

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

Partie 1 : Besoins et effets physiopathologiques des bruits d'armes

William Guessard

Etat-Major des Armées
14, rue Saint Dominique
75700 Paris SP 07
E-mail : william.guessard@intradef.gouv.fr

Yvan Demumieux

Etat-Major des Armées
14 rue Saint Dominique
75700 Paris SP 07
E-mail : yvan.demumieux@intradef.gouv.fr

Marc Untereiner

Centre médical des Armées (CMA)
de Grenoble-Chambéry-Annecy
93ème RAM
38760 Varcès
E-mail : marc.untereiner@santarm.fr

Jean-Bertrand Nottet

Ecole de Santé des Armées (ESA)
331, avenue du général de Gaulle
69675 Bron CEDEX
E-mail : jean-bertrand.nottet@wanadoo.fr

Agnès Job

Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA)
Antenne de Grenoble
24, avenue des maquis du Grésivaudan
38702 La Tronche CEDEX
E-mail : ajob.crssa@gmail.com

Résumé

Les environnements sonores rencontrés par les soldats en opérations nécessitent des équipements de protection acoustique adaptés, en particulier pour se préserver des bruits d'armes. Cet article décrit d'une part les besoins opérationnels, techniques, ergonomiques, ..., les contraintes réglementaires, et d'autre part les conséquences physiologiques des bruits de forts niveaux ainsi que les nouveaux outils acoustiques pour la prévention et le diagnostic de la vulnérabilité de l'oreille au bruit

Abstract

The acoustic environments of soldiers during military operations require appropriate individual equipments for acoustic protection, in particular against weapon noises. This article describes on one hand the operational, technical, ergonomic needs, the statutory constraints and on the other hand the physiological consequences of high level noise with also new acoustic tools for prevention and diagnosis of vulnerability to noise

La protection acoustique des militaires opérant en milieu aéroterrestre est non seulement une obligation réglementaire, mais également une obligation opérationnelle, comme nous le détaillerons dans cet article. Elle doit répondre aux besoins inhérents à l'activité des opérateurs, ici les militaires à l'entraînement et en opération. Cet article a pour objectif de décrire les enjeux de l'étude du besoin opérationnel menant à la spécification de nouvelles protections.

Besoins et contraintes

La protection auditive ; une obligation réglementaire

Les effets de l'exposition professionnelle, qu'elle soit chronique ou aiguë, aux nuisances sonores sur la santé des opérateurs sont connus depuis de nombreuses années et font l'objet de recommandations médicales régulières. Ainsi, la nécessité de protéger les opérateurs contre ces nuisances est de mieux en mieux prise en compte et conduit à un renforcement de la réglementation dans ce domaine¹

qui impose aux employeurs de mettre des protections auditives à disposition des opérateurs, lorsque le niveau d'exposition sonore atteint 80 dB(A) pour le L_{Aeq} ($L_{EX,8h}$ pondéré A sur 8 heures) ou 135 dB(C) pour la pression crête, et rend obligatoire le port de ces dernières à partir de 85 dB(A) ou respectivement 137 dB(C).

Ce renforcement de la réglementation civile s'applique également aux armées. En effet, les textes régissant l'hygiène et la sécurité en milieu militaire² appuyés par une volonté politique forte³ imposent au commandement de «faire appliquer la réglementation la plus apte à assurer la sécurité et la protection de la santé des militaires, en fonction de la nature ou des conditions d'exécution des activités», ce qui inclut, entre autres, la protection contre les nuisances sonores.

