



2012

## Dossier

# BRUIT AU TRAVAIL: DE L'ÉVALUATION À LA PRÉVENTION DES RISQUES

❶ Bruit au travail:  
questions anciennes,  
études nouvelles

P. 18

❷ Solutions collectives  
de réduction du bruit:  
quelques actions exemplaires

P. 24

❸ Masquage sonore: une  
solution pour réduire  
la gêne liée au bruit dans  
les bureaux ouverts?

P. 30

❹ Protecteurs individuels  
contre le bruit (PICB):  
le règlement européen

P. 37

❺ Audibilité des alarmes sonores,  
port de protecteurs individuels  
et atteintes auditives

P. 41

Le bruit est, depuis longtemps, identifié comme un facteur de risque important pour la santé et la sécurité des travailleurs. Ce dossier revient sur les principes et méthodes permettant d'aborder les risques liés au bruit au travail, depuis l'évaluation jusqu'aux solutions de prévention, avant de présenter brièvement quelques nouveaux sujets auxquels sont confrontés les préventeurs: des solutions innovantes qui permettent de mieux réduire le bruit à la source (pp. 18-23); un exemple de « plan d'action régional », déployé par la Carsat Midi-Pyrénées, afin de mieux aider les entreprises à évaluer et à prévenir les risques professionnels liés au bruit (pp. 24-29); le masquage sonore dans les open spaces et, plus généralement, la question du bruit dans le secteur tertiaire (pp. 30-36); le nouveau règlement européen pour les équipements de protection individuelle (pp. 37-40). Une étude de l'INRS sur la perception des alarmes sonores en cas de port de protections auditives est présentée (pp. 41-48).

**NOISE AT WORK: FROM RISK ASSESSMENT TO RISK PREVENTION** – *For a long time now, noise has been identified as a major risk factor for worker health and safety. This file goes back over the principles and methods making it possible to address the issue of noise at work, from risk assessment to risk prevention solutions, and then gives a brief presentation of some new topics with which OSH specialists are confronted: innovative solutions that make it possible to reduce noise at source (pp. 18-23); an example of a "regional action plan" deployed by the Occupational Health and Pension Insurance Fund (Carsat) for the Midi-Pyrénées Region in order improve assistance to companies in assessing and preventing noise-related occupational risks (pp. 24-29); sound masking in open-plan offices and, more generally the issue of noise in the tertiary sector (pp. 30-36); the new European Regulation on personal protective equipment (pp. 37-40) is presented; and finally, a study on perception of sound alarms when wearing hearing protective devices (pp. 41-48).*

# BRUIT AU TRAVAIL: QUESTIONS ANCIENNES, ÉTUDES NOUVELLES

Après un rappel de la réglementation et des principes de l'évaluation des risques liés au bruit au travail, cet article dresse un panorama des principales méthodes et mesures de prévention : information et formation des travailleurs ; mesures collectives de prévention (réduction ou encoffrement des sources de bruit, écrans acoustiques et traitement acoustique des locaux, implantation des machines, réduction du temps d'exposition...) ; ainsi qu'un rappel sur les protections individuelles. Il traite également de développements en lien avec la prévention des risques liés au bruit, qui feront l'objet des articles suivants.

NICOLAS  
TROMPETTE,  
PATRICK  
CHEVRET,  
JACQUES  
CHATILLON  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

Les effets délétères du bruit sur la santé et la sécurité au travail sont reconnus depuis longtemps. Dès 1963, une surdité<sup>1</sup> pouvait être reconnue comme maladie professionnelle. En 2016, année la plus récente pour laquelle les chiffres sont disponibles, 704 surdités professionnelles ont ainsi été déclarées, pour un coût individuel moyen de réparation légèrement inférieur à 100k€, avec un taux moyen d'incapacité partielle permanente (IPP) de 25%. Les surdités professionnelles (cf. encadré 1) sont la troisième maladie professionnelle en coût et la quatrième en nombre [1]. Même quand il reste très en-dessous des limites réglementaires et des seuils dangereux pour l'audition, le bruit peut gêner, nuire à la qualité du travail, engendrer un stress qui, à son tour, génère des troubles physiologiques et constitue un facteur de risque psychosocial [2,3]. Il apparaît ainsi comme la première nuisance citée par les utilisateurs des espaces de travail ouverts (open spaces). Il est aussi reconnu par la législation comme l'un des facteurs de pénibilité au travail [4]. Enfin, le bruit contribue pour une large part au risque d'accidents au travail [5].

