

# Progrès dans le domaine de l'acoustique physiologique, applications aux surdités

## Le dépistage, le diagnostic et la prévention des atteintes de l'audition

### Paul Avan

Laboratoire de biophysique sensorielle (EA 2667)  
Université d'Auvergne  
Faculté de Médecine  
28, place Henri Dunant  
63000 Clermont-Ferrand  
Tél. : 04 73 17 81 30  
Fax : 04 73 26 88 18  
E-mail : paul.avan@u-clermont1.fr

### Résumé

*La surdité est plus que jamais un problème de santé publique avec l'allongement de la durée de vie et l'impact des presbycousies sur la vie professionnelle et sociale. L'acoustique physiologique a conduit, ces dernières années, à mieux comprendre le fonctionnement normal et pathologique du système auditif, ce qui permet d'établir les bases d'une prévention plus efficace puisque les sources d'agression, comme le bruit, ont peu diminué. La prévention passe aussi par un dépistage plus sensible – ce qui est fait – et plus systématique – ce qui peut largement progresser. La prise en charge des surdités aux stades précoces – ou même tardifs, et ce quel que soit le degré de perte auditive – est désormais possible grâce à des appareillages électroacoustiques, parfois implantables, de performances croissantes, et plus l'appareillage est précoce, plus il est efficace.*

### Abstract

*The increasing prevalence of deafness makes it a prominent issue considering the increase in average life duration and the damaging consequences of presbycusis on social and professional life. Physiological acoustics has recently brought forward novel concepts allowing a better understanding of normal and damaged auditory function. This leads to increasingly efficient prevention as the most frequent causes of hearing damage, exposure to noise, persists. Prevention is also improved through implementation of more sensitive and broader screening programs. Intervention at early stages of deafness – or even later, regardless of the degree of hearing loss – is possible with the help of electroacoustic hearing aids, sometimes implanted, that perform increasingly better and the earlier they are fitted, the more efficient.*

### Position des problèmes, sous l'angle médical

La surdité reste un important problème de santé publique qui, bien que ses statistiques restent remarquablement floues, touche vraisemblablement près de 5 millions de personnes en France. Dans leur grande majorité, ces surdités apparaissent et évoluent en relation avec le vieillissement, sachant que le vieillissement auditif est souvent le résultat combiné de l'âge et d'agressions subies par les oreilles, parmi lesquelles l'exposition chronique au bruit est au premier plan. Le bruit a pour origine le plus souvent soit le milieu professionnel, soit le monde des loisirs et de la musique, notamment amplifiée. Le bruit en milieu professionnel fait l'objet de réglementations européennes de plus en plus strictes qui donnent au travailleur exposé, au moins en théorie, une protection efficace. L'exposition aux sons forts en relation avec la musique amplifiée est, elle, d'apparition relativement récente : il y a deux décennies à peine, l'exposition de longue durée à la musique amplifiée ne pouvait guère se concevoir que pour les publics de concert – en mettant à part les musiciens professionnels –, donc pour des expositions occasionnelles. L'usage

à fort niveau des baladeurs était limité par la consommation en piles et la médiocre qualité sonore : depuis quelques années ces limitations n'existent plus. La limitation des niveaux de sortie à 100 ou 105 dB ne protège guère que pour les expositions brèves. La législation en termes de bruit professionnel limite l'exposition à 80 dB (A) en niveau continu équivalent pendant 8 h par jour, or une exposition quotidienne de 100 dB à de la musique de baladeur MP3, pendant ne serait-ce que 2 h ce qui semble une durée d'utilisation relativement courante, dépasserait largement la limite légale. Il est vrai que cette exposition n'entre pas dans le cadre visé par les textes puisqu'elle est volontaire et librement choisie, bien que peut-être de manière non éclairée !

