



HAL
open science

Problématiques Acoustiques d'un Fabricant de Protections Auditives sur-Mesure

Robin Petit, Joséphine Pérot Le Gal, Pierre Buysens, Morgan Lubin, Nicolas
Cusseau, Gwenolé Nexer

► **To cite this version:**

Robin Petit, Joséphine Pérot Le Gal, Pierre Buysens, Morgan Lubin, Nicolas Cusseau, et al.. Problématiques Acoustiques d'un Fabricant de Protections Auditives sur-Mesure. 16ème Congrès Français d'Acoustique, CFA2022, Société Française d'Acoustique; Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Apr 2022, Marseille, France. <hal-03848479>

HAL Id: hal-03848479

<https://hal.science/hal-03848479v1>

Submitted on 10 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

16^{ème} Congrès Français d'Acoustique
11-15 Avril 2022, Marseille



Problématiques Acoustiques d'un Fabricant de Protections Auditives sur-Mesure

R. Petit, J. Pérot Le Gal, P. Buysens, M. Lubin, N. Cusseau et G. Nexer
Cotral Tech, Cotral Group, Rue des léopards, 14110 Condé-sur-Noireau, France



Le Laboratoire Cotral conçoit, fabrique et commercialise des solutions de protections auditives sur-mesure afin de protéger l'audition des professionnels au bruit. La mission principale de l'entreprise est de garantir la santé auditive des professionnels exposés à des niveaux de bruit nocifs (ayant un seuil Lex, 8h de 80dB(A) en Europe). Cotral propose des solutions de protection efficaces et confortables afin que le porteur de PICB (Protection Individuelle Contre le Bruit) soit réellement protégé durant la totalité du temps d'exposition au bruit. Le développement de ces solutions a permis de mettre en lumière des besoins tant industriels qu'académiques autour de l'acquisition de la morphologie de l'oreille, de son modelage, de la fabrication additive, du contrôle qualité de produits acoustiques, de l'atténuation (y compris l'uniformité en fréquences), de l'adéquation (étanchéité), de l'occlusion et du confort acoustique. Et cette liste est loin d'être exhaustive. Par la présence sur le terrain de nombreux techniciens Cotral, les besoins des utilisateurs ont également pu être remontés tels que le déploiement des mesures acoustiques in-situ dans les usines ou encore des actions de sensibilisation et de formation en support aux responsables HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement) en charge d'assurer le taux de port des PICB. Cette présentation a pour objectif d'évoquer les différentes problématiques acoustiques auxquelles Cotral et les manufacturiers de protections auditives sur-mesure sont confrontés afin d'ouvrir un échange avec le monde académique sur la place que doit occuper l'acoustique dans les développements de la protection auditive du futur.

1 Introduction

La protection auditive est utilisée pour la réduction du niveau sonore perçu à l'oreille dans le but de protéger contre les risques de surdité. D'abord simple « sourdines Quies », faite d'un mélange de cire et de coton par un célèbre pharmacien en 1918, la protection auditive a été redéfinie à chaque grande évolution de l'industrie manufacturière et des matériaux associés. Ainsi le 1^{er} brevet mentionnant une protection auditive introduit le latex en 1939 [1], puis, en 1954 [2], Knight modifie l'agencement d'une protection pour améliorer l'inertie et la friction interne sans modifier les matériaux. En 1962, le silicone fait son apparition [3] et en 1976 ce sont les mousses à mémoire de forme [4]. En 1992, Cotral débute avec une fabrication manuelle en silicone. En 2008, l'initiative est lancée pour adopter l'acrylate et la fabrication additive. En 2019, l'usine est labélisée « Vitrine Industrie du Futur » [5].

En parallèle à cette évolution des produits, les moyens de mesure et de test, qu'ils soient acoustiques ou autres, ont été développés et améliorés. La méthode REAT pour l'estimation de l'atténuation existe ainsi depuis 1944 et a été normalisée en 1957 [6]. Mais en 2016, il y a encore eu une controverse à laquelle même Mead Killion a dû participer sur le caractère uniforme en fréquences des filtres plats Etymotic [7]. En 2022, les auteurs peinent encore également à trouver un consensus sur la mesure de l'effet d'occlusion entre les acousticiens, les spécialistes de la protection auditive voire les audioprothésistes.

