

## **Santé auditive, sa surveillance et la prévention des risques, données et problématiques nouvelles**

**Paul Avan, Directeur du CeRIAH, Centre de recherche et d'innovation en audiologie humaine, Institut de l'Audition, Institut Pasteur, Paris, France. Université Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand, France.**

C'est seulement dans les années 1970 que des règlements sont apparus aux USA et en Europe, plus ou moins appliqués ensuite dans d'autres pays, pour fixer des limites aux ambiances acoustiques tolérables, dans le cas où celles-ci étaient rencontrées dans un cadre professionnel. Les données scientifiques de l'époque, établies en laboratoire, montraient que l'exposition régulière à un son de niveau élevé pendant une durée prolongée provoque des lésions essentiellement des cellules sensorielles de l'organe sensoriel auditif, la cochlée (chez le mammifère). Ces cellules forment deux populations, au nombre de 3000 et 9000 par cochlée, pour les cellules ciliées internes (CCI) et externes (CCE) respectivement. Les CCE amplifient les vibrations tandis que les CCI sont à l'origine des influx nerveux transportés par les neurones auditifs et qui déclenchent les sensations associées à l'audition. Les CCE sont les premières à dégénérer sous l'effet des sons forts, ce qui ne veut pas dire que les CCI restent indemnes.

**Quelle combinaison de niveaux et de durées d'exposition** détermine le danger de mort des cellules sensorielles auditives ? Pour un son fort de type industriel, mais il a été montré qu'un son fort produit par un orchestre possède le même pouvoir de nuisance, l'énergie dangereuse correspond à un niveau équivalent de 80 décibels (dB) appliqué en continu pendant une journée de travail (8 heures), tous les jours ouvrables d'une vie professionnelle. Un *dogme* considéré comme valable dans une grande majorité de situations est que toute exposition inférieure, même appliquée au quotidien pendant 40 ans, qu'elle soit de 79 dB ou de 40, respecte l'intégrité cochléaire et par extrapolation, auditive. C'est l'énergie acoustique totale reçue pendant la journée, quelle que soit sa répartition, qui détermine seule la présence ou l'absence de risque pour la santé auditive à long terme : c'est pourquoi on appelle le dogme énoncé plus haut "isoénergétique".

Dans le cas d'une exposition professionnelle, les règlements imposent des mesures protectrices et des contrôles auditifs réguliers, alors que dans le cas d'une exposition volontaire de loisirs, aucun règlement ne peut être appliqué. Tout au plus, les appareils individuels permettant l'écoute de sons forts sont équipés de limiteurs et leur fiche d'emploi met en garde l'acheteur contre une utilisation abusive.

**Comment surveille-t-on donc la dose de son fort reçue ?** Par des dosimètres intégrateurs qui mesurent l'ambiance sonore en continu in situ dans une situation représentative, ils sont donc portés par le travailleur. Par des sonomètres placés dans un lieu public, par exemple une salle de concert, qui indiquent le niveau à un instant donné, et il faut alors extrapoler soi-même et calculer le niveau acceptable en fonction du temps passé: 80 dB si on reste 8 heures, 83 si on reste 4 heures, 86 si on reste 2 heures, etc, avec la réserve évidente que la loi prescrit une limite en cas d'utilisation *quotidienne pendant 40 ans* alors qu'on ne va pas au concert quotidiennement pendant 40 ans sauf si on est professionnel d'une salle de concert... Une autre solution est de disposer de limiteurs dans les systèmes de sonorisation, qui interdisent tout dépassement de 80 dB.

