

Les équipements de protection individuelle contre le bruit en milieu opérationnel militaire

Partie 2 : Dualité protection et communication

Pascal Hamery, Karl Buck,
Véronique Zimpfer

Institut Franco Allemand
de Recherches de Saint Louis (ISL)
5, rue du Général Cassagnou
68301 Saint-Louis
France
E-mails : pascal.hamery@isl.eu
karl.buck@isl.eu
veronique.zimpfer@isl.eu

Résumé

Les développements de nouveaux protecteurs auditifs visent à fournir une protection auditive suffisante quand le soldat est exposé au bruit sans entraver ses capacités d'audition et de perception de l'environnement acoustique. Simultanément à l'augmentation des capacités de protection des équipements de tête, il est nécessaire d'améliorer l'intelligibilité des communications audio en ambiance bruyante. Cet article décrit les principaux types de protecteurs auditifs envisagés pour les applications militaires, dont les bouchons d'oreilles à atténuation dépendante du niveau de bruit (passif) et les systèmes talk-through.

Abstract

The goal for the development of new Hearing Protection Devices (HPD) is that they have to provide sufficient hearing protection when the soldier is exposed to noise, and not to impede the hearing capabilities to perceive the acoustic environment. Simultaneously with the increase of the protective capacity of acoustic head equipments, it is necessary to improve the intelligibility of communications in noisy environments. This article presents the main characteristics of various HPDs envisaged for the military applications involving the "level dependent earplugs" and the Talk-through systems

L'audition permet de localiser une menace sans le besoin de l'avoir vue. C'est aussi un canal de communication qui permet de transmettre des informations au soldat pris par ailleurs à d'autres tâches (par ex. les tâches visuelles, les tâches de manipulation). D'autre part, ce sens est très vulnérable et peut être détruit quand il est exposé à des bruits impulsifs ou continus avec des niveaux acoustiques élevés.

D'après les conclusions d'une étude épidémiologique sur les Traumatismes Sonores Aigus (TSA) qui s'est déroulée entre 2005 et 2007 [1], il est estimé que, si les victimes de TSA portaient des protections d'oreilles de façon efficace et adaptée dans les écoles et dans les camps d'entraînement, près de 425 TSA, soit un cas sur trois, pourraient être évités chaque année.

La protection auditive permet d'atténuer le bruit (afin d'obtenir au niveau de l'oreille le niveau de protection ad hoc),

mais son utilisation peut également réduire l'efficacité opérationnelle en raison de l'atténuation de la perception de l'environnement acoustique. Cette contradiction est un problème difficile à résoudre. Les développements de nouveaux protecteurs auditifs visent à fournir une protection auditive suffisante en milieu bruyant sans entraver les capacités d'audition dans un environnement silencieux. En effet, il a été montré [2] que le succès d'une mission est directement lié à l'intelligibilité de la communication (Figure 1), d'où l'importance de développer des technologies permettant des communications verbales optimisées pour chaque contexte opérationnel.

Une protection auditive, pour être efficace, doit avant tout être bien portée et pour cela, la difficulté la plus grande est de transmettre le plus largement possible la bonne information sur les protecteurs et de convaincre de l'efficacité du port de tel ou tel protection.

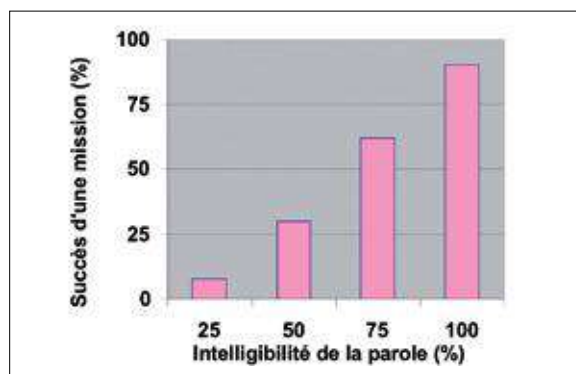
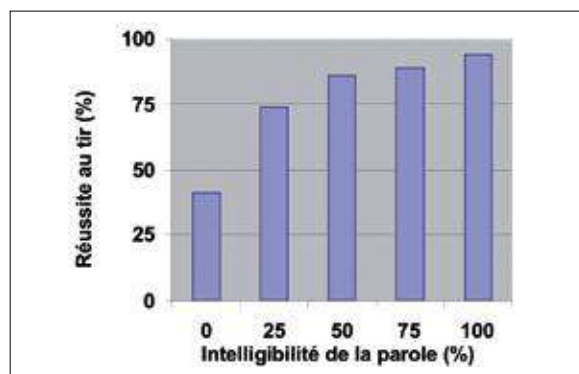