Il nous apparaît progressivement, en tant que fabricant, que le sur-mesure acoustique est la prochaine étape de la protection auditive mais qu'il ne sera déployé et n'apportera demain des bénéfices aux utilisateurs que si la communauté des acousticiens met au point aujourd'hui les moyens de mesure objectifs et in-situ des propriétés acoustiques des protections auditives.

Jusqu'ici, le développement acoustique des protections auditives est connexe aux innovations de matériaux, de

procédés ou manufacturières (les mousses à mémoire de forme son issues d'un projet sur les joints d'étanchéité en 1976). Nous proposons ici de mettre en évidence les besoins en termes de moyens de mesure objectifs et in-situ acoustiques qui vont définir la protection auditive de demain.

Pour ce faire, cet article vise à détailler le cycle de développement d'une solution de protection auditive, de la définition du besoin de l'utilisateur à son test de validation sur l'utilisateur, à expliquer ce que signifie réellement du sur-mesure pour un utilisateur de PICB et à présenter ce qui est envisageable pour du sur-mesure acoustique.

2 Efficacité et acoustique : Conception et fabrication d'une Protection Auditive sur-Mesure (PAM)

L'effet de la sous-protection ayant pour conséquence une probable perte d'audition et l'effet de la surprotection d'isoler le porteur de son environnement sonore, comment s'assurer qu'un PICB protège efficacement sans pour autant surprotéger ou sous-protéger ?

Les PICB sont mesurés en laboratoire, lors de leur certification CE, selon la méthode REAT (Real Ear Attenuation Thresholds) définie dans l'ISO4869-1. Nombreux sont les organismes et les études à mettre en avant des écarts entre les valeurs d'affaiblissement théoriques affichées pour les PICB et les valeurs réelles d'affaiblissement constatées lorsque ces protections sont portées sur le terrain. Alors que les organismes allemands et suisses imposent un test d'efficacité systématique sur le porteur dans les six mois suivants la livraison des PAM, encore rares sont les entreprises utilisatrices à mettre en œuvre ces contrôles.

2.1 Conception et fabrication d'un embout

Une PAM se compose de deux éléments : un embout sur-mesure et un filtre acoustique.



Figure 1 - Une protection auditive se compose d'un embout et d'un filtre

La première étape est donc de garantir un embout parfaitement adapté (sur-mesure) au canal auditif et au pavillon de l'utilisateur final.

Prise d'Empreinte (PE)

La conception d'une PAM commence par le déplacement d'un technicien formé pour réaliser une prise d'empreinte de l'oreille de l'utilisateur. Elle se déroule en plusieurs étapes qui suivent les recommandations de la British Society of Audiology (BSA) [8].



Figure 2 - Etapes successives de la PE

Après un échange oral avec l'utilisateur et un examen otoscopique afin d'être sûr qu'il n'y ait aucune contre-indication médicale à la PE, le technicien insère un otobloc (mousse de protection tympanique) dans le conduit auditif jusqu'à une distance présélectionnée : cet otobloc empêche la pâte silicone d'atteindre le tympan et garantit la profondeur répétable de l'empreinte.

Le technicien injecte ensuite une pâte à empreinte au moyen d'un pistolet injecteur et s'assure que le conduit auditif et le pavillon de l'oreille soient uniformément remplis avec une pâte homogène.

Après une période de cure à l'air libre de quelques minutes et après un contrôle du technicien, l'empreinte est expédiée au Laboratoire.

Modelage

Les empreintes sont ensuite scannées avec une précision de l'ordre de 50µm. Ces empreintes sont alors transformées numériquement en embout par des experts « modeleurs » en respectant rigoureusement des règles géométriques afin d'offrir le meilleur compromis confort / efficacité.

Fabrication 3D

Le fichier modelé est ensuite envoyé en fabrication sur des machines de fabrication additive 3D spécifiques permettant grâce à une haute précision et une résine biocompatible de produire un embout au plus proche de l'oreille du futur porteur.

2.2 Conception et fabrication d'un filtre

Mesure du bruit et des facteurs connexes

La 1^{ère} étape pour la bonne sélection du filtre est de définir l'atténuation nécessaire en fonction du niveau d'exposition au poste de travail.