Bien que représentant une minorité de cas, la surdité de l'enfant reste un problème essentiel qui doit être rapidement pris en charge en raison de l'impact d'une surdité sur les apprentissages. Un nouveau-né sur 1 000 environ est porteur d'une surdité neurosensorielle plus ou moins sévère, stable ou évolutive. Près de 70% de ces surdités, on le sait depuis peu, sont probablement ou certainement

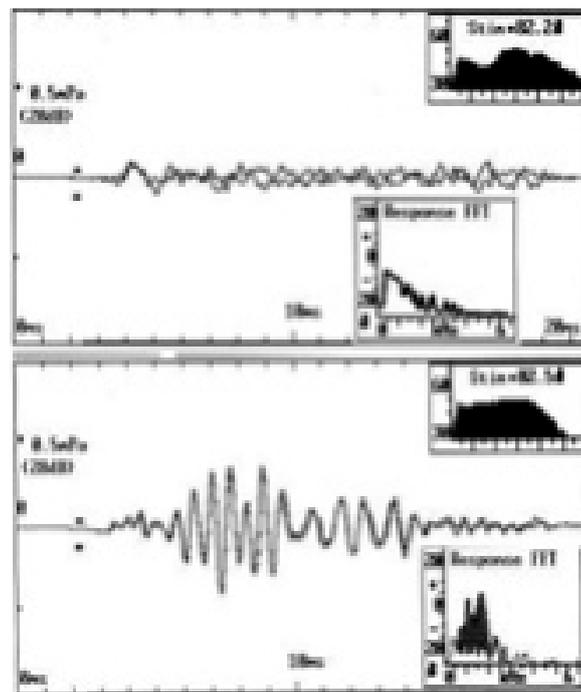
d'origine génétique (donc transmises par les parents), les surdités néonatales restantes étant attribuables à des accidents infectieux ou toxiques en période périnatale, particulièrement chez les nouveau-nés ayant dû séjourner en soins intensifs. Le risque de surdité dans ce contexte était alors estimé à 1/80 il y a encore peu de temps, il peut vraisemblablement diminuer en relation avec une meilleure maîtrise des médicaments potentiellement toxiques pour l'audition.

En 2008, cela reste un dogme que les surdités neuro-sensorielles ne peuvent guérir ou régresser sous l'effet d'aucun traitement médical ou chirurgical. En effet, ces surdités résultent de l'absence ou de la mort de cellules sensorielles qui sont irremplaçables. Cependant, certaines études chez l'animal ont déjà permis de mieux comprendre quelques étapes de la vie et de la mort des cellules sensorielles auditives, ce qui ouvre peut-être la voie à de futurs traitements géniques ou par biomolécules. Ces travaux ont aussi débouché sur quelques résultats concrets dans de rares cas particuliers. Par exemple, il existe quelques possibilités de tenter de préserver l'audition immédiatement après un traumatisme acoustique aigu en contrôlant certains mécanismes de protection et de réparation cellulaire, sans garantie de succès hélas. De manière générale, les travaux récents ont apporté une meilleure compréhension des mécanismes ototoxiques capables de léser l'oreille interne et les neurones auditifs : comprendre n'est pas guérir, mais ouvre la voie à des mesures de prévention.

Depuis quelques années, toutes ces surdités, quels que soient leur degré et leur type, chez l'enfant ou l'adulte, sont appareillables avec un grand bénéfice à moyen terme. Il est important de rappeler que le bénéfice n'est pas immédiat en général, mais il nécessite presque toujours quelques mois d'habituation avec port régulier de l'appareillage, et ajustement régulier de ses réglages. Chez l'enfant, une éducation spécialisée ou adaptée peut être utile, selon le degré de surdité initial et le retard éventuel de langage qui y était attaché.

Comme il est maintenant bien établi que la privation sensorielle est nuisible au fonctionnement des centres cérébraux auditifs, tandis qu'à l'inverse, la réhabilitation par appareil est d'autant plus facile et bénéfique qu'elle est effectuée précocement, le dépistage et le diagnostic précis des surdités sont donc un challenge de plus en plus important. Il peut désormais être abordé par certaines méthodes objectives très précises, qui viennent compléter les méthodes de dépistage de masse par simple audiométrie subjective.

Au cours des 20 dernières années, l'enregistrement des otoémissions acoustiques, sons de très faible niveau émis vers le conduit auditif (de manière rétrograde) par certaines cellules de l'oreille interne lorsqu'elles sont bien fonctionnelles, a été développé par plusieurs méthodes complémentaires, qui sont maintenant implémentées dans de nombreux appareillages disponibles dans le commerce. S'il y a des otoémissions, le patient a une audition quasi normale (sauf exceptions dans des cadres bien précis), et s'il n'y a pas d'otoémission, un bilan audiolinguistique complet s'impose à la recherche d'une surdité (figure 1).



