afin de s'améliorer et d'évoluer d'eux-mêmes dès qu'ils sont exposés à de nouvelles données.

**Masselotte**

Petite masse agissant par inertie, par gravité ou par force centrifuge, souvent associée à une pièce animée d'un mouvement de rotation pour en assurer l'équilibrage.

**Mastoïde**

Extrémité osseuse située au niveau de la partie inférieure de l'os temporal, en arrière du conduit auditif externe, et recouverte par le pavillon de l'oreille.

**Microprocesseur**

Ensemble de circuits miniaturisés permettant de traiter l'information et intégrés dans un dispositif.

**N****Nerf auditif**

Également appelé nerf vestibulocochléaire ou nerf cochléo-vestibulaire. Il est le huitième nerf crânien. Il est composé de deux parties : le nerf cochléaire, qui est le nerf de l'audition proprement dite, et le nerf vestibulaire, qui est le nerf de l'équilibre.

**O****Os temporal**

Os situé dans la région de la tempe, sur la partie latérale de la tête.

**Ostéo-intégration**

Processus physiologique naturel qui unit un implant à l'os.

**Otoscopie**

Examen de base de l'oreille, visant à vérifier l'état du conduit auditif et du tympan.

**S****Stimulus**

Tout élément (physique, chimique ou biologique) capable de déclencher des phénomènes dans l'organisme.

# SOURCES ET REMERCIEMENTS

## OUVRAGES

Jean-Marie Gaspard Itard, « *Traité des maladies de l'oreille et de l'audition* », Paris, 1842.

Washington University School of Medicine, « *Deafness in Disguise: Concealed Hearing Devices of the 19th and 20th Centuries* », Bernard Becker Medical Library, 2005-2009.

Victor D. Chase, « *Shattered nerves: How science is solving modern medicine's most perplexing problem* », JHU Press, octobre 2006.

## TRAVAUX UNIVERSITAIRES ET ACADÉMIQUES, ET ACTES DE COLLOQUE

G. Angel, « *Efficacité et tolérance à long terme des implants d'oreille moyenne 'vibrant soundbridge'* », thèse pour le DE de docteur en médecine, Faculté de médecine de l'Université de Nantes, 2012.

O. Marek, « *L'implant auditif du tronc cérébral* », mémoire pour le DE d'audioprothésiste, Faculté de pharmacie de l'Université Poincaré, Nancy I, 2011.

D. Bouccara, A. Bozorg Grayeli, M. Kalamarides et O. Sterkers, « *Implant auditif du tronc cérébral chez l'adulte* », Académie nationale de chirurgie, 2010.

O. Sterkers, B. Meyer, B. Frachet, A. Bozorg Grayeli, I. Mosnier et D. S. Lazard, « *Réhabilitation de la surdité profonde par l'implant cochléaire uni- ou bilatéral chez l'adulte sourd* », Académie nationale de chirurgie, 2010.

Journée Nationale de l'Audition, « *Santé auditive, objets connectés et e-santé* », colloque, mars 2017.

## ARTICLES

Pr C-H. Chouard, « *Histoire de l'implant cochléaire* », Annales françaises d'oto-rhino-laryngologie et de pathologie cervico-faciale, 2010.

« *Troubles auditifs* », dossier de l'Inserm réalisé en collaboration avec J-L. Puel (unité Inserm 1051), 2012.

M. Tardif et L. Bourbonnais, « *L'appareil auditif : d'hier à aujourd'hui* », audiologiste de l'Institut Raymond Dewar, revue Sourdine, 2012.

Pr C-H. Chouard, « *Histoire du rôle de la France dans la mise au point industrielle de l'implant cochléaire multi-électrodes* », 2014.

« *Surdité et déficience auditive* », Aide-mémoire n°300 de l'OMS, 2015.

H. Amieva, C. Ouvrard, C. Meillon, L. Rullier, J-F. Dartigues, « *Death, Depression, Disability, and Dementia Associated With Self-reported Hearing Problems: A 25-Year Study* », *The Journals of Gerontology: Series A*, volume 73, issue 10, 2018.

## RAPPORTS ET DOCUMENTS

« *Traitement de la surdité par pose d'implants cochléaires ou d'implants du tronc cérébral* », rapport de la HAS, 2007, actualisé en 2011.

Cognitive control of a hearing aid : cocoha.org  
« *Réduction des risques de déclin cognitif et de démence* », Lignes directrices de l'OMS, 2019.

## SITES INTERNET

Inserm : [www.inserm.fr](http://www.inserm.fr)

Santé publique France : [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr)

Voyage au Centre de l'Audition : [www.cochlea.org](http://www.cochlea.org)

The Hearing Aid Museum :  
[www.hearingaidmuseum.com](http://www.hearingaidmuseum.com)

Hôpital Fondation Adolphe de Rothschild :  
[www.fo-rothschild.fr](http://www.fo-rothschild.fr)

L'Oreille musicienne : <http://recorlsa.online.fr/oreillemusicienne/index.html>

Ordre des audioprothésistes du Québec :  
[www.ordreaudio.qc.ca](http://www.ordreaudio.qc.ca)

ADSMQ : [www.adsmq.org](http://www.adsmq.org)

France Acouphènes : [www.france-acouphenes.org](http://www.france-acouphenes.org)

## REMERCIEMENTS

**Éric Bizaguet**, audioprothésiste et président d'honneur du Collège national d'audioprothèse

**Sandrine Bousquet-Cabrol**, Cochlear France

**Thierry Daudignon**, Starkey France

**Pr Bruno Frachet**, chirurgien et chef du service ORL à l'Hôpital Rothschild à Paris

**Franck Lefèvre**, audioprothésiste

**Philippe Metzger**, audioprothésiste

**D<sup>r</sup> Jérôme Nevoux**, médecin ORL et chirurgien cervico-facial au CHU Bicêtre (AP-HP)

**Pr Christophe Vincent**, Chef du service d'Otologie et d'Oto-neurologie au CHRU de Lille

**Alexandre, Catherine Daoud et Stéphanie Teixeira**

AIDE A LA PRÉVENTION DES ESCARRES	ANESTHÉSIE - RÉANIMATION	APPAREIL DIGESTIF	AUDIOLOGIE	CARDIOLOGIE	CONTACTOLOGIE
DIABÈTE	DIALYSE	HANDICAP MOTEUR	IMAGERIE	INJECTION - PERFUSION	NEUROLOGIE
NUMÉRIQUE EN SANTÉ	OPHTALMOLOGIE	ORTHÈSES	ORTHOPÉDIE	PATHOLOGIES VEINO-LYMPHATIQUES	PLAIES ET CICATRISATION
RESPIRATION	ROBOTIQUE	SANTÉ BUCCO- DENTAIRE	SANTÉ DE LA FEMME	UROLOGIE	

Tous les livrets sont téléchargeables sur le site du Snitem : [www.snitem.fr](http://www.snitem.fr)



Quand l'épopée de l'innovation  
des dispositifs médicaux  
se confond avec l'extraordinaire  
histoire de l'audiologie.

LE DISPOSITIF MÉDICAL

**snitem**

Syndicat national  
de l'industrie  
des technologies médicales

Maison de la Mécanique - CS 30080  
92038 Paris - La Défense cedex  
Tél. : 01 47 17 63 88 - Fax : 01 47 17 63 89  
[www.snitem.fr](http://www.snitem.fr) - [info@snitem.fr](mailto:info@snitem.fr)

 SNITEM  @SnitemDM

