

# Efficacité des protecteurs auditifs : les principales méthodes d'évaluation disponibles personnelle et *in situ* et leur précision

## AUTEURS :

J. Chatillon, A. Kusy, N. Trompette, département Ingénierie et équipements de travail, INRS.

### EN RÉSUMÉ

Les protecteurs individuels contre le bruit (PICB) peuvent être utilisés en complément des moyens de prévention collective contre les nuisances sonores. L'atténuation des bruits apportée par ces équipements est mesurée en laboratoire suivant certaines normes. Des méthodes commerciales existent afin d'évaluer l'atténuation fournie par les PICB sur le lieu de travail. L'INRS a étudié la précision de 4 systèmes commerciaux par rapport aux méthodes de référence normalisées. Les résultats montrent que le niveau de protection peut être estimé, pour une personne donnée et un PICB donné, par certains de ces systèmes commerciaux avec, toutefois, quelques incertitudes

### MOTS CLÉS

Bruit / audition / équipement de protection individuelle (EPI) / protection individuelle / méthodologie

La protection individuelle contre le bruit peut être requise en complément des moyens de protection collective. Elle contribue à diminuer l'exposition sonore des salariés jusqu'à un niveau suffisamment faible - par exemple 80 dB(A) pour 8 heures de travail - afin d'éviter les lésions auditives.

De plus, conformément aux articles R. 4431-2 et R. 4431-3 du Code du travail, les valeurs limites d'exposition (VLEP) sont celles obtenues dans le conduit auditif après l'atténuation assurée par le port du protecteur individuel contre le bruit (PICB). L'objectif sanitaire de supprimer l'exposition sonore lésionnelle et la disposition réglementaire (respecter la VLEP) ont conduit, ces dernières années, à des débats sur l'efficacité réelle - personnelle et *in situ* - des PICB [1]. En effet, les valeurs d'atténuation affichées par les fabricants

sur les emballages des PICB sont issues de mesures normalisées, réalisées en laboratoire et considérées comme maximales [2].

Aujourd'hui, deux alternatives permettent d'obtenir une valeur plus réaliste de l'atténuation d'un protecteur : l'estimation ou la mesure. L'estimation [3] utilise les données affichées par les fabricants et calcule par différentes méthodes (décote, élargissement statistique) de nouvelles valeurs d'atténuation statistiquement plus proches de celles mesurées sur le terrain. La mesure, quant à elle, consiste à utiliser aussi près que possible du poste de travail un système et un protocole afin d'obtenir, pour un salarié donné équipé d'un PICB donné, une atténuation censée être personnelle.

Depuis quelques années, les fabricants de PICB proposent des équipements permettant cette mesure. Le

## Effacité des protecteurs auditifs : les principales méthodes d'évaluation personnelle et *in situ* disponibles et leur précision

médecin du travail ou le préventeur d'entreprise peuvent se voir proposer ces méthodes qui sont souvent électro-acoustiques, à base de technologie miniaturisée, assistées par ordinateur et supposées donner une réponse précise et rapide sur la réelle protection individuelle. L'INRS s'est intéressé à quatre de ces méthodes commercialisées afin d'en évaluer l'efficacité et leur limites.

### MÉTHODES DE RÉFÉRENCE

#### MÉTHODE SUBJECTIVE

Aujourd'hui, l'atténuation affichée sur l'emballage ou sur la notice d'un PICB résulte de tests et de calculs spécifiés par des normes, dont la NF EN 24869-1 [2], permettant d'aboutir à la conformité européenne et au marquage « CE » du produit. Ces normes imposent, en particulier, de mesurer l'atténuation d'un PICB passif, sur un panel de 16 personnes répondant à certains critères (audiogramme normal...), par une méthode subjective voisine de l'audiométrie tonale puisqu'elle se nomme la méthode de « déplacement du seuil d'audition » [2] ou REAT (*real-ear attenuation at threshold*). Le seuil d'audition d'un sujet est estimé en le plaçant dans un laboratoire très calme et en lui demandant de détecter des sons centrés sur différentes fréquences d'octave, dont les niveaux sont proches du seuil d'audition. Équipé dans un deuxième temps d'un PICB, le sujet détecte les mêmes sons dont les niveaux sont augmentés. La différence des niveaux de détection avec et sans PICB donne l'atténuation du protecteur. La moyenne des atténuations, sur 16 sujets et pour chaque fréquence, diminuée de l'écart-type permet de calculer la valeur supposée de la protection