**Fig. 1 :** Les otoémissions acoustiques (absentes sur le diagramme du haut, présentes en bas) sont des ondes de pression acoustique, donc d'authentiques sons enregistrables dans le conduit auditif externe, et dont la présence indique que la cochlée amplifie et filtre bien le son. On les utilise en dépistage de routine car leur absence est un signe fiable de surdité, et leur présence un signe crédible de bonne audition, sauf exceptions.

En complément, des appareils capables de détecter automatiquement les potentiels auditifs évoqués (réponses électro-encéphalographiques issues du système nerveux auditif, lorsqu'on le stimule par des sons brefs) ont été mis au point : ils permettent de savoir si le sujet testé entend ou non un son de niveau moyen. Ces deux tests, séparés ou combinés, permettent en quelques minutes, installation comprise, de savoir si un nouveau-né entend ou pas, les appareils pouvant être utilisés par du personnel absolument pas spécialiste de l'audition, et dans un local ordinaire. La pratique du dépistage auditif par ces moyens a été généralisée à tous les nourrissons en maternité dans de nombreux pays, au cours des 10 à 15 dernières années. On peut regretter que la France ait pris du retard dans ce domaine car on continue à n'y identifier des surdités de l'enfant que vers l'âge de deux ans, devant un retard de langage, alors qu'en anticipant l'appareillage aurait évité ce retard. À visée cette fois diagnostique, dans le cadre de bilans ORL plus approfondis et plus longs, de nouveaux tests objectifs basés eux aussi sur le recueil de potentiels électriques issus des cellules sensorielles et neurones auditifs donnent accès à des fonctions neurales auditives plus centrales, incluant les boucles réflexes de protection contre les sons forts, et les interactions binaurales.

Tous ces tests permettent non seulement des mesures objectives précises qui permettent le diagnostic fin d'une atteinte auditive, mais aussi un suivi individualisé dans le temps. Il serait donc tentant d'en utiliser certains de manière plus systématique chez l'adulte, par exemple dans l'industrie (particulièrement en cas de notion d'exposition sonore, ou sonore combinée à des produits chimiques toxiques pour

l'oreille comme certains solvants de la famille du toluène). La question de ce qui confère à certains sujets une plus grande fragilité au bruit reste ouverte sur le plan physiologique, on le verra plus loin, et celle d'identifier les personnes à risque vis-à-vis du bruit n'est pas résolue. Cependant l'application de tests objectifs plus précis et médico-légalement plus fiables que l'audiométrie de masse pourrait connaître un développement futur, au moins dans le but de prévenir les aggravations de surdité chez des sujets déjà atteints. On peut aussi penser à des extensions aux personnes non exposées professionnellement, sous forme d'une sorte de dépistage de la presbycusie ou vieillissement auditif. Le bénéfice pourrait être préventif, lorsqu'on saura identifier plus précisément les facteurs qui prédisposent au vieillissement accéléré, mais aussi celui de pouvoir proposer un appareillage plus précocement, puisqu'on sait qu'il est alors plus vite performant : à présent de nombreux sujets presbycusiques ne se font appareiller que lorsque leur gêne a déjà largement dépassé le seuil où ils auraient dû être pris en charge, et donc où leur surdité est déjà un handicap social et professionnel notable, ce qu'elle n'aurait pas dû devenir.

## La prise en charge des surdités, les appareillages et leurs développements

Une surdité neurosensorielle, actuellement, ne peut être guérie, mais elle peut, et doit, être appareillée, si possible bilatéralement, ce qui conduit à examiner l'état des lieux dans le domaine de l'audioprothèse. Ce domaine est pluridisciplinaire par excellence, puisqu'il nécessite que des acousticiens, physiologistes, médecins, psychophysiciens, audioprothésistes et industriels travaillent ensemble, parfois également avec des orthophonistes et des enseignants. Il a longtemps été limité dans sa capacité à apporter des solutions concrètes, mais de nombreuses réponses techniques existent désormais aux difficultés d'autrefois. L'enjeu industriel est conséquent avec un marché potentiel de près de 5 millions de Français, sourds au point de pouvoir bénéficier d'un appareillage. Cependant, par ignorance, mauvaise information ou méfiance, seulement un million est effectivement appareillé. La transposition de ces chiffres à l'échelle mondiale montre l'intérêt potentiel de ce domaine frontière, d'autant plus qu'un appareillage amplificateur se doit d'être bilatéral pour être efficace, et doit être renouvelé approximativement tous les 5 ans, les appareils ayant une durée de vie limitée.