Fig. 1 : Succès d'une mission (%) et réussite au tir (%) en fonction de l'intelligibilité de la parole (%) (Garinther, US Army Research Laboratory)

Quand on parle de protecteurs auditifs, on distingue deux grandes familles de protecteurs :

- les protecteurs de type casques ou serre-tête : ce type de protecteur isole l'oreille dans son intégralité des bruits extérieurs par l'intermédiaire d'une coque assemblée à un coussinet en appui sur le tour de l'oreille, le tout étant maintenu par un arceau autour de la tête.
- les protecteurs de type bouchon d'oreille : pour ce type de protecteur, l'isolation des bruits extérieurs est faite par occlusion du conduit auditif au moyen de matériaux souples aptes à être insérés dans le conduit sans provoquer d'irritations.

Dans chacune de ces deux familles, on trouve des protections auditives dont l'atténuation est fixe et d'autres dont l'atténuation dépend du niveau de bruit extérieur. Ces atténuations peuvent être totalement passives mais peuvent également être contrôlées par des éléments actifs.

Les casques passifs

L'atténuation d'un casque passif est essentiellement liée à ses caractéristiques mécaniques (masse de la coque, caractéristiques du matériau, volume résiduel sous la coque...). La figure 2 montre une courbe typique d'atténuation ou perte d'insertion (IL : Insertion Loss) en fonction de la fréquence pour un casque passif. Cette courbe peut être séparée en deux bandes fréquentielles pour lesquelles les paramètres physiques gérant l'atténuation sont différents. On constate que ces protecteurs sont inefficaces en très basses fréquences (<150 Hz) et possèdent une bonne atténuation à partir de 500 Hz. L'atténuation de ce type de protecteur ne dépend pas de l'environnement acoustique. Cette protection va donc atténuer de la même manière le bruit et les signaux de parole. Par conséquent, il est très difficile de communiquer verbalement avec ce type de protection, ce qui peut poser des problèmes de sécurité et de compréhension des ordres. La communication pourra se faire via un système de radiophonie si le casque contient un haut-parleur, ce qui est le cas pour un certain nombre de postes spécifiques.

Les bouchons d'oreille passifs

L'atténuation d'un bouchon d'oreille passif est essentiellement liée aux caractéristiques mécaniques du bouchon (masse du bouchon, matériau le constituant, qualité de l'interface entre le conduit auditif et le bouchon...). C'est la protection la plus employée dans le domaine militaire sous l'appellation Bouchons Anti-Bruit (BAB) et qui, de nos jours, est souvent un bouchon à ailettes en matière silicone existant en trois tailles.

L'atténuation typique d'un bouchon d'oreille passif est représentée sur la figure 3. On peut voir que, lorsque le bouchon d'oreille est bien inséré dans le conduit auditif (courbe en trait continu), l'atténuation basse fréquence est très bonne (30 dB jusqu'à 300 Hz). Cependant, si le bouchon d'oreille n'est pas bien positionné dans le conduit, ses caractéristiques d'atténuation seront dégradées dans les basses fréquences (ligne pointillée sur la figure 3).

En effet, la perte de performance dans les basses fréquences est essentiellement due à la fuite acoustique provoquée par la mauvaise mise en place du bouchon.

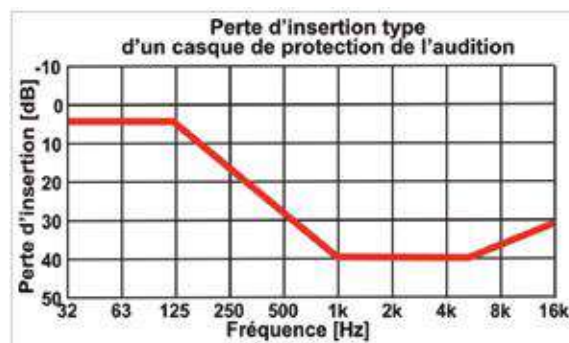


Fig 2 : Perte d'insertion sur la gamme de fréquences audibles pour un casque passif à des pressions modérées (< 150 dB Peak)

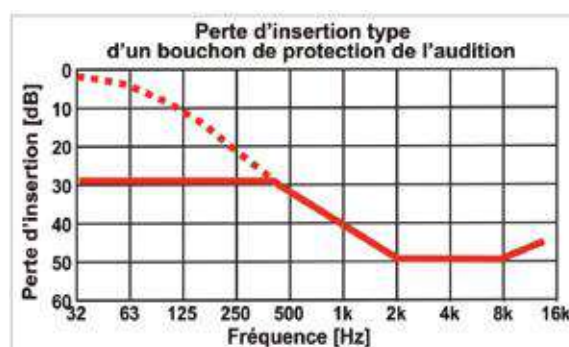


Fig. 3 : Perte d'insertion sur la gamme de fréquences audibles d'un bouchon d'oreille passif pour des pressions modérées (< 150 dB Peak). Ligne continue : bouchon bien inséré, Ligne pointillée : bouchon mal inséré

On constate que l'efficacité des bouchons passifs en basses fréquences est plus importante que celle des casques passifs, à condition qu'il soit bien mis en place. Comme pour le casque passif, et pour les mêmes raisons, il est très difficile de communiquer verbalement avec ce type de protection.

Les protections à atténuation active

Les protecteurs équipés d'un système à atténuation active du bruit (ANR : Active Noise Reduction) sont habituellement conçus pour améliorer l'atténuation des casques passifs dans les basses fréquences. Dans la plupart des véhicules militaires, les composantes basses fréquences représentent la contribution la plus importante au bruit global. Les bruits de basses fréquences restent donc gênants, voire dangereux. En effet, lorsqu'un signal de phonie est appliqué sous le protecteur (cas où le casque est muni d'un haut-parleur), le masquage de l'information utile (par les basses fréquences) conduit le sujet à augmenter considérablement le niveau du signal phonie jusqu'à atteindre des niveaux plus importants que ceux du bruit présent dans le milieu extérieur.

Il est possible d'atténuer un bruit en produisant simultanément un signal acoustique de même amplitude que ce bruit, mais en opposition de phase. Afin de garantir la stabilité du système, il est donc nécessaire d'ajouter un filtre de compensation dans la boucle de contre-réaction comme le montre le schéma de la figure 6.



Fig. 5 : Exemples de modèles de protecteurs auditifs à atténuation dépendant du niveau de bruit récemment utilisés par les militaires

Ce principe est régulièrement implémenté dans un casque qui, dans ce cas, permet d'améliorer l'atténuation en basses fréquences. La plupart des systèmes actifs du commerce sont en technologie analogique. La dernière décennie a vu un procédé algorithmique (brevet ISL) se développer, permettant de travailler en numérique [3]. Le casque CABA (ELNO) porté par les pilotes de char (bruit continu de fort niveau dans les basses fréquences <200 Hz) est un casque à atténuation active qui est en train d'être équipé de cette dernière technologie.

Les protections à atténuation dépendant du niveau de bruit (passif)

Dans de nombreuses situations et divers environnements au sein de la communauté militaire, il est souvent très important que les soldats puissent communiquer, percevoir et interpréter leur environnement sonore. Mais ils doivent également être protégés contre les bruits d'armes, lesquels représentent la plus grande menace pour le système auditif.

Dans les situations d'exposition au bruit impulsionnel, un bouchon d'oreille à atténuation dépendant du niveau de bruit (nonlinéaire en fonction du niveau) est très adapté [4]. Ce type de protecteurs (figure 4) ne protège l'oreille que contre les bruits impulsionnels de fort niveau, et autorise en parallèle une perception très peu altérée dans le cas de sources sonores de niveau modéré. L'atténuation de ce type de protecteur dépend donc du niveau du bruit comme le montre la figure 5 (bas).

Ce type de protection permet une communication verbale directe entre deux individus. Le principe de non linéarité en fonction du niveau de bruit extérieur est lié à l'impédance acoustique non linéaire d'un petit orifice. La résistance acoustique d'un tel protecteur est proportionnelle à la vitesse particulière acoustique au sein de l'orifice et est d'autant plus grande que cette vitesse augmente. Les mécanismes sont voisins de ceux de la mécanique des fluides. Ainsi, pour des petits niveaux de bruits, l'orifice est presque transparent acoustiquement (du fait d'écoulement laminaire), alors que pour des niveaux d'impulsions très forts, il est pratiquement «acoustiquement fermé» (du fait d'écoulement turbulent). Ces bouchons d'oreilles sont maintenant en dotation chez les militaires français, allemands, anglais, belges, israéliens et américains.

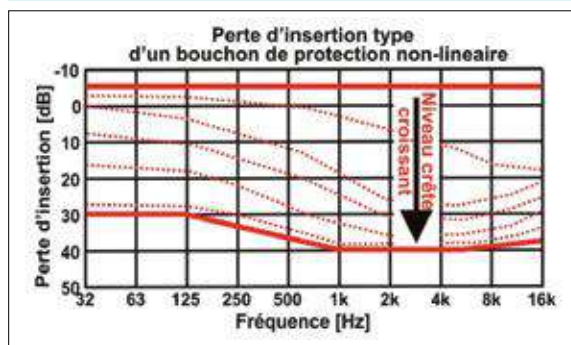
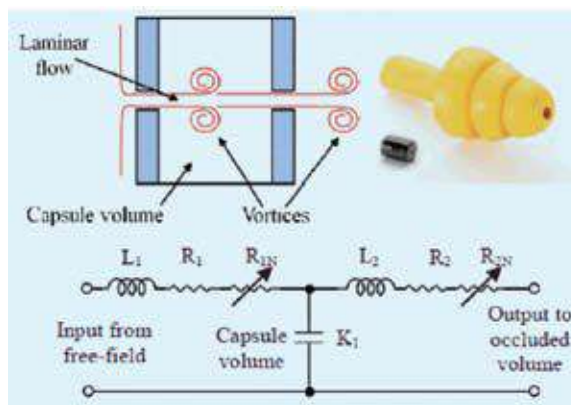


Fig. 5 : haut : schéma du mécanisme d'atténuation non linéaire reposant sur la mécanique des fluides (écoulement laminaire ou turbulent). Bas : Perte d'insertion d'un bouchon d'oreille avec une atténuation non linéaire. L'atténuation dépend des niveaux de bruit (lignes pointillées)

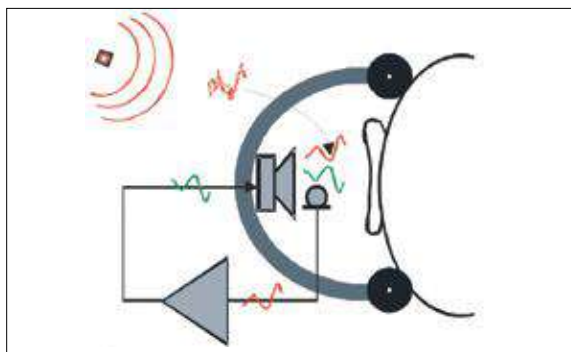


Fig. 6 : Schéma de principe simplifié d'un système à atténuation active du bruit. Un asservissement de la pression à l'intérieur du protecteur est réalisé au moyen d'un haut-parleur alimenté par le signal délivré par un microphone, via une boucle de rétroaction ; un contre-bruit peut être ainsi opposé au bruit existant afin de l'atténuer

Les protections *talk-through*

Les systèmes à coupure électronique (*talk-through*) sont conçus pour permettre une protection tout en autorisant la communication à l'aide de microphones extérieurs positionnés sur le protecteur. Ces protecteurs présentent également une atténuation dépendant du niveau du bruit (électronique). L'environnement extérieur (bruit, parole...) est capté par un microphone et retransmis dans la cavité du protecteur à l'aide d'un haut-parleur. Afin de garantir le même niveau sonore sous la protection, le gain diminue lorsque le niveau sonore ambiant augmente.

Pour permettre une protection face aux bruits impulsionnels de fort niveau (le niveau crête d'une arme de petit calibre est d'environ 160 dB), les systèmes *talk-through* possèdent une limitation en amplitude au sein de l'amplificateur du haut-parleur. Ainsi, ce type de protecteur est considéré comme un protecteur passif pour les niveaux de bruit supérieurs à la limitation imposée par le système électronique (écrêtage ou/et compression). Ces systèmes à coupure électronique existent sous forme de casque et on trouve maintenant des bouchons d'oreille utilisant cette technologie. Un des sérieux avantages de ces protecteurs est que, dans une ambiance calme, l'environnement acoustique est parfaitement perçu. Il est donc possible de communiquer verbalement, ces protecteurs possédant un haut-parleur il est également possible de les connecter à un système de radiocommunication.

La double protection

On appelle une double protection la combinaison d'un casque et d'un bouchon, qu'ils soient passifs ou actifs. L'atténuation globale présentée par la double protection n'est pas la simple addition des atténuations respectives des deux systèmes mais elle est supérieure à l'atténuation d'une seule protection. L'atténuation est en effet limitée par les chemins acoustiques secondaires (conduction osseuse ou cartilagineuse). Ces doubles protections sont obligatoires pour les tirs d'armes de gros calibres et peuvent être utilisées pour des bruits continus de fort niveau afin d'augmenter la durée d'exposition.

Récemment, des servants d'armes utilisant des casques de type *talk-through* autour d'un canon de 155 mm monté sur un camion se sont vu imposer le port obligatoire d'un

bouchon d'oreille à atténuation dépendant du niveau de bruit sous le casque. Cette double protection leur assure ainsi une bonne protection pour un certain nombre de tirs par jour tout en leur permettant une communication verbale entre eux, assurant ainsi leur sécurité. La figure 7. La figure. montre l'efficacité de cette double protection pour différents niveaux acoustiques de crête d'un bruit d'arme comparée à l'utilisation d'un protecteur seul. Le tableau 1 résume sommairement le choix des différents types de protections en fonction du type de bruit rencontré.

Afin d'améliorer l'atténuation du bruit, les pilotes d'hélicoptère ou d'avion utilisent un bouchon d'oreille sous leur casque. Ils peuvent utiliser des bouchons d'oreille CEP (Communication EarPlug) qui possède un haut-parleur pouvant être branché à leur radio.

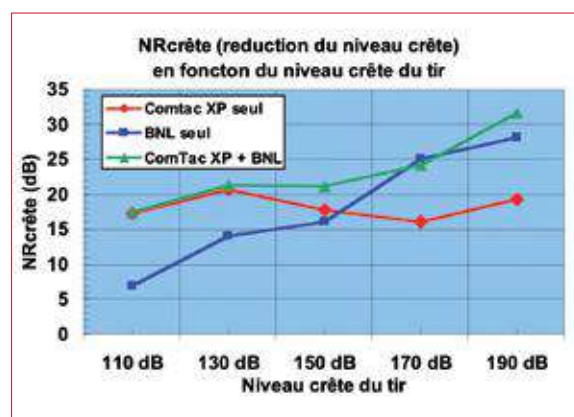


Fig. 7 : Réduction du niveau crête en fonction des niveaux crête des tirs avec une double protection (bouchon non linéaire + casque *talk-through*) comparée aux atténuations des protecteurs utilisés en simple protection

Dispositifs de mesures

Depuis les années 2000, l'ISL a développé un dispositif de mesure de type tête artificielle permettant l'évaluation de protecteurs auditifs et de systèmes de communication audio (bouchons d'oreilles ou casques) sous de forts niveaux acoustiques comme ceux occasionnés lors d'un tir d'armes.

	Protection contre les bruits			Communication	
	Bruit Impulsionnel		Bruit continu fort	directe	Via une radio
	Fort <160 dB ?	Très fort > 160 dB			
Casque passif	Oui	Non	Oui	Non	Non
Bouchon passif simple	Oui	Non	Oui	Non	Non
Casque avec ANR	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Bouchon non linéaire	Oui	Non	Non	Oui	Non
Système talk through	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Double protection	Oui	Oui	Oui	Possible	possible

Tabl. 1 : Choix des protecteurs les plus adaptés en fonction du besoin de protection et/ou de communication

Ce dispositif expérimental permet de tester les protecteurs auditifs dans des conditions réalistes et reproductibles. Ce principe de mesure est l'un des deux cités dans la dernière révision de la norme ANSI/ASA-S12.42-2010 sur la mesure des performances des protecteurs auditifs vis-à-vis du bruit impulsionnel.



Fig. 8 : Tête artificielle acoustique ISL conforme à la norme ANSI/ASA-S12.42-2010

Cet équipement est actuellement le seul dispositif anthropométrique utilisable dans le cas de bruits d'armes (jusqu'à 190 dB crête) et permettant une grande dynamique de mesure (70 dB de 100 à 10 000 Hz). Pour être conforme à la norme ANSI/ASA-S12.42-2010, la dernière version réalisée apporte des améliorations sur deux points : d'une part, la profondeur du canal auditif a été légèrement augmentée, permettant de tester des bouchons d'oreille avec une insertion profonde et, d'autre part, un dispositif de chauffage du canal auditif a été intégré. Ce dispositif a été ajouté pour permettre une régulation de la température correspondant à $37 \pm 2^\circ\text{C}$ mesuré au niveau du simulateur d'oreille, pour des températures extérieures comprises entre 0°C et 30°C (permettant par exemple des mesures plus réalistes avec des bouchons en mousse par temps froid).

Conclusion

Les solutions existent pour protéger efficacement les militaires contre les nuisances sonores spécifiques aux différents milieux. On a vu qu'il y avait des protecteurs efficaces contre les bruits continus et d'autres contre les bruits impulsionnels, des protecteurs qui permettent une communication et d'autres pas. Une bonne connaissance des différents types de protecteurs devrait permettre d'aider à choisir la protection adéquate en fonction du type de bruit rencontré et du type de mission à réaliser. De nombreuses études visant à l'amélioration de la communication tout en assurant la protection auditive sont en cours, aussi bien sur le plan recherche que sur le plan industriel. Ces études portent sur l'implémentation de contrôles électroniques (*talk through*, ANR numérique) mais aussi sur l'amélioration de protecteurs passifs. Un des challenges actuels est de pouvoir trouver un système ergonomique permettant de passer, au sein d'un même bouchon d'oreille, d'une protection complète à une protection dépendant du niveau de bruit.

Références bibliographiques

- [1] Poncet J.L et R Migliani R., Rapport n°593/EVDG/DESPN du 22/12/08 « Traumatismes sonores aigus dans les armées. Surveillance épidémiologique 2005-2007 »
- [2] Garinther G.R., Whitaker L.A. and Peters L.J., « The effects of speech Intelligibility on Military Performance », ARL Technical Memorandum, 1993
- [3] Zimpfer V., « Amélioration du traitement numérique des signaux dans les systèmes actifs en protection auditive » Thèse INSA Lyon 2000
- [4] E. H. Berger, P. Hamery: Empirical evaluation using impulse noise of the level-dependency of various passive earplug designs. In Acoustics '08, Paris, July 2008, EAA and Acoustical Society of America (J. Acoust. Soc. Am. 123(5, Pt.2) 3528).