

L'audition comme domaine d'application de l'acoustique (à la physiologie, à la médecine, à la prévention et à la réhabilitation des surdités)

Paul Avan

Université d'Auvergne (Clermont I)
28, place Henri Dunant
BP 38
63001 Clermont-Ferrand
E-mail : Paul.Avan@u-clermont1.fr

Problèmes d'acoustique rencontrés dans le secteur audition

Par essence, l'audition est un domaine carrefour : il s'agit de l'un des cinq sens qui permet au cerveau de recevoir des informations du monde physique extérieur. Ces informations audibles sont véhiculées sous forme d'ondes de pression qui se propagent dans les milieux où se trouve l'individu qui les perçoit. Les cellules sensorielles hébergées par l'organe détecteur codent ces informations pour leur permettre d'être analysées par le cerveau. Celui-ci en extrait la signification (par exemple, en relation avec la nature et la position dans l'espace de la ou des sources à l'origine des ondes de pression) et de manière ultime, programme et exécute une réponse appropriée.

Chez l'homme en particulier, l'audition donne accès à une dimension supplémentaire, celle de la communication parlée au moyen d'une langue orale. Cette langue est liée à l'audition de manière privilégiée. Le Groupement des acousticiens de langue française (GALF), puis la Société Française d'Acoustique (SFA), en ont rendu compte en associant temporairement au sein d'un groupe unique audition et communication parlée, puis audition et phonation.

En l'absence d'audition, un bébé ne peut pas acquérir sa langue maternelle orale. Toutefois, il faut mettre à part le cas particulier du bébé sourd né de parents maîtrisant une langue des signes, et chez qui le sens de la vue pallie le déficit auditif pour donner accès à une langue gestuelle ; Il pourra acquérir ce langage tout aussi naturellement qu'une langue orale grâce au contact visuel de ses parents signeurs. Chez de nombreuses espèces animales, l'audition donne également accès à un mode de communication privilégié, même s'il est considérablement moins riche que celui basé sur une langue. La dimension communication est essentielle en acoustique physiologique et en médecine, puisque c'est

sa perte ou son altération qui confère à la prise en charge des surdités son côté pressant, encore souvent négligé.

Historiquement, Physique, Acoustique, Physiologie et Médecine audiolgogique ont beaucoup interagi, depuis au moins un siècle et demi. Des pionniers comme Helmholtz et sa publication princeps sur le codage des sons dans la cochlée (partie de l'oreille interne dédiée à l'audition), Lord Rayleigh et sa théorie duplex de la localisation binaurale, von Békésy et son analyse de l'onde propagée et des mouvements de la membrane basilaire de la cochlée, Stevens et ses études psychophysiques, Kemp qui, relisant en 1977 la suggestion de Thomas Gold en 1948, a illustré l'existence dans la cochlée d'un amplificateur à boucle de rétrocontrôle régénératrice, sont tous partis d'analyses physiques et acoustiques pour élucider une question d'ordre physiologique avec des implications médicales.

Les échanges entre Acoustique et Physiologie ont toujours été alternés, plus que bilatéraux peut-être. Les premières approches fructueuses sont venues des acousticiens qui, armés de leur expérience de l'Acoustique, ont tenté de les appliquer à élucider le fonctionnement de l'Audition. Helmholtz, Békésy et Gold en sont les plus représentatifs, selon le scénario suivant : on connaît un principe physique important, celui de résonance, qui semble apporter une réponse parfaitement appropriée à une question de Physiologie, celle de la capacité de l'audition à discriminer les sons selon leur fréquence. On démontre qu'en effet c'est ce principe qui agit dans l'oreille saine, grâce à l'établissement d'ondes le long de la cochlée, et surtout, grâce à une résonance active. Mais cette activité est fragile, vulnérable et son atteinte engendre une surdité. Ce courant de pensée existe encore, mais l'approche des questions physiologiques a connu une diversification considérable depuis environ 15 ans et fait moins appel à l'acoustique

pure. Les approches neuro-anatomiques puis moléculaires et génétiques, notamment, ont permis d'identifier les structures subcellulaires et les réseaux neuronaux à l'origine de certains traitements du message sonore.