ou APV (*assumed protection value*) affichée sur les emballages. Ensuite, d'autres calculs permettent d'obtenir des atténuations en fonction des fréquences dominantes des bruits d'exposition (nommées atténuation H, ou M, ou L comme hautes, ou moyennes ou basses fréquences), ou une atténuation moyennée sur toutes les fréquences (nommée SNR pour *single number rating* : indice global).

La méthode REAT n'est toutefois pas représentative de la réalité du terrain car les conditions sont parfaites : les sujets sont entraînés et ne sont pas en action de travail, les protecteurs sont neufs, les bruits d'exposition ne sont pas des bruits industriels... Toutefois, REAT est la méthode de référence internationale pour obtenir les valeurs d'atténuation des protecteurs passifs qui constituent l'immense majorité des PICB vendus aujourd'hui. Elle permet de comparer les PICB entre eux et d'effectuer leur choix.

#### MÉTHODES OBJECTIVES

Ces méthodes normalisées peuvent être utilisées soit pour évaluer des PICB comportant de l'électronique, soit dans le domaine de la recherche comme alternative aux estimations subjectives.

La principale de ces méthodes objectives consiste à mesurer le champ acoustique dans le conduit auditif d'une personne exposée à du bruit, avec un microphone miniature. Cette méthode, nommée MIRE (*microphone in real-ear*) [4], s'effectue avec l'oreille ouverte puis avec l'oreille occluse par un PICB. Différents calculs permettent, à partir de ces 2 mesures, d'obtenir une atténuation du protecteur de la même manière que celle donnée par REAT.

### SYSTÈMES COMMERCIAUX

Les systèmes distribués aujourd'hui pour évaluer l'atténuation – individuelle et *in situ* – du PICB utilisent souvent des méthodes dérivées des méthodes de référence explicitées ci-dessus.

#### MÉTHODES SUBJECTIVES

Des méthodes subjectives sont directement inspirées de la méthode REAT. En France, c'est le cas du système CAPA de la Société COTRAL, mis au point par ce fabricant de bouchons moulés individualisés (BMI). Il peut être acheté ou loué pour vérifier *in situ* l'efficacité individuelle des BMI équipant un salarié. La méthode utilisée présente une différence essentielle avec une méthode d'audiométrie tonale : les seuils d'audition sont déterminés par la détection de signaux uniquement croissants. Le signal à détecter est envoyé sous forme de pulsations à niveaux croissants par pas de plus en plus fins et à des niveaux de départ de plus en plus élevés au fur et à mesure que le sujet précise sa réponse. Avec cette procédure particulière, le seuil ainsi mesuré est alors plus élevé que le seuil d'audition classique mesuré avec des successions de fronts montants et descendants, mais le résultat reste valable car c'est la différence entre les seuils avec et sans protecteur qui importe. D'autres variations commerciales de systèmes inspirés de la méthode REAT sont disponibles sur le marché tels INTEGRAfit de *Workplace Integra* ou Well-Fit™ du *National institute for occupational safety and health* (NIOSH).

Il existe également une méthode subjective d'égalisation nommée VeriPRO™, développée par la société SPERIAN. Celle-ci consiste à demander à des sujets d'égaliser l'intensité de sons perçus alternativement par

chacune de leurs deux oreilles sous un casque audio. Cette méthode est limitée aux bouchons. Un premier test, dit de référence, est effectué sans les protections auditives ; puis deux autres tests suivent, l'un avec mise en place d'un seul protecteur, l'autre avec les deux. Ces trois étapes permettent théoriquement de calculer l'atténuation de chacun des bouchons.

### MÉTHODES OBJECTIVES

Les méthodes objectives sont dérivées de la technique MIRE et appelées F-MIRE pour *microphone in real-ear in the field* (MIRE « sur le terrain »). Dans cette variante, les mesures sont effectuées simultanément dans le conduit auditif et à l'extérieur au plus près de l'oreille. Le niveau sonore dans le conduit auditif au plus près du tympan est mesuré par un microphone miniature ou par un microphone couplé à une sonde (qui est un tube très fin traversant le PICB). Le bruit environnant est, quant à lui, mesuré par un microphone similaire tourné vers l'extérieur de l'oreille du salarié ou fixé à son épaule. Des calculs portant sur les deux mesures donnent l'atténuation du protecteur [4]. Trois outils commerciaux appliquant la méthode F-MIRE ont été recensés :

- l'exposimètre bi-voies SV102 de SVANTEK qui, équipé d'une sonde SV25S, permet la mesure du niveau sonore à l'entrée de l'oreille simultanément avec celle du niveau sonore au niveau de l'épaule. Il est dédié aux serre-tête (casques anti-bruit) ;
- le système E-A-Rfit™ de 3M™ constitué d'un doublet microphonique permettant la mesure simultanée de la pression sonore au plus près du tympan et de celle du champ incident au niveau du pavillon de l'oreille. Il ne fonctionne qu'avec des bouchons spécialement conçus pour les tests de marque 3M™. Il est

à noter que, d'après ce fabricant, ces bouchons destinés aux tests sont acoustiquement identiques à ceux utilisés en situation réelle ;

- le système SafetyMeter de PHONAK, non testé dans cette étude.

La figure 1 montre une classification des méthodes de mesure de l'atténuation d'un PICB.

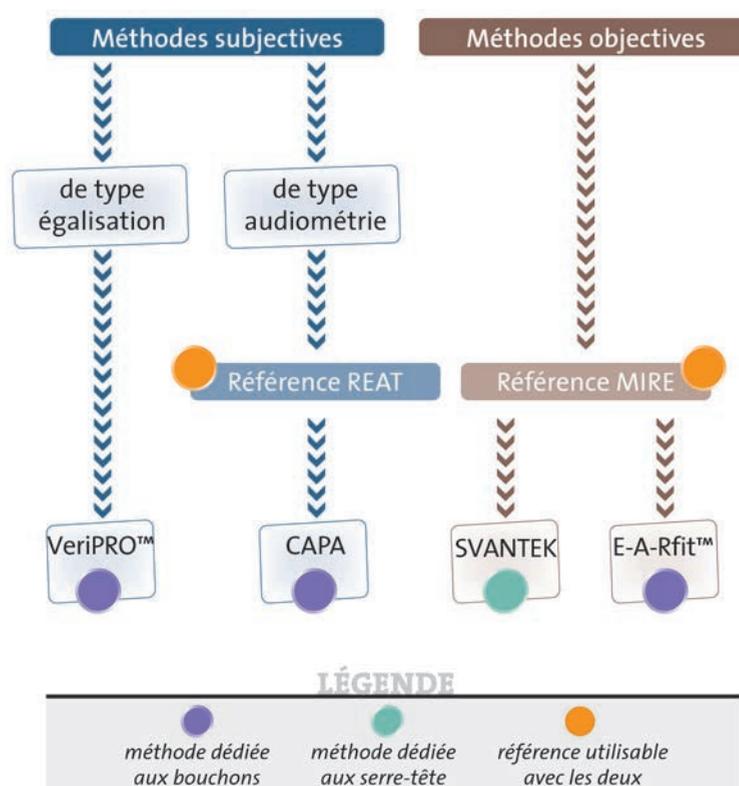
### ÉVALUATION DE LA PRÉCISION DES PRINCIPAUX SYSTÈMES DISPONIBLES

L'INRS a évalué la précision de 4 systèmes commerciaux (CAPA, VeriPRO™, SVANTEK et E-A-Rfit™) par rapport aux méthodes de référence REAT et MIRE.

Dans ce cadre, 20 sujets ont participé afin de tester 6 types de bouchons : 2 pré-moulés (3M Push'in™ et 3M Ultrafit™ 20), 2 formables en mousse (3M E-A-R Classic™ et 3M Yellow Neons™), 2 BMI (COTRAL Micra et API Cristal) et 2 serre-tête (Abbey Silverline et Clarity C3 de SVANTEK).

- Le système SVANTEK dédié aux serre-tête montre des atténuations bien corrélées avec celles de la méthode MIRE. En moyenne, sur les 2 serre-tête, les différences entre SVANTEK et MIRE ou REAT vont de 2,5 à 3,5 dB. Les résultats sont donc très satisfaisants. L'atténuation est généralement sous-évaluée par rapport aux méthodes de référence, ce qui va dans le sens de la préven-

Fig. 1 : Méthodes de mesure de l'atténuation d'un PICB testées dans l'étude.



**Efficacité des protecteurs auditifs :** les principales méthodes d'évaluation personnelle et *in situ* disponibles et leur précision

tion pour les salariés. Le système SVANTEK constitue donc un moyen convenable de vérifier l'efficacité d'un serre-tête.

- **Le système E-A-Rfit™** dédié à des bouchons spécifiques de marque 3M™ montre des valeurs moyennes bien corrélées aux mesures REAT. Les résultats sont assez similaires pour les 4 types de bouchons d'oreille testés et montrent des écarts-types par rapport à REAT s'élevant souvent à 5 ou 6 dB. À l'échelle d'une population, ce système est donc utilisable. En revanche, à l'échelle individuelle, l'atténuation évaluée est entachée d'une incertitude non négligeable. De ce fait, ce résultat doit être pris avec précaution. En effet, une marge de 1 ou 2 écarts-types, soit 5 à 10 dB, est à prendre en compte sur une mesure individuelle.

- **Le système CAPA** dédié aux BMI donne des résultats conformes à la

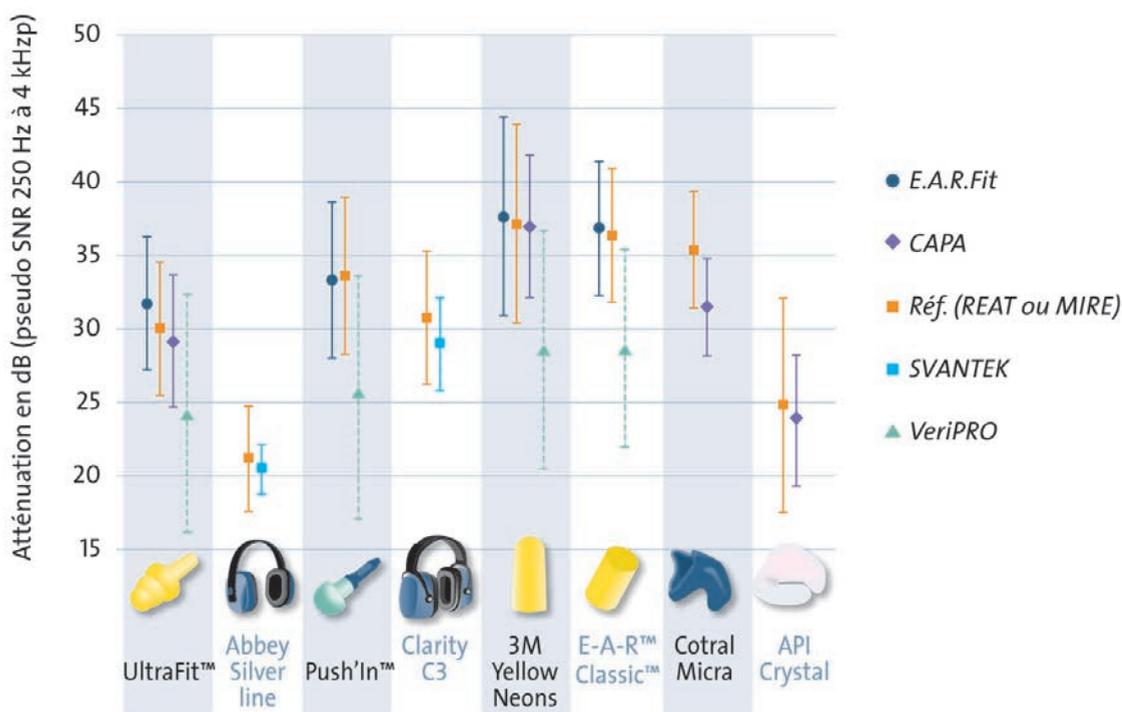
méthode REAT à partir de 500 Hz et les valeurs d'atténuation individuelles donnent un faible écart moyen (< 4 dB). En revanche, l'écart-type varie, comme pour E-A-Rfit™, de 5 à 6 dB. Cette méthode subjective est difficile à réaliser : les sujets doivent réagir rapidement puisque les seuils sont uniquement montants ; or, tous ne semblent pas aptes à le faire, surtout aux basses fréquences. Comme pour le système précédent (E-A-Rfit™), il est nécessaire de considérer qu'une valeur individuelle est obtenue à 5 ou 10 dB près.

- **Le système VeriPRO™** dédié aux bouchons d'oreille a donné des résultats plus décevants que les 3 premiers. Les valeurs moyennes obtenues avec ce système ne sont pas suffisamment proches de la méthode REAT. En effet, l'écart à chaque fréquence testée peut

atteindre 11 dB et l'écart-type sur l'ensemble des sujets varie de 2 à 7 dB. De plus, chez près de la moitié des sujets, les courbes d'atténuation présentent des tracés croissants ou décroissants de manière aléatoire lors du passage d'une fréquence de test à la suivante. Or, normalement, plus la fréquence augmente, plus le bouchon passif homogène (utilisé ici pour les tests) protège. Il semblerait que l'équilibrage des sons ressentis entre les 2 oreilles soit difficile à effectuer pour une partie de la population. Le système n'est donc pas utilisable en l'état pour vérifier que l'atténuation affichée par les fabricants est bien obtenue par n'importe quel porteur de bouchon d'oreille.

La figure 2 synthétise les valeurs moyennes et écarts-types (pour les atténuations globales) obtenus lors de l'étude.

Fig. 2 : Comparaison des atténuations mesurées (moyennes et écarts-types) par la référence et par les systèmes commerciaux pour chaque protecteur testé.



## DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS

Dans cette étude, 3 systèmes commerciaux (CAPA, E-A-Rfit™ et SVANTEK) présentent des valeurs moyennes d'atténuation acceptables par rapport à celles obtenues avec les méthodes de référence. Les incertitudes constatées ici - moyennement importantes - peuvent être mises en balance avec la plus grande facilité et la plus grande rapidité de mise en œuvre de ces méthodes commerciales.

Les résultats ont été obtenus dans des conditions expérimentales contrôlées et avec des sujets entraînés à passer des tests de référence REAT et MIRE. Dans l'entreprise, le médecin du travail ou le préventeur peuvent être confrontés à des conditions parfois moins favorables : mauvaise qualité acoustique du lieu d'essai, peu de temps passé à faire les essais... L'utilisation des méthodes commercialisées dans des conditions expérimentales dégradées risque alors de fournir des résultats encore plus dispersés. Aussi, il peut être utile de répéter la mesure 1 ou 2 fois afin d'améliorer la prise en main du système par le salarié.

Même si elles paraissent importantes, les incertitudes pour une méthode donnée, comme d'ailleurs les variations d'une méthode à une autre, sont intrinsèques à des mesures effectuées sur des êtres humains. Elles peuvent avoir pour origine des facteurs subjectifs, telle la capacité variable d'un sujet à l'autre à effectuer correctement un audiogramme. Des facteurs objectifs peuvent intervenir : variabilité du positionnement d'un microphone miniature dans un conduit auditif, positionnement et reposicionnement d'un bouchon entre plusieurs essais...

Les systèmes CAPA, E-A-Rfit™ et SVANTEK sont, d'après ces résultats, comparables avec des méthodes d'estimation sans mesure [3]. Toutefois, l'utilisation de ces méthodes commerciales sur le poste de travail donne l'avantage de former le salarié à la bonne mise en place du PICB (surtout pour les bouchons), elles portent d'ailleurs en anglais un nom générique : *fit-check* ou contrôle de la mise en place. Elles peuvent également contribuer à une meilleure motivation du « bon port » de ces protecteurs. Il peut être très utile que le travailleur se rende compte de la nécessité de mesurer l'atténuation du PICB. En effet, le simple fait de le porter (surtout pour un bouchon) n'est pas un gage de protection : l'atténuation d'un PICB mal mis peut être nulle. De même, le bouchon peut ne pas être approprié à la morphologie du salarié, à sa tâche ou à l'exposition (risque de sous- ou de surprotection). Bonne adaptation, pédagogie et motivation : ce triptyque résume l'intérêt de ces méthodes pour le médecin du travail.

## CONCLUSION

Lorsque les actions de prévention collective ne permettent pas de réduire suffisamment l'exposition du travailleur au bruit, le recours à des PICB est à évaluer. L'objectif est d'obtenir une protection adéquate : adaptée à l'homme, à sa tâche et à son environnement (ambiance thermique, risque chimique...) comprenant, bien entendu, le bruit d'exposition. Le niveau de protection n'est donc qu'un des paramètres de choix du protecteur.

L'étude montre que le niveau de protection peut être estimé, pour une personne donnée et un protecteur donné, par certaines des

méthodes commerciales proposées aujourd'hui par les fabricants de PICB. Il convient de signaler que ce résultat individuel est souvent entaché d'une incertitude de plusieurs dB.

## BIBLIOGRAPHIE

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>1   KUSY A -</b><br/>Affaiblissement acoustique <i>in situ</i> des protecteurs individuels contre le bruit. Étude bibliographique. Note documentaire ND 2295. <i>Hyg Secur Trav. Cah Notes Doc.</i> 2008 ; 212 : 43-59.</p> <p><b>2   Acoustique.</b> Protecteurs individuels contre le bruit. Partie 1 : Méthode subjective de mesurage de l'affaiblissement acoustique. Norme française homologuée NF EN 24869-1. ISO 4869-1. Février 1993. Indice de classement S 31-062-1. Paris-La Défense : AFNOR ; 1993 : 9 p.</p> | <p><b>3   KUSY A, ARZ JP, Gozzo J -</b> Valeurs limites d'exposition au bruit et port de protecteurs individuels. Préconisations de l'INRS. 2<sup>e</sup> édition. Fiche pratique de sécurité ED 133. Paris : INRS ; 2012 : 4 p.</p> <p><b>4   Acoustique.</b> Détermination de l'exposition sonore due à des sources sonores placées à proximité de l'oreille. Partie 1 : technique du microphone placé dans une oreille réelle (technique MIRE). Norme française homologuée NF EN ISO 11904-1. Août 2003. Indice de classement S 31-066-1. Paris-La Défense : AFNOR ; 2003 : 32 p.</p> |
|---|--|

## POUR EN SAVOIR +

- Bruit. Petit à petit, le bruit rend sourd. INRS, 2013 ([www.inrs.fr/accueil/risques/phenomene-physique/bruit.html](http://www.inrs.fr/accueil/risques/phenomene-physique/bruit.html)).
- Protection individuelle contre le bruit. Faire obstacle au niveau de l'oreille ou obturer le conduit auditif. INRS, 2011 ([www.inrs.fr/accueil/demarche/savoir-faire/protection-individuelle/bruit.html](http://www.inrs.fr/accueil/demarche/savoir-faire/protection-individuelle/bruit.html)).
- Bruit. *Références en Santé au Travail* ([www.rst-sante-travail.fr/rst/header/sujets-az\\_parindex.html?rechercheIndexAZ=bruit\\_\\_BRUIT](http://www.rst-sante-travail.fr/rst/header/sujets-az_parindex.html?rechercheIndexAZ=bruit__BRUIT)).