Canadian Audiologist
The Official Publication of the Canadian Academy of Audiology

Prevention, Detection, and Rehabilitation of Noise?Related Hearing Disorders: An Integrated Approach in the Era of Hearing Technologies

Published June 10th, 2026

Alexis Pinsonnault-Skvarenina, M.P.A., Ph.D.

Alexis Pinsonnault-Skvarenina, M.P.A., Ph.D.

Abstract

Noise?induced hearing loss remains a major public?health issue despite current prevention strategies. This article presents our research conducted at University Laval and CIRRIS aimed at improving the early detection of hearing disorders, better characterizing individual noise exposure, and reducing the functional consequences of hearing loss.

Noise?induced hearing loss is among the most prevalent sensory disorders worldwide. It is related to both traditional industrial settings and contemporary sound environments associated with leisure activities such as listening to amplified music. In parallel, a growing body of evidence shows that many individuals report clinically significant hearing difficulties, particularly in noisy environments, well before measurable threshold shifts appear on the audiogram. These observations highlight the limitations of current clinical approaches that remain largely focused on audiometric thresholds and call for a re?examination of the entire hearing?care continuum, from prevention to rehabilitation.

Beyond Audiometry: Toward Early Detection of Auditory Damage

An increasing number of patients report difficulty understanding speech in noise, elevated listening effort, and tinnitus despite having hearing thresholds within normal limits. These complaints suggest the presence of subtle auditory damage that escapes conventional clinical testing. Cochlear synaptopathy, characterized by damage to the synapses between inner hair cells and auditory nerve fibres, has emerged as a key mechanism underlying such subclinical deficits and is now well documented in both animal and human studies. A central hypothesis guiding our work is that cochlear synaptopathy predominantly affects auditory nerve fibres encoding moderate?to?high intensity sounds. As a result, suprathreshold auditory measures may be more sensitive to this form of damage than traditional threshold?based testing. Our research seeks to identify clinically relevant markers of early auditory impairment through a combination of psychoacoustic, electrophysiological, and functional measures.

Within this framework, frequency selectivity has emerged as a promising functional marker. Frequency selectivity reflects the auditory system’s ability to resolve spectral components of sound

and is critical for speech perception. While reduced selectivity has traditionally been attributed to outer hair cell damage, our work has demonstrated that frequency selectivity can also be degraded in individuals with normal hearing thresholds and intact outer hair cells. These findings implicate possible neural and synaptic mechanisms and support the relevance of frequency selectivity measures as indirect markers of cochlear synaptopathy. Current studies in our laboratory aim to establish normative data for frequency selectivity measures in populations at elevated risk of cochlear synaptopathy. In parallel, we are conducting a longitudinal study examining the evolution of cochlear synaptopathy markers as a function of noise exposure and outer hair cell function, using a smart hearing protector capable of monitoring intra?auricular noise dose and otoacoustic emissions. Because otoacoustic emissions may show transient reductions in outer hair cells function following noise exposure, they might serve as early indicators of cochlear stress preceding permanent neural damage.

Measuring Better to Prevent Better: Challenges in Noise Dosimetry

Effective prevention of noise?induced hearing loss depends on accurate estimation of actual noise exposure. Conventional dosimetry methods, typically based on shoulder?mounted devices, provide only an indirect estimate of exposure and fail to account for individual factors such as attenuation from hearing protection. These limitations complicate the interpretation of exposure–response relationships and may lead to inaccurate risk assessments. To address this issue, our work focuses on the development and validation of technologies capable of measuring the noise dose directly at the level of the tympanic membrane. Smart in?ear devices, developed in collaboration with the ÉTS-EERS Industrial Research Chair in In-Ear Technologies (CRITIAS) at the *École de technologie supérieure* (ÉTS), will be used to quantify noise levels reaching the ear while simultaneously allowing in?situ electrophysiological measurements. This integrated approach offers new opportunities for monitoring both exposure and auditory status in real?world conditions, with applications in both research and clinical practice.