Le challenge que l'avènement des appareils numériques permet de relever est celui d'utiliser les connaissances en acoustique physiologique et perception pour concevoir des appareils auditifs « intelligents », ou en tout cas de plus en plus capables de reproduire une partie des prétraitements que la cochlée sourde est devenue incapable de faire. On peut citer deux cas extrêmes, celui des surdités débutantes où on peut désormais adapter des appareils amplificateurs dits « *open fit* » qui respectent le confort et le souci de discrétion du patient en laissant ses conduits auditifs ouverts, sans inconvénient acoustique grâce à un dispositif anti-Larsen actif, et le cas des surdités quasi totales, repris un peu plus loin, où un implant cochléaire se substitue efficacement à la cochlée inopérante pour aller stimuler directement le nerf auditif.

Une approche appliquée, avec des débouchés industriels importants mais dans une niche pointue, consiste donc à développer des méthodes permettant aux appareils auditifs d'être de plus en plus efficaces dans des situations acoustiques quotidiennes et plus seulement à domicile dans le calme. La conquête du marché de l'audioprothèse par le numérique ouvre à de nombreuses innovations. La souplesse des réglages et le nombre de canaux sur lesquels les réglages peuvent être modulés sont des avantages évidents, qui permettent de surmonter les distorsions propres à chaque oreille malade. L'apport des anti-Larsen actifs a déjà été mentionné. La technologie des réseaux de microphones « *beamformers* » a également permis de développer des appareils qui par leur directionnalité, diminuent l'impact du bruit environnant sur l'intelligibilité. Les recherches actuelles sont le plus souvent couvertes par la confidentialité imposée par la compétition industrielle, mais on sait qu'elles vont particulièrement dans le sens de tentatives de débruitage du signal, le bruit restant l'ennemi n°1 du sujet sourd dont la cochlée a perdu ses capacités de sélectivité. Certains bruits possèdent des caractéristiques relativement faciles à identifier par le calcul, sur le plan spectral ou temporel, et des algorithmes appropriés, capables de tenir dans un processeur miniature, peuvent tenter d'adapter en temps réel les réglages de l'appareil dans ses différents canaux fréquentiels pour éliminer ces bruits. La montée en puissance de calcul des appareils ouvre des perspectives à moyen terme, même si les premiers essais sont encore un peu rudimentaires.

## Implants (cochléaires, d'oreille moyenne, BAHA)

Parfois les appareils auditifs traditionnels ne sont pas une bonne indication, soit que les patients les supportent mal soit que la surdité pose des difficultés en raison de son degré ou de son profil fréquentiel inhabituel. L'imagination des fabricants a permis de proposer des appareils qui permettent pratiquement de faire face à tous types de surdité même difficiles, même si leur mise en place et leurs réglages ne sont alors plus un geste de routine. Pour les surdités très profondes ou accompagnées de telles distorsions dans les sensations que le patient ne peut exploiter aucun appareil conventionnel, les implants cochléaires sont désormais une solution bien maîtrisée qui permet une stimulation directe des fibres du nerf auditif, par l'intermédiaire d'un porte-électrodes pourvu d'une vingtaine d'électrodes. Bien que le codage ainsi restitué soit rustique, il peut être « nettoyé » des distorsions et les patients atteignent, tout au moins dans le silence, des performances remarquables en termes de compréhension, en quelques mois d'entraînement tout au plus. Dans le cas de surdités affectant beaucoup plus certaines fréquences que d'autres, des appareils très puissants peuvent être implantés, cette fois au niveau de l'oreille moyenne, pour produire un gain important en hautes fréquences sans risque d'effet Larsen ni de distorsion. Enfin, en cas de surdité totale unilatérale, qui rend souvent toute localisation des sources sonores impossible, l'application de vibrateurs sur la paroi crânienne (Bone-anchored hearing aids ou BAHA) a pu restituer aux patients un certain degré de localisation d'origine physiologique encore mal comprise mais qui apporte aux patients un confort reconnu. L'usage de ces trois types d'implants, dans des contextes bien précis, est devenu depuis quelques années une routine.