1-Directive européenne 2003/10/CE du 6 février 2003 et décret d'application 2006-892 du 19 juillet 2006

2-Décret 85-755 du 19 juillet 1985 et instruction 1826/DEF/EMA/SLI/PSE du 13 septembre 2005

3-Courrier du Ministre de la Défense, en 2006, rappelant l'obligation du respect de la réglementation en termes de protection auditive

Une obligation opérationnelle

D'autres considérations, plus spécifiquement opérationnelles, imposent également aux armées de fournir les équipements de protection auditive au personnel en opération et à l'entraînement [1]. En effet, les conséquences des traumatismes sonores aigus sur l'audition (hypoacousie et acouphènes, en particulier), outre le handicap qu'ils représentent pour le patient et les conséquences financières qu'ils impliquent (ce handicap peut faire l'objet d'une pension militaire d'invalidité), ont un impact sur la capacité opérationnelle des armées. L'hypoacousie réduit la capacité du combattant à percevoir son environnement, donc à détecter les dangers potentiels. Par ailleurs, elle peut provoquer une inaptitude à certains emplois ce qui impose donc le reclassement d'opérateurs ayant suivi une formation coûteuse et le recrutement corollaire, parfois difficile, ainsi que la formation initiale longue du personnel destiné à remplacer ces combattants. C'est pourquoi la politique de mise à disposition de protections auditives vise à doter la totalité du personnel militaire. Les protections actuelles, délivrées depuis 1998, sont équipées de filtres dits «non linéaires» assurant une protection efficace contre les bruits impulsionnels de fort niveau tout en permettant le passage des sons continus de faible niveau (comme la parole). Néanmoins, d'un point de vue fonctionnel et ergonomique, ces protections ne satisfont pas les besoins opérationnels.

Un besoin opérationnel en évolution [2] [3]

Comme tout matériel, ces protections auditives individuelles doivent faire l'objet d'un renouvellement continu, après une réévaluation du besoin. Ainsi, les conditions d'utilisation des protections auditives ont évolué parallèlement aux changements observés dans les interventions en opérations extérieures. Un des signes illustrant ce besoin d'évolution des protections auditives est l'augmentation du nombre de traumatismes sonores aigus déclarés dans les armées, qui est passé de 252/100 000 à 401,4/100 000 entre 2000 et 2007 [4]. La meilleure déclaration de ces traumatismes par les médecins et, surtout, par les patients, ne doit pas masquer l'augmentation réelle des accidents liés aux bruits impulsionnels générés lors de tirs d'armes (figures 1 et 2).



Fig. 1 : Photographie d'un tir de mortier avec des têtes artificielles acoustiques pour la mesure de l'efficacité de protecteurs auditifs (photo ISL)

Cette augmentation peut s'expliquer par une modification des pratiques opérationnelles et de l'utilisation de l'armement individuel. En effet, à l'exception de la Gendarmerie, l'utilisation de l'armement se faisait, avant 2003, essentiellement au stand de tir, de façon statique. Les protections auditives en dotation sont adaptées à cette activité. L'évolution des pratiques, en opérations extérieures (l'utilisation de l'armement est plus importante depuis le début des opérations en Afghanistan) et à l'entraînement (la préparation à la projection en Afghanistan nécessite de s'entraîner à tirer en situation dynamique, en mouvement), a mis en évidence l'inadéquation des protections actuelles avec le besoin opérationnel [2]. En effet, ces protections de taille unique, finissent par tomber lors des mouvements car elles s'insèrent mal, voire douloureusement, dans un conduit auditif étroit ou ne tiennent pas dans un conduit auditif plus large [5].

Par ailleurs, comme nous l'avons déjà vu, les combattants en opération ont besoin d'entendre les bruits de leur environnement, mais, également, de communiquer par le biais des moyens de communication à leur disposition. Ce besoin impose, outre la non linéarité du filtre présent dans la protection, de pouvoir y insérer un «écouteur» permettant l'utilisation des moyens de transmission par radio.

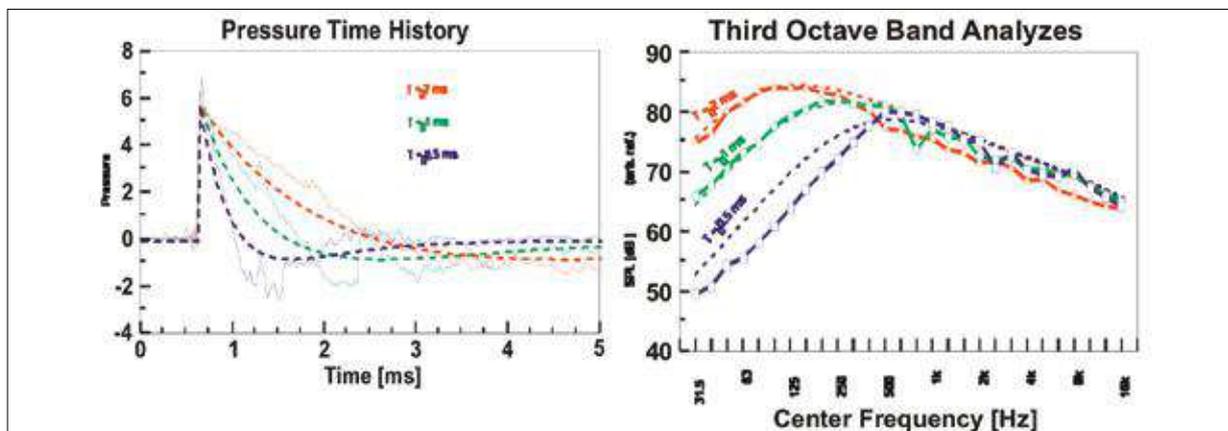


Fig. 2 : Exemple de bruit d'arme (a) et spectres en tiers d'octave correspondants (b) (bruits de même suppression pic mais différentes durées de phase positive)

Enfin, les opérations durant parfois plus de 24 heures, il est nécessaire de pouvoir supporter le port des protections auditives dans la durée. Ces dernières doivent donc être d'une dimension compatible avec celle du conduit auditif externe (idéalement moulées, malgré les inconvénients que cela peut représenter [6]) et dans un matériau souple, résistant aux agressions de l'environnement («poussières», etc.), tout en ne provoquant pas de transpiration excessive, entre autres.

Physiopathologie liée au bruit impulsionnel et protections auditives

Une pression acoustique excessive, comme celle générée lors d'un tir avec une arme à feu peut endommager les structures anatomiques de l'appareil auditif. Il en résulte ce qu'on appelle le Traumatisme Sonore Aigu (TSA). Les lésions engendrées par ces ondes acoustiques particulièrement puissantes dans la chaîne de transmission auditive sont surtout d'ordre mécanique, mais aussi métabolique. Les atteintes mécaniques directes sont les mieux connues et constituent l'effet pathologique majeur des bruits, notamment impulsionnels, sur la transduction sensorielle. En réponse à de fortes pressions acoustiques, la chaîne de transmission tympano-ossiculaire est fortement sollicitée et entraîne une fatigabilité du réflexe protecteur de l'oreille, aussi des mouvements de cisaillement et de tiraillement s'exercent sur les structures ciliaires cellulaires de l'organe de Corti situé dans la cochlée (l'organe sensoriel de l'audition). Le TSA altère les cellules externes (CCE) d'une part et les cellules internes (CCI) d'autre part ; les CCE étant de loin les plus fragiles. Les déplacements subis allant au-delà des limites d'élasticité tolérées, peuvent provoquer des ruptures ciliaires et membranaires [7]. Cependant, les bruits agissent également sur le métabolisme de la cochlée, les altérations (vacuolisations et gonflements des organites à la base des cellules) apparaissent de manière plus progressive, ce qui expliquerait l'évolution de la perte auditive plusieurs heures après la fin d'une exposition sonore. Ces altérations pourraient être en rapport avec une surcharge cytotoxique de glutamate, un neurotransmetteur excitateur [8]. (Figure 3)

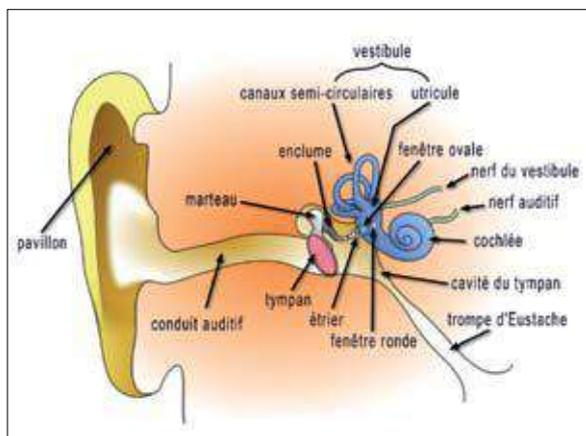


Fig. 3 : Schéma de l'appareil auditif (oreilles externe, moyenne et interne). (Image libre de droit : Originale de Dan Pickard, traduction française par B. Guillot)

Conséquences fonctionnelles auditives du bruit impulsionnel

La symptomatologie clinique du TSA est assez typée : elle associe acouphènes, hypoacousie et hyperacousie douloureuse.

