

**CFA '18 LE HAVRE ■ 23-27 avril 2018**  
**14<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique**



**Dispositif de détection de fuites acoustiques pour choisir une taille de bouchon d'oreilles adaptée**

V. Zimpfer<sup>a</sup>, P. Hamery<sup>a</sup>, G. Blanck<sup>a</sup>, G. Andéol<sup>b</sup> et T. Fux<sup>b</sup>

<sup>a</sup>ISL, 5 rue du général cassagnou, BP70034, 68301 St Louis, France

<sup>b</sup>IRBA, D19, 91220 Brétigny Sur Orge, France

veronique.zimpfer@isl.eu

La dernière version du bouchon d'oreille 3M™ Combat Arms™ a été conçue pour répondre aux besoins de protection d'audition des forces armées françaises. Ce bouchon utilise des embouts préformés constitués d'ailettes délivrés en trois tailles (petit :S, moyen :M et grand :L) qui devraient permettre la meilleure adaptation à toutes les morphologies. Le choix individuel de la taille d'un bouchon d'oreille préformé est un critère majeur pour maximiser l'efficacité de ce protecteur. Afin de choisir cette taille idéale, un dispositif utilisant un bouchon instrumenté (microphone et haut-parleur) sur lequel peuvent s'adapter les embouts de 3M™ a été réalisé. Ce dispositif permet de vérifier l'étanchéité réalisée par le bouchon d'oreille. Dans un premier temps, une campagne d'essais avec 106 soldats a été réalisée avec ce dispositif. Ces résultats ont été confrontés avec ceux de deux autres méthodes : l'une basée sur l'observation visuelle du positionnement d'un embout tympanométrique dans le conduit auditif, l'autre étant un dispositif commercial permettant de mesurer l'atténuation des bouchons d'oreilles in situ. Cette campagne d'essais a montré une très faible corrélation entre ces trois méthodes, puisque deux d'entre elles ne dépendent pas uniquement du choix de la taille du bouchon mais également de la bonne insertion de celui-ci dans l'oreille. Dans un second temps, afin de valider la corrélation entre les résultats obtenus avec le dispositif détectant une fuite acoustique et les performances en termes d'atténuation auditive, des mesures REAT (Real Ear Attenuation at Threshold) ont été réalisées.

## 1 Contexte

Nous sommes quotidiennement confrontés à des bruits qui peuvent détériorer notre audition. Lorsque ceux-ci sont trop importants, la meilleure solution est d'utiliser des Protections Individuelles Contre le Bruit (PICB). La législation contre le bruit sur le lieu de travail impose d'être exposé au maximum à 87 dBA pendant 8h sous la protection. Or, lors d'utilisation de bouchons d'oreille, il est difficile de connaître leurs performances réelles car elles dépendent de divers facteurs comme la morphologie de l'oreille ou le bon positionnement du protecteur dans le conduit auditif. Il existe plusieurs types de bouchons d'oreille préformés qui peuvent être sous forme d'ailettes (double ou triple) en matière silicone ou de forme cylindrique/conique en mousse. De plus, ces bouchons sont généralement déclinés en plusieurs tailles, ce qui rajoute une contrainte supplémentaire sur le choix.

Afin de connaître l'atténuation réelle d'un bouchon d'oreille, il est possible d'utiliser les méthodes *in-situ* permettant de mesurer ses performances. Il existe plusieurs types de méthode permettant d'évaluer l'efficacité d'un bouchon d'oreille. (1) Les méthodes basées sur l'estimation du seuil d'audition (méthodes subjectives), sont issues de la méthode REAT (Real Ear Attenuation at Threshold), dans laquelle le champ acoustique normalement émis dans une pièce spécialisée est retranscrit dans un casque d'audiométrie. (2) Les méthodes basées sur des mesures de niveau sonore (méthodes objectives), sont issues de la méthode MIRE (Microphone In Real Ear) sont appelés F-MIRE (pour MIRE in the FIELD). (3) Les méthodes basées sur la psycho-acoustique (égalisation de niveau sonore), s'appuient sur l'égalisation du niveau sonore ressenti.

