

Synthèse étude INRS

Testing of commercially available systems for hearing protector based on individual fit testing

N. TROMPETTE, A. KUSY - Sept 2013

Gwenolé NEXER

g.nexer@hearingprotech.com

Sept 2013

Il est aujourd'hui communément établi, y compris dans les textes normatifs, que l'atténuation des protections individuelles contre le bruit mesurées en laboratoire et mise en avant par les fabricants est toujours supérieure à ce qu'elle est lors de son utilisation normale. Les écarts peuvent être importants (KUSY, 2008).

Certains pays conseillent une sous-pondération des valeurs d'affaiblissement en tenant compte du type de protecteur, des fréquences... d'autres vont plus loin, comme les allemands qui exigent un contrôle d'efficacité des protections lors de leur mise en place.

Plusieurs systèmes de mesure de l'efficacité ont été développés ces dernières années pour répondre à cette demande de plus en plus pressante des différents acteurs, le système CAPA développé par HearingProTech en fait partie.

Ces systèmes ont été développés avec des bases et des principes différents, il devenait urgent d'évaluer leur capacité à déterminer avec fiabilité si un protecteur individuel contre le bruit est efficace et conforme.

L'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) a réalisé une étude (TROMPETTE & KUSY, 2013) de quatre systèmes existants sur le marché, pour en déterminer la fiabilité. Deux systèmes sont reconnus fiables et deux autres non fiables.

Contrôle d'efficacité PICB

E-104.1



Table des matières

1	INTRODUCTION		3
2	LES SYSTEMES ETUDIES		3
2.1	EARFIT	4	
2.2	Svantek SV102	4	
2.3	VeriPRO	4	
2.4	CAPA	5	
3	LE PROTOCOLE DU TEST		5
4	RESULTATS		6
4.1	Svantek SV102	6	
4.2	EARFIT	6	
4.3	VeriPRO	6	
4.4	CAPA	7	
5	CONCLUSION DES AUTEURS DE L'ETUDE		8
6	CONCLUSION DE L'AUTEUR DE LA SYNTHESE		9
6.1	Que pouvons-nous conclure de cette étude ?	9	
6.2	EARFIT	10	
6.3	CAPA	10	
7	BIBLIOGRAPHIE		11

1 Introduction

Les protecteurs individuels contre le bruit sont mesurés en laboratoire, lors de leur certification CE, selon la méthode REAT ISO 4869-1. Cette méthode utilisée dans des conditions optimales permet une bonne répétabilité et une fiabilité des résultats. Ces résultats d'affaiblissement mis en avant par les fabricants sont optimaux et difficiles à reproduire ensuite sur le terrain. Des écarts moyens ont été relevés au cours des différentes études compilées dans une étude bibliographique (KUSY, 2008), ils varient de 7 à 22 décibels selon le type de PICB. Les écarts extrêmes (22dB) concernent les bouchons standards à façonner, un utilisateur équipé d'un bouchon de ce type et dont l'affaiblissement théorique est de 30dB (SNR) ne bénéficierait en réalité que d'un affaiblissement de 8dB, soit une efficacité réduite de 73%.

Il est donc important de contrôler in situ sur chaque porteur d'un PICB que celui-ci est efficace et que son utilisateur est correctement protégé. C'est l'objectif des systèmes de contrôle de l'efficacité des PICB.

2 Les systèmes étudiés

Quatre systèmes disponibles dans le commerce ont été évalués dans des conditions de laboratoire pour évaluer la performance de huit PICB différents, deux serre-têtes, deux bouchons préformés, deux bouchons à façonner et enfin deux bouchons moulés sur mesure.

Les résultats obtenus par ces systèmes ont été comparés aux atténuations obtenues selon la méthode REAT (ISO 4869-1) pour un même groupe de sujets, mais également avec les atténuations obtenues à partir de la méthode MIRE (ISO 11904-1).

Les systèmes testés sont actuellement disponibles sur le marché.

Il s'agit de :

- **EARFIT** (3M)
- **SV102** (Svantek)
- **VeriPRO** (Howard Leight)
- **CAPA** (HearingProTech)

Deux d'entre eux EARFIT et SV102 ont été développés selon la méthode MIRE, cette technique (Microphone In Real Ear) consiste à placer un microphone dans le conduit de l'oreille, le protecteur doit être adapté pour accueillir le micro traversant, pour mesurer le niveau de pression sonore au niveau du tympan, un autre microphone est situé à l'extérieur de l'oreille. Un bruit est généré au travers d'un haut-parleur dans une pièce calme. L'affaiblissement est déterminé par la différence entre les deux pressions acoustiques mesurées par le microphone extérieur et celui situé dans l'oreille occluse. Le principal inconvénient de la méthode MIRE est que le son ne peut être mesuré en tenant compte de la vibration du tympan et encore moins par l'excitation directe de la cochlée via un stimulus des os et des tissus. De plus de

nombreuses corrections doivent être apportées pour tenir compte de l'effet d'occlusion ainsi que des bruits physiologiques.

Pour fonctionner correctement cette méthode MIRE devra être calibrée avec des données REAT d'un groupe équivalent de sujets pour les mêmes protecteurs. Les corrections apportées au système seront calculées en comparant les données des deux techniques de mesure.

2.1 EARFIT

Dans le cas du système EARFIT des bouchons de substitution traversés par un tube axial qui relie un microphone au canal de l'oreille pour la mesure du niveau de pression à l'intérieur sont nécessaires.

L'avantage du système est une rapidité d'exécution, une fois le système en place, il suffit de 10 secondes par oreille pour obtenir les données d'affaiblissement sur les 7 fréquences de 125 Hz à 8 kHz.

Le principal inconvénient de ce système est la précision de la fonction de transfert, car il doit tenir compte des effets du tube, du conduit de l'oreille, de la tête, du champ sonore et de la conduction osseuse. Deuxièmement, il est uniquement limité à des bouchons d'oreille fournis par le fabricant (3M), puisque les facteurs de correction sont établis et ne sont valables que pour un bouchon particulier. Enfin, les tests sont effectués avec des bouchons de substitution (avec un tube inséré) qui peuvent être différents des modèles couramment utilisés.

2.2 Svantek SV102

Le Svantek SV102 est conçu pour la mesure de champ sous un casque antibruit. Il s'agit d'un dispositif à deux voies, la sonde doit être insérée à l'intérieur du conduit auditif de l'oreille pour mesurer la pression acoustique, le deuxième microphone devra être situé sur l'épaule du sujet. La longueur de la sonde est choisie en fonction de la taille du conduit de l'oreille sujet, trois longueurs sont disponibles - 16, 20 et 25 mm. L'effet du tube de la sonde sur la mesure de la pression à l'intérieur est corrigé.

2.3 VeriPRO

Il s'agit ici d'une méthode subjective qui consiste à demander au sujet de rétablir l'équilibre entre le volume de sons purs diffusés à chaque oreille par alternance. L'équilibre est mesuré tout d'abord avec les oreilles non occluses, puis avec seulement l'oreille droite occluse et enfin avec les deux oreilles occluses. L'affaiblissement du protecteur individuel contre le bruit est déduit de la différence des intensités sonores. Le son est diffusé à l'aide d'un casque. Il faut environ 15 minutes pour obtenir des données d'affaiblissements sur les fréquences situées entre 250Hz et 4KHz. Cette technique nécessite un environnement calme car l'équilibrage est une tâche plutôt difficile. Elle permet de mesurer tout type de protection auditive pouvant être portées sous un casque.

2.4 CAPA

La dernière méthode testée CAPA, est dérivée de l'audiométrie. Cette méthode détermine le seuil auditif des sujets avec et sans protections auditives, puis calcule la différence. Le principal inconvénient de cette méthode est que la détermination du seuil d'audition prend du temps. En outre, il doit être répété pour chaque oreille. Plutôt que de déterminer le seuil d'audition par oscillation, CAPA fonctionne uniquement avec des sons montants. A chaque fréquence, le bruit est présenté à trois reprises avec une diminution de la pente de son et une augmentation du niveau de départ. Chaque étape augmente la précision de la détermination du seuil de détection du son. Le seuil qui en résulte est supérieure au seuil d'audition, mais cette méthode accélère le test. Le son est présenté à travers un casque il s'agit de sons purs. Le seuil est mesuré d'abord avec les oreilles équipées des protections auditives, puis avec les deux oreilles non occluses. L'affaiblissement est déduit en calculant la différence de seuil. La mesure réelle prend environ 7 minutes et permet d'obtenir des données d'atténuation dans les 7 fréquences standard de test de 125 Hz à 8 kHz pour les deux oreilles, ainsi que le niveau moyen (PSNA). Un environnement calme est nécessaire pour ce test car il fonctionne juste au-dessus du seuil d'audition. La méthode peut être utilisée pour tous les types de bouchons qui peuvent être portés sous un casque.

3 Le protocole du test

Pour chaque système deux à quatre protections auditives ont été étudiées.

Le système SV102 de Svantek a été testé sur deux serre-têtes, EARFIT et Veripro ont été testés sur quatre bouchons prémoulés et à façonner. CAPA a été testé sur deux bouchons sur mesure, un bouchon prémoulé et un dernier à façonner.

Tous les sujets ont été formés à l'utilisation des protecteurs et la mise en place de celui-ci a été systématiquement vérifiée par le responsable du test.

Un benchmark a été réalisé pour chaque protecteur en prenant en compte les résultats REAT obtenu lors de la certification de chacune des protections auditives. Les résultats obtenus en utilisant REAT ont été confirmés. Les résultats obtenus en utilisant REAT ont également été confirmés par les mesures MIRE réalisées selon la norme ISO 11904-1.

Des tests ont été effectués dans une grande chambre réverbérante (205 m³) pour obtenir un champ acoustique diffus. La fonction de transfert relative à la tête a été mesurée individuellement pour chaque oreille selon la norme ISO 11904-2 § 10.2. Pour chaque protecteur, les tests MIRE et REAT ont été réalisés pour le même groupe de sujets.

Après l'achèvement de l'essai de référence, chaque système de mesure de l'efficacité d'un PICB a été testé pour le même groupe de sujets.

Au final une seule mesure a été effectuée avec VeriPRO et au moins trois mesures ont été effectuées avec les trois autres systèmes pour chaque sujet et chaque protecteur. L'unique mesure réalisée sur VeriPRO vient du fait que ce système prend plus de temps et nécessite plus de concentration que les autres systèmes de contrôle et il n'était donc pas possible de procéder à d'autres tests pour l'étude.

4 Résultats

La moyenne des corrélations entre MIRE et REAT a été très bonne entre 500Hz et 4KHz, excepté pour le bouchon 3M Classic (voir figure 1 et 2 de l'étude (TROMPETTE & KUSY, 2013) pour plus d'information).

4.1 Svantek SV102

Ce système ne donne que la perte d'insertion. Les comparaisons n'ont donc pu être faites qu'avec la méthode MIRE. Les résultats sont corrélés jusqu'à 1KHz, les écarts augmentent ensuite pour atteindre 10dB à 4KHz et 8KHz. Ces écarts sont dus à l'inadaptation de la sonde interne, même maintenue avec du ruban adhésif, la sonde n'a pas pu être positionnée à l'entrée du conduit auditif. La correction appliquée par ce système sur le résultat peut également être remise en question.

Ce système permet donc des mesures fiables sous les 1KHz à condition de fixer la sonde à l'aide de ruban adhésif, pour les hautes fréquences les corrections ne sont pas bonnes.

4.2 EARFIT

Les résultats montrent que ce système fournit une estimation correcte de l'affaiblissement des bouchons, il faut néanmoins noter que les bouchons testés ne sont pas les identiques à ceux qui sont commercialisés et portés sur le terrain, des bouchons spécifiques étant nécessaires pour le test. Le PAR (valeur moyenne d'affaiblissement) donné par le système EARFIT surestime parfois le SNR de 10dB. Ce système signale une incertitude de 7dB, celle-ci a été vérifiée dans la majorité des comparaisons.

4.3 VeriPRO

Le système VeriPRO donne une estimation du niveau d'affaiblissement pour la bande d'octave de 250Hz à 4KHz. L'atténuation a été comparée à celle obtenue avec REAT pour les quatre bouchons, celle-ci n'est pas bonne, les résultats sont semblables à ceux obtenus par E. KOTARBINSKA dans une étude antérieure. Les données sous-estiment l'affaiblissement et varient selon le bouchon utilisé.

Un autre problème est la répartition des résultats sur la bande d'octave avec de grandes variations entre les fréquences.

Nous concluons que le système VeriPRO ne permet pas de trouver de correspondance avec les mesures REAT. Il n'est pas possible de réaliser de comparaisons individuelles en raison des résultats erratiques, mais aussi des divergences entre REAT et VeriPRO remettant en cause la validité du système.

4.4 CAPA

Les résultats obtenus avec CAPA donne les valeurs d'affaiblissement pour les 7 fréquences de la bande d'octave mais également la moyenne d'affaiblissement (équivalent du SNR). Les résultats ont été comparés avec un bouchon à former, un bouchon préformé et deux protections sur mesure. Les deux protections sur mesures n'étaient pas équipées de filtres, le perçage normalement équipé d'un filtre était utilisé pour placer la sonde MIRE. Pour les mesures CAPA les perçages ont donc été bouchés pour ces deux protecteurs. La comparaison des valeurs moyennes obtenues par CAPA sont comparées à REAT en Figure 1 et Figure 2. Les données sont étroitement liées. CAPA sous-estime légèrement l'atténuation dans les basses fréquences comparé à REAT.

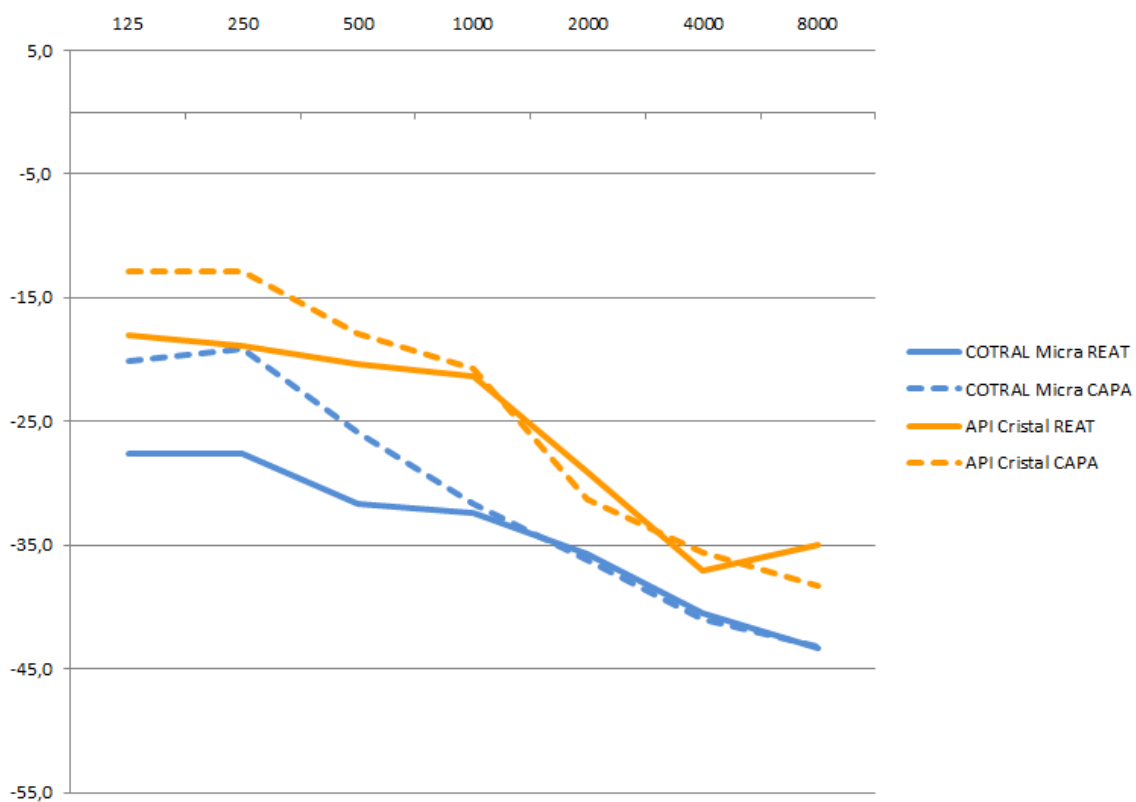


Figure 1 : Comparaison des mesures du système CAPA avec les valeurs de références de la méthode REAT pour deux bouchons sur mesure COTRAL Micra et API Cristal. Les deux protecteurs ont été obturés pour le test, ils devraient en théorie obtenir le même affaiblissement et on peut donc noter une différence dans l'efficacité d'un fournisseur à l'autre, le protecteur du fabricant Cotral obtenant un affaiblissement d'environ 10dB supérieur au protecteur API en prenant la valeur de référence le SNR mesuré selon la méthode REAT.

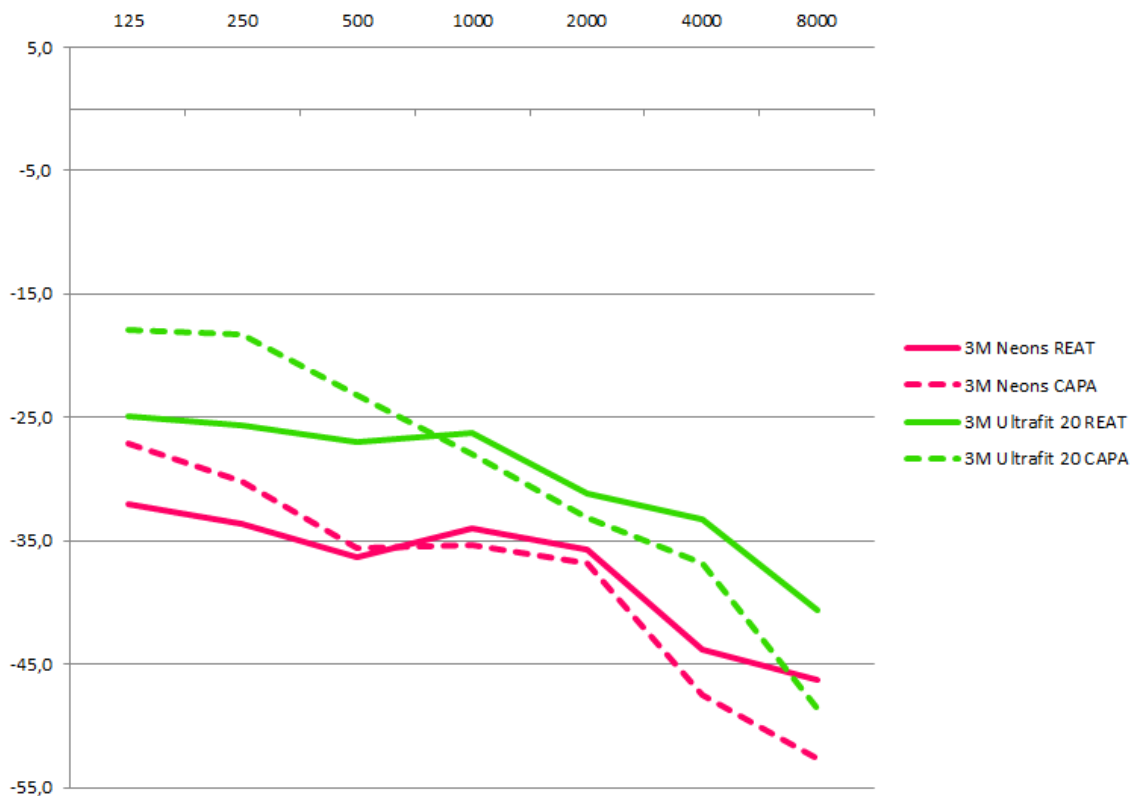


Figure 2 : Comparaison des mesures du système CAPA avec les valeurs de références de la méthode REAT pour un bouchon préformé le modèle Ultrafit de 3M et un bouchon à façonner le modèle Neons de 3M

L'affaiblissement moyen peut être surestimé de 10dB par le système CAPA. Curieusement CAPA rapporte la même incertitude que le système EARFIT soit 7dB. Les valeurs moyennes de CAPA sont conformes avec REAT.

5 Conclusion des auteurs de l'étude (N. TROMPETTE & A. KUSY)

L'objectif était d'analyser quatre systèmes de mesure de l'efficacité des PICB. Un de ces systèmes est dédié aux serre-têtes, les trois autres aux bouchons.

Le protocole de mesure a établi des points de références pour chaque protecteur pour un groupe d'au moins 20 sujets sur la base de la norme harmonisée ISO 4869-1 (méthode REAT), les résultats de référence ont été confirmés par une seconde norme ISO 11904-1 (méthode MIRE) dédié à la mesure de l'exposition sous la protection auditive. Une référence forte a donc été établie.

Deux des systèmes de mesure de l'efficacité des protections individuelles contre le bruit, EARFIT et CAPA fournissent des affaiblissements proches des valeurs de références.

Pour ces deux systèmes, les comparaisons individuelles sont acceptables en termes de valeur SNR. Nous l'avons vu des écarts peuvent exister, mais ces systèmes peuvent être utilisés pour valider la conformité d'une protection auditive tant qu'une marge de sécurité (environ 10dB) est prise en compte.

Le système EARFIT a l'avantage d'être rapide, il peut donc être utilisé pour la formation à la mise en place, il est objectif et ne nécessite de ce fait pas d'intervention du sujet. Par contre des facteurs de corrections sont apportés aux résultats. Ces facteurs sont obtenus lors de tests sur une vingtaine de sujets et peuvent être critiquables, en outre ils accroissent l'incertitude et ne sont valables que pour un bouchon donné.

Le système EARFIT nécessite de plus d'utiliser des bouchons de test spécifiques et est donc limités aux bouchons 3M.

Le système CAPA peut être utilisé pour n'importe quel bouchon, il est universel. CAPA ne nécessite aucune correction et aucune correction n'est appliquée. Il est plus lent que le système EARFIT et obtient une précision à peu près équivalente du fait qu'il s'agisse d'une méthode subjective nécessitant plus de concentration.

Le système SV102 pour serre-têtes permet d'utiliser la méthode MIRE in situ. Le système est prometteur, bien conçu et il fournit des mesure précise, mais la sonde est mal conçu et devra être améliorée ainsi que le crochet support d'oreille. Les facteurs d'ajustement (fonction de transfert) devront être revus.

Le système VeriPRO échoue lors de la comparaison avec les valeurs de référence, en outre pour un nombre important de sujets les valeurs d'affaiblissement par fréquence présentent des écarts anormaux.

6 Conclusion de l'auteur de la synthèse (G. NEXER)

J'ai tenté de traduire et de synthétiser cette étude tout en gardant le maximum d'objectivité compte tenu de ma fonction d'expert auprès d'HearingProTech qui développe le système CAPA.

6.1 Que pouvons-nous conclure de cette étude ?

Tout d'abord merci à l'INRS d'avoir pris en charge ce travail important qui permet pour la première fois d'avoir une vision claire et objective sur le fonctionnement et la fiabilité de ces systèmes. Nombreux sont les organismes, les prescripteurs... à exiger que des mesures d'efficacité soient réalisées sur les salariés équipés de protection individuelles contre le bruit, les systèmes étaient jusqu'alors choisis à l'aveugle sans réelle connaissance sur l'objectivité de leurs résultats.

Cette étude met en lumière deux systèmes, les deux seuls qui permettraient d'obtenir de résultats fiables et qui permettront d'évaluer la fiabilité d'un protecteur *in situ* directement sur son porteur : EARFIT et CAPA.

6.2 EARFIT

Le système EARFIT nous l'avons vu ne pourra être utilisé qu'avec des bouchons 3M, de plus même si le salarié qui doit être testé est équipé de bouchons 3M, il sera nécessaire d'acquérir des bouchons spéciaux pour le test, le bouchon mesuré n'est donc pas le bouchon porté par le salarié.

Des corrections sont apportées pour chaque bouchon mesuré par EARFIT. Une première mesure d'étude devra être faite avec la méthode REAT, puis les paramètres REAT sont intégrés dans le logiciel EARFIT pour tenter de se rapprocher au plus près de ces mêmes résultats REAT.

Tout ceci est assez curieux comme pratique, cela revient à dire :

1. Pour mesurer la température de mes produits, je vous vends le thermomètre que j'ai moi-même développé
2. Je pondère le résultat de mon thermomètre de manière différente pour chacun de mes produits pour qu'il vous donne un résultat cohérent
3. Mon thermomètre ne mesure que mes produits, mais vous ne pourrez pas mesurer mes produits avec, il vous faut acquérir des produits spéciaux que je vous fournis pour effectuer les mesures.

Les avantages du système EARFIT sont

1. il est rapide : quelques minutes de mise en place et 10 secondes pour obtenir les résultats d'affaiblissements
2. il est objectif aucune concentration du sujet n'est nécessaire

Ce système est donc parfaitement adapté à la formation des salariés à la mise en place des bouchons préformés ou à façonner souvent délicats à positionner correctement.

6.3 CAPA

Le principal inconvénient du système CAPA est sa durée de mise en œuvre, environ 7 minutes pour un test complet, il existe néanmoins un test Flash pouvant-être réalisé en 3 minutes et permettant de connaître la conformité d'un bouchon.

Il nécessite l'attention du sujet puisque subjectif et il doit être utilisé dans un environnement calme.

Ses avantages sont nombreux :

Il ne nécessite aucune correction.

Il est universel puisque capable de mesurer n'importe quel PICB de type intra (pouvant être porté sous un casque), CAPA est d'ailleurs livré avec la base de données de la totalité des bouchons individuels contre le bruit disponible sur le marché.

La mesure est réalisée sur les bouchons standards (utilisés par le salarié)

Les résultats d'affaiblissement sont très proches des valeurs REAT, « CAPA sous-estime légèrement l'atténuation dans les basses fréquences comparé à REAT ».

Plusieurs études démontrent que la méthode REAT surestime les affaiblissements dans les fréquences inférieures à 500Hz de plusieurs décibels (RUDMOSE, 1982), (BERGER &

KERIVAN, 1983) nous pouvons supposer que les valeurs d'affaiblissement mesurées par CAPA sont assez proches de la réalité.

7 Bibliographie

BERGER, E., & KERIVAN, J. (1983, Jul). Influence of physiological noise and the occlusion effect on the measurement of real-ear attenuation at threshold. *J. Acoust. Soc. Am.*, 74(1), 81-94.

KUSY, A. (2008). Affaiblissement acoustique in situ des protecteurs individuels contre le bruit. *ND 2295*. INRS.

RUDMOSE, W. (1982). The Case of the Missing 6 dB. *J. Acoust. Soc. Am* Vol. 71, 650-659.

TROMPETTE, N., & KUSY, A. (2013, Septembre). Testing of commercially available systems for hearing protector based on individual fit testing. INRS.