

## Étude de cas

# BRUITS IMPULSIONNELS ET DANGERS POUR L'AUDITION: L'EXEMPLE DES ARMES À FEU

JONATHAN TERROIR  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

→ **LA PROBLÉMATIQUE:** De nombreux salariés travaillent quotidiennement dans des conditions présentant des niveaux de bruit élevés. Afin de protéger leur audition, la réglementation limite les niveaux d'exposition autorisés, quelles que soient les caractéristiques de l'environnement sonore (Cf. Encadré 1) qui peut alors être composé de bruits continus et/ou de bruits de très courte durée (impulsionnels). Ces derniers, qui combinent niveau sonore élevé et soudaineté, s'avèrent particulièrement dangereux en raison des conséquences possibles sur l'appareil auditif. Or, ce type de bruits peut se rencontrer sous de nombreuses formes au quotidien: détonations d'armes à feu ou de pétards, bruits de martelage, de forgeage (presses de forte puissance), de planage, de battage de palplanches (marteau pneumatique), etc. À travers l'exemple de mesures de bruits de détonation d'armes à feu effectuées en juin 2015 sur le site de l'association de tir sportif de Caen (Normandie), cet article explique la dangerosité des bruits impulsionnels et comment envisager une protection efficace.

### → LA RÉPONSE DE L'INRS: Les caractéristiques des détonations

L'étude d'un tel environnement sonore nécessite un matériel de mesure approprié. En raison des niveaux importants des détonations, le recours à des dosimètres est, par exemple, inadapté à cause des risques de saturation des microphones qui biaiseraient les résultats. Une première série de mesures a donc été réalisée avec un microphone « forts niveaux » pouvant tolérer jusqu'à 170 dB(C) (Cf. Figure 1), afin d'estimer l'exposition et de caractériser les détonations. Ces mesures ont été effectuées à une distance de l'arme de poing équivalente à celle constatée entre cette arme et les oreilles du tireur qui la maniait (qui correspond donc à la personne la plus exposée). Cinq armes de poing de différents calibres ont été testées et, pour chacune, cinq tirs ont été effectués. L'efficacité de différentes protections auditives a

ensuite été évaluée à l'aide d'une tête acoustique (Cf. Figure 1) comportant, à l'emplacement des oreilles, des microphones adaptés aux niveaux élevés. L'impact du protecteur est alors estimé par comparaison des valeurs mesurées avec et sans protecteur individuel contre le bruit (PICB).

### Niveaux et exposition

Une des hypothèses à la base de la réglementation est que la dangerosité des bruits dépend de leur énergie. Ainsi, les niveaux d'exposition (avec et sans protecteur) demeurent actuellement les principaux indicateurs considérés dans l'estimation des risques pour l'audition (Cf. Encadré 1). Le tableau 1 regroupe les niveaux mesurés avec le microphone « forts niveaux » pour différentes armes. Le niveau  $L_{Aeq}$  correspond au niveau moyen mesuré après pondération A (afin de prendre en

#### ENCADRÉ 1

#### LES LIMITES PRÉVUES PAR LA RÉGLEMENTATION

La directive 2003/10/CE [1] transposée dans le Code du travail aux articles R. 4431-1 à R. 4431-4 impose les limites suivantes:

- $L_{EX,BH}$  ne doit pas dépasser une valeur limite d'exposition (VLE) de 87 dB(A) sous protecteur, des protecteurs individuels contre le bruit (PICB) devant être mis à disposition à partir de 80 dB(A) et portés obligatoirement à partir de 85 dB(A) (valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action, VAS) (sans protecteur);
- le niveau acoustique de crête  $L_{PC}$  ne doit pas dépasser une VLE de 140 dB(C) sous protecteur, des PICB devant être mis à disposition à partir de 135 dB(C) et portés obligatoirement à partir de 137 dB(C) (VAS) (sans protecteur).

compte la sensibilité de l'oreille). La réglementation s'appuyant sur l'exposition équivalente sur une durée de 8 h ( $L_{EX,8h}$ ) et les durées d'enregistrement étant très réduites (entre 1 et 2 min), les niveaux  $L_{Aeq}$  ne sont pas interprétables en l'état. En revanche, ils permettent d'estimer, par extrapolation, les niveaux  $L_{EX,8h}$  pour un individu qui serait positionné au point de mesure et sans protection auditive et donc d'évaluer si les limites imposées par la réglementation seraient dépassées ou non. On constate ainsi, pour quasiment toutes les armes et à une distance équivalente à celle des oreilles du tireur, que le  $L_{EX,8h}$  calculé dépasse 85 dB(A) (limite réglementaire sans protecteur) et ce, en ne considérant comme durée d'exposition aux détonations sur une journée de 8 heures que la durée de mesure, ce qui correspond à seulement cinq tirs (pour les tirs de 22 Long Rifle, cette limite serait atteinte pour une durée de 12 minutes, ce qui équivaldrait à une exposition à 40 tirs). Or, les durées de mesure (qui correspondent dans ce cas de figure au nombre de détonations auxquelles sont exposées les personnes) sont loin d'être représentatives des durées d'exposition réelles. Les détonations conduisent donc très rapidement à un niveau d'exposition global nécessitant le port de protecteurs auditifs, dont l'utilisation systématique a d'ailleurs été constatée chez toutes les personnes présentes sur le stand lors des sessions de tir (tireurs et instructeurs).

En complément du  $L_{EX,8h}$ , la directive impose également des limites pour les niveaux acoustiques de crête  $L_{pc}$  (Cf. Encadré 1), qui correspondent au niveau instantané maximum. Les niveaux mesurés (entre 144 et 166 dB(C)) illustrent parfaitement les valeurs importantes typiques et potentiellement dangereuses des bruits impulsionnels. Ces niveaux dépassant systématiquement la valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS) (137 dB(C)) au point de mesure, la réglementation impose à nouveau le port de protecteurs auditifs pour le tireur et ce, dès la première détonation. Il est d'ailleurs important de signaler que, pour des raisons physiologiques, une unique exposition non protégée à un bruit impulsionnel peut endommager de manière définitive le système



© Jonathan Terroir/NRS

auditif. Il est donc indispensable de s'en protéger systématiquement.

### Soudaineté et distribution dans le temps

La réglementation, en s'appuyant sur des aspects purement énergétiques, ignore certaines spécificités de l'environnement sonore (distribution dans le temps, soudaineté, etc.). Or, les bruits impulsionnels sont justement caractérisés par certaines particularités temporelles pouvant augmenter les risques auditifs.

La soudaineté se traduit par des « temps de montée »<sup>1</sup> très courts (en dessous de 5 ms) systématiquement inférieurs au temps de mise en place minimum du réflexe stapédien de l'oreille (Cf. Encadré 2). Cela signifie qu'à niveau d'exposition équivalent le niveau transmis à l'oreille moyenne pour les détonations est plus important que pour un bruit avec un temps de montée plus lent. De manière générale, les bruits impulsionnels pouvant atteindre rapidement des niveaux très importants, leur dangerosité est donc exacerbée par le fait que le réflexe stapédien peut être pris de court.

Du point de vue du fonctionnement de l'oreille, la distribution temporelle, liée ici à la rapidité de succession des détonations, peut être envisagée selon deux cas de figure:

↑ FIGURE 1  
Dispositifs de mesure utilisés: microphone « forts niveaux » et tête acoustique.

ARME	DURÉE DE LA MESURE (SECONDES)	$L_{Aeq}$ (dB(A))	$L_{EX,8h}$ ESTIMÉ (dB(A))	$L_{pc}$ (dB(C))	
				MIN	MAX
22 Long Rifle	86	99,6	81	143,6	145,1
Beretta 9mm	69	115,4	89,7	158,1	159,4
Colt 45	92	116,7	92	161,8	163,1
357 Magnum	128	115,6	92,3	164,2	165,4
44 Magnum	61	121,1	94,4	162,5	165,7

← TABLEAU 1  
Niveaux mesurés au niveau du tireur pour cinq tirs successifs par arme. Les estimations du  $L_{EX,8h}$  supposent un individu positionné sans protection auditive au niveau du point de mesure durant 8 heures et exposé à cinq détonations uniquement.





© Jonathan Terroir/INRS

Le stand de l'association de tir sportif de Caen.

↓ FIGURE 2  
Évolution temporelle de la pression acoustique pour une détonation de Beretta 9 mm. Sur le zoom, le pic de pression 1 (dû à l'onde de choc) et le pic de pression 2 (dû à l'onde de bouche) apparaissent suivis de plusieurs réflexions (3, 4 et 5).

- pour les intervalles les plus courts (détonations rapprochées), le réflexe stapédien étant toujours enclenché *via* la veille protectrice (Cf. Encadré 2), l'oreille interne est protégée, mais la fatigue auditive est accentuée et peut augmenter les risques de dommages<sup>2</sup>;
  - pour les intervalles les plus longs, le réflexe est à nouveau pris de vitesse, en raison de sa latence (cf. Encadré 2).
- Les deux cas présentent donc des risques pour l'audition et peuvent endommager l'oreille de différentes manières. Dans le cadre de cette campagne de mesures, les pauses entre chaque tir variaient entre 15 et 30 secondes: on se trouvait systématiquement dans le second cas de figure.

ENCADRÉ 2

**LE RÉFLEXE STAPÉDIEN, UN MÉCANISME DE PROTECTION**

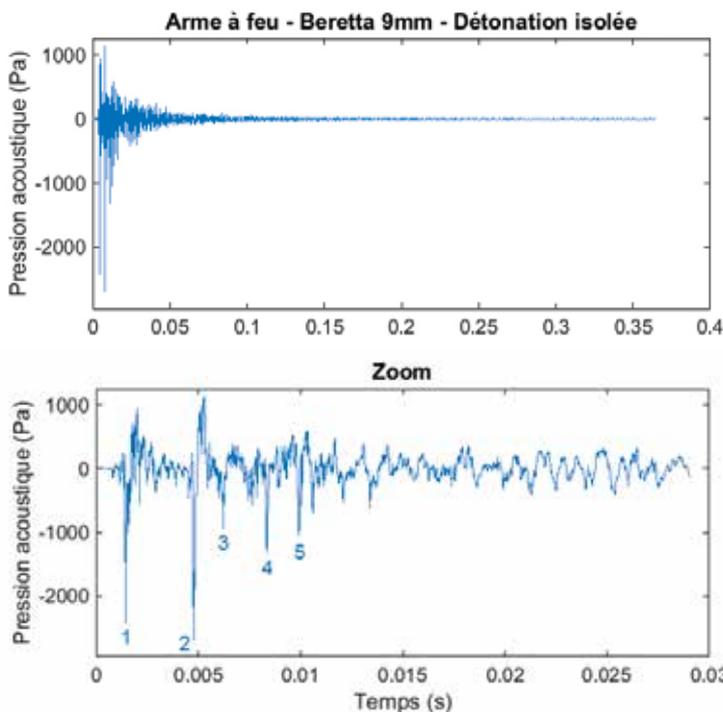
Afin de se protéger des niveaux sonores importants, l'oreille dispose de divers mécanismes de protection, dont le réflexe stapédien. Celui-ci correspond à la contraction involontaire des deux muscles de l'oreille moyenne (le muscle stapédien et le muscle du marteau), suivie d'une veille protectrice de quelques secondes. Son rôle est d'atténuer le niveau transmis à l'oreille interne. Chez l'homme, l'atténuation induite peut atteindre 10 dB. La latence du réflexe varie entre 25 ms et 35 ms pour les niveaux très élevés [2].

Ces mesures illustrent également un autre aspect caractéristique des armes à feu pouvant aussi apparaître pour d'autres sources impulsionnelles. Pour certains calibres, on a noté la présence quasi systématique d'une deuxième impulsion de niveau élevé, 3 à 4 ms après la première, voire d'une troisième et d'une quatrième. Ce phénomène est visible sur la figure 2: pour un tir de Beretta 9 mm, on observe la succession de l'onde de choc (due à la vitesse supersonique de la balle) et de l'onde de bouche (due à l'explosion de la charge explosive et qui se propage à la vitesse du son), suivies de réflexions dont les propriétés sont liées aux caractéristiques du site. Or, à la suite d'une exposition à un bruit impulsionnel, l'oreille interne étant particulièrement vulnérable, une seconde impulsion de fort niveau, alors que la protection induite par le réflexe n'est toujours pas enclenchée, peut provoquer des dommages immédiats très importants.

Ces différentes observations illustrent comment les propriétés temporelles des bruits impulsionnels associés à des niveaux importants peuvent aisément fragiliser et endommager une oreille non ou mal protégée.

**Les protections auditives**

D'un point de vue pratique, les protections auditives doivent permettre de réduire les niveaux d'exposition au minimum sous les VLE et, dans la mesure du possible, pour les expositions à des bruits impulsionnels, sous 75 dB(A), conformément aux recommandations de la norme EN 458 [5]. Mais l'efficacité affichée des protections auditives étant obtenue pour des bruits continus, celle-ci est-elle valide pour les bruits impulsionnels de forts niveaux? Cette validité s'applique-t-elle tant pour l'atténuation globale que pour les niveaux acoustiques de crête? Comment choisir un PICB



## ENCADRÉ 3

**PLUS ADAPTÉ QUE LE SNR, L'INDICATEUR D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE  $d_m$** 

Dans la pratique, les utilisateurs s'appuient généralement sur l'atténuation globale indiquée par le fabricant (SNR) pour sélectionner un PICB fournissant une atténuation adaptée. Le SNR étant déterminé en laboratoire pour des bruits continus, cette valeur n'est pas forcément représentative des atténuations effectives pour les bruits impulsionnels, tant en termes de niveau équivalent que de niveau acoustique de crête. Dans certains cas, se fier à cet indice peut alors entraîner une sous-estimation des risques pour les expositions à des sources impulsionnelles. L'INRS préconise donc l'utilisation d'une méthode d'estimation de l'atténuation s'appuyant sur les valeurs HML\* (fournies par le fabricant) et sur les propriétés des bruits:

l'indicateur d'affaiblissement acoustique  $d_m$ . Son calcul est décrit dans la norme NF EN 458 [5] et prend en compte le spectre, l'impulsivité et les niveaux acoustiques de crête, rendant ainsi son utilisation préférable à celle du SNR.

En résumé, en fonction des caractéristiques du bruit impulsionnel, un des indices d'atténuation H, M ou L sera considéré et une décote pourra même être appliquée pour les bruits de niveaux élevés ( $L_{pc} > 140$  dB(C)) de type 1 (énergie acoustique majoritairement répartie dans les basses fréquences: poinçonneuse, explosifs...) et de type 2 (énergie acoustique majoritairement répartie dans les moyennes et hautes fréquences: martelage, fusils, cloueuses...). Pour les bruits de type 3 (énergie acoustique

majoritairement répartie dans les hautes fréquences: armes de poing...), aucune décote n'est appliquée. Au final, on obtient les valeurs suivantes:

- type 1:  $d_m = L - 5$  dB;
- type 2:  $d_m = M - 5$  dB;
- type 3:  $d_m = H$  dB.

La pertinence de l'indicateur d'affaiblissement  $d_m$  pour les bruits impulsionnels a été confirmée lors d'une étude plus globale menée par l'INRS [4]. On conseillera donc aux utilisateurs et acteurs de la prévention de s'appuyer sur cet indicateur lors du choix d'une protection.

\* Les valeurs HML correspondent aux caractéristiques d'atténuation pour trois parties du spectre: H correspond à l'atténuation pour les hautes fréquences (supérieures à 2 kHz), M à l'atténuation pour les moyennes fréquences (entre 500 Hz et 2 kHz) et L à l'atténuation pour les basses fréquences (inférieures à 500 Hz).

adapté? Pour répondre à ces questions, deux protections auditives ont été testées à l'aide de la tête acoustique placée à la position de l'instructeur (à 1,6 m de hauteur et à une distance de 1 m en retrait par rapport au tireur) et pour des tirs de Beretta 9 mm.

Concernant le premier serre-tête antibruit testé, l'atténuation du niveau global mesurée était de 39 dB, ce qui est cohérent avec les données fournies par le constructeur ( $SNR^3 = 35$  dB) et adapté aux niveaux importants. De plus, les niveaux instantanés élevés constituant une des spécificités des bruits impulsionnels, il est nécessaire de vérifier l'atténuation des niveaux acoustiques de crête  $L_{pc}$ . Le maximum mesuré était ici de 120,3 dB(C) sous le protecteur, de 155,2 dB(C) sans protecteur, soit une valeur d'atténuation (35 dB) proche de celle observée pour le niveau global (39 dB). On a donc ici l'exemple d'un PICB dont les atténuations des niveaux globaux, ou de crête pour le cas particulier de ces détonations, sont importantes et cohérentes avec les données fournies par le constructeur (établies pour un bruit continu). Pour d'autres bruits (forge, martelage, etc.), il faudra néanmoins toujours s'assurer que les niveaux d'exposition quotidienne sont bien réduits en dessous des limites réglementaires.

Le second serre-tête antibruit testé était un modèle dit actif qui peut, *via* un dispositif électronique intégré, émettre un son en opposition de phase par rapport au bruit extérieur et augmenter l'atténuation en basse fréquence. Ce PICB a été testé en modes passif et actif. Au niveau global, en mode passif, l'atténuation des détonations était d'environ 18,5 dB, le mode actif permettant d'atteindre 22,5 dB (surtout *via* l'augmentation de l'atténuation dans les basses fréquences): l'électronique est donc suffisamment rapide pour générer un bruit en opposition de phase, même pour un son aussi soudain qu'une détonation. Pour ce qui est du niveau  $L_{pc}$  maximum mesuré, celui-ci était de 137,7 dB(C) sous le protecteur en mode passif et de 131,5 dB(C) en mode actif pour 154 dB(C) sans protecteur, soit des valeurs d'atténuations (16,3 dB en passif et 22,5 dB en actif) à nouveau proches de celles observées pour le niveau global. Au vu de ces données et bien que ce type de serre-tête soit supposé être dédié aux expositions à des coups de feu, l'atténuation pourrait en fait s'avérer trop faible étant donné les niveaux élevés des détonations. De plus, les atténuations mesurées sont légèrement inférieures au SNR indiqué par le fabricant (26 dB). En considérant le SNR, il existe donc un risque de surestimation de la protection



© Jonathan Terroir/INRS

Les niveaux sonores générés par les détonations d'armes à feu nécessitent le port de protections auditives adaptées.

induite par le PICB. Ainsi, afin d'éviter de surévaluer celle-ci, l'INRS conseille de s'appuyer plutôt sur l'indicateur d'affaiblissement acoustique  $d_m$  (Cf. Encadré 3).

D'un point de vue pratique, on rappelle qu'en plus d'une atténuation adaptée à l'environnement sonore, l'efficacité d'un PICB reste assujettie au bon état de celui-ci, à une bonne mise en place et à un port permanent. En cas de doute quant à l'adéquation entre les niveaux des bruits et l'atténuation fournie par la protection auditive, on préférera, lorsque cela ne risque pas de compromettre la sécurité de la personne en interférant dangereusement avec l'environnement de

travail (audition des signaux d'alerte, etc.), réduire de manière un peu plus importante les niveaux (en optant, par exemple, pour une double-protection), l'impact des bruits impulsionnels sur l'oreille n'étant pas encore totalement connu.

### En conclusion

En raison de l'interaction pouvant exister entre les caractéristiques des détonations (et des bruits impulsionnels en général) et celles des mécanismes de protection de l'oreille, il est indispensable que les travailleurs exposés aient pleinement conscience des risques et des dangers induits par les impulsions de forts niveaux. Il est nécessaire de se protéger de manière systématique afin de réduire les niveaux d'exposition en dessous des seuils préconisés par la réglementation [1] voire, dans la mesure du possible et tant que cela n'interfère pas dangereusement avec l'environnement de travail, sous 75 dB(A) conformément aux recommandations de la norme NF EN 458 [5]. Afin d'évaluer au mieux l'atténuation fournie, il est recommandé de s'appuyer sur l'indicateur d'affaiblissement acoustique  $d_m$  plutôt que le SNR. ●

1. Le temps de montée correspond ici au temps nécessaire pour passer d'un niveau équivalent au bruit de fond au niveau instantané maximum de la détonation.
2. La fatigue auditive peut apparaître à la suite d'une exposition à un bruit intense (et ce, bien en deçà du seuil de douleur). Elle se manifeste temporairement via des sifflements d'oreilles ou de bourdonnements (acouphènes) et/ou une baisse de l'acuité auditive. Ces effets disparaissent avec le temps si aucune nouvelle exposition au bruit ne survient. Néanmoins, des expositions répétées ou prolongées peuvent engendrer des dommages irréversibles [3].
3. Single Number Rating: indique l'atténuation globale induite par le bouchon ou le serre-tête.

### Remerciements

L'auteur tient à remercier l'association de tir sportif de Caen pour sa participation et son accueil chaleureux, ainsi que Julien Marchand (INRS, département Ingénierie des équipements de travail) pour sa contribution aux mesures et à l'analyse des données, son aide et ses conseils précieux.

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Directive 2003/10/CE du 6 février 2003 du Parlement européen et du Conseil concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit) (dix-septième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE), 2003.

[2] DANCER A. Le traumatisme acoustique, *Médecine/Sciences*, 1991, 17, pp. 357-367.

[3] Dossier web Bruit - Effets sur la santé, consultable sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

[4] TERROIR J. Dangerosité des bruits impulsionnels en milieu professionnel: réglementation, connaissances et mesures. Actes du Congrès français

d'acoustique CFA 2016, pp. 2653-2659. 11-15 avril 2016, Le Mans, France.

[5] Afnor NF EN 458 Avril 2016 - Protecteurs individuels contre le bruit - Recommandations relatives à la sélection, à l'utilisation, aux précautions d'emploi et à l'entretien - Document guide, 2005.