Une autre approche complémentaire est de **surveiller l'audition des sujets exposés**, par la médecine du travail. Cette surveillance est obligatoire sur une base régulière en cas d'exposition sonore intense de nature professionnelle. Le raisonnement appliqué pour quantifier le résultat de la surveillance repose sur l'observation que ce sont les CCE la principale cible des lésions liées à une exposition sonore intense. Or, ces cellules sont responsables de l'amplification des vibrations dans la cochlée. Leurs lésions entraînent donc une élévation des seuils auditifs. Il suffit de mesurer régulièrement ces

seuils auditifs au moyen d'un audiogramme tonal liminaire, fréquence par fréquence, pour cartographier indirectement l'état des CCE le long de la spirale cochléaire. Le plus souvent, les sons forts endommagent en premier celles qui codent pour le 4 ou le 6 kHz, puis si l'exposition nuisible est prolongée, celles qui codent pour des fréquences de plus en plus basses. Ce contrôle audiométrique est le seul pratiqué en routine, même s'il existe des tests plus objectifs comme les otoémissions acoustiques qui détectent des lésions similaires. Un problème connu depuis longtemps est que tant que les dégâts éventuels subis par les CCI n'affectent pas plus de 80 à 90% de celles-ci, il est indétectable par audiométrie tonale, et quasi indétectable par la plupart des tests objectifs de l'audition. Seule l'autopsie permet de le mettre en évidence. On a longtemps pensé que la plupart des dégâts affectant les CCI étaient réversibles et que cette lacune de l'exploration auditive n'avait pas de conséquence. On sait maintenant que c'est faux, mais c'est une posture théorique que de reconnaître que les dégâts des CCI (et surtout, de leurs connexions avec les neurones auditifs) sont sans doute sous-estimés, puisqu'on ne sait pas les mesurer in vivo de manière reconnue : ils sous-tendent les "fameuses" (au sens anglosaxon "infamous") surdités cachées. Des pistes sont cependant en cours de test, dont une explorée par notre équipe du CeRIAH, qu'on trouve aisément sur le site Pubmed.

Evidemment, des **symptômes auditifs** attirent l'attention chez les victimes de surdités "cachées", notamment les acouphènes et l'hyperacousie, mais ces symptômes sont déclaratifs, non objectivables, et leur présence associée à un audiogramme tonal normal ne peut actuellement aboutir à d'autres mesures médicales que le "counseling" et la prescription de méthodes de désensibilisation (thérapies sonores, sophrologie, thérapies cognitives et comportementales, hypnose, etc), par ailleurs d'efficacité clinique reconnue. En cas d'apparition brutale d'un acouphène, d'une hyperacousie ou d'une audition douloureuse, un audiogramme tonal sera réalisé mais s'il est normal, ou identique à celui d'avant l'apparition des symptômes, sur le plan médico-légal, rien ne sera conclu. Il est essentiel de noter que la prise en charge clinique restera la conduite à tenir incontournable et que, bien adaptée aux besoins individuels, elle est efficace.

**Voit-on apparaître de nouveaux risques auditifs ?** La réponse est oui depuis 15 à 20 ans, pour lesquels la situation en ce qui concerne les risques auditifs préoccupe de plus en plus. Les risques supplémentaires sont apparus avec des techniques de production qui engendrent des sons de propriétés acoustiques jamais testées auparavant. Le principal résultat est que le dogme "isoénergétique" a été pris en défaut avec preuves à l'appui dans trois situations :

- Les sons très riches en impulsions intenses (bruits d'armes ou de percussion) dans lesquels le facteur de niveau crête applique une pénalité en exagérant le danger même si le niveau continu équivalent respecte la règle des 80 dB x 8 heures.
- Les sons intenses qui agressent spécifiquement certaines synapses, les connexions entre CCI et neurones auditifs dits "de haut seul", qui peuvent donner des lésions irréversibles dès 100 dB pendant 2 heures en une seule fois chez le petit animal de laboratoire (chez l'homme, on ne sait pas).
- Les sons compressés en dynamique d'intensité, pour lesquels notre équipe a montré qu'une exposition aigue de 4 heures à de la musique jouée comme dans une discothèque (à 102 dB) entraîne l'apparition d'une fatigue auditive prolongée, mesurée sur une boucle réflexe auditive contrôlée par des voies neuronales cérébrales. La fatigue n'est détectée que pour l'exposition très compressée, pas pour l'exposition à la même musique non manipulée électroniquement.