En sens inverse, des tentatives dans les années 1980 ont visé à appliquer les connaissances acquises en Physiologie de l'audition, périphérique ou centrale, à l'élucidation de problèmes d'acoustique tels que ceux ayant trait à l'analyse automatique de la parole, question ayant soulevé beaucoup d'intérêt en parallèle avec l'avènement des ordinateurs personnels. Les mécanismes dits périphériques de l'audition impliquent directement les traitements acoustiques effectués par les structures de l'oreille, tandis que les mécanismes centraux concernent les réseaux neuronaux auditifs, l'anatomie et la Physiologie de leurs connexions ; ils concernent l'acousticien moins directement, mais lui offrent des sujets de réflexion généraux : Comment un système comme le système nerveux central peut-il extraire des informations précises relatives à des sources ou à des flux sonores malgré la présence de bruit et de conditions *a priori* défavorables au traitement du signal ?

Toujours le sens allant de la Physiologie à l'acoustique, les acousticiens ont eu besoin d'apprendre des physiologistes quels types de sons induisent des risques pour l'audition des sujets exposés et par quels mécanismes. Ces études échelonnées, de la seconde guerre mondiale à nos jours, ont permis d'établir des réglementations satisfaisantes, quoiqu'ayant encore évolué récemment avec l'uniformisation européenne, et d'adresser le complexe et coûteux problème des nuisances sonores. Celui-ci reste d'actualité, dès qu'il s'agit de construire une nouvelle ligne ferroviaire à grande vitesse, une piste d'aéroport, une ligne de tramway, un champ d'éoliennes, et même très récemment, d'installer des haut-parleurs destinés à émettre des hautes fréquences répulsives pour les jeunes indésirables, et inaudibles pour leurs aînés... Les thèmes consistant à diminuer le bruit de roulement des voitures, ou à rendre le bruit de leur moteur tolérable ou même agréable à l'oreille des usagers, font l'objet d'une réelle attention de la part de l'industrie. Même si de nombreux aspects importants sont résolus scientifiquement, le domaine des recherches en Physiologie reste actif avec l'étude des nuisances combinées (bruit et, par exemple, solvants industriels), et une branche importante de la Physiologie auditive s'intéresse à la recherche de solutions de prévention à l'échelle cellulaire. Ces travaux sont une suite logique, mais hautement personnalisée et sophistiquée, à ceux visant à concevoir des protecteurs passifs ou actifs externes, destinés à être portés par le sujet exposé. Une autre conséquence de l'existence de ces terrains de recherche pluridisciplinaires à fort potentiel économique est la nécessité pour les enseignements universitaires d'Acoustique d'intégrer les données de base en Acoustique physiologique, nécessité prise en compte depuis longtemps en France, mais qui ne va pas de soi vu la dispersion des compétences d'une université à l'autre.

Un autre terrain de réflexion commun aux acousticiens, aux physiologistes, aux médecins et aux industriels - évident mais longtemps limité dans sa capacité à apporter des solutions concrètes, est celui des appareils auditifs pour malentendants. L'enjeu industriel est conséquent : plus de 5 millions de Français ont des problèmes d'audition au point de pouvoir bénéficier d'un appareillage, mais, par ignorance

ou méfiance, seulement un million sont effectivement appareillés. La transposition de ces chiffres à l'échelle mondiale montre l'intérêt potentiel de ce domaine frontière. 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 l'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 où un implant cochléaire se substitue efficacement à la cochlée inopérante pour aller stimuler directement le nerf auditif.