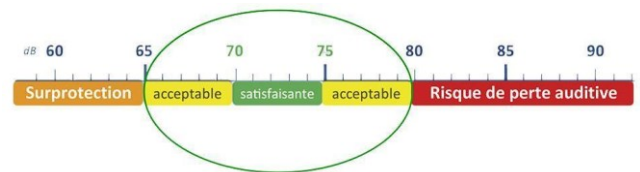


Figure 3 - Niveau de bruit recherché après atténuation par une protection auditive

Cotral n'est pas habilité à faire des mesures de bruit et se base sur les diagnostics des organismes agréés fournis par l'entreprise à équiper. Pour être certain du bon emploi d'une PAM et d'un filtre associé, Cotral a ainsi développé la méthode Sapan.

La méthode Sapan est une aide à la sélection du PICB le mieux adapté aux particularités et aux contraintes d'un utilisateur tout en se conformant aux différentes directives, lois, normes et recommandations.

Elle permet de décrire :

- Le niveau d'exposition au bruit,
- Les impératifs de perception de l'environnement sonore,
- Un éventuel déficit auditif,
- Le port simultané d'autres équipements de protection individuelle pouvant nuire à l'efficacité du protecteur auditif.
- Les cas d'usage de communication (proche-à-proche ou via un système de communication).

La méthode Sapan permet de prioriser les contraintes utilisateurs autres que le bruit qui auraient amené à une diminution du port des protections auditives.

Choix du filtre

L'EN458, liée à la diversité du niveau de bruit, recommande aux fabricants la mise à disposition d'une gamme de filtres avec différents SNR (Single Number Rating) pour la bonne protection du porteur quel que soit l'environnement. Le SNR est l'indice global d'affaiblissement acoustique obtenu en dB pour un bruit industriel moyen tel que défini dans la norme internationale ISO 4869-2.

D'autres indices globaux appelés H, M et L ont été mis en place par cette norme. Ils représentent l'affaiblissement acoustique obtenu en dB pour des bruit orientés aux hautes, moyennes et basses fréquences (High, Medium, Low).

- H : atténuation de la protection auditive pour un bruit orienté aux hautes fréquences (indice harmonique $L_{p,C} - L_{p,A} \approx -1,2$ dB)
- M : atténuation de la protection auditive pour un bruit orienté aux moyennes fréquences (indice harmonique $L_{p,C} - L_{p,A} \approx 2$ dB)
- L : atténuation de la protection auditive pour un bruit orienté aux basses fréquences (indice harmonique $L_{p,C} - L_{p,A} \approx 6$ dB)

Les formulations de calcul des indices H, M et L sont explicitées dans la norme internationale ISO 4869-2. Ce sont des moyennes pondérées des atténuations apportées par la protection, toutes d'orientation fréquentielle différente.

Cotral dispose d'une gamme de filtres avec différentes atténuations. Les filtres se distinguent en 2 catégories :

- Filtres à base de matériaux poreux : l'atténuation y est réalisée par absorption.
- Filtres à base de membranes : leur densité et leur plasticité permettent de jouer sur l'atténuation basses fréquences et ainsi de proposer une gamme de protections uniformes sur l'ensemble de la gamme de fréquences.

Filtres Green	Fréquences en hertz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
APV (dB)	18,2	17,6	16,0	14,7	12,4	16,8	18,1	23,8
H	H : 17		M : 14			L : 15		H-L ^(H) : 2
	SNR(dB) 17							

Figure 4 - Valeurs « APV » (Assumed Protection Value) d'une protection de Cotral.

De nombreux travaux ont été entrepris au fil des années depuis que Elmer Carlson a conçu le 1^{er} filtre dit 'plat' : le ER-15 d'Etymotic, à partir d'un modèle de constantes localisées.

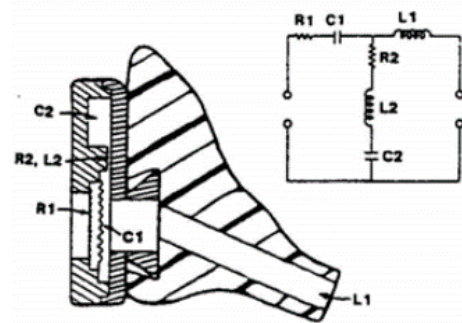


Figure 5 - Géométrie du 15-dB earplug d'Etymotic et modèle de constantes localisées associé reproduit de [9]

Au-delà des atténuations théoriques fournies par les modélisations analytiques et numériques, la principale difficulté dans la conception d'un filtre réside dans ses étapes de fabrication qui influencent fortement sa réponse en fréquence et les mesures réelles. Cotral a donc entrepris de fabriquer ses filtres en interne pour maîtriser le procédé et de développer un test unitaire pour que chaque filtre soit contrôlé fonctionnellement.