Une quatrième catégorie de sons qui posent des questions scientifiques non encore résolues concerne les sons de trop basse fréquence pour être audibles, mais qui pourraient cependant

entraîner des conséquences sur la santé auditive (tout en étant inaudibles ! un paradoxe intéressant).

**La compression de dynamique d'intensité** (rien à voir avec la compression mp3 qui est une compression de fichier numérique visant à diminuer la quantité d'information en éliminant la contribution aux données de certains canaux de fréquence lorsque ceux-ci sont inoccupés) nous intéresse particulièrement parce qu'elle est de plus en plus répandue, de manière délibérée ou involontaire. De manière délibérée, elle assure qu'un son cible ne peut être masqué par des sons concurrents car ceux-ci ne trouvent aucun silence dans lequel ils pourraient émerger à la conscience de l'auditeur (on parle parfois d'écoute "dans les vallées"). L'audibilité parfaite du son compressé est garantie par un dispositif instantané qui renforce le son dans tout intervalle où son intensité naturelle diminue. Cette technique est utilisée en radio, pour diffuser son contenu dans des lieux bruyants, et en visioconférence, pour éviter que les utilisateurs connectés n'interfèrent trop avec celui qui a la parole, en émettant des petits bruits de conversation ou de frappe sur leur clavier de prise de notes. Elle permet aussi de garantir qu'un périphérique comme un microphone garde son efficacité même si le locuteur s'éloigne du transducteur. Enfin de manière non délibérée, tout système de sonorisation équipé d'un limiteur strict de niveau de sortie et d'un potentiomètre de volume va compresser la dynamique: si le limiteur limite à 80 dB par sécurité (en instantané, alors que la limite des 80 dB ne vaut que sur des longues durées) et que l'utilisateur pousse son potentiomètre pour s'assurer un niveau de 77 dB en moyenne au casque, la combinaison va limiter la dynamique d'intensité à 3 dB, en gros.

Un son compressé en dynamique d'intensité, devenant ininterrompu, ne respecte jamais la moindre période de "micro" silence qui permettrait, certes, aux sons parasites d'être détectés, mais surtout au système auditif de se reposer. Notre hypothèse est que la fatigue auditive constatée dans certaines situations est le résultat du maintien trop prolongé, par des sons compressés non naturels, de l'intense activité naturelle du système auditif.

#### **Les questions à résoudre :**

Elles sont suffisamment nombreuses pour exiger la réalisation de plusieurs protocoles de recherche, portant sur le ou les mécanismes biologiques impliqués, les corrélats acoustiques de ces effets, la mesure audiolinguistique précise de leurs effets, les conséquences perceptives de ces effets.

**Mécanismes biologiques impliqués ?** C'est la première question, dont la réponse permettrait de répondre ipso facto aux trois autres questions. Malheureusement il est probable qu'elle sera obtenue en dernier vu sa complexité. A l'heure actuelle, la dynamique temporelle selon laquelle le système auditif (tout le système auditif, pas seulement les CCI, les CCE mais aussi les neurones et leurs connexions) effectue sa "maintenance" métabolique en cas d'activité intense est quasi totalement inconnue. Nous en sommes donc réduits à cribler différents taux de compression, différents niveaux, différents contenus spectraux et enfin différentes durées d'exposition jusqu'à identifier la limite en dessous de laquelle la fatigue ne se manifeste plus, chez un sujet normal, mais aussi chez des sujets porteurs d'anomalies auditives installées. Notre expérience de départ est 102 dB pendant 4 heures sur un morceau de musique très dense spectralement, chez un mammifère normal. Qu'en sera-t-il en dessous de 80 dB ?