L'hypoacousie

C'est une baisse de l'acuité auditive, elle est objectivée par la mesure des seuils d'audibilité dans la gamme de fréquences testée en audiométrie, généralement de 125 Hz à 8 KHz. L'effet délétère du bruit impulsionnel, diffère finalement peu de l'effet du bruit continu à la lecture d'un audiogramme. Les pertes séquellaires se situent généralement sur les hautes fréquences de 4 à 6 KHz formant parfois un véritable V caractéristique des TSA (Figure 4). Cependant dans les premières heures suivant le traumatisme, la perte de l'acuité auditive peut se faire sur l'ensemble des fréquences audibles.

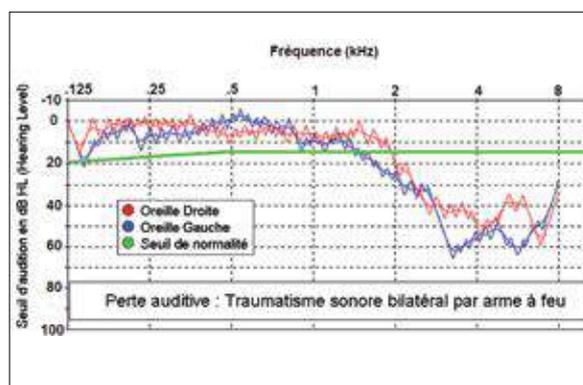


Fig. 4 : Audiogrammes de Békésy à fréquences glissantes permettant une description fine par pas de 2,5dB des altérations des seuils d'audition

Les acouphènes

Sifflements ou bourdonnements d'oreilles avec sensation de plénitude de l'oreille (oreille «cotonneuse») accompagnent quasi-systématiquement le TSA. Ce symptôme est en général temporaire après un premier traumatisme, mais peut se chroniciser au cours du temps par micro-traumatismes répétés. L'acouphène est le symptôme d'appel majeur.

Sans déclaration avérée d'un TSA, environ 30% des militaires rapportent des sifflements d'oreilles fugaces après les séances de tir. Quand l'acouphène persiste, ce symptôme peut être très invalidant sur le plan psychologique et opérationnel, il entraîne un masquage des messages sonores et ainsi un surcroît de fatigue liée à la nécessité d'une plus grande concentration et parfois, on le trouve associé à une anxiété pouvant aller jusqu'à la dépression. Ces dernières conséquences sont alimentées par le fait que le mécanisme de l'acouphène n'est pas totalement élucidé et qu'aucun traitement n'est totalement efficace.

Un consensus néanmoins existe dans la communauté scientifique quant à l'existence d'une activité aberrante observée au niveau du noyau cochléaire dorsal se transmettant dans la voie auditive jusqu'au cortex auditif.

La perte auditive temporaire et la perte auditive permanente

Les dysfonctionnements auditifs peuvent être réversibles, on parle alors de fatigue auditive caractérisée par une élévation temporaire des seuils d'audition, ou irréversibles, on parle alors de perte auditive permanente. Elle dépend essentiellement de la dose acoustique reçue. La réversibilité concerne également l'acouphène. Plus l'acouphène persiste, moins bonne est la récupération des seuils auditifs. L'importance de la perte auditive constatée lors du premier examen est toujours à interpréter en fonction du délai écoulé depuis le TSA, car l'amplitude de récupération diminue à mesure que l'on s'éloigne de l'accident initial. En moyenne l'essentiel de la récupération s'effectue dans les 4 jours suivants l'accident, sur une oreille jeune et saine, cette récupération spontanée est souvent observée d'une vingtaine de dB [9]. C'est l'altération de la touffe ciliaire, implantée au sommet des cellules ciliées, qui semble être à l'origine de la perte auditive irréversible.

Les facteurs de susceptibilité au bruit

La résistance de notre oreille au bruit ne dépend pas exclusivement de la protection portée, certaines oreilles sont particulièrement vulnérables. On sait que les otites à répétition dans l'enfance, les traumatismes crâniens, l'âge, les malformations héréditaires peuvent diminuer la résistance de l'oreille au bruit. Aussi des facteurs environnementaux comme l'exposition à des agents chimiques (pesticides, styrène, toluène etc.) et la prise de certains médicaments (quinine, cisplatine etc.) sont ototoxiques et peuvent aggraver les effets délétères du bruit [10].

Évaluation physiologique de la bonne mise en place des protections auriculaires

L'évaluation de la qualité des protecteurs acoustiques peut être réalisée de manière objective dans des laboratoires d'ingénierie. Cependant, hormis la bonne qualité d'atténuation acoustique (effet protecteur) des bouchons auriculaires deux autres paramètres sont primordiaux, facteurs clés de la prévention des TSA : la formation à la manipulation des bouchons pour leur bonne mise en place et l'accès à une taille de bouchons adaptée au conduit auditif de chacun.

Nous disposons à l'heure actuelle d'une nouvelle méthode non invasive et objective d'exploration fonctionnelle de l'audition qui permet d'évaluer la fatigabilité de l'oreille en particulier des cellules sensorielles à l'exposition au bruit ainsi que la probabilité de persistance des acouphènes. Cette méthode de mesure de la réactivité cochléaire devrait être, à l'avenir, utilisée dans des études d'évaluation *in vivo* de l'efficacité des protections. La méthode repose sur les propriétés non linéaires de la cochlée et la capacité contractile des CCE qui, lors d'une stimulation acoustique, renvoient de manière rétrograde dans le conduit auditif, une onde sonore de faible intensité captée par un microphone ultrasensible. Ce sont les otoémissions acoustiques (OEA). Une diminution de l'intensité des OEA après exposition au bruit avec le port des protections pourrait signifier une faiblesse dans le processus de protection. (Figure 5).

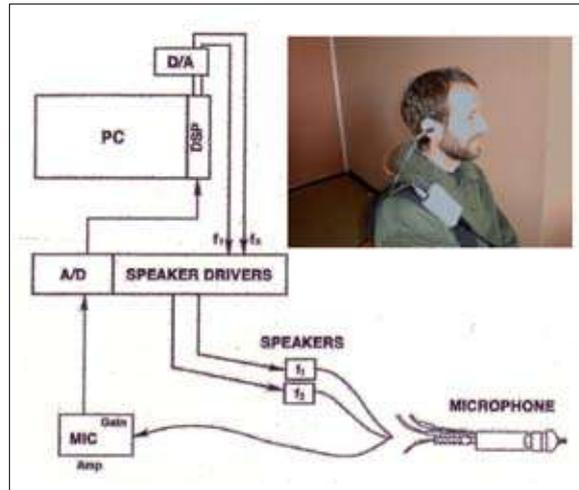


Fig. 5 : Méthodes de mesure des otoémissions acoustiques. Les otoémissions reflètent l'état fonctionnel des cellules ciliées externes (CCE) de la cochlée ainsi que l'état de l'appareil de transmission. Les propriétés contractiles des CCE après stimulation permettent la récupération par voie rétrograde dans le conduit auditif d'une partie onde sonore mesurable

Prévention : l'éducation au port des protections

L'argument essentiel rapporté pour le non port des protections est le fait que l'environnement sonore est plus feutré à cause des protections, ce qui limiterait la détection d'une menace potentielle surtout dans le cadre d'opérations extérieures (OPEX). De ce fait on observe un pourcentage non négligeable de traumatismes sonores en OPEX, cependant il a été constaté, qu'en métropole, l'armée de terre est également largement pourvoyeuse de TSA.

Un comité multidisciplinaire constitué d'opérationnels, d'ergonomes, d'ingénieurs, de médecins d'unité, de médecins ORL, d'audioprothésistes et de chercheurs en audition travaille à l'élaboration d'un outil de prévention/éducation plus efficace incluant la formation non seulement des utilisateurs mais des instructeurs au tir et des médecins d'unité sur le choix et sur le bon usage des protections. Le comité tentera de répondre aux questions essentielles, de qui et comment doit être choisie la taille du bouchon de protection et quels types de bouchons pour quel usage. En effet, les TSA constatés sont dans 33% des cas liés à une chute des bouchons auriculaires. La question de la mauvaise adaptation au conduit auditif ou de la mauvaise mise en place du bouchon peut être posée. Les deux causes peuvent être liées et seront prises en compte. Un pourcentage important de militaires interrogés sur la question rapporte avoir connu la chute de leurs bouchons en cours d'exercice de terrain (45%).

Dans le futur, une place plus grande devrait être faite à la diffusion de l'information, pour la bonne mise en place des protections, la procédure pourrait s'inscrire dans le futur dans le livret d'instruction au tir. Enfin un logiciel de simulation du traumatisme sonore devrait voir le jour pour développer une plus grande prise de conscience de l'importance de la protection de l'ouïe au bruit impulsif pour la population militaire.

Conclusion

Les exigences humaines, opérationnelles et légales présentent un défi que les évolutions techniques doivent permettre de surmonter.

Comme tout équipement militaire, les protections auditives doivent faire l'objet d'une adaptation continue pour répondre aux évolutions du besoin opérationnel. Les armées associées aux centres d'expertise et de recherches comme l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), l'Institut Saint-Louis (ISL) et la Direction générale de l'armement (DGA) sont donc en cours de spécification de nouvelles protections permettant au combattant, tout en assurant une filtration des bruits au moins équivalente à celle des équipements actuels, de préserver sa mobilité sans crainte de perdre sa protection, tout en étant en mesure de percevoir les bruits ambiants et de communiquer. Cet aspect du problème est approfondi dans la partie seconde partie.

Références bibliographiques

- [1] Taton Ph., Travers S., Paklepa B., Limas F., Journaux L., Morgand D., La protection auditive dans les forces spéciales. *Médecine et Armées*, 2009, 37, n°3, pp. 221-228
- [2] Demumieux Y., Guessard W., RETEX opérationnel et nouveaux besoins en protections auditives, Journée thématique protection acoustique et application de la normalisation européenne en milieu militaire, 1er octobre 2008, communication orale
- [3] Demumieux Y., Guessard W., Belcourt B., Fiche d'expression du besoin du bouchon antibruit de nouvelle génération. Rapport interne, 2010, non publié
- [4] Labarère J., Lemardely P., Vincey P., Desjeux G., Pascal P., Traumatismes sonores aigus en population militaire. Bilan d'une année de surveillance épidémiologique. *Presse Med* 2000 : 29, pp 1341-1344
- [5] Casanova F., Saroul N., 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. *Médecine et Armées*, 2011, 39, n°1, pp 63-69.
- [6] Renard Ch., Contraintes d'adaptation des équipements de protection individuelle contre le bruit, First european forum on efficient solutions for managing occupational noise risks, 2007, pp. 1331-1344
- [7] Mulroy MJ, Henry WR, McNeil PL. Noise-induced transient microlesions in the cell membranes of auditory hair cells. *Hear Res* 1998;115(1-2):93-100
- [8] Pujol R, Puel JL, Gervais d'Aldin C, Eybalin M. Pathophysiology of the glutamatergic synapses in the cochlea. *Acta Otolaryngol* 1993;113(3):330-4
- [9] Nottet J.-B., Moulin A., Crambert A., Bonete D., Job A. Traumatismes sonores aigus. EMC (Elsevier Masson, SAS, Paris), Oto-rhino-laryngologie, 20-185-A-10, 2009
- [10] Job A., Nottet JB. Le jeune militaire face à la contrainte traumatique sonore : Détecter et prévenir la vulnérabilité au bruit. Livre de l'école du Val-de-Grâce. Annales 2009. La documentation française