

CFA/VISHNO 2016

Dangerosité des bruits impulsionsnels en milieu professionnel : réglementation, connaissances et mesures

J. Terroir

INRS, Rue du Morvan, 54519 Vandoeuvre Les Nancy Cedex, France
jonathan.terroir@inrs.fr



LE MANS

Au même titre que les bruits continus, les bruits impulsionnels constituent un danger pour l'audition et font l'objet de limites réglementaires basées sur les niveaux acoustiques équivalents et de crête. Or ces limites reposent sur des hypothèses fortes (effet donné à dose énergétique équivalente, absence de réflexe stapédien de l'oreille, forme d'onde supposée du bruit) et ne répondent pas nécessairement à toutes les problématiques liées à l'exposition aux bruits impulsionnels. Une étude a donc été entreprise afin d'évaluer dans quelle mesure la réglementation actuelle est à même de préserver l'audition des travailleurs exposés. Un travail bibliographique a permis de faire le point sur les connaissances relatives aux risques induits par ces bruits en milieu professionnel, à la relation entre leurs propriétés et les dangers pour l'audition et, le cas échéant, les perspectives de recherche potentielles. En complément, une campagne de mesures a été menée sur des sites identifiés comme étant enclins à ce type d'exposition afin de déterminer, in situ, la typologie des bruits impulsionnels, les cas d'exposition combinée à un bruit continu, ainsi que les stratégies observées en termes de protection individuelle. La combinaison de ces deux approches aura pour objectif d'estimer si l'audition des travailleurs exposés à un environnement impulsionnel réaliste, au vu de la réglementation actuelle, est plus en danger que celle des travailleurs exposés à un bruit continu de niveau équivalent et, si oui, quelles solutions/perspectives sont envisageables.

1 Introduction

De par leurs spécificités, les bruits impulsionnels constituent un danger pour l'audition. Même si la réglementation permet de limiter l'exposition des travailleurs, les risques associés à ce type de sources sont tels qu'il demeure impossible de garantir une protection des personnes exposées dans 100% des cas. En effet, les bruits impulsionnels (au même titre que les bruits continus) font l'objet de limites réglementaires exclusivement basées sur des indicateurs de niveaux. Cette approche, simple et adaptée aux moyens de mesure courants, ne répond malheureusement pas à toutes les problématiques liées aux environnements impulsionnels, ignorant les propriétés temporelles ou spectrales, alors qu'historiquement, de multiples propositions non-énergétiques ont été suggérées. C'est dans ce contexte que l'INRS a décidé de conduire une étude dont les résultats et conclusions sont succinctement résumés dans cet article. Ainsi, en complément d'un travail bibliographique [1], une campagne de mesures a été menée sur différents sites afin d'étudier la typologie de ces bruits pour des activités spécifiques, l'exposition des travailleurs ainsi que l'effet des protections auditives.

2 Réglementation : historique et limitations

La réglementation actuelle [2] se base exclusivement sur des descripteurs énergétiques et impose les valeurs limites d'exposition (VLE) suivantes : le $L_{EX,8h}$ ne doit pas dépasser 87 dB(A) **sous** protecteur, des actions étant déclenchées à partir d'une valeur d'exposition de 80 dB(A) et alourdies à partir de 85 dB(A) (VAS¹) (**sans** protecteur) et le niveau acoustique de crête $L_{C,peak}$ ne doit pas dépasser 140 dB(C) **sous** protecteur, des actions étant déclenchées à partir d'une valeur d'exposition de 135 dB(C) et alourdies à partir de 137 dB(C) (VAS) (**sans** protecteur). Cette réglementation se base donc en premier lieu sur l'hypothèse d'énergie équivalente (EEH) qui, si elle apparait pratique de