**Corrélats acoustiques de l'effet de fatigue ?** Nous avons pu déterminer que les paramètres acoustiques d'un fichier musical se répartissent selon deux axes principaux qui correspondent assez bien au taux de microsiles et à la densité spectrale (qui quantifie la distribution de l'énergie d'un instant à l'autre entre graves, médiums et aigus). A notre sens, seul le taux de microsiles est à explorer en priorité car les autres paramètres ont déjà été étudiés et les limites les concernant

suffisamment établies et validées sur des millions de cas, pour ne pas remettre en question le dogme isoénergétique. Seule la compression de dynamique d'intensité n'a jamais été prise en compte dans les normes. C'est pourquoi le protocole que nous conduisons sur l'utilisation de systèmes de sonorisation complexes dans des instances ayant recours à l'interprétariat se concentre sur le rôle de la compression de dynamique d'intensité, que le travail soit effectué en présentiel ou distanciel ne changeant sans doute que très peu la problématique. Il est à noter que s'il est relativement facile de mesurer la quantité de microsiles dans une pièce de musique, la parole pose des questions spécifiques, compte tenu des macro silences qu'elle contient naturellement, dont on ignore l'influence sur la fatigue auditive.

**Corrélat audiologiques de l'effet de fatigue ?** A l'heure actuelle, il n'y a pas de test audiologique validé en routine clinique pour quantifier la fatigue des voies nerveuses dont nous avons montré qu'elles étaient fatiguées après une exposition unique à de la musique surcompressée. Le protocole que nous avons utilisé repose sur une séquence de mesures de notre invention (dérivée d'une technique dite "Echoscan" inventée à l'INRS en France), en cours de tests chez l'homme. Cette séquence va former le cœur de notre investigation en cours avec le soutien de l'AIC.

**Conséquences perceptives** des effets observés ou attendus ? Une étude pilote que nous avons conduite montre que pour la musique, sur des extraits brefs, la détection, par un sujet naïf comme un sujet spécialiste, de la version compressée par rapport à la version originale, se fait aléatoirement : autrement dit, personne n'est capable de reconnaître quel extrait est compressé mieux que par pure chance... La parole se distingue probablement moins mal, par le fait que la compression excessive finit par dégrader l'intelligibilité, mais un effort d'écoute augmenté, que des sujets jeunes ou professionnels mettent en jeu automatiquement et efficacement, peut rendre cette dégradation indétectable. Sur un autre plan, la présence d'un réflexe des muscles de l'oreille moyenne fatigué peut ne pas se traduire perceptivement. En fait, on ignore le rôle de ce réflexe, et on ignore même s'il est activé et comment, aux niveaux usuels où on écoute la parole. Pour le moment, il nous sert de biomarqueur confortable, sans plus. On ignore même de manière générale si la fatigue auditive est une bonne ou une mauvaise chose : bonne chose parce qu'adaptative, car quand on est fatigué, on tend à se protéger; mauvaise chose si la fatigue répétée débouche sur des lésions, mais les sportifs savent que la fatigue répétée à l'entraînement (certes, à condition d'être dosée par un bon coach) débouche sur de meilleures performances.

Nous en sommes donc au stade de collecte de données qui seront précieuses, dont on peut espérer des normes, sinon de sécurité, du moins de confort, de qualité et d'efficacité; des outils de mesure, à l'instar des vumètres qui permettent à un régisseur de contrôler le niveau, des "compressomètres" (pour afficher le niveau sonore lui-même, l'association "la semaine du son" vient de sortir le "décibélateur", ainsi surnommé par l'Académicien Erik Orsenna par analogie au défibrillateur sauveur de vies, pour les lieux publics. Il s'agit ici de sauver des systèmes auditifs !); des tests auditifs qui enfin ne passeront plus à côté des surdités cachées.

Les protocoles pionniers sont rarement décisifs du premier coup mais celui qui est en cours, "*COMPRESSED*", dont la description est accessible sur le site web de l'Institut Pasteur (<https://research.pasteur.fr/fr/project/compressed/>), permettra une photographie de valeur inestimable d'une pratique professionnelle de plus en plus répandue, l'utilisation de plateformes dites de visioconférence. Celles-ci sous-tendent désormais de nombreux outils pédagogiques dans tous les établissements d'enseignement et de recherche. La compression de dynamique d'intensité qu'elles utilisent est indispensable : notre préoccupation vient seulement de ce que faute de norme et de connaissance, elle est utilisée au maximum sans rationnel précis, faute de moyen d'en mesurer

les effets acoustiques, perceptifs et physiologiques, lacunes que nous nous proposons de contribuer à combler.