Thèmes scientifiques actuels sous-jacents

La description ci-dessous ne vise aucunement à être exhaustive dans un domaine carrefour, les applications mentionnées sont parmi les plus susceptibles d'intéresser le domaine médical en relation avec la surdité. Le fonctionnement normal de la cochlée semblait avoir été résolu lorsque le prix Nobel a été décerné à Békésy en 1961. Mais on ignorait alors que la résonance cochléaire était active, et Békésy n'avait élucidé, finalement, que le fonctionnement de la cochlée sourde. Désormais le principe d'une résonance active, entretenue par une boucle de rétrocontrôle, est admis et ses conséquences quotidiennement mesurées, certaines servant de test de dépistage ou de diagnostic rapide. Cependant le mécanisme exact reste controversé, et les théories quant à la propagation du son dans la cochlée restent multiples. Pour résoudre ce problème lancinant, les physiologistes moléculaires ont (momentanément ?) supplanté les acousticiens, et, en cataloguant chacune des molécules impliquées, ils espèrent montrer comment elles se combinent les unes aux autres, lesquelles sont indispensables et quelles tâches elles effectuent. L'enjeu n'est pas seulement académique, car la mise au point de tests de dépistage et de diagnostic plus fiables, plus précis, ou plus spécifiques est en jeu, et de nombreux pays qui ont rendu le dépistage des surdités systématiques à la naissance sont concernés par la possibilité de progrès.

La réalisation et la calibration correctes de ces tests reste un domaine actif de l'Acoustique, partagé avec les médecins ORL. Les instances professionnelles de ces derniers se préoccupent d'ailleurs de leur démographie, bientôt inadaptée pour faire face au nombre de sujets sourds qui devraient être pris en charge, mais ne le sont pas.

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. 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 (quoique 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 météorologiquement 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) 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 celui-ci. Une alternative acoustique vise à exposer un acouphénique à des sons de structure spectrale proche de celle de son acouphène, pour «deshabituer» ses centres corticaux et les aider à l'effacer.

Une approche plus appliquée, avec des débouchés industriels importants, consiste à développer des méthodes permettant aux appareils auditifs d'être plus efficaces. 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. 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, 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.

Bilan quantitatif

Le domaine de l'audition est particulier car l'un des domaines où les débouchés sont les plus évidents, celui de la surdité, suppose l'intervention de professionnels de santé ou de domaines comme l'audioprothèse dont l'exercice est réglementé. Hormis dans le secteur très malthusien de la recherche, fondamentale ou appliquée, l'acousticien ne trouve sa pleine place que s'il est également détenteur d'un des diplômes qui lui permettent d'exercer. Il existe bien sûr un nombre non négligeable (et sans nul doute très supérieur à celui rencontré dans de nombreux autres domaines scientifiques frontières) d'individus qui, après avoir effectué une démarche de double formation, sont à la fois acousticiens et intervenants dans le domaine de la surdité et de sa réhabilitation. Cette démarche de double formation a été judicieusement encouragée par l'existence de filières universitaires pluridisciplinaires anciennes.

La formation au diplôme d'état d'audioprothèse a vu le jour en France, il y a quelques décennies, grâce à l'implication d'universitaires acousticiens et médecins, et cette formation est certainement plus solide et plus adaptée à l'explosion actuelle des technologies que celles d'autres pays. Un grand débat actuel porte sur la création d'une véritable

filère universitaire de formation à l'audiologie, autre discipline frontière en devenir entre médecine ORL, acoustique, audioprothèse, Physiologie, psychophysique, etc. Chacun pourrait y trouver ce qu'il y apporte, mais en 2008 la filière n'existe pas encore... en France, tout au moins.

Si l'Acoustique est donc essentielle aux approches physiologiques et perceptives de l'audition, et à celles des déficits auditifs qu'il s'agisse de prévention, de diagnostic ou de réhabilitation, en termes quantitatifs, les débouchés offerts aux acousticiens sont à rechercher en périphérie, dans les domaines dont l'acousticien est originaire. ■