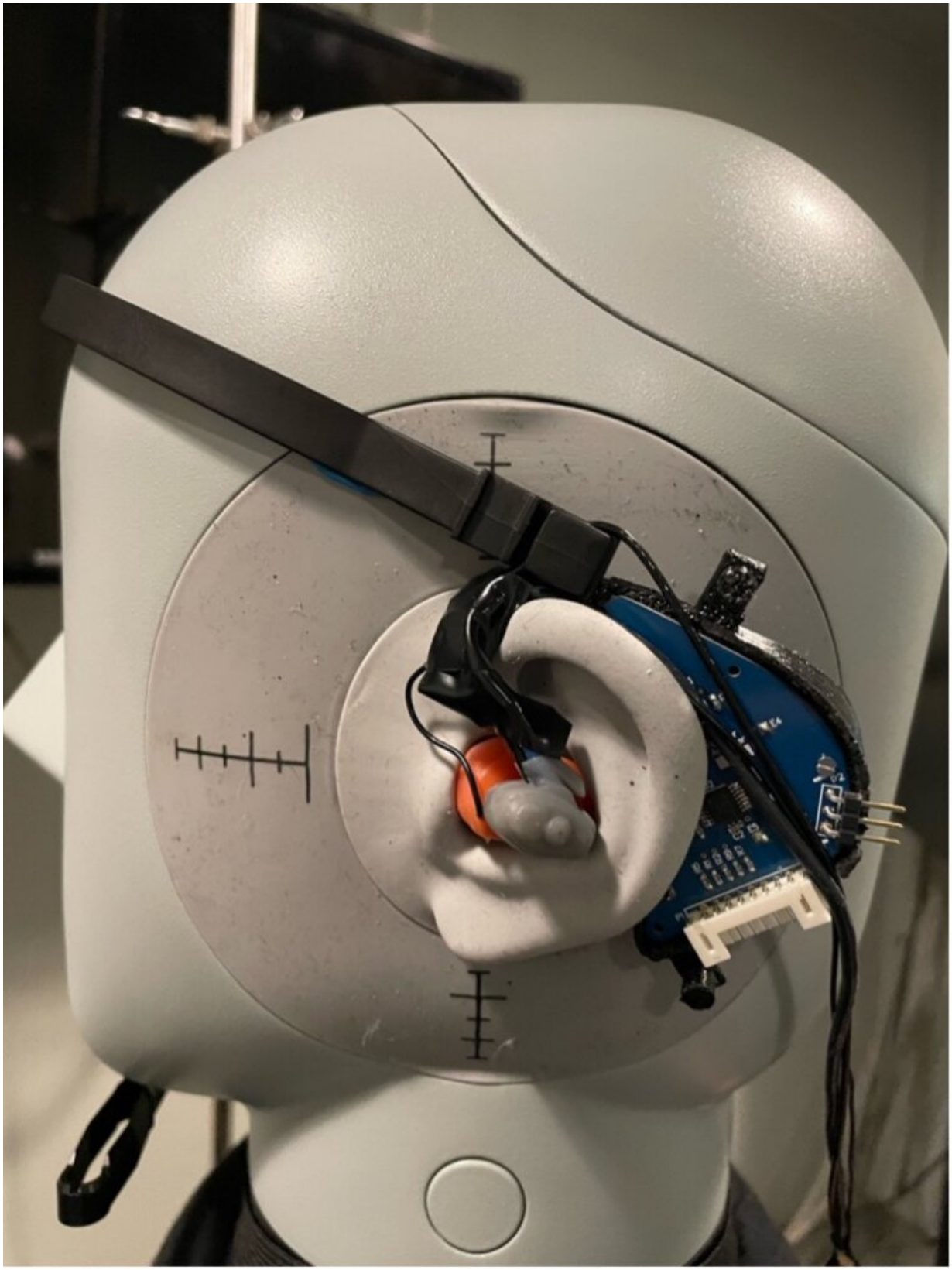


Figure 1: Smart in?ear device prototype, named eCoGeers, quantifying noise levels reaching the eardrum while simultaneously allowing in?situ electrophysiological measurements.

Experience?Based Education Using Digital Technologies

Beyond objective noise measurement, effective prevention of noise?induced hearing loss also depends on individuals' ability to understand and recognize risky exposure behaviours. This challenge is particularly salient among adolescents for whom recreational noise exposure, especially through listening to amplified music, represents a major source of auditory risk. To

address this issue, our work has focused on the development and evaluation of experience?based educational technologies that translate abstract auditory risks into perceptible and measurable outcomes.

One such initiative, developed in collaboration with CRITIAS from ÉTS, is the *InteracSon* platform, a digital signal?processing wearable device designed to support education and awareness regarding recreational noise overexposure. The system enables transparent listening to ambient sounds while allowing users to experience simulations of varying degrees of hearing loss. In addition, the platform includes a tinnitus simulator capable of reproducing common tinnitus percepts. *InteracSon* also functions as a personal music player that continuously monitors playback levels and usage patterns. Based on these data, the platform calculates and displays the “Age of Your Ears” metric, which provides an estimate of accelerated auditory aging associated with excessive music exposure. This metric allows users to directly link their listening behaviours to long?term auditory outcomes. Our current work aims to embed *InteracSon* within structured educational activities conducted in school settings, supporting targeted prevention interventions and facilitating discussions around safe listening habits.

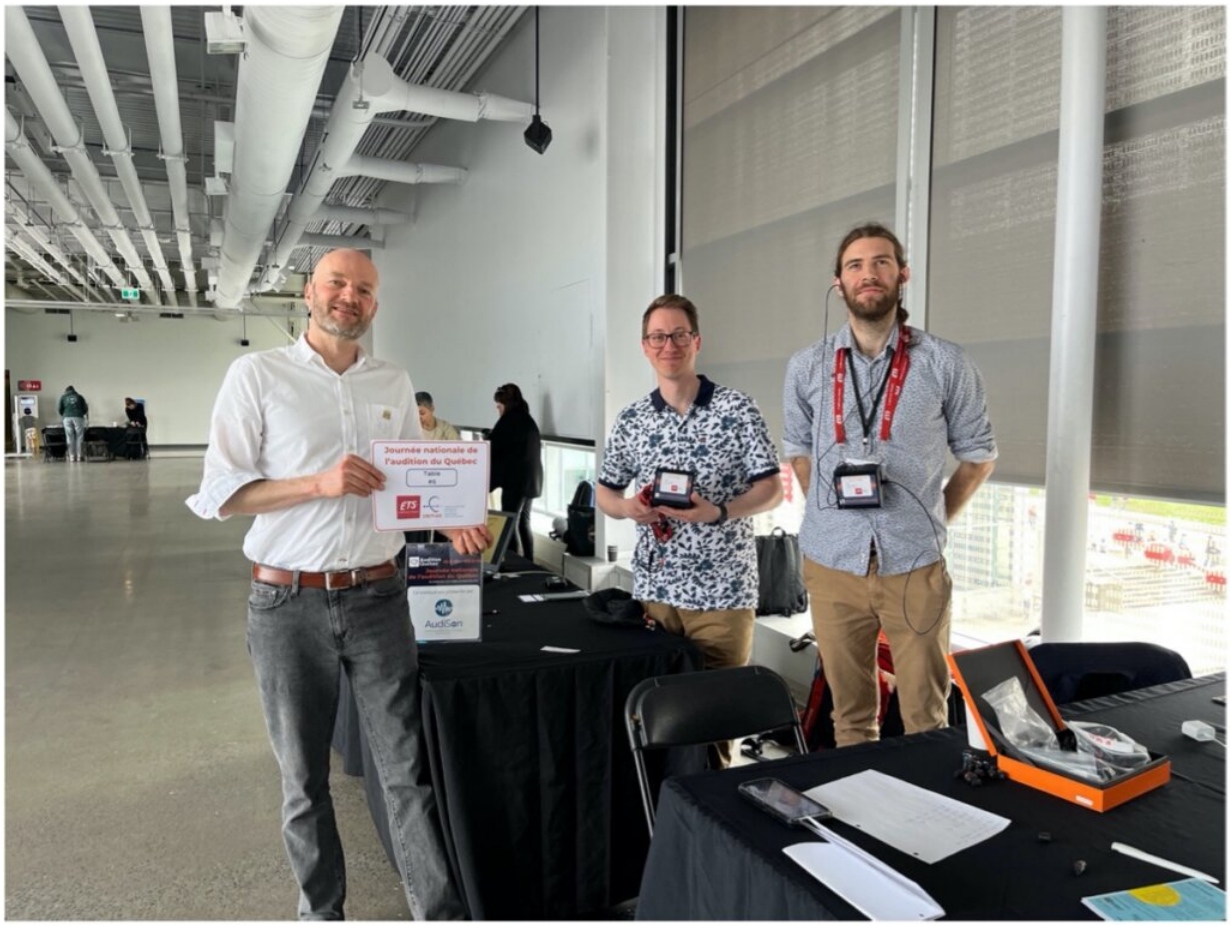


Figure 2: InteracSon platform used for an educational activity during the 2024 Quebec’s National Hearing Day. From left to right: Jérémie Voix, ÉTS; Alexis Pinsonnault-Skvarenina, ULaval; Valentin Pintat, ÉTS.

Reducing the Functional Consequences of Hearing Loss: Towards More Accessible Rehabilitation

In Canada, more than 3.2?million people live with hearing loss, yet approximately 84% do not use hearing aids. This underuse is primarily driven by high costs, limited access to hearing care

services, and personal/social factors (e.g., stigma, perceived lack of benefits). In response, alternative and more affordable hearing technologies, such as over?the?counter hearing aids (OTC), personal sound amplification products (PSAPs), and hearables, are becoming increasingly prevalent. These devices, which we refer to as *Direct-to-Consumer (DTC) Hearing Devices*, are available without prescription at a substantially lower cost than traditionally prescribed hearing aids. However, their electroacoustic performance, safety, and clinical relevance remain insufficiently documented, creating uncertainty for users and clinicians alike.

Our research addresses this gap through the development of a *Canadian Directory of Affordable Hearing Devices*. This interdisciplinary and interuniversity initiative (ÉTS and ULaval), supported by the National Research Council of Canada, aims to provide independent, accessible, and scientifically grounded information on these devices. DTC devices are first evaluated using recognized standards to document their electroacoustic and acoustic characteristics. Second, laboratory testing is complemented by real?world usage assessments. Through mobile?based ecological data collection, users report different aspects of their experience with DTC devices such as comfort, sound quality, perceived listening effort, and communication outcomes. Third, the project includes objective measures of speech intelligibility, sound localization and music perception obtained with DTC devices in an immersive laboratory environment that simulates everyday listening conditions. Finally, a central component of this initiative is the structured dissemination of results via a bilingual, open?access directory designed for patients, clinicians, and decision?makers. By providing transparent and independent performance data, this resource aims to support informed decision?making and promote equitable access to hearing?care solutions.



Figure 3: Experimental setup used to measure acoustic performances of DTC devices such as acoustic transparency and noise reduction.

Conclusion

Noise?induced hearing loss continues to pose a major public?health challenge due to its high prevalence and significant functional, social, and economic impact. Advances in auditory science over the past two decades have revealed forms of subclinical damage, such as cochlear synaptopathy, that are not captured by conventional audiometric testing. This underscores the need

to rethink the hearing?care continuum. Through an integrated strategy encompassing prevention, early detection, and rehabilitation, our work seeks to reduce the burden of hearing loss. Audiology practices must extend beyond audiometry and amplification to include prevention and education. By integrating physiological insight, technological innovation, and accessibility considerations, our research aims to support a more proactive and inclusive approach to hearing health.

Prévention, dépistage et réadaptation des troubles auditifs liés au bruit : une approche intégrée à l’ère des technologies auditives

Résumé

La perte auditive induite par le bruit demeure un enjeu majeur de santé publique malgré les stratégies de prévention actuelles. Cet article présente nos travaux de recherche menés à l’Université Laval et au CIRRIS visant à améliorer la détection précoce des troubles auditifs, à mieux caractériser l’exposition individuelle au bruit et à réduire les conséquences fonctionnelles de la perte auditive.

La perte auditive induite par le bruit figure parmi les troubles sensoriels les plus fréquents à l’échelle mondiale. Elle est associée tant aux milieux industriels traditionnels qu’aux environnements sonores contemporains liés aux activités de loisir, comme l’écoute de musique amplifiée. Parallèlement, un corpus croissant de la littérature montre que de nombreuses personnes rapportent des difficultés auditives cliniquement significatives, en particulier dans les environnements bruyants, bien avant l’apparition d’une perte auditive mesurable à l’audiogramme. Ces observations mettent en évidence les limites des approches cliniques actuelles, encore largement centrées sur les seuils audiométriques, et appellent à une réévaluation de l’ensemble du continuum de soins auditifs, de la prévention à la réadaptation.

Au?delà de l’audiométrie : vers une détection précoce des atteintes auditives

Un nombre croissant de patients rapportent des difficultés à comprendre la parole dans le bruit, un effort d’écoute accru et des acouphènes malgré des seuils auditifs dans les limites de la normale. Ces plaintes suggèrent la présence d’atteintes auditives subtiles qui échappent aux tests cliniques conventionnels. La synaptopathie cochléaire, caractérisée par une atteinte des synapses entre les cellules ciliées internes et les fibres du nerf auditif, s’est imposée comme un mécanisme clé sous?tendant ces atteintes subcliniques et est désormais bien documentée dans des études tant animales qu’humaines. Une hypothèse centrale guidant nos travaux est que la synaptopathie cochléaire affecte principalement les fibres du nerf auditif codant les sons d’intensité modérée à élevée. Par conséquent, les mesures auditives supra-seuils pourraient être plus sensibles à cette forme d’atteinte que les tests traditionnels basés sur la mesure des seuils auditifs. Nos recherches visent à identifier des marqueurs cliniquement pertinents d’atteinte auditive précoce à l’aide d’une combinaison de mesures psychoacoustiques, électrophysiologiques et fonctionnelles.

Dans ce cadre, la sélectivité fréquentielle s’est révélée être un marqueur fonctionnel prometteur. La sélectivité fréquentielle reflète la capacité du système auditif à identifier les composantes spectrales du son et est essentielle à la perception de la parole. Bien que la réduction de la sélectivité ait

traditionnellement été attribuée à une atteinte des cellules ciliées externes, nos travaux ont démontré que la sélectivité fréquentielle peut également être dégradée chez des individus présentant des seuils auditifs normaux et des cellules ciliées externes intactes. Ces résultats impliquent de possibles mécanismes neuronaux et synaptiques et soutiennent la pertinence des mesures de sélectivité fréquentielle comme marqueurs indirects de la synaptopathie cochléaire. Les études actuelles dans notre laboratoire visent à établir des données normatives pour les mesures de sélectivité fréquentielle dans des populations à risque élevé de synaptopathie cochléaire. En parallèle, nous menons une étude longitudinale examinant l'évolution des marqueurs de synaptopathie cochléaire en fonction de l'exposition au bruit et de la fonction des cellules ciliées externes, à l'aide d'un protecteur auditif intelligent capable de surveiller la dose de bruit intra?auriculaire et les émissions otoacoustiques. Étant donné que les émissions otoacoustiques peuvent présenter des réductions transitoires de la fonction des cellules ciliées externes à la suite d'une exposition au bruit, elles pourraient servir d'indicateurs précoces de stress cochléaire précédant des dommages neuronaux permanents.

Mieux mesurer pour mieux prévenir : défis de la dosimétrie du bruit

Une prévention efficace de la perte auditive induite par le bruit dépend d'une estimation précise de l'exposition réelle au bruit. Les méthodes de dosimétrie conventionnelles, généralement basées sur des dispositifs portés à l'épaule, ne fournissent qu'une estimation indirecte de l'exposition et ne tiennent pas compte de facteurs individuels, tels que l'atténuation des protecteurs auditifs. Ces limites compliquent l'interprétation des relations exposition-réponse et peuvent conduire à des évaluations inexactes du risque. Pour remédier à ce problème, nos travaux portent sur le développement et la validation de technologies capables de mesurer la dose de bruit directement au niveau du tympan. Des dispositifs intra?auriculaires intelligents, développés en collaboration avec la *Chaire de recherche industrielle ÉTS?EERS en technologies intra?auriculaires* (CRITIAS) de l'École de technologie supérieure (ÉTS), seront utilisés pour quantifier les niveaux de bruit atteignant l'oreille tout en permettant simultanément des mesures électrophysiologiques. Cette approche intégrée offre de nouvelles possibilités de surveillance de l'exposition sonore et de l'état auditif dans des conditions réelles, avec des applications en recherche comme en clinique.

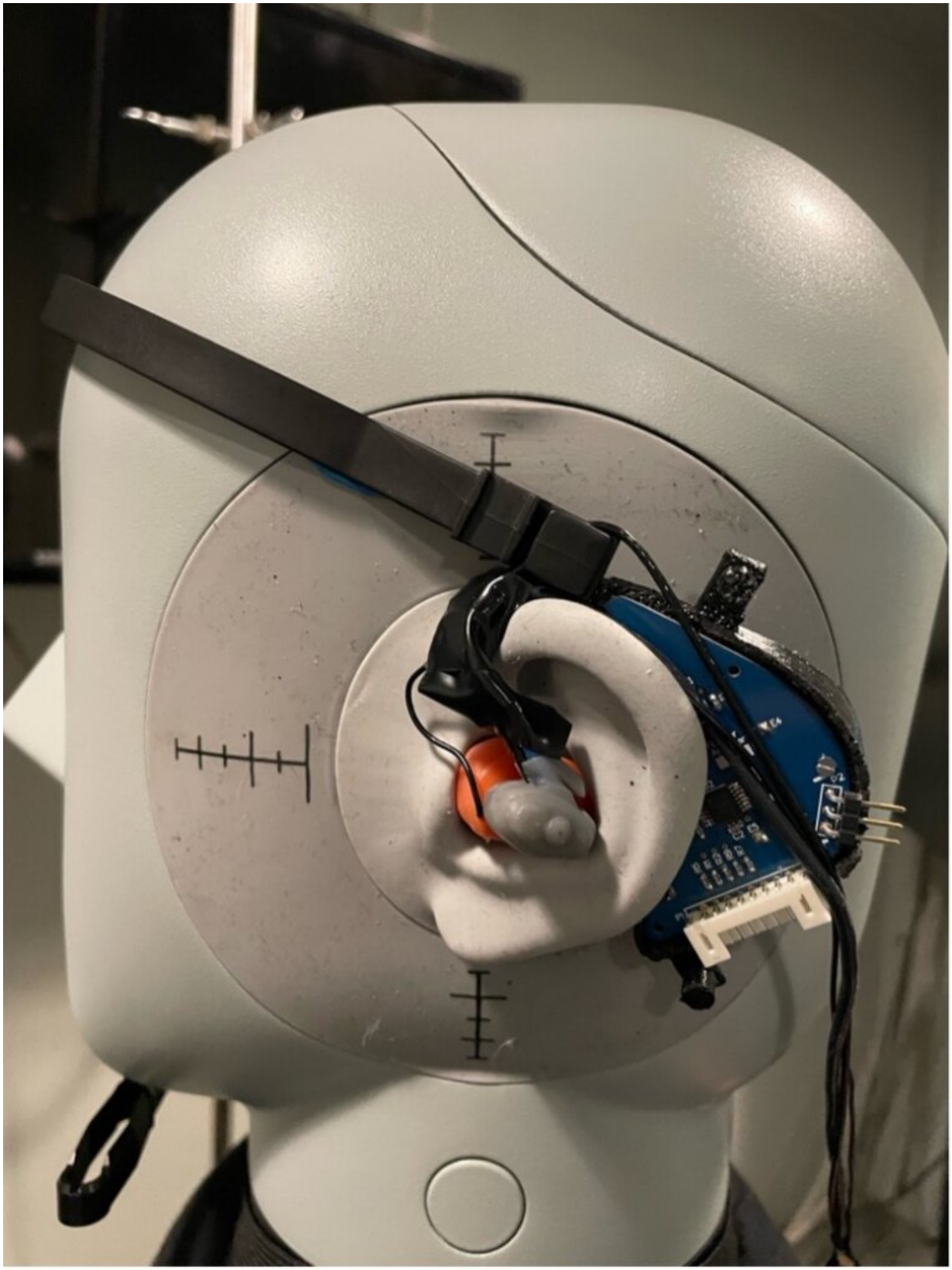


Figure 1?: Prototype de dispositif intra?auriculaire intelligent, nommé eCoGeers, permettant de quantifier les niveaux de bruit atteignant le tympan tout en réalisant simultanément des mesures électrophysiologiques in situ.

Éducation expérientielle fondée sur les technologies numériques

Au?delà de la mesure objective du bruit, une prévention efficace de la perte auditive induite par le bruit dépend également de la capacité des individus à comprendre et à reconnaître les

comportements d’exposition à risque. Ce défi est particulièrement marqué chez les adolescents, pour qui l’exposition au bruit récréatif, notamment par l’écoute de musique amplifiée, constitue une source majeure de risque auditif. Pour relever ce défi, nos travaux se sont concentrés sur le développement et l’évaluation de technologies éducatives immersives qui traduisent des risques auditifs abstraits en atteintes perceptibles.

L’une de ces initiatives, développé en collaboration avec CRITIAS de l’ÉTS, est la plateforme *InteracSon*, un dispositif portable de traitement numérique du signal conçu pour soutenir l’éducation et la sensibilisation à la surexposition au bruit récréatif. Le système permet une écoute transparente des sons ambiants tout en offrant aux utilisateurs la possibilité d’expérimenter des simulations de différents degrés de perte auditive. De plus, la plateforme comprend un simulateur d’acouphènes capable de reproduire des percepts d’acouphènes courants. *InteracSon* fonctionne également comme un lecteur de musique qui surveille en continu les niveaux de lecture et les habitudes d’utilisation. À partir de ces données, la plateforme calcule et affiche l’indicateur «?Âge de vos oreilles?», qui fournit une estimation du vieillissement auditif accéléré associé à une exposition excessive à la musique. Cet indicateur permet aux utilisateurs de relier directement leurs comportements d’écoute à des conséquences auditives à long terme. Nos travaux actuels visent à intégrer *InteracSon* dans des activités éducatives structurées menées en milieu scolaire, afin de soutenir des interventions ciblées de prévention et de faciliter les discussions autour de pratiques d’écoute sécuritaires.

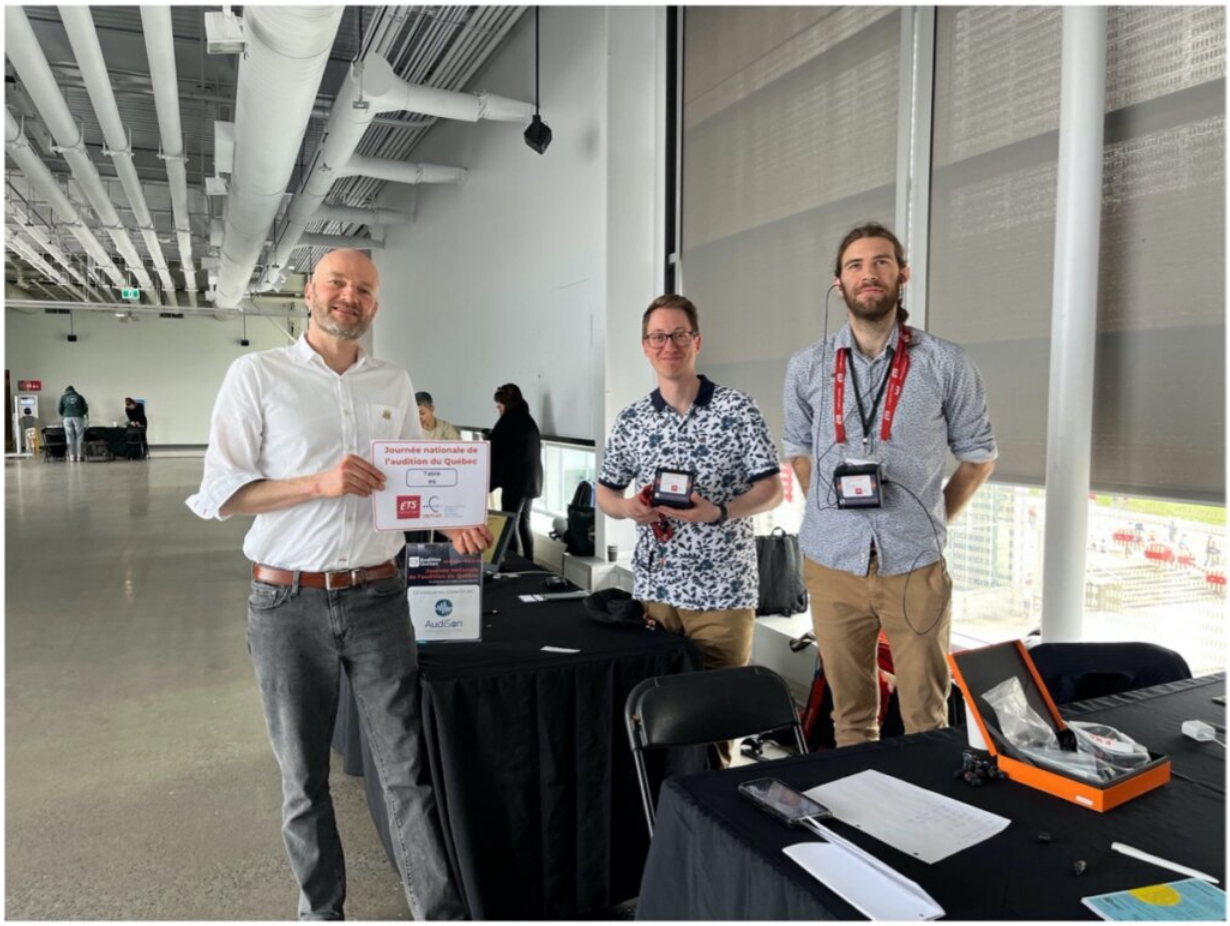


Figure 2?: Plateforme InteracSon utilisée dans le cadre d’une activité éducative lors de la Journée nationale de l’audition du Québec 2024. De gauche à droite?: Jérémie Voix, ÉTS?; Alexis Pinsonnault?Skvarenina, ULaval?; Valentin Pintat, ÉTS.

Réduire les conséquences fonctionnelles de la perte auditive : vers une réadaptation plus accessible

Au Canada, plus de 3,2?millions de personnes vivent avec une perte auditive, mais environ 84?% n’utilisent pas de prothèses auditives. Cette sous?utilisation est principalement attribuable aux coûts élevés, à l’accès limité aux services de soins auditifs et à des facteurs personnels et sociaux (p.?ex. stigmate, perception d’un bénéfice limité). En réponse, des technologies auditives alternatives et plus abordables, telles que les prothèses auditives en vente libre (OTC), les produits d’amplification sonore personnelle (PSAP) et les hearables, sont de plus en plus répandues. Ces dispositifs, que nous appelons dispositifs d’écoute alternatifs (DÉA), sont disponibles sans prescription à un coût nettement inférieur à celui des prothèses auditives traditionnelles. Toutefois, leurs performances électroacoustiques, leur sécurité et leur pertinence clinique demeurent insuffisamment documentées, ce qui crée de l’incertitude tant pour les utilisateurs que pour les cliniciens.

Nos recherches visent à combler cette lacune par le développement d’un *Répertoire canadien des dispositifs auditifs abordables*. Cette initiative interdisciplinaire et interuniversitaire (ÉTS et ULaval), soutenue par le Conseil national de recherches du Canada, a pour objectif de fournir de l’information indépendante, accessible et scientifiquement fondée sur ces dispositifs. Les DÉA sont d’abord évalués afin de documenter leurs caractéristiques électroacoustiques et acoustiques. Ensuite, les essais en laboratoire sont complétés par des évaluations de l’utilisation en conditions réelles. Grâce à une collecte de données écologiques par l’intermédiaire d’une application sur cellulaire, les utilisateurs peuvent rapporter différents aspects de leur expérience avec les DÉA, tels que le confort, la qualité sonore, l’effort d’écoute perçu et les bénéfices pour la communication. Troisièmement, le projet comprend des mesures objectives de l’intelligibilité de la parole, de la localisation sonore et de la perception musicale obtenues avec les DÉA dans un environnement de laboratoire immersif simulant des conditions d’écoute quotidiennes. Enfin, une composante centrale de cette initiative est la diffusion structurée des résultats par l’entremise d’un répertoire bilingue en libre accès destiné aux patients, aux cliniciens et aux décideurs. En fournissant des données de performance transparentes et indépendantes, cette ressource vise à soutenir une prise de décision éclairée et à promouvoir un accès équitable aux solutions de soins auditifs.



Figure 3?: Montage expérimental utilisé pour mesurer les performances acoustiques de DÉA, telles que la transparence acoustique et la réduction du bruit.

Conclusion

La perte auditive induite par le bruit continue de représenter un défi majeur de santé publique en raison de sa forte prévalence et de son impact fonctionnel, social et économique significatif. Les avancées scientifiques au cours des deux dernières décennies ont mis en évidence des formes

d’atteintes subcliniques, telles que la synaptopathie cochléaire, qui ne sont pas captées par les tests audiométriques conventionnels. Cela souligne la nécessité de repenser le continuum de soins auditifs. En utilisant une stratégie intégrée englobant la prévention, la détection précoce et la réadaptation, nos travaux visent à réduire le fardeau de la perte auditive. Les pratiques en audiologie doivent s’étendre au?delà de l’audiométrie et de l’amplification pour inclure la prévention et l’éducation. En intégrant les données électrophysiologiques, l’innovation technologique et les considérations d’accessibilité, notre recherche vise à soutenir une approche plus proactive et inclusive de la santé auditive.