## Prévention du bruit au travail Réglementation et évaluation

La réglementation définit les principes généraux de prévention [6,7]. L'employeur doit évaluer et, si nécessaire, mesurer l'exposition des salariés au bruit. Si le risque est avéré, c'est-à-dire dès lors que les limites réglementaires déclenchant des actions de prévention sont dépassées (cf. encadré 2), il est tenu d'assurer la protection des travailleurs exposés et de mettre en œuvre des mesures techniques de prévention. Les actions prescrites incluent, lorsque l'exposition est au-delà des seuils réglementaires

d'action les plus élevés, la mise en place d'un programme de réduction du bruit en agissant sur l'organisation du travail, sur les machines et sur les locaux. Par ailleurs, l'exposition au bruit doit demeurer à un niveau compatible avec la santé des travailleurs, notamment avec la protection de l'ouïe. Par conséquent, la réglementation fixe également des valeurs limites d'exposition, mais ces dernières s'entendent en prenant en compte l'atténuation apportée par une éventuelle protection auditive. À cette réglementation, issue d'une directive européenne (n° 2003/10/CE du 6 février 2003), s'ajoute désormais la prise en compte de la pénibilité. Tout comme pour les valeurs limites d'exposition au bruit, les seuils de pénibilité tiennent compte de l'atténuation apportée par une éventuelle protection auditive.

Lorsqu'il procède à l'évaluation des risques [8], l'employeur doit prendre en considération tous les aspects, comme par exemple les travailleurs particulièrement vulnérables au bruit, l'intelligibilité des signaux de danger, etc.

La mesure de l'exposition sonore n'est nécessaire que si l'employeur estime que les valeurs limites peuvent être atteintes. Les mesurages sont réputés satisfaire aux exigences réglementaires, s'ils sont effectués suivant la norme NF EN ISO 9612 (2006)<sup>2</sup>.

La réglementation privilégie les solutions collectives de prévention, comme la réduction du bruit à la source et donc, les actions sur les machines et le traitement des locaux de travail. Les fabricants doivent déclarer le bruit émis par leur machines [9]. Les locaux, quand ils accueillent des machines bruyantes, doivent être traités acoustiquement [10].

## Mesures de prévention

Tout d'abord, afin d'éviter le risque, de le combattre à la source ou bien de le réduire, différentes actions techniques sont possibles. Elles seront toujours

plus efficaces et moins coûteuses à la conception. Cependant, la plupart sont applicables aussi à titre correctif. Il est toujours préférable qu'elles soient précédées d'une expertise, voire de calculs prévisionnels.