Fabrication des filtres actuels

La littérature est vaste en termes de brevets sur les secrets de fabrication des filtres.

Pour les filtres à base de matériaux poreux, on rencontre les mêmes problématiques que dans la fabrication homogène d'un disque de 5mm de diamètre et 1mm d'épaisseur à partir d'une poudre métallique ou polymère. Les développements initiés par les stratégies de déploiement de « l'Industrie du Futur » laisse penser que des innovations autour du laser et des poudres devraient arriver prochainement.

Pour les filtres à base de membranes, la mise sous tension de la membrane et son maintien (clamping) est aussi critique que le choix de la membrane.

2.3 Contrôles Qualité Acoustique

Test de Contrôle Acoustique des Filtres en Production

Les performances acoustiques des filtres sont vérifiées grâce à une mesure de perte par insertion (IL - Insertion Loss). La mesure est faite sur les 8 bandes d'octave contrôlées par l'organisme de certification des PAM.

Chaque filtre est testé à l'issue de la ligne de production pour vérifier l'adéquation du montage de ses composants et pour assurer sa conformité.

Test d'étanchéité in-situ FitCheck by Cotral

Depuis 2018, Cotral a mis en place un test acoustique d'étanchéité (anaérobie), objectif et in-situ, qui permet aux techniciens de prévention de vérifier la bonne adéquation de l'embout (sans filtre) à l'oreille de l'utilisateur final en

mesurant l'absence de fuite. Ce test utilise le principe décrit par Zimpfer [10]. La répétabilité et la reproductibilité y sont de 1^{ère} importance et ont permis de vérifier que, quel que soit les humains impliqués, quel que soit le moment, la PAM garantira la bonne atténuation in-situ jusqu'à 33dB. Cette atténuation ne dépendra par la suite que du filtre sélectionné.

Mesure in-situ du SNR : méthodes subjectives

Des contrôles qualité (dimensionnels, acoustiques ou autres) sont donc mis en place tout au long de la fabrication de l'embout sur-mesure et du filtre. L'assemblage de l'embout sur-mesure et du filtre constituant la protection auditive sur-mesure est lui aussi vérifié au niveau de l'étanchéité (anaérobie). Reste la mesure de l'atténuation sur l'utilisateur.

Les méthodes de mesure in-situ de l'atténuation se distinguent en deux types : les méthodes subjectives et les méthodes objectives.

Les méthodes subjectives se basent sur :

- La détection d'une fréquence sonore émise sous un casque par un utilisateur avec et sans protection. Ces méthodes sont dites de déplacement du seuil d'audition ou REAT (Real-Ear Attenuation Threshold).
- La capacité d'un utilisateur à égaliser un son entre deux oreilles sous un casque. C'est la méthode du système VeriPRO de Sperian.

Cotral travaille depuis 2003 sur la mise en place d'un test REAT, appelé CAPA, permettant de mesurer l'affaiblissement pour être ensuite comparé aux valeurs d'affaiblissement affichées par le fabricant afin de déterminer la conformité du protecteur.

Le développement d'un test d'étanchéité (anaérobie) in-situ a également permis d'affiner les tests CAPA en entraînant certains sujets à la mise en place de la PAM dans leur oreille, améliorant ainsi la précision comme suggéré dans l'ANSI/ASA S12.71-2018.

Cotral confirme néanmoins l'évaluation de la précision faite dans [11] : une marge de 1 ou 2 écarts-types, soit 5dB à 10dB, est toujours à prendre en compte sur une mesure individuelle. A l'heure actuelle, cet écart-type est toujours fonction du filtre mais a été réduit en moyenne à 3,7dB sur les filtres Cotral.

Mesure in-situ du SNR : méthodes objectives

Les méthodes objectives de mesure in-situ de l'atténuation existent. Elles sont basées sur la technique d'un doublet microphonique dite MIRE (Microphone In Real-Ear) dont les plus connues sont le SV102 de SVANTEK et le système E-A-Rfit de 3M.