La plupart des méthodes *in-situ* demande une pièce spécifique au calme de préférence et une connaissance *a priori* de la perte d'insertion moyenne du protecteur auditif testé. Elles ne peuvent pas être réalisées par un sujet seul de manière autonome, elles demandent la mise à disposition d'équipements et de personnel dédiés. Ainsi, elles ne peuvent pas être appliquées pour déterminer le choix du protecteur individuel pour chaque sujet d'une population.

L'objectif principal de cette étude est de trouver une méthode fiable, rapide, et facile à utiliser permettant d'aider l'utilisateur à choisir efficacement et de manière autonome, le bouchon d'oreille adapté à sa morphologie. Cette méthode vise également à être un outil pédagogique permettant à un utilisateur de vérifier (avec une notion

d'entraînement) la bonne mise en place de son bouchon d'oreille. En effet, si le bouchon d'oreille n'est pas adapté ou mal positionné, l'efficacité de celui-ci est diminuée. Dans la plupart des cas (trop petit, trop grand ou mal mis) l'efficacité du bouchon d'oreille est diminuée à cause d'un défaut d'étanchéité à l'air.

Dans le domaine des très basses fréquences (inférieures à 100 Hz) la fonction de transfert du système électro-acoustique (Haut-parleur - Microphone) dépend fortement de l'insertion du bouchon dans le conduit auditif. Un défaut d'étanchéité provoque un effondrement de la fonction de transfert dans le domaine des très basses fréquences. La méthode consiste donc à mesurer et à comparer la fonction de transfert en très basses fréquences à une courbe de référence afin d'évaluer le niveau d'étanchéité. Pour cela, un prototype de bouchon d'oreille instrumenté (voir figure 1) sur lequel peuvent venir se fixer différents embouts (à ailettes ou en mousse) est utilisé. Ce bouchon d'oreille possède un haut-parleur (HP) et un microphone intérieur. A ce bouchon instrumenté est couplé un processeur (DSP) dans lequel est implémenté l'algorithme de traitements. Le résultat est affiché pour chaque oreille sur un boîtier contenant le processeur par des LEDs de couleurs : « VERT » étanche, « ORANGE » : risque d'un défaut d'étanchéité, et « ROUGE » : présence d'un défaut d'étanchéité. En moins d'une minute le prototype donne les résultats sans que l'utilisateur n'ait besoin de répondre sur le son perçu (méthode entièrement objective).



Figure 1: Photographie du prototype électronique de mesure d'étanchéité acoustique.

Dans une première étape, le prototype de la figure 1 a été comparé à deux autres méthodes pouvant également aider aux choix de la taille des bouchons 3M™ qui existent en différentes tailles (voir figure 2):

- Méthode de maintien dans le conduit auditif en utilisant des embouts tympanométriques (Méthode 1)
- Méthode avec un système commercial permettant d'estimer l'atténuation réelle des bouchons d'oreille *in situ* (Méthode 2).

La seconde étape est de vérifier l'efficacité des bouchons d'oreille en fonction du code LED affiché par le prototype, en réalisant des mesures subjectives REAT sur 10 sujets après chaque test d'étanchéité.



Figure 2: Différentes tailles d'embouts à triples ailettes : Large (L) ; Medium (M) et Small (S) de gauche à droite.

## 2 Comparaison des méthodes de choix de bouchons

Afin de comparer ces trois méthodes de choix de bouchon d'oreille, une campagne d'essais a été réalisée. Elle s'est déroulée sur deux jours au régiment 4<sup>ème</sup> RE de Castelnaudary. L'objectif de ces essais est de voir si le résultat de ces trois méthodes converge vers un choix de taille de bouchon 3M<sup>TM</sup> identique. (Figure 2).

Les essais se sont déroulés dans une grande salle de cours. Dans chaque coin de cette pièce un atelier dédié à l'une des méthodes a été installé. Dans le premier coin devant la porte, un point accueil a été mis en place. 106 militaires, masculins uniquement, ont participé à cette expérience. La moyenne d'âge est de 28 ans ( $\pm$ ). L'ordre de passage des différents tests a été déterminé de façon aléatoire pour chaque sujet. La durée totale du protocole était d'environ 20 minutes.



Figure 3: Méthode 1 avec l'utilisation des embouts tympanométriques.

## 2.1 Description des méthodes utilisées

**La Méthode 1**, consiste à utiliser des embouts tympanométriques (voir figure3) à usage unique (sans besoin d'un tympanomètre) pour estimer au mieux la taille adéquate. La taille de l'embout tympanométrique retenue est la plus petite taille montrant une légère résistance à l'insertion et un maintien lors de sauts, de mouvements de tête et de mâchoire

La taille de l'embout retenue va permettre de définir la taille du bouchon d'oreille selon le critère ci-dessous :

- Pour les tailles 10 et 11 mm, la taille small (S) est choisie
- Pour les tailles 12 et 13 mm, la taille medium (M) est choisie
- Pour les tailles 14 et 16 mm, la taille large (L) est choisie

**La Méthode 2** se base sur la vérification de la bonne mise en place des protections par un système commercial qui permet d'estimer, *in situ*, l'atténuation réelle d'un protecteur inséré dans un conduit auditif. Ce système se base sur une application de la procédure F-MIRE (field microphone in real ear) réalisé dans un endroit calme. Le test consiste à exposer le sujet à un bruit large bande émis par un haut-parleur connecté à un ordinateur. Le sujet est face au haut-parleur alors qu'il porte un bouchon d'oreille 3M<sup>TM</sup> traversé par une sonde microphonique. Une seconde voie contenant un microphone miniature est placé près de l'oreille vers l'extérieur. L'affaiblissement est défini comme la différence entre le niveau sonore mesuré à l'extérieur et celui mesuré sous la protection. En pratique, l'affaiblissement des trois tailles de bouchons est mesuré par un logiciel. La taille choisie par cette méthode est celle qui a donné le meilleur affaiblissement. Si aucune taille ne donne un affaiblissement supérieur à 16 dB alors aucune taille n'est choisie.

**La Méthode 3** utilise le prototype présenté dans la section 1 / l'introduction. Les sujets ont vérifié à l'aide de celui-ci, pour les trois tailles, si le bouchon provoque un défaut d'étanchéité. La taille choisie est celle qui a obtenu deux LEDs vertes ou, au pire, deux orange. Si plusieurs tailles ont donné deux LEDs vertes alors la plus confortable est choisie.

## 2.2 Résultats

Sur chaque sujet et pour chaque méthode, la durée pour déterminer la taille adéquate du bouchon d'oreille a été mesurée.

Tableau 1: Durée moyenne pour chaque méthode.

	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3
a.m./ 1er jour	3'22''	6'23''	3'44''
p.m./ 1er jour	2'45''	6'45''	3'59''
a.m./2ème jour	3'07''	6'16''	3'49''
p.m./2ème jour	3'29''	4'54''	4'19''

Temps moyen	3'13''	6'08''	3'56''
-------------	--------	--------	--------

Le Tableau 1 donne la durée moyenne pour chaque méthode pour chaque demi-journée (a.m., p.m.). On observe que la méthode 2 prend plus longtemps pour choisir la taille du bouchon d'oreille. La méthode 1 est la plus rapide. La méthode 3 est intermédiaire mais les durées sont proches de celles de la méthode 1.

La Figure 4 montre l'histogramme de la distribution des tailles des embouts tympanométriques. Cette figure montre que la répartition des embouts est une distribution gaussienne centrée sur la taille 13mm. Pour la méthode 1, nous avons donc obtenu une forte majorité de taille medium (M).

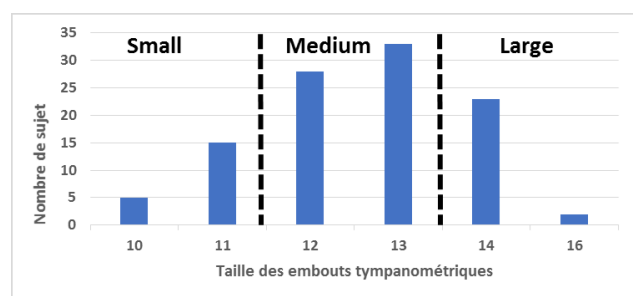


Figure 4: Répartition de la taille des embouts tympanométriques sur les 106 sujets.

Pour la méthode 1, une taille du bouchon d'oreille pour tous les sujets a pu être déterminée. Par contre, pour la méthode 2, la taille de 14 sujets n'a pas pu être identifiée. En effet, pour ces sujets, la limite des 16 dB d'atténuation n'a pu être atteinte pour aucune la taille testée. Pendant cette expérience une deuxième tentative n'a pas pu être réalisée en raison du manque de temps (la méthode 2 étant déjà la méthode la plus lente des trois). Avec cette méthode, comme avec la méthode 1, la taille la plus souvent choisie est medium (M).

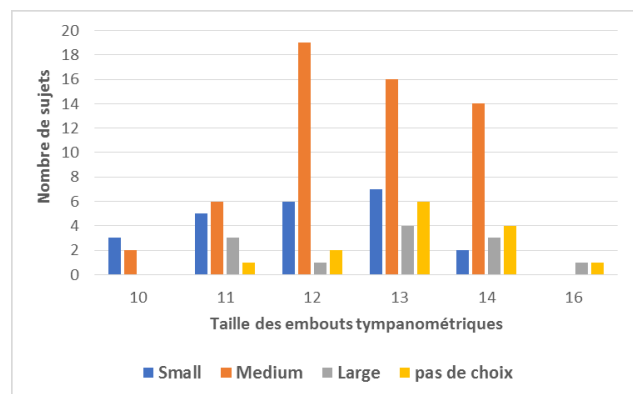


Figure 5: Répartition de la taille choisie par la méthode 2 en fonction des tailles d'embouts déterminées lors de la méthode 1.

La Figure 5 représente le choix de la taille obtenue avec la méthode 2 selon la taille des embouts de tympanométrie obtenue avec la méthode 1. Cette figure montre qu'indépendamment de la taille de l'embout tympanométrique, il est possible d'avoir trois tailles avec la méthode 2, à l'exception des tailles extrêmes (10 et 16). La méthode 1 et 2 ont permis d'obtenir la même taille pour seulement 53 sujets (50%).

Pour la méthode 3, 25 sujets (23,5 %) ont obtenu à chaque fois les deux LEDs vertes pour les trois tailles. Dans ce cas le choix de la taille a été réalisé selon le confort. Dans la majorité des cas (85 %) la taille M a été choisie, comme pour les autres méthodes. Comme avec la méthode 2, pour certains sujets, la taille du bouchon d'oreille n'a pas pu être identifiée. En effet pour 8 sujets les LEDs sont restées rouge pour toutes les tailles, même si, dans ce cas, les mesures ont été répétées plusieurs fois de suite. Avec cette méthode, nous avons obtenu plus de grandes tailles qu'avec les deux autres méthodes. La Figure 6 représente le choix de la taille obtenue avec la méthode 3 selon la taille des embouts tympanométriques obtenue avec la méthode 1. Cette figure montre qu'indépendamment de la taille des embouts, il est possible d'avoir les trois tailles sauf pour l'embout le plus grand (16mm). Seulement 48 sujets (45,3 %) ont obtenu la même taille entre la méthode 1 et la méthode 3.

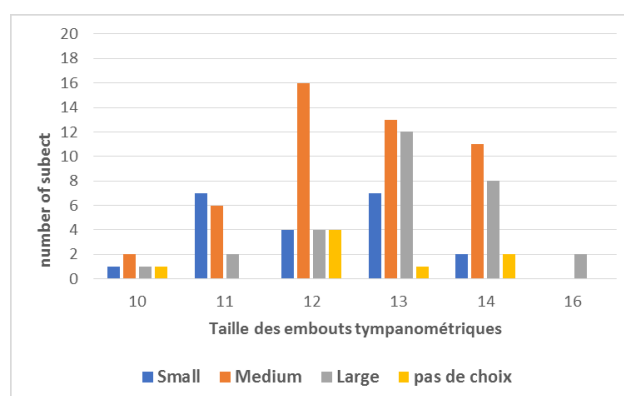


Figure 6: Répartition de la taille choisie par la méthode 3 en fonction des tailles d'embouts déterminées lors de la méthode 1.

La figure 7 donne la répartition des tailles attribuées aux 106 sujets selon chaque méthode testées. Cette figure montre que la taille medium (M) est la plus choisie.

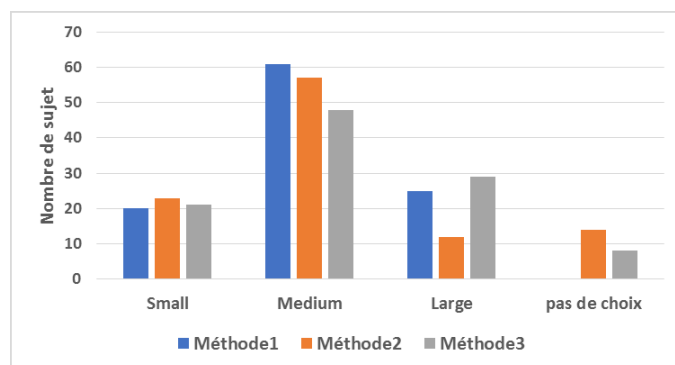


Figure 7: Répartition de la taille choisie du bouchon d'oreille en fonction des méthodes.

## 2.1 Discussion

Ces résultats montrent qu'il n'y a aucune corrélation évidente entre la taille du bouchon d'oreille obtenue avec les trois méthodes. La taille "medium M" est choisie principalement par toutes les méthodes. La première colonne du tableau 2 donne l'accord entre les méthodes sur 106 sujets testés. Le tableau montre que pour seulement 25 % des sujets toutes les méthodes donnent la même taille.



Cette faible corrélation est probablement due au fait qu'avec la méthode 2 et la méthode 3, pour certains sujets, la taille des bouchons n'a pas pu être identifiée (14 sujets pour la méthode 2 et 8 sujets pour la méthode 3). Parmi ces sujets, deux seulement n'ont pas pu identifier une taille de bouchon d'oreille avec ces deux méthodes. Pour ces deux sujets les bouchons d'oreille à ailettes ne semblent pas adaptés à leur morphologie. Si on supprime les 20 sujets pour lesquels une ou deux méthodes n'a pas permis d'identifier la taille du bouchon alors la cohérence entre les méthodes est donnée par la deuxième colonne du tableau 2. Dans ce cas, les trois méthodes ont identifié 3 tailles de bouchon différentes pour seulement 5 sujets sur 86.

Tableau 2: Corrélation entre les différentes méthodes

	Sur 106 sujets	Sur 86 sujets
Toutes les méthodes donnent la même taille	25,5 %	27,9 %
Méthode 1 et Méthode 2 donnent la même taille	24,5 %	23,3%
Méthode 1 et Méthode 3 donnent la même taille	19,8 %	19,8%
Méthode 2 et Méthode 3 donnent la même taille	21,7 %	23,3%
Les trois méthodes donnent une taille différente	8,5 %	5,8%

Ces données montrent qu'il est difficile de trouver une méthode qui permette le choix d'une taille adéquate de bouchon d'oreille. Le faible accord entre les 3 méthodes peut être dû au fait que, avec les méthodes 2 et 3, le résultat dépend non seulement de la taille du bouchon, mais aussi de la façon de l'insérer. Ces tests ont permis la mesure de la dispersion inter-individuelle des différentes méthodes. Il serait intéressant d'effectuer d'autres essais pour mesurer la dispersion intra-individuelle afin d'évaluer la répétabilité des méthodes 2 et 3.

### 3 Validation du prototype

Une deuxième série d'essais a été réalisée afin de mesurer l'atténuation obtenue par méthode REAT pour différentes configurations d'allumage des LED du boîtier de la méthode 2.

#### 3.1 Protocole

Tous les sujets ont réalisé deux mesures du seuil d'audition tête nue (sans protecteur) qui seront moyennées. Les mêmes sujets ont réalisé également deux mesures de seuils équipés du système permettant de mesurer la bonne étanchéité du bouchon dans le conduit avec les trois tailles d'embouts. Entre chaque mesure les bouchons sont enlevés et remis dans le conduit auditif externe. Aucune instruction n'est donnée au sujet concernant la mise en place des bouchons dans l'oreille. Une mesure d'étanchéité est faite avec le prototype lorsque les bouchons sont en place dans le conduit auditif externe. Cette mesure est refaite après le test pour garantir que la protection auditive n'a pas bougé lors de la mesure du seuil d'audition. Les couleurs des LEDs

sont sauvegardées. Six combinaisons (oreille gauche-oreille droite) sont possibles :

- Vert – Vert (VV)
- Vert - Orange (VO)
- Orange –Orange (OO)
- Vert – Rouge (VR)
- Orange – Rouge (OR)
- Rouge – Rouge (RR)

Dix sujets (5 hommes et 5 femmes) ont participé au test. Une mesure audiométrique sous casque est réalisée pour vérifier que les seuils audiométriques sont inférieurs ou égaux à 20 dB HL pour chacun des 10 sujets.

### 3.2 Résultats

Comme pour la campagne d'essais, pour certains sujets la combinaison VV s'est allumée pour les six mesures (3 tailles x 2 répétitions). Deux sujets (sujet 6 et sujet 7), ont obtenu 6 fois la combinaison VV et un autre sujet (Sujet 9) cinq fois la combinaison VV et une combinaison VO. Pour ces trois sujets, le prototype n'a pas détecté de défauts d'étanchéité quelle que soit la taille des ailettes du bouchon d'oreille. La Figure 8 donne les six seuils d'audition en fonction de la taille pour un de ces 3 sujets. Sur cette figure, les seuils additions avec les bouchons d'oreilles sont les 6 courbes entièrement vertes (lignes et marqueurs), la courbe bleue est le seuil d'audition sans les bouchons d'oreille. Sur cette figure on observe que le seuil d'audition avec le bouchon d'oreille ne dépend pas de la taille testée. Elle montre également que le seuil d'audition avec les bouchons d'oreille est plus important que celui obtenue sans protection. Dans cette condition le sujet est correctement protégé avec les trois tailles de bouchon d'oreille. Les mêmes observations peuvent être dites pour les deux autres sujets. Ces trois sujets peuvent donc choisir n'importe quelle taille de bouchon d'oreille, et ils seront correctement protégés.

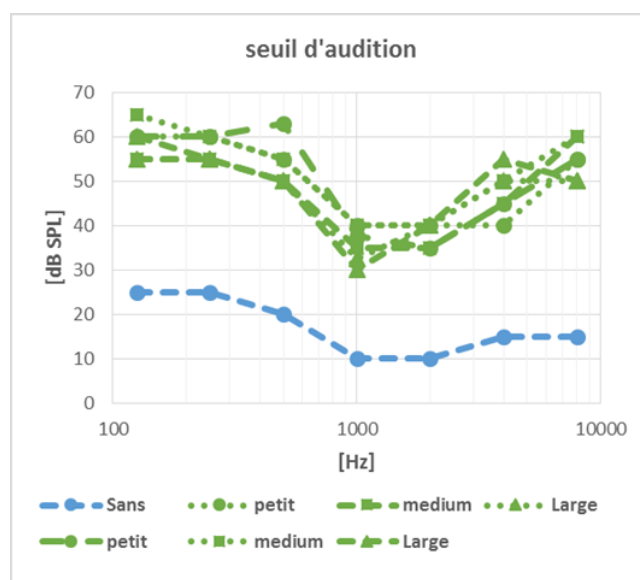


Figure 8: Seuil d'audition pour un des deux sujets à avoir obtenu deux LEDs vertes quelle que soit la taille du bouchon d'oreille (rond pour Small, Carré pour médium et triangle pour Large). La courbe bleue représente son seuil d'audition sans bouchon d'oreille.

Pour les 7 autres sujets, différentes configurations sont apparues. On constate sur ces 7 sujets que le seuil

d'audition avec les bouchons est le plus élevé lorsque les deux LEDs vertes sont allumées (VV) et les plus faibles quand les deux LEDs rouges sont allumées (RR). Le sujet est mieux protégé lorsque le système ne détecte pas de défaut d'étanchéité. La figure 9 présente les seuils auditions obtenus sur un de ces 7 sujets. Ce sujet a obtenu différentes couleurs de LED. Sur cette figure la couleur des courbes correspond aux couleurs des LEDs. Par exemple pour la combinaison VO la ligne est verte et le marqueur est Orange. On constate que le seuil d'audition tend vers le seuil avec les oreilles nues lorsque les LEDs sont rouge. Dans ce cas le sujet n'est pas correctement protégé. Sur cette figure on observe que les seuils dans le cas de la combinaison VO est très aux seuils dans le cas de la combinaison VV. Pour ce sujet, la taille Large est préconisée puisqu'il a obtenu pour cette taille la combinaison VV et VO.

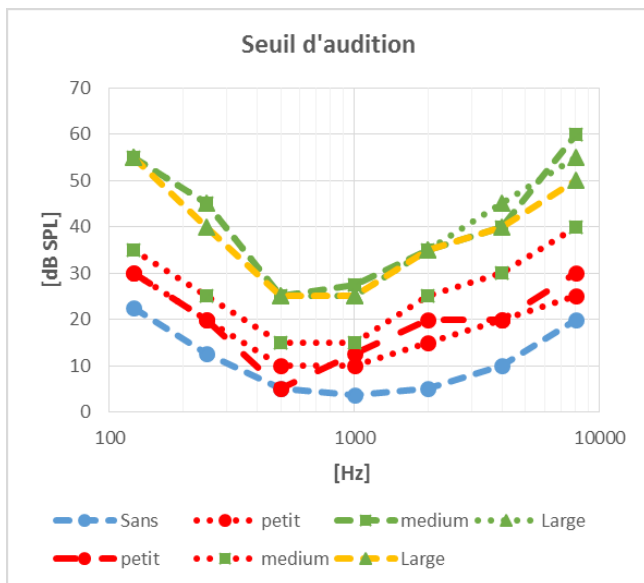


Figure 9: Seuil d'audition pour un des sujets à avoir obtenu différentes couleurs de LED en fonction des tailles testées (rond pour Small, Carré pour médium et triangle pour Large). La couleur des courbes correspond aux couleurs des LEDs.

A l'aide de ces différentes mesures de seuil, on a estimé pour chaque configuration l'affaiblissement des bouchons. L'affaiblissement correspond à la différence entre le seuil d'audition avec et le seuil d'audition sans bouchon d'oreille. Certaines configurations sont apparues peu de fois comme par exemple la configuration Orange-Orange (OO) qui n'est présente que 2 fois.

La Figure 10 donne l'affaiblissement mesuré (mesure REAT) pour les 6 configurations. Les carrés noirs sont les valeurs APV (Valeur de la protection estimée) données par 3M<sup>TM</sup> pour le « Combat Arms Earplug », bouchon de référence de l'armée française en position fermée. Sur cette figure on constate que :

- pour la configuration Vert-Vert (VV) l'atténuation des bouchons d'oreille est la plus grande. Cet affaiblissement est aussi bon que les données du constructeur.
- pour la configuration Rouge-Rouge (RR) l'atténuation des bouchons d'oreille est la plus

faible. Plus les LEDs tendent vers le rouge et plus l'atténuation des bouchons est faible.

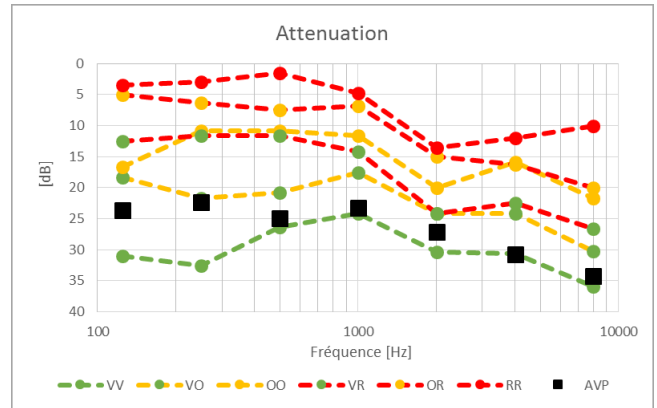


Figure 10: Moyenne des affaiblissements (REAT) pour toutes les configurations obtenues. La couleur des courbes correspond aux couleurs des LEDs. Les points noirs sont les valeurs APV donnée par 3M.

Ces essais ont permis de mettre en évidence que lorsque le système ne détecte pas de fuite acoustique les utilisateurs sont suffisamment protégés. En effet, l'affaiblissement correspond aux données du constructeur.

## 4 Complément

Une nouvelle campagne de tests a été réalisée avec des sujets différents lors d'une incorporation. Lors de la dotation des bouchons d'oreille, les recrues ont dû choisir leur taille de bouchon d'oreille en utilisant l'outil 3M<sup>TM</sup> (une méthode qui s'approche de la méthode 1) présenté sur la figure 11. Lors de leur passage à l'infirmierie, un expérimentateur a vérifié, avec le même outil, la taille choisie par le militaire. Par la suite la taille a été évaluée avec le prototype permettant de détecter un défaut d'étanchéité.



Figure 11: outils 3M<sup>TM</sup> permettant de déterminer la taille adéquate.

30 recrues ont participé à cette campagne dont les résultats sont expliqués ci-dessous:

- 50 % des sujets n'ont pas identifié la bonne taille de bouchon d'oreille ce qui indique qu'avec l'outil 3 M (ou la

méthode1) il est difficile de déterminer seul la bonne taille de bouchon d'oreille.

- Pour 15% des sujets, l'expérimentateur n'a pas identifié la bonne taille de bouchon d'oreille : En effet la validation avec le prototype n'a pas validé la taille choisie ou validée par l'expérimentateur.

Concernant la validation avec le prototype :

- 16 sujets ont validé dès la première mesure la taille validée par l'expérimentateur.
- 9 sujets ont validé à la deuxième mesure la taille validée par l'expérimentateur après leur avoir expliqué comment mettre un bouchon d'oreille.
- 5 sujets ont validé après avoir changé la taille validée par l'expérimentateur.

Cette dernière campagne nous a montré qu'environ 30 % des jeunes militaires ne savent pas mettre leur bouchon d'oreille.

## 5 Conclusion

Le tableau 3 compare les 3 méthodes testées lors de la campagne d'essais en fonction de 3 critères : i) la difficulté d'utilisation seul, ii) le prix et iii) la durée. Ce tableau montre que la méthode 3 utilisant notre prototype est un bon compromis pour évaluer la taille des bouchons d'oreille.

Tableau 3: Comparaison des méthodes

	Méthode1	Méthode2	Méthode3
Difficulté d'utilisation seul	++	+++	+
Prix	€	€€€	€€
Durée	+	++	+

En conclusion, ce système (méthode 3) de mesure peut être un outil pédagogique très efficace afin de permettre aux utilisateurs de s'entraîner à mettre correctement les bouchons d'oreille de manière autonome sans nécessiter une pièce au calme. Il permet également de faire le choix de la taille du bouchon la mieux adaptée pour une atténuation auditive optimisée ce qui est l'objectif principal envisagé dans cette étude.

## Remerciements

Nous remercions tous les sujets volontaires qui ont participé aux différents essais. Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un groupe de travail (GT AS 12-04) mis en place par la direction générale de l'armement (DGA) et l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) avec un soutien fort de la section technique de l'armée de Terre (STAT) et des intervenants de l'état-major de l'armée de terre (EMAT).

## Références

- [1] DIRECTIVE 2003/10/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit), Journal officiel de l'Union européenne, L42/38, 15.2.2003
- [2] Norme 7029-1984 ISO Seuil normal d'audition par conduction aérienne en fonction de l'âge et du sexe pour les personnes otologiquement normales.
- [3] Norme NF EN ISO 4869-2 – Protecteurs individuels contre le bruit. Partie 2 : Estimation des niveaux de pression acoustique pondérés A en cas d'utilisation de protecteurs individuels contre le bruit. Paris - La Défense, AFNOR, août 1995, 13p.
- [4] Norme NF EN 24869-1 - Protecteurs individuels contre le bruit; Partie 1 : Méthode subjective de mesurage de l'affaiblissement acoustique. Paris - La Défense, AFNOR, février 1993.
- [5] Norme EN ISO 11904-1 - Acoustique- 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). Paris-La défense, AFNOR, 2002.
- [6] ISO 4869-2 (1994). Acoustics Hearing Protectors Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn. International Organization for Standardization. Geneva, 1994.
- [7] KUSY A. Affaiblissement acoustique in situ des protecteurs individuels contre le bruit – Étude bibliographique. Hygiène et sécurité du travail – 3ème trimestre 2008 - ND 2295 – 212 – 08,
- [8] Casanova F, Saroul N and Nottet J-B, Prévention des traumatismes sonores aigus à l'unité. Résultats d'une enquête menée auprès de 1315 militaires en activité dans l'armée de Terre. [Journal] // médecine et armées. - 2011 - n°1 : Vol. 39. - pp. 63-69. - médecine et armées
- [9] Technical Datasheed - E-A-R™ Push-Ins™ Earplugs. EU\_Master\_01. 3M™ Occupational Health & Safety Products. 2009.