- La **réduction du bruit à la source** est l'action qu'il faut privilégier. Pendant la conception, elle consiste à choisir les machines, les outils et les process les moins bruyants possibles. En correctif, les actions à envisager sont le changement d'outils, le traitement par des silencieux ou encore, le changement du procédé [11]. Hormis un remplacement, ce type de solution est très difficile à mettre en œuvre car elle pourrait remettre en cause la certification de la machine.
- L'action parmi les plus répandues – et très certainement la plus efficace, notamment en correction – est **l'encoffrement de la source**. Son plus gros inconvénient est de compliquer l'accès à la machine et son approvisionnement. Par ailleurs, elle demande, pour être efficace, une mise en œuvre soignée et le respect des règles de base de l'acoustique [12]. Elle est aussi coûteuse mais très efficace, car elle permet généralement de neutraliser complètement la source encoffrée, un bon encoffrement apportant au minimum un affaiblissement de l'ordre de 20 dB(A). Cette solution représente plus de la moitié des actions de réduction du bruit.
- Quand un encoffrement est impossible, ou dans les bureaux ouverts, il est possible de recourir à des **écrans acoustiques**. Leur efficacité est limitée. Un écran bien dimensionné et bien placé apportera entre 6 et 10 décibels (dB) d'atténuation entre la source et les personnes exposées. Les écrans doivent toujours être accompagnés d'un traitement acoustique du plafond. Sinon, le bruit pourra se propager en s'y réfléchissant. D'autre part, un écran n'est efficace que pour les personnes placées dans sa « zone d'ombre acoustique ».
- Le **traitement acoustique du bâtiment** peut constituer une solution suffisante, mais il est plutôt complémentaire d'autres actions. Il est essentiel lorsque l'exposition au bruit dépend de sources multiples et que le travailleur exposé est mobile. En revanche, il est peu efficace pour un travailleur exposé au bruit, proche de la source prédominante – par exemple, lorsque l'exposition au bruit découle de l'utilisation d'outils portatifs. Mais même dans ce dernier cas, le traitement acoustique du bâtiment pourra redevenir essentiel lorsque ces sources sont traitées. Il reste aussi un facteur incontournable pour un bon confort acoustique et pour une bonne perception de l'environnement, notamment des signaux de danger. C'est pourquoi, ce traitement est réglementé et obligatoire dans les locaux où sont implantées des machines bruyantes, sauf s'il est démontré par une étude d'acoustique prévisionnelle qu'il n'aura que peu d'impact (inférieur à 3 dB sur l'exposition au bruit).

**ENCADRÉ 1**

**RISQUES POUR LA SANTÉ: LA SURDITÉ**

(Extraits de : [www.inrs.fr/risques/bruit/effets-sante.html](http://www.inrs.fr/risques/bruit/effets-sante.html)).

L'exposition prolongée à des niveaux de bruit intenses détruit peu à peu les cellules ciliées de l'oreille interne. Elle conduit progressivement à une surdité irréversible. L'exposition à certains solvants, dits ototoxiques, peut amplifier ce phénomène. Aujourd'hui, on ne sait pas soigner la surdité. L'appareillage par des prothèses électroniques se contente d'amplifier l'acuité résiduelle. Son efficacité reste donc limitée. L'implant cochléaire très cher, est réservé aux surdités lourdes et nécessite une longue rééducation. Aucun des deux dispositifs ne restitue la fonction auditive dans son ensemble.

STADES DE LA SURDITÉ		
1 <sup>er</sup> stade	<b>Surdité légère</b>	Le sujet ne se rend pas compte de sa perte auditive car les fréquences de la parole sont peu touchées.
2 <sup>e</sup> stade	<b>Surdité moyenne</b>	Les fréquences aiguës de la conversation sont touchées, le sujet devient « dur d'oreille » et ne comprend plus distinctement ce qui se dit.
3 <sup>e</sup> stade	<b>Surdité profonde et irréversible</b>	Le sujet n'entend plus, ou très peu, ce qui se dit.*

\* Il existe d'autres surdités, dont les causes sont sans rapport avec ce type d'exposition, et qui peuvent, dans certains cas, être opérées ou corrigées.

La surdité peut être reconnue comme une maladie professionnelle selon des critères médicaux, professionnels et administratifs bien précis, qui sont stipulés dans le tableau n° 42 des maladies professionnelles du régime général (tableau n° 46 du régime agricole). Le tableau n° 42 a été modifié plusieurs fois, notamment en 1981 et en 2003, quand les conditions de reconnaissance ont été élargies, si bien que le nombre de surdités reconnues s'est accru dans les années qui ont suivi.

Un bruit soudain très intense, par exemple lors d'une explosion, peut entraîner une surdité brutale, totale ou partielle. Elle est due à l'effet de souffle qui peut en effet entraîner une déchirure du tympan, mais aussi des lésions des cellules de la cochlée : c'est le traumatisme sonore aigu.