## Les actions de prévention, soit des dégâts auditifs, soit de leur aggravation ou de l'apparition de dégâts plus grands

Malgré des législations de plus en plus adaptées, l'exposition au bruit et aux sons forts est un problème croissant de société et de santé publique, parce qu'on a enfin compris que les conséquences médicales d'expositions excessives pouvaient se payer plusieurs décennies après l'exposition, et en grande partie parce que les expositions excessives sont moins souvent professionnelles et plus souvent dans le cadre de loisirs, où le sujet concerné s'expose délibérément quoi que pas toujours sciemment. Ceci pose deux challenges aux acousticiens et aux physiologistes (ainsi qu'aux pharmacologues) : améliorer les systèmes de protection (casques, bouchons) en les adaptant aux situations particulières ou métrologiquement difficiles (bruits impulsifs par exemple), et tenter d'intervenir dans l'oreille interne elle-même pour protéger ou réparer, en instillant des molécules adaptées.

La réparation peut aussi concerner le système nerveux central lorsqu'un acouphène (bourdonnement ou sifflement perçu en l'absence de tout son réel dans le monde extérieur, parfois vécu comme une torture permanente par sa victime, heureusement dans une minorité de cas) se manifeste en réponse à une exposition excessive. La pharmacologie ayant échoué à résoudre le difficile problème d'un acouphène installé, peut tenter de se montrer efficace en prévenant précocement l'installation de cet acouphène. Une alternative acoustique récemment mise en évidence consiste à exposer un acouphénique à des sons de structure spectrale proche de celle de son acouphène, dans le cadre d'une procédure pluridisciplinaire, incluant une prise en charge psychothérapique, et qui a pour but de « déshabituer » les centres corticaux et les aider à effacer l'acouphène.

## Thèmes scientifiques actuels sous-jacents

En amont des applications industrielles, la physiologie et la physiopathologie de l'audition restent un domaine très actif, car nos connaissances quant au fonctionnement de base du système auditif restent encore incomplètes, dans la mesure où les liens entre molécules, structures et fonctions font l'objet de nombreuses zones d'ombre ou de spéculation. L'avènement de méthodes de génétique et de physiologie moléculaire performantes a permis de développer de nombreux modèles de surdité, chez la souris plutôt que chez l'homme, en profitant des homologies qui existent entre mammifères (et même parfois, non-mammifères). Un domaine de recherches actif consiste à partir d'une surdité humaine d'origine génétique, transposer la mutation chez la souris et rechercher les corrélations existant entre anomalies structurales et fonctionnelles dans le système auditif de l'animal muté.

Ces recherches vont donc bien au-delà d'expliquer les surdités congénitales. Elles permettent de mieux expliquer les mécanismes de base de l'audition, auxquels Békésy n'avait donné qu'un cadre très flou sans expliquer les performances fines du système auditif. Or comprendre ces performances est un passage obligé pour mieux les suppléer

par un appareillage. Un autre challenge posé aux physiologistes est celui de la compréhension des mécanismes qui mènent à la surdité à l'âge mûr : le vieillissement des populations est tel que la presbyacousie va devenir l'un des premiers problèmes de santé publique d'ici peu. Et un sujet presbyacousique se trouve exclu de la société. La recherche des facteurs favorisant l'apparition de presbyacousies précoces, ou dont la présence permettrait de prédire (au lieu de constater) une plus grande sensibilité vis-à-vis de l'exposition au bruit, a pour but de conduire à des mesures préventives qui auraient un grand impact sur la santé publique.

## Références bibliographiques

[1] Starr A, Picton T, Sisinger Y, Hood LJ, Berlin CI (1996). Auditory Neuropathy. *Brain* 119, pp. 741-753

[2] Zeng FG, Popper AN, Fay RR (2002). Cochlear Implants: Auditory Prostheses and Electric Hearing (Springer Handbook of Auditory Research)