par sa simplicité, ignore (entre autres) les propriétés temporelles ou spectrales de l'environnement sonore [3]. Si la généralisation de l'EEH aux bruits impulsionnels est déjà mise en doute par cet aspect, elle est également infirmée par des études animales (dans des conditions de laboratoire contrôlées) et chez l'être humain (en général via des études épidémiologiques ou via l'étude des pertes auditives temporaires). Les travaux passés ne permettent d'ailleurs pas non plus d'établir l'existence d'un domaine de validité de cette hypothèse [1]. De plus, comme cela a été indiqué par Passchier-Vermeer [4] en 1983, à niveaux équivalents similaires, aucune étude n'indique des pertes moins importantes pour des expositions à des bruits impulsionnels qu'à des bruits continus : les environnements impulsionnels apparaissent donc potentiellement plus nocifs. Historiquement, le grand nombre d'études appuyant ce constat a motivé la volonté d'attribution d'une correction liée à l'impulsivité des bruits et, de fait, à essayer de définir celle-ci. On recense ainsi, entre les années 60 et 90, une diversité de propositions (pas nécessairement quantifiées) quant à la définition même d'un « bruit impulsionnel » se basant tant sur des grandeurs énergétiques que temporelles (temps de montée, durée de l'impulsion, durée inter-impulsions), d'émergence et de rapport temps-énergie (changement de pression donné en un temps donné). Cette diversité s'est alors répercutée dans celle des propositions de normes ou réglementations et, en dépit du manque de consensus dans les approches, de cette hétérogénéité ressort l'impact de certains attributs énergétiques et non-énergétiques sur la dangerosité. La réglementation actuelle, en ne considérant l'impulsivité que via les niveaux acoustiques de crête limites, semble donc inadéquate quant à la garantie d'une protection totale des travailleurs exposés et manque de fondements scientifiques [5].

3 Situations professionnelles considérées

La campagne de mesures a été menée pour plusieurs activités professionnelles générant des bruits impulsionnels. Sauf indication contraire, les mesures ont été effectuées

¹ Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action.

dans des conditions de travail normales et au niveau des opérateurs.

Planage : L'opération de planage de lames consiste à frapper manuellement un flasque, posé sur un massif, à l'aide de masses. Le choc génère des bruits impulsifs de forts niveaux. Lors des mesures, les bruits issus du planage étaient la principale source d'exposition des ouvriers. Ces derniers portaient des protections auditives de type bouchons d'oreille.

Forgeage : Une forge est approvisionnée au moyen de bobines de fil métallique. Ce dernier est découpé en barres chauffées par induction, puis forgées via une presse de forte puissance. La barre est frappée successivement jusqu'à lui donner sa forme définitive : cette opération constitue le « forgeage ». Les frappes, très rapprochées, génèrent des bruits impulsifs de forts niveaux. Les opérateurs se protégeaient du bruit via une double protection auditive (bouchons plus serre-tête anti-bruit), les bruits impulsifs étant la principale source d'exposition au bruit.

Battage de palplanches : Si habituellement l'opération de fonçage s'effectue majoritairement par vibrofonçage, dans le cadre de cette campagne, le sol étant très dur, 80% de l'opération a été réalisée par battage, engendrant une exposition importante des opérateurs aux bruits impulsifs (principale source d'exposition au bruit). Les ouvriers portaient tous des doubles protections auditives durant les séquences de battage.

Tirs avec armes de poing : Des mesures de détonations d'armes à feu ont été effectuées au sein d'un stand de tir associatif. Les mesures n'impliquaient qu'un seul tireur à la fois, les conditions de mesures n'étaient donc pas normales, le lieu ayant été fermé aux membres de l'association pour l'occasion. Les usagers portaient tous des protections auditives simples de type serre-tête et les détonations étaient l'unique source d'exposition sonore.

4 Caractérisation des environnements impulsifs

En se basant sur l'énergie tout en ignorant la manière dont celle-ci est absorbée par le récepteur auditif périphérique, la législation actuelle ne tient pas compte de certains fonctionnements de l'oreille. Or, outre les niveaux crêtes élevés, la nocivité des bruits impulsifs peut également s'expliquer par l'opposition entre leur soudaineté et la latence d'un mécanisme de protection: le réflexe stapédien. Celui-ci correspond à la contraction du muscle stapédien et du muscle du marteau et permet l'atténuation des niveaux sonores transmis à l'oreille interne. La protection induite est alors d'environ 10 dB, la durée de celle-ci diminuant avec le niveau de la stimulation et la latence du réflexe variant entre 150 ms à 80 dB à 25-35 ms à fort niveau [6]. Ceci suggère une dangerosité accrue des bruits dont le temps de montée est inférieur à cette latence, tandis que l'existence d'une période de veille protectrice implique des dommages dépendants du rapport entre le taux de présentation et la durée de cette veille. Hormis ces aspects temporels, la réglementation actuelle ignore également la distribution spectrale, considérant toutes les

fréquences de manière similaire et indépendante [3]. Or, comme cela a déjà été démontré lors de différents travaux [1], les dommages dépendent du spectre. Au final, ces considérations physiologiques (1) peuvent participer à identifier les limitations de la réglementation actuelle et (2) soulèvent la question de la caractérisation de ce type de bruits. Aussi, afin de mieux comprendre et prendre en compte la dangerosité des bruits impulsifs, il pourrait être nécessaire de considérer des descripteurs adéquats (l'impulsivité, la distribution temporelle ou le spectre étant totalement ignorés et ce, malgré des effets prouvés sur les dommages [1]), tant dans la définition même d'un bruit impulsif que dans les mesures préventives.

Indicateurs de niveau

Le tableau 1 compile les niveaux mesurés avec un capteur *forts niveaux* GRAS 67SB². Hormis lorsque cela était impossible, les points de mesure correspondent à la position des individus les plus exposés.

Tableau 1. Niveaux mesurés. Les calculs de $L_{EX,8h}$ supposent un individu positionné sans protection auditive au niveau du point de mesure et exposé à la source impulsif unique pendant la durée de la mesure.

Source	L_{Aeq} (dB(A))		$L_{EX,8h}$ calculé (dB(A))	$L_{C,peak}$ (dB(C))	
	Global	Bruit de fond		Max	Moyen
Planage	102-117	83-86	83-90	138-150	130-139
Forgeage	104-107	91-92	91-94	141-144	136-138
Battage (2m)	113	82	93	140	137
Battage (6m)	110-112	78	89-90	124-138	121-135
Armes	100-121	80	81-94	145-166	144-165

Si les mesures de L_{Aeq} avec le capteur *forts niveaux* ne doivent pas être confondues avec des mesures d'exposition, elles permettent par contre d'estimer les niveaux d'exposition pour un individu qui serait positionné au point de mesure et sans protection auditive et donc d'évaluer si les limites réglementaires seraient dépassées ou non. On observe alors, dans quasiment toutes les situations, un $L_{EX,8h}$ calculé dépassant 85 dB(A) (VAS supérieure sans protecteur) et ce, en ne considérant comme durée d'exposition journalière aux bruits impulsifs que les seules durées de mesure, alors même que celles-ci (entre 26 s et 12 min) sont loin d'être représentatives des durées d'exposition réelles. Par ailleurs, pour chaque site, les niveaux acoustiques de crête $L_{C,peak}$ mesurés peuvent dépasser la VAS supérieure (137 dB(C)) au point de mesure. Les situations étudiées présentent donc systématiquement des risques pour l'audition. Réglementairement, les personnes seraient par conséquent doublement exposées (niveaux L_{Aeq} et $L_{C,peak}$ élevés) et ainsi soumis aux exigences déclenchées par le dépassement des VAS. Les protections devront alors permettre de réduire les niveaux d'exposition, au minimum, sous les VLE et, pour le respect des bonnes pratiques, largement sous la première VAS (la norme EN 458 recommande un niveau L_{Aeq} inférieur à 75 dB(A)).

On note que les trois sites industriels (planage, forgeage et battage) s'inscrivent dans une situation d'exposition à des bruits de fond de niveaux élevés. Malgré tout, durant

² Ce capteur permet de mesurer des niveaux allant jusqu'à 170 dB(C) sans saturer.

les phases impulsionnelles, l'exposition provient essentiellement (voire exclusivement) des chocs/détonations.

Indicateurs temporels

Les temps de montée (médians) des impulsions enregistrées lors de cette campagne variaient entre 0,3 et 23 ms et étaient donc inférieurs au temps de mise en place du réflexe stapédien. A niveau d'exposition équivalent, le niveau transmis à l'oreille moyenne sera donc plus important que pour un bruit continu. Cette prise de vitesse du réflexe de protection (1) confirme la dangerosité des sources impulsionnelles, (2) corrobore l'invalidité de l'EEH en présence de celles-ci et (3) suggère de considérer le temps de montée dans la définition des impulsions et l'estimation des risques associés à leur exposition.

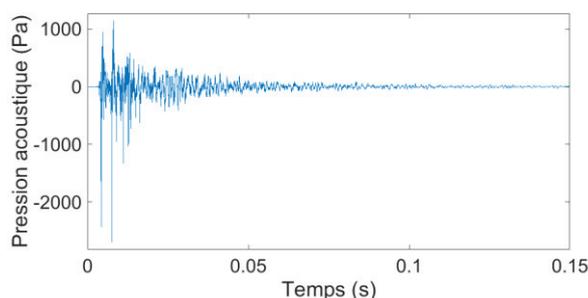


Figure 1. Evolution temporelle de la pression acoustique pour une détonation de Beretta 9 mm.

La distribution temporelle va varier avec les durées inter-impulsions. Pour le battage, les chocs intervenaient à intervalles réguliers d'environ 1 seconde. Pour le forgeage, les couples de chocs étaient espacés d'environ 1 seconde et répétés toutes les 10 à 12 secondes, en raison du processus de travail. Enfin, pour le planage, les intervalles inter-impulsions étaient variables, en raison de l'aspect manuel du travail. Au final, aucun systématisme ne ressort et on retrouve pour ces 3 situations industrielles les 2 cas de figure suivants : (1) pour les intervalles les plus courts, le réflexe stapédien étant toujours enclenché, l'oreille interne est toujours protégée, mais une fatigue apparaît ; (2) pour les intervalles les plus longs, le réflexe est à nouveau pris de vitesse. Le temps de récupération des TTS³ va alors jouer un rôle quant à l'impact de l'exposition sur les dommages à long terme.

Les mesures avec les armes à feu soulèvent un aspect intéressant de par la présence quasi-systématique d'une seconde impulsion de niveau élevé, 3 à 4 ms après la première. Ce phénomène, typique des détonations d'armes à feu, est visible sur la figure 1 pour un tir de Beretta 9 mm. Cette succession d'impulsions apparaît donc sur une durée inférieure au temps de mise en place du réflexe stapédien et pose la question d'une potentielle sous-estimation de la nocivité, la cochlée étant fragilisée suite à l'exposition au premier bruit impulsionnel.

Malgré l'impact évident de la distribution temporelle sur la dangerosité des environnements impulsionnels, la complexité des effets rend difficile son intégration tant dans la définition des bruits impulsionnels (sous cette forme tout du moins) que dans la prévision des dommages. Par

ailleurs, ces conclusions s'appliquant pour des oreilles non protégées, il sera intéressant d'évaluer comment les caractéristiques temporelles sont altérées par le port de PICB⁴.

Spectre

Afin d'analyser si et comment la signature fréquentielle des bruits impulsionnels variait en fonction du mode de génération, des analyses en tiers d'octave et en spectre de chocs ont été effectuées. Alors que le planage génère des bruits à caractère hautes fréquences (l'énergie étant plus importante entre 1-2 kHz et 8 kHz), le forgeage était à caractère basses fréquences (avec une prééminence aux tiers d'octave entre 160 Hz et 250 Hz), le battage engendrait des bruits large bande et pour les armes à feu, l'énergie était principalement répartie entre 250 Hz et 8 kHz (large bande) et dépendait du calibre. Ces analyses confirment donc l'influence du mode de génération sur les propriétés spectrales des bruits impulsionnels et par conséquent la variabilité de leur dangerosité. Pour rappel, la réglementation actuelle intègre la pondération A pour les niveaux équivalents et la pondération C pour les niveaux acoustiques de crête. Or, si la première se justifie du fait qu'elle est liée à la sensibilité de l'oreille (celle-ci ayant été établie à faible niveau⁵, sa validité pour des niveaux élevés demeure par ailleurs questionable), la pondération C apparaît arbitraire et rappelle l'absence d'une pondération adaptée à la dangerosité des sources impulsionnelles de forts niveaux.

Indicateurs d'impulsivité

Les bruits impulsionnels souffrent de l'absence d'une définition claire et d'un descripteur dédié. L'identification d'un indicateur d'impulsivité pourrait permettre (1) de mieux définir et caractériser les environnements sonores impulsionnels et (2) de pouvoir intégrer cet aspect dans l'estimation des risques. Les mesures ayant permis de collecter des sources impulsionnelles et l'étude bibliographique [1] d'identifier certains indicateurs pouvant être corrélés à l'impulsivité, les valeurs de différents descripteurs ont été calculées : le kurtosis temporel $\beta(t)$, le maximum du kurtosis temporel $\beta(t)_{1s}^{max}$, la saillance S [7] (différence existant entre le maximum de $L_{Aeq,10ms}$ pour chaque intervalle de 1 seconde et de la valeur de $L_{Aeq,1s}$ pour ce même intervalle), l'incrément [7] (valeur maximale des différences existant pour deux valeurs successives de $L_{Aeq,10ms}$), l'écart-type $\sigma_{L_{Aeq,10ms}}$ [7] et des facteurs d'émergence correspondant à la différence maximum existant entre le niveau L_{Aeq} mesuré sur un intervalle de 10 ms (ou 125 ms) et le niveau maximum $L_{Aeq,1s}^{max}$ calculé sur une seconde (ou le L_{Aeq} global). Les résultats suggèrent que ces indicateurs sont effectivement adaptés à la description d'une ou plusieurs caractéristiques des sources impulsionnelles. Mais, au vu du corpus réduit de sons et des corrélations importantes existant entre les différents indicateurs, il demeure impossible de conclure quant à l(es) indicateur(s) le(s) plus adéquat(s). Ce choix pourrait alors être dirigé par la pertinence et la robustesse de ce(s) dernier(s) par rapport à certaines caractéristiques « clefs ». Dans le cas de cette étude, par exemple, c'est le kurtosis qui est apparu comme l'indicateur le plus adapté à la prise en

⁴ Protecteur Individuel Contre le Bruit.

⁵ La pondération A est basée sur la courbe isosonique établie à 40 phones.

³ Temporary Threshold Shift : déplacement temporaire du seuil d'audition.

compte de la distribution temporelle. Des analyses avec des signaux de synthèse (dont les caractéristiques seraient maîtrisées) pourraient permettre de progresser sur cet aspect.

5 Exposition

Un microphone a été placé au niveau de l'épaule de l'opérateur/tireur/instructeur. Hormis pour le cas de l'entreprise de planage où les ouvriers portaient des PICB de type *bouchons d'oreille*, un second microphone miniature a été positionné à l'entrée du conduit auditif sous l'oreillette du serre-tête anti-bruit afin de mesurer la pression sonore résiduelle sous ce dernier.

Si l'on considère l'exposition au niveau de l'épaule, pour quasiment toutes les situations (dont les durées de mesure sont parfois très réduites et toujours inférieures aux durées d'exposition quotidienne réelles), le niveau équivalent $L_{EX,8h}$ dépassait la limite réglementaire de 85 dB(A). A de tels niveaux L_{Aeq} , une durée d'exposition très courte (de quelques secondes à quelques minutes) suffit à dépasser les VAS (sans même considérer les niveaux de bruit de fond généralement importants). D'un point de vue réglementaire, les personnes travaillant dans ces environnements sonores sont donc, en première approche, protégées du fait du dépassement des limites d'action qui imposent des mesures de protection (dès lors que ladite protection permet de réduire ces niveaux sous les VLE). Cette conclusion est en accord avec les constats issus des mesures avec le capteur *forts niveaux*. Concernant les niveaux acoustiques de crête, dans quasiment toutes les situations, les $L_{C,peak}$ dépassaient de manière régulière ou systématique les VAS, confirmant que les personnes exposées aux environnements impulsions étudiés ici, sont également protégées du fait du dépassement des VAS de crête.

Les mesures sous protecteur ont montré que les niveaux équivalents $L_{EX,8h}$ étaient systématiquement ramenés en dessous de 80 dB(A) pour les périodes de mesure. Les durées d'exposition nécessaires pour atteindre la VLE de 87 dB(A) ont été évaluées et aucune situation réaliste ne permettait d'atteindre celle-ci sous un protecteur de type serre-tête pour une journée de travail de 8 h. Par ailleurs, même s'il est vrai que l'on n'a constaté aucun niveau $L_{C,peak}$ au-delà de la VLE de 140 dB(C), les limitations du microphone de mesure miniature (saturation théorique à partir de 121,2 dB) n'ont pas permis de conclure avec certitude quant à l'innocuité des niveaux acoustiques de crête mesurés sous protecteur.

Pour les environnements présentant une répétition d'impulsions de forts niveaux, les niveaux $L_{EX,8h}$ peuvent rapidement atteindre la VAS de 85 dB(A). Le port de PICB devient alors réglementairement obligatoire sans même avoir à considérer les niveaux acoustiques de crête. Pour les situations où des chocs peuvent apparaître de manière moins récurrente, c'est la limitation des niveaux $L_{C,peak}$ qui va en premier lieu conduire au déclenchement d'une action de protection. Les deux indicateurs énergétiques apparaissent donc complémentaires dans une démarche de protection contre les bruits impulsions de forts niveaux. Malgré tout, la question demeure de savoir si ces deux indicateurs sont suffisants et si le respect des valeurs limites

réglementaires d'exposition (spécialement concernant les niveaux $L_{C,peak}$ étant donné les propriétés du réflexe stapédien) démontre bien, en toutes circonstances, une innocuité de l'exposition.

D'un point de vue pratique, les différences d'atténuation observées chez deux ouvriers pour une même source sonore et un même protecteur rappellent l'importance de la mise en place des protections auditives sur l'atténuation effective et les différences pouvant exister entre les atténuations théoriques et « réelles » des protections contre le bruit.

6 Effets des PICB

Des études ont constaté des pertes auditives significatives chez des officiers de police ou des ouvriers exposés à des bruits impulsions et utilisant des protecteurs [8,9]. Plusieurs hypothèses sont envisageables : valeurs limites trop élevées, protections inadaptées ou mal portées ou encore nécessité d'approfondir les connaissances concernant les effets des protecteurs sur les propriétés des bruits impulsions. En effet, la législation actuelle se base sur des valeurs d'exposition, imposant ou suggérant, le cas échéant, le port de protecteurs auditifs individuels, afin de ramener l'exposition effective sous ces seuils. Or, l'efficacité des protecteurs individuels est donnée pour des bruits continus. Rien ne permet donc, au vu des informations fournies par les fabricants, de connaître celle-ci pour une exposition à des bruits impulsions. En effet, l'atténuation varie avec le niveau d'exposition de manière plus ou moins importante en fonction des protecteurs testés [1]. La question se pose donc de la protection effective pour des bruits impulsions de forts niveaux. Si certaines caractéristiques non-énergétiques sont prises en compte via l'APV⁶ et que, pour les bruits impulsions, la distribution fréquentielle est considérée via un facteur correctif dépendant de certaines propriétés du bruit [10], il est nécessaire d'évaluer l'impact des protections sur les diverses propriétés des signaux, les données utilisées pour l'estimation des dommages pouvant s'avérer incorrectes car considérées à la source, et non au niveau de l'oreille.

L'efficacité de différentes protections auditives a été évaluée à l'aide d'une tête acoustique^{7,8}, une des oreilles étant équipée de la (ou des) protection(s) auditive(s), l'autre non, permettant ainsi d'évaluer l'effet de la protection par comparaison entre les deux oreilles.

Atténuations

On constate logiquement une grande variabilité des atténuations mesurées en fonction de la protection (cf. tableau 2). Mais du point de vue de la prévention et des risques auditifs, ce sont les différences existant entre les réductions des niveaux L_{Aeq} et celles des niveaux acoustiques de crête maximaux qui révèlent la possible sous-estimation des niveaux $L_{C,peak}$ sous protecteur lorsque l'on se base sur la réduction de niveau globale.

⁶ Assumed Protection Value : valeur de protection supposée.

⁷ Tête de marque I.S.L. conforme à la norme ANSI S12.42 [11].

⁸ Ces mesures n'ont pas été effectuées lors de l'intervention dans l'entreprise de forgeage.

Afin de vérifier si les atténuations théoriques étaient en accord avec les atténuations effectives (en termes de L_{Aeq} et de $L_{C,peak}$), les mesures ont été comparées à l'indicateur d'affaiblissement acoustique d_m [10] (qui est apparu préférable au SNR). Cet indicateur se base sur les valeurs HML⁹ fournies par le fabricant ainsi que sur les propriétés des bruits. Les atténuations mesurées des niveaux L_{Aeq} et $L_{C,peak}$ sont alors apparues systématiquement supérieures ou égales au d_m . Ainsi, alors que l'utilisation du SNR pouvait conduire à une surestimation de l'atténuation induite par le protecteur, l'indicateur d_m semble plus approprié. On conseillera donc aux utilisateurs et préventeurs de se baser sur cette méthode lors du choix d'une protection.

L'analyse des résultats montre aussi que l'atténuation fournie par une protection simple de type serre-tête anti-bruit pourrait s'avérer trop faible, notamment pour les détonations d'armes à feu. Dans ce cas, on préconisera l'utilisation d'une double protection. Enfin, on rappelle que ce constat ignore les possibles problèmes de mise en place de la protection auditive, le mannequin permettant un positionnement parfait.

Types de source

Des mesures ont été effectuées avec un même serre-tête pour trois sources différentes. Les résultats suggèrent que l'atténuation du niveau $L_{C,peak}$ (entre 32 et 42 dB) dépendrait de certaines propriétés de la source, alors qu'en termes d'atténuation du niveau L_{Aeq} , celle-ci semble assez stable (environ 39 dB). Ces différences semblent s'expliquer par la relation entre les propriétés spectrales des sources impulsionnelles et les caractéristiques d'atténuation du serre-tête.

Indicateurs temporels et impulsivité

Comme pour les mesures avec le capteur *forts niveaux*, des indicateurs temporels et d'impulsivité ont été calculés. Les enveloppes temporelles (en plus de la réduction des niveaux) apparaissent alors souvent très altérées, plus spécialement pour les protecteurs de type serre-tête. D'une manière générale, le port de protecteurs provoque une augmentation du temps de montée, associée à une augmentation de la durée des impulsions. La soudaineté est donc réduite (mais pas nécessairement au-delà du temps de déclenchement du réflexe stapédien) et ce, spécialement pour les mesures sous serre-têtes pour lesquelles un effet de type filtrage passe-bas a été observé. Cet aspect couplé à l'atténuation des niveaux confirme la réduction importante de la dangerosité sous PICB, même si les niveaux acoustiques de crête peuvent demeurer élevés et les temps de montée faibles. Par ailleurs, après comparaison des valeurs prises par chacun des indicateurs d'impulsivité pour chaque oreille, le kurtosis est apparu comme l'indicateur le plus sensible à l'impact des protecteurs. Mais, à nouveau, le corpus restreint de sons empêche de conclure et permet seulement de suggérer des perspectives de travail.

7 Conclusions

L'étude bibliographique a permis d'identifier ou confirmer que (1) l'EEH, hypothèse sur laquelle sont basées les réglementations et normes harmonisées actuelles, n'est pas adaptée aux bruits impulsionnels, sa faiblesse reposant sur le fait qu'elle ne se base que sur des aspects énergétiques; (2) une meilleure prévention des risques liés aux bruits impulsionnels nécessiterait la prise en compte de grandeurs non-énergétiques notamment l'impulsivité, le temps de montée, le spectre et la distribution temporelle. La réglementation actuelle ne peut donc pas garantir la protection des travailleurs exposés à des environnements impulsionnels dans 100 % des cas. La résolution de ce problème est envisageable de plusieurs façons (1) en identifiant des seuils critiques de validité de l'EEH en milieu impulsionnel mais les données actuelles mettent en doute l'existence de tels seuils; (2) en prenant en compte le risque impulsionnel via un malus applicable sur les valeurs limites de L_{Aeq} et/ou $L_{C,peak}$. Il faudrait alors pouvoir définir cette majoration, malgré la diversité des situations ; (3) en intégrant dans la législation des grandeurs caractéristiques des bruits impulsionnels.

Les mesures ont confirmé que les sites sélectionnés correspondaient à des situations à risque (niveaux L_{Aeq} et $L_{C,peak}$ mesurés élevés) et ont rappelé l'importance des indicateurs de niveaux sonores dans l'estimation des dangers. La confrontation des propriétés temporelles des signaux à celles du réflexe stapédien a mis en avant la dangerosité accrue des bruits impulsionnels (le mécanisme de protection étant devancé) suggérant, à terme, d'intégrer le temps de montée dans l'estimation des risques associés à ce type de sources. Plusieurs indicateurs d'impulsivité ont été évalués et le kurtosis est apparu comme le plus prometteur. Toutefois le nombre réduit de signaux analysés empêche toute conclusion définitive. D'un point de vue spectral, le rôle du mode de génération a été observé, ainsi que le besoin d'une pondération reflétant la dangerosité des sources impulsionnelles de forts niveaux. Concernant les atténuations de niveaux induites par les PICB, les analyses ont montré (1) qu'il était recommandé de se baser sur l'indice d'affaiblissement acoustique d_m lors du choix d'une protection; (2) que, dans certains cas, l'atténuation fournie par une protection simple pouvait s'avérer trop faible; (3) l'importance du positionnement du PICB et la prudence à observer quant aux valeurs annoncées par les fabricants. Pratiquement, ceci signifiera de rester vigilant lors du choix des PICB, d'autant que l'étude bibliographique suggère que les VLE sous-estimeraient les dangers pour l'oreille. Concernant les altérations des propriétés temporelles, au vu des importantes réductions de niveaux, celles-ci semblent pouvoir être négligées (dans les cas considérés ici tout du moins).

Il faudra par ailleurs garder à l'esprit que cette campagne a été menée sur des sites où le danger est connu et où l'utilisation de protections est systématique. Or, des dommages du système auditif pouvant apparaître dès la première exposition à des bruits impulsionnels, il sera essentiel d'être vigilant dès lors que le risque d'exposition à des bruits impulsionnels de forts niveaux est présent.

⁹ Les valeurs HML correspondent aux caractéristiques d'atténuation pour 3 parties du spectre : H = fréquences supérieures à 2 kHz ; M fréquences entre 500 Hz et 2 kHz ; L fréquences inférieures à 500 Hz.

Références

- [1] J. Terroir, *Etude bibliographique sur la dangerosité des bruits impulsionnels*, INRS (2015).
- [2] Directive 2003/10/CE. *Directive Européenne n°2003-10 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).*
- [3] H. Scheiblechner, The validity of the 'energy principle' for noise-induced hearing loss, *Audiology* 13(2), 93–111 (1974).
- [4] W. Passchier-Vermeer, Measurement and Rating of Impulse Noise in Relation to Noise-Induced Hearing Loss. *Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem, June 21-25, Turin, Italy* (1983).
- [5] K. Buck, V. Zimpfer, P. Hamery, Scientific basis and shortcomings of EU impulse noise standards, *J. Acoust. Soc. Am.* 131, 3531 (2012).
- [6] A. Dancer, Le traumatisme acoustique, *Médecine/Sciences* 17, 357–367 (1991).
- [7] B. .F. Berry, Recent advances in the measurement and rating of impulsive noise, *Proceedings of the 13th International Congress on Acoustics, Belgrade* (1989).
- [8] C. Wu, Y. H. Young, Ten-year longitudinal study of the effect of impulse noise exposure from gunshot on inner ear function, *Int. J. Audiol.* 48(9), 655–660 (2009).
- [9] S. E. Brueck, C. Achutan, J. Eisenberg, E. Zechmann, *Assessment of noise exposures and hearing loss at a hammer forge company*. NIOSH, (2008).
- [10] AFNOR, *NF EN 458 Mars 2005 - Protecteurs individuels contre le bruit - Recommandations relatives à la sélection, à l'utilisation, aux précautions d'emploi et à l'entretien* (2005).
- [11] ANSI/ASA S12.42 - Methods for the Measurement of Insertion Loss of Hearing Protection Devices in Continuous or Impulsive Noise Using Microphone-in-Real-Ear or Acoustic Test Fixture Procedures (2010).

Tableau 2. Niveaux L_{Aeq} et $L_{C,peak}$ maximum pour chaque oreille (libre et protégée – Prot.) et pour chaque protection testée. L'atténuation (Att.) entre les deux oreilles est précisée, ainsi que le type de source impulsionnelle et le point de mesure. Le SNR correspond à l'atténuation globale théorique. La valeur d'affaiblissement acoustique d_m (fonction des valeurs HML et du type de bruit [10]) a également été calculée.

Protection	L_{Aeq}		Att.	$L_{C,peak}$ maximum			d_m	SNR	Source impulsionnelle	
	Libre	Prot.		Libre	Prot.	Att.				
Bouchon										
3M 1100 (Mousse)	109,7	65,3	44,4	144,5	99	45,5	37	37	Planeuse	
3M E.A.R Classic (Mousse)	111,3	59,4	51,9	120,7	79,4	41,3	24	29	Battage ¹⁰	
Howard Leight Fusion (Préformé)	112,5	70,8	41,7	121,9	81,8	40,1	25	28	Battage	
Serre-tête										
PELTOR Optime III	111,4	71,9	39,5	146,6	105	41,6	40	35	Planeuse	
	118,2	79,6	38,6	145	112,4	32,6	27	35	Battage	
	132,4	93,1	39,3	155,2	120,3	34,9	27	35	Beretta 9 mm	
PELTOR Sporttac	Passif	132,5	114,1	18,4	154	137,7	16,3	?	?	Beretta 9 mm
	Actif	131,9	109,4	22,5	154	131,5	22,5	18	26	Beretta 9 mm
Bouchon + Serre-tête										
3M E.A.R Classic + PELTOR	115,6	45,2	70,4	124,4	85,8	38,6	-	-	Battage	
Howard Leight Fusion Optime III	114,5	55,7	58,8	121,7	69,1	52,6	-	-	Battage	

¹⁰ La tête acoustique était située en contre-bas du point de battage à 5,3 m du bord du quai.