Par ailleurs, plusieurs autres pistes de solutions, certes moins efficaces mais aussi peu coûteuses, sont souvent oubliées : une **bonne implantation des machines visant à favoriser leur éloignement**, la **réduction du temps d'exposition**, par exemple par des rotations aux postes exposés au bruit ou, plus couramment, **l'isolation du personnel en cabine ou en box insonorisé**.

Parmi les actions de prévention, figure **l'information et la formation des travailleurs**. Elle est primordiale, d'une part, afin qu'ils se protègent et, d'autre part, car ils sont acteurs des mesures de prévention. L'employeur a également l'obligation de signaler les zones à risques.



ENCADRÉ 2

**QUE DIT LA RÉGLEMENTATION ?**

(Extraits de : [www.inrs.fr/risques/bruit/reglementation.html](http://www.inrs.fr/risques/bruit/reglementation.html))

Les règles de prévention des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs exposés au bruit sont déterminées par les articles R. 4213-5 et R. 4431-1 à R. 4437-4 du Code du travail. Le suivi individuel de l'état de santé et l'information des travailleurs font l'objet des articles R. 4435-2 à R. 4436-1. Les exigences de la réglementation varient en fonction des niveaux d'exposition : le dépassement de certains seuils déclenche une série d'actions à mettre en œuvre par le chef d'entreprise. L'exposition est évaluée à partir de deux paramètres :

- L'exposition moyenne quotidienne (sur 8 heures : notée  $L_{ex,8h}$ ) ;
- L'exposition instantanée aux bruits très courts (niveau crête : notée  $L_{p,c}$ ).

Chacun de ces deux paramètres est comparé à trois seuils :

- Valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (VAI) : c'est le seuil le plus bas. Il déclenche les premières actions de prévention ;
- Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS) : c'est le « deuxième seuil ». Il déclenche des actions plus sévères. En particulier, des actions correctives doivent être mises en œuvre ;
- Valeur limite d'exposition (VLE) : ce troisième seuil ne doit être dépassé en aucun cas. À la différence des seuils précédents, il prend en compte l'atténuation du bruit apportée par les protecteurs individuels.

Les tableaux ci-après donnent les valeurs de ces seuils pour chacun des deux paramètres d'exposition, puis les actions requises lorsqu'ils sont dépassés.

SEUILS	PARAMÈTRES	RÉGLEMENTATION
Valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (VAI)	Exposition moyenne ( $L_{ex,8h}$ )	80 dB(A)
	Niveau de crête ( $L_{p,c}$ )	135 dB(C)
Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS)	Exposition moyenne ( $L_{ex,8h}$ )	85 dB(A)
	Niveau de crête ( $L_{p,c}$ )	137 dB(C)
Valeur limite d'exposition (VLE*)	Exposition moyenne ( $L_{ex,8h}$ )	87 dB(A)
	Niveau de crête ( $L_{p,c}$ )	140 dB(C)

\* en tenant compte de l'atténuation liée au port éventuel de protecteurs individuels contre le bruit (PICB).

NIVEAU D'EXPOSITION	EXIGENCE
Quel que soit le niveau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Évaluation du risque.</li> <li>• Suppression ou réduction au minimum du risque, en particulier à la source.</li> <li>• Consultation et participation des travailleurs pour l'évaluation des risques, les mesures de réduction, le choix des protecteurs individuels contre le bruit (PICB).</li> <li>• Bruit dans les locaux de repos à un niveau compatible avec leur destination.</li> </ul>
Au-dessus de la valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (VAI) $L_{ex,8h} \geq 80$ dB(A) ou $L_{p,c} \geq 135$ dB(C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise à disposition des PICB.</li> <li>• Information et formation des travailleurs sur les risques et les résultats de leur évaluation, et sur les PICB.</li> <li>• Examen audiométrique préventif proposé.</li> </ul>
Au-dessus de la valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS) $L_{ex,8h} \geq 85$ dB(A) ou $L_{p,c} \geq 137$ dB(C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en œuvre d'un programme de mesures de réduction d'exposition au bruit.</li> <li>• Signalisation des endroits concernés (bruyants) et limitation d'accès.</li> <li>• Contrôle de l'utilisation effective des PICB.</li> </ul>
Au-dessus de la valeur limite d'exposition (VLE) (compte tenu de l'atténuation du PICB) $L_{ex,8h} \geq 87$ dB(A) et $L_{p,c} \geq 140$ dB(C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adoption immédiate de mesures de réduction du bruit.</li> <li>• Identification des causes de l'exposition excessive et adaptation des mesures de protection.</li> </ul>