Le système E-A-Rfit est limité à l'usage de bouchons en mousse disponibles en seulement 2 tailles en Europe. Le SV102 permet d'utiliser une sonde microphonique et de s'adapter plus facilement aux différents types de bouchons, après néanmoins une modification de ces derniers pour l'utiliser de manière étanche (anaérobie).

Ces systèmes restent dépendants du bruit ambiant et ne peuvent donc pas être utilisés partout car il est difficile d'isoler des salariés dans des pièces calmes (bruits ayant un LAeq inférieur à 40dB(A)).

Ces systèmes restent également fortement dépendants de l'entraînement à ce genre d'exercice du sujet testé ainsi qu'à son habitude de port de protections auditives.

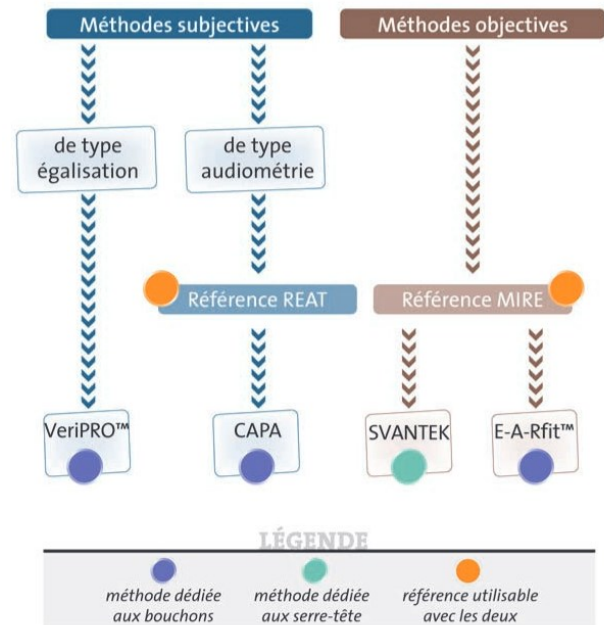


Figure 6 - Méthodes de mesure de l'atténuation d'un PICB - reproduit de [11]

3 – Taux de port et acoustique : s'adapter à l'utilisateur

3.1 Le taux de port, élément clé de l'efficacité d'un PICB

Un facteur extrêmement important pour une bonne efficacité de la protection individuelle contre le bruit est la notion de taux de port. Le meilleur PICB est celui qui est porté, mais pour être réellement efficace celui-ci doit être porté de façon ininterrompue lors de l'exposition au bruit dont les niveaux sont nocifs (ayant un seuil Lex, 8h de 80dB(A) en Europe).

Les bonnes conditions pour un taux de port de PICB à 100% sont :

- 1) Un PICB qui soit confortable
- 2) Un affaiblissement adapté (ni trop, ni trop peu)
- 3) Une sensibilisation du salarié aux risques bruit
- 4) Une formation du salarié à la mise en place du PICB

Le taux de port à 100% est vital pour préserver l'audition du salarié. La perte d'efficacité du PICB est en effet extrêmement rapide. Dans le cas où le salarié porterait son

PICB durant 50% de son temps d'exposition au bruit, l'efficacité du PICB serait d'environ 3dB, autant dire nulle.

Cotral s'efforce donc d'améliorer ce taux de port et les mesures permettant de le quantifier de manière objective.

3.2 Facteurs influençant le taux de port

Pression statique / Gonflage / Rétenion

Plus que le confort, c'est l'inconfort et en 1^{er} lieu la douleur ou la gêne qui est réhivitoire pour un port de longue durée (plusieurs heures). Des heuristiques ont été développées pour retirer de la matière sur les zones saillantes qui engendrerait une douleur sans pour autant créer de fuite acoustique. Des heuristiques ont également été développées pour ajouter de la matière (gonflage) afin d'améliorer la rétenion et le comportement dynamique de la PAM.

Ce sujet fait le lien entre géométrie 3D, rhéologie et acoustique et est traité avec beaucoup d'essais et erreurs. Les modélisations étant souvent trop simplifiées pour donner des résultats comparables aux données réelles, il faut trouver un compromis sur le confort sans détériorer l'atténuation.

Par expérience, un (très) bon compromis a été trouvé afin de maximiser l'efficacité du protecteur sans détériorer le confort, et par ricochet le taux de port : une protection douloureuse ne sera pas portée, son efficacité sera donc nulle.

Les questionnaires sur le confort déployés sur le terrain confirment l'étude de l'INRS [12] sur l'importance d'éviter les zones saillantes et la pression statique dans une zone du conduit auditif.

Effet d'occlusion

L'utilisation et la bonne mise en place de PICB, dont les PAM, occlue le canal auditif. La cavité ainsi formée amplifie les fréquences basses (<1kHz) qui sont liées à l'ensemble des bruits physiologiques du corps humain. Ce phénomène est source de gênes et d'inconfort et peut réduire le taux port : c'est l'effet d'occlusion (ou autophonation passive).

Une solution envisagée est de prolonger la protection jusqu'à la partie osseuse du conduit auditif dans l'objectif de réduire le volume de la cavité occluse, mais cela rend la mise en place plus compliquée ou crée une gêne car la protection appuie sur la zone sensible de l'oreille qu'est la zone cartilagineuse du conduit auditif. Une autre solution est de créer un évent mais cela équivaut à une fuite et donc une perte d'étanchéité provoquant une diminution de l'atténuation du PICB.

L'effet d'occlusion étant centré sur les basses fréquences, des solutions passives avec de nouveaux matériaux ou actives avec de l'électronique embarquée comme les systèmes dit 'anti-bruit actif' peuvent être envisagées.

Confort multidimensionnel

D'autres paramètres influencent le confort et donc le taux de port mais sont très dépendants de la technologie de fabrication (matériaux, perception) et ne sont donc pas

discutés ici. On notera néanmoins qu'une fois les problèmes mécaniques (pression) et acoustique (atténuation) résolus, les exigences en matière de confort divergent selon les cas d'usage. Cotral s'efforce de traiter ce besoin de confort et de solution sur-mesure de manière passive mais a dû prendre le virage de l'électronique dès 2015.

4 Vers du sur-mesure acoustique ?

4.1 Fabrication des filtres futurs

Cotral travaille avec le monde académique sur la modélisation multiphysique et acoustique des nouveaux matériaux et des procédés de fabrication associés. Les travaux entamés laissent ainsi à penser que des éléments filtrants pourraient être directement incorporés à l'embout : c'est le début des filtres passifs sur-mesure.

Néanmoins, ces éléments filtrants ne sont pas reconfigurables à la volée, seule l'électronique permet une acoustique 'sur-mesure'.

4.2 Anti-bruit actif

Les protections passives sont toutes indiquées pour des personnes soumises à des bruits constants dont les niveaux acoustiques sont connus. Cependant, pour des utilisateurs travaillant à des niveaux sonores variables ou étant amenés à se déplacer dans différents environnements, les protections montrent leur limite car il y a un risque de surprotection ou sous-protection. Les systèmes actifs représentent la solution idéale pour ces cas.

Nous définissons ici comme système ANC (Active Noise Cancelling) un algorithme de contrôle injectant, via un haut-parleur, en opposition de phase, les fréquences mesurées par un microphone. Ces dispositifs peuvent être dangereux pour des niveaux <90dB(A) car la surprotection induite empêche les utilisateurs d'être conscients des dangers environnants (passage d'engins) et des signaux d'alarmes [13]. Néanmoins, pour des bruits à très forts niveaux, le système ANC permet de « compléter » la protection passive et protège mieux le porteur. Ces systèmes sont régis par l'EN352-5.

Les systèmes ANR (Active Noise Reduction) permettent le contrôle du niveau réinjecté (et donc ici la réduction du volume) par un haut-parleur. Deux catégories sont proposées : ceux proposant un réglage par l'utilisateur via une commande physique (bouton), mais cela revient aux problématiques de la protection passive, et ceux proposant un contrôle automatique de la réinjection du son sans attendre une intervention du porteur (qui semblent être la meilleure solution à l'heure actuelle). Ces systèmes sont soumis aux normes EN352-4 et EN352-7.

4.3 Communication locale et courte portée

La méthode Sapan a mis en évidence que la cause principale de retrait des PICB en milieu bruyant était dû à des besoins de communication (proche-à-proche, courte portée ou longue portée tel un appel téléphonique).

Le port de protections isole aussi l'utilisateur de ses interlocuteurs lointains (communication via des systèmes de communication). Les solutions nécessaires mais non satisfaisantes sont soit de s'isoler dans un environnement calme (perte de temps et de productivité), soit le retrait des protections (danger pour l'audition).

Cotral a développé un écouteur avec atténuation adaptative selon le niveau sonore pour s'adapter aux besoins opérationnels en termes de compréhension des signaux d'alarmes, d'amplification de certains bruits et d'intelligibilité de la communication orale proche.

4.4 Communication téléphonique

Les solutions de prise de son en milieux bruyants existent déjà : micro-perche différentielle, formation de voies sur l'écoute de l'environnement, formation de voies sur des micros éloignés de la bouche, laryngophone. Pour une application grand public, ces solutions ont fait leurs preuves. Cependant, dans le cadre de l'industrie où des niveaux constants peuvent atteindre les 110dB(A), certaines montrent leurs limites. Cotral travaille sur cette prise de son en milieux bruyants, Graal de l'efficacité du taux de port à 100%.

5 Conclusion

Le développement des protections auditives a constamment suivi les innovations de matériaux, de procédés ou manufacturières. Les utilisateurs se sont toujours accommodés de ce qui était économiquement disponible et bien souvent obtenu après successions d'essais et d'erreurs. Les moyens de mesure in-situ ont cherché à confirmer les mesures en laboratoire en essayant d'être le moins coercitifs pour l'utilisateur.

Aujourd'hui, la digitalisation et la fabrication additive permettent de renverser cette dépendance : la protection auditive et ses moyens de test in-situ peuvent devenir sur-mesure selon les besoins de l'utilisateur et le fabricant peut proposer une solution adaptée au cas d'usage de l'utilisateur. Efficacité et taux de port devraient ainsi, demain, tendre vers leurs maximas grâce à la protection auditive sur-mesure de demain et ses moyens de mesure objectifs et in-situ.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les équipes et les clients Cotral pour les échanges quotidiens. Nous tenons également à adresser nos plus sincères remerciements aux membres de l'ISL pour leurs constantes exigences de rigueur et de vulgarisation qui ont permis notre participation au CFA. Nous remercions enfin les membres du CFA pour l'organisation réussie de ce congrès qui ouvre la voie à de nombreux échanges avec la communauté des acousticiens.

Références

- [1] K. L. Wade, Ear protector, United State Patent Office, n°2262568 (1939)
- [2] J. S. Knight, Cushion mounting for mass impedance resonance, United Patent Office, n°2717596 (1954)
- [3] <https://www.macksearplugs.com/about-us/> (dernière consultation 04/03/2022)
- [4] R. Gardner, Earplugs, United State Patent Office, n°RE29487 (1976)
- [5] NAE (Normandie AeroEspace), Communiqué de presse du 04/04/2019
- [6] J. Voix et F. Laville, The objective measurement of individual earplug field performance, The Journal of the Acoustical Society of America 125, 3722-3732 (2009)
- [7] A. Haapapuro et M. C. Killion, High-Fidelity Earplug Attenuation Measurements Agree After All, Canadian Audiologist 3(2) (2016)
- [8] British Society of Audiology Recommended procedure for taking an aural impression. British Journal of Audiology 20, 315-316 (2007)
- [9] M. Killion, E. Devilbiss, J. Stewart, An Earplug With Uniform 15-dB Attenuation, The Hearing Journal 41(5), 14-17 (1988).
- [10] V.Zimpfer, P. Hamery, G. Blanck, T. Foz, G. Andeol, Measurement of the acoustic leak for the determination of the optimal earplug type, Proceedings of the 26th International Congress of Sound and Vibration, Montréal, QC, Canada, 7-11 (2019)
- [11] J. Chatillon, A. Kusy, N. Trompette, Efficacité des protecteurs auditifs Les principales méthodes d'évaluation disponibles personnelle et in situ et leur précision, INRS Références en santé au travail, n°138, TP19 (2014)
- [12] J. Terroir, N. Perrin, P. Wild, Confort des bouchons d'oreille : déploiement d'un questionnaire d'évaluation en entreprise, INRS Références en santé au travail, n°168, TF 293 (2021)
- [13] J. P. Arz, Comment étudier l'effet d'un protecteur auditif sur l'audibilité des signaux avertisseurs de danger?, INRS La revue technique de l'INRS, n°243, NT40 (2016)