La surveillance médicale renforcée n'est désormais plus obligatoire. Néanmoins, un suivi individuel renforcé peut être demandé par l'employeur, après avis du médecin du travail. Un examen audiométrique préventif peut en outre être demandé par le travailleur ou le médecin du travail. Cet examen pourra avoir son importance, en cas de déclaration d'une surdité professionnelle.

**Protection auditive**

La protection individuelle doit être le dernier recours, lorsque les mesures collectives de prévention sont insuffisantes et que l'état de l'art ne permet pas de les améliorer. En effet, son efficacité dépend de sa bonne adaptation au porteur, difficile à vérifier, et de la motivation de ce dernier à (bien et continûment) les porter, pas toujours acquise.

Les protections individuelles contre le bruit sont des serre-tête (casques anti-bruit), des bouchons d'oreilles en mousse ou pré-modelés, ou bien des bouchons moulés sur mesure. Elles doivent apporter une atténuation suffisante vis-à-vis du bruit et la réglementation propose des méthodes pour le vérifier [13]. Néanmoins, ce n'est pas le seul critère à prendre en compte : le confort, au sens général, est tout aussi important – pour être efficace, un protecteur doit être porté constamment et avant d'entrer dans les zones bruyantes. Il faudra donc prendre en considération le confort physique (irritation, pression), fonctionnel (mise en place, compatibilité avec d'autres EPI, nettoyage...) et le confort psychologique (acceptation, isolement...), et ce en plus des aspects acoustiques complémentaires de l'atténuation (la perception de la parole et des signaux de dangers notamment ; cf. p. 41). Les protections individuelles présentent également l'inconvénient de perturber la perception sonore par l'opérateur de son environnement et il faudra donc souvent privilégier celles qui apportent une atténuation plate (constante en fréquence). Enfin, les aspects de formation (sensibilisation, mise en place) et d'habitude (une période de l'ordre de deux semaines est nécessaire pour s'habituer au port des PICB) restent essentiels.

### Aperçu sur de nouveaux développements

La thématique du bruit au travail voit régulièrement apparaître de nouveaux sujets, pour lesquels des réponses sont à construire. Ce chapitre se propose d'en introduire quatre qui seront ensuite repris dans les articles suivants.

#### Solutions innovantes pour réduire le bruit à la source

Les solutions collectives de réduction du bruit ont été évoquées plus haut. Elles sont génériques et peuvent donc en principe être applicables, quel que soit le contexte. Mais, bien entendu, la réalité n'est pas aussi simple et de nombreux cas paraissent techniquement exigeants ou trop coûteux à envisager, ou plus simplement, les industriels les jugent trop difficiles à mettre en œuvre. Ces réticences peuvent être évitées, en s'appuyant sur des cas exemplaires, présentés par exemple sous la forme de fiches publiées par l'INRS [11]. Il est souvent possible d'adjoindre à la description technique un bilan économique susceptible de lever les objections sur le coût [14,15]. Les fiches proposent des solutions parfois très originales : par exemple, le recours à l'immersion, pour supprimer le bruit rayonné par des moules servant à la fabrication d'éléments préfabriqués en béton et soumis à des vibrations pour assurer la bonne répartition du béton. Elles présentent aussi les nouvelles machines ou outils permettant de réduire le bruit : outils portatifs électriques, compresseurs à vis, lames à découpes laser, disques céramiques... Enfin, elles rassurent sur



© Vincent Nguyen pour l'INRS

la faisabilité : traitements acoustiques dans l'agroalimentaire, encoffrements de moules à voussoir ou de presses à parpaings... Certaines réalisations cassent les préjugés sur la croyance, répandue, que les situations ne pourraient pas progresser. Dans cet esprit (à savoir : aider techniquement, convaincre et, éventuellement, encourager financièrement les industriels à mettre en place des solutions de prévention), certaines Carsat mettent en place des « plans d'action régionaux » (PAR). Ces plans prévoient un accompagnement des industriels qui souhaitent réduire une nuisance, en proposant une expertise technique, un suivi de la mise en œuvre des solutions identifiées et enfin, une participation financière, sous réserve d'atteindre les objectifs fixés. Ils font parfois émerger de nouveaux cas exemplaires, qu'il convient alors de faire connaître et promouvoir (cf. pp. 24-29).

#### Masquage sonore dans les open space

Les open space (bureaux ouverts) constituent une forme d'organisation des espaces de travail, très répandue dans les pays anglo-saxons et qui, depuis plusieurs décennies, s'est étendue à toute l'Europe. La France n'est pas la dernière à accroître son parc de bureaux ouverts, souvent pour des raisons financières (le prix du mètre carré), mais aussi dans le but de favoriser les échanges... Malheureusement, avec le décloisonnement des espaces de travail, c'est aussi l'augmentation du niveau sonore lié aux conversations qui est favorisée. Si bien que le bruit est devenu la première source de gêne dans les bureaux ouverts, bien avant toutes les autres



nuisances physiques, comme la qualité de l'air, la température ou l'éclairage. Devant ce constat, l'Afnor a publié en 2016 la norme NF S 31-199<sup>3</sup>, dédiée à l'acoustique des bureaux ouverts. Elle conseille une démarche de réduction de la gêne due au bruit, à partir d'une approche basée sur l'analyse de l'activité et dont les préconisations visent à rationaliser les échanges verbaux en optimisant le rapport conversations utiles / bruits inutiles pour l'activité. *In fine*, les recommandations concernent la qualité des matériaux acoustiques utilisés pour le local (plafond, sol, murs, etc.), la qualité de l'aménagement de l'espace de travail (mobilier, cloisons de séparation, etc.), et également l'utilisation d'outils d'aide à la conception ou au diagnostic. Parmi ces outils, le questionnaire Gabo<sup>4</sup> permet de recueillir le ressenti des salariés vis-à-vis de leur environnement sonore. Malgré l'existence de cette norme, qui implique pour l'entreprise la mise en place d'une réflexion propre et des actions spécifiques, une nouvelle technologie a fait son apparition ces dix dernières années. Il s'agit des **systèmes de «masquage sonore»**, qui permettent, grâce à l'ajout d'un bruit artificiel (bruit blanc, bruit rose, voire un bruit réel comme l'écoulement d'une rivière), de couvrir le bruit des conversations gênantes. C'est un peu comme si, pour ne pas être gêné par un rayon de lumière venant de l'extérieur et se réfléchissant sur notre écran de travail, on décidait d'augmenter l'éclairage artificiel dans tout le local, alors qu'une simple rotation du poste pourrait suffire. Mettre en route un appareil de sonorisation sans avoir à réfléchir, permet de se donner bonne conscience immédiatement («*une action a été conduite*»).

D'autre part, cette démarche peut être encouragée par les fabricants qui mettent en avant des arguments en faveur du masquage sonore. Toutefois, ceux-ci ne reposent que sur des études en laboratoire de courte durée, qui ont effectivement démontré que réduire l'intelligibilité par du bruit ajouté a un effet positif sur la performance lors de la réalisation d'une tâche de mémoire. Nous arguons que la représentativité de ces tests est discutable dans un contexte de travail en open space. L'article qui y est consacré (pp.30-36) décrit une expérience qui a été réalisée dans un open space d'une entreprise du secteur bancaire. Cette expérience, qui s'est déroulée sur plusieurs mois, avait pour objectif d'évaluer les effets de l'utilisation d'un système de masquage sonore sur les différents états psychologiques des salariés (fatigue, stress, charge mentale de travail).

Les résultats remettent en question l'utilisation de cette technologie sans aucun recul, ce qui nous ramène une recommandation extraite de la norme NFS31-199, qui conseille de ne pas réduire la gêne due aux conversations voisines par une augmentation artificielle du niveau sonore.

### Nouveau «règlement EPI»

Les évolutions concernant les protections individuelles sont à la fois techniques et réglementaires. L'article dédié à ce nouveau règlement (pp.37-40) comprend un rappel sur les protections individuelles contre le bruit et expose leurs évolutions techniques récentes. Ensuite, est réalisé un focus sur la nouvelle réglementation et ses implications, notamment les obligations qui concernent à la fois la fabrication et l'utilisation. Le nouveau règlement applicable en 2018 prévoit en effet un contrôle de production, ainsi qu'un contrôle de la bonne adéquation entre le protecteur et son porteur dans le cas des bouchons moulés individuels. Enfin, des systèmes nouveaux sont disponibles aujourd'hui, qui servent précisément à vérifier cette bonne adéquation («*fit-check systems*»).

### Perception des alarmes dans le bruit

Les alarmes sonores sont souvent utilisées pour alerter les salariés d'un danger potentiel, par exemple le signal de recul émis par un chariot élévateur pour éviter la collision engin-piéton. Ces dispositifs sont présents dans de nombreux domaines d'activité, notamment les transports (route et ferroviaire), le ramassage des ordures, la logistique, le BTP ou encore le domaine hospitalier (alarmes dans les blocs opératoires).

L'alarme doit être audible à tout moment, afin de garantir la sécurité des salariés, y compris lorsque le bruit environnant atteint un niveau important et qu'ils portent des protecteurs auditifs et ceci, quel que soit leur statut auditif (audition normale ou pertes auditives légères ne conduisant pas à une inaptitude au poste de travail). L'enjeu à court et moyen termes est double:

- mettre au point des modèles prédictifs de l'audibilité des alarmes, en tenant compte des pertes auditives éventuelles, pour garantir la sécurité des salariés équipés de protecteurs auditifs ;
- concevoir de nouvelles alarmes, efficaces même avec des protecteurs auditifs et en cas d'atteinte auditive du salarié. Ceci passe par une meilleure connaissance du triptyque bruit ambiant / protecteurs auditifs / atteintes auditives.

Concernant le bruit ambiant, étant donné que son niveau peut fluctuer de manière importante et que les alarmes sont dimensionnées pour qu'elles soient audibles au niveau maximal du bruit ambiant, elles risquent d'exposer les salariés à un bruit trop intense, pouvant *a minima* les gêner dans l'accomplissement de leur tâche, jusqu'à créer une situation accidentogène, en cas de très fort contraste entre le niveau du bruit ambiant et celui de l'alarme. Par exemple, le cas des chantiers de maintenance ou d'installation de voies ferrées comporte des opérations très bruyantes, comme le ballastage (plus de 100 dB(A) au poste de travail), et les dispositifs

de diffusion des alarmes implantés le long de la voie génèrent des niveaux très importants (jusqu'à 126 dB(A) à un mètre). Un agent situé à proximité du dispositif risque alors un traumatisme acoustique immédiat, s'il ne porte pas de protecteurs auditifs. D'autre part, lorsque l'alarme survient dans un bruit ambiant plus modéré, l'agent risque de sursauter, ce qui peut générer des risques supplémentaires. Concernant l'effet du port de protecteurs auditifs, il apparaît indissociable des atteintes auditives potentielles des salariés. En effet, les tests menés en laboratoire avec des protecteurs présentant une atténuation relativement uniforme montrent qu'en général, la perception des alarmes est améliorée (c'est-à-dire que l'alarme émise à un niveau plus faible est mieux perçue avec protecteurs que sans protecteurs) lorsque les salariés ont une audition normale, voire de légères pertes auditives. Au contraire, lorsque les pertes augmentent, la perception a tendance à se dégrader, au point que l'alarme ne soit plus audible.

Cette tendance est à nuancer selon les caractéristiques fréquentielles des alarmes, puisqu'il a été observé que l'efficacité des protecteurs est la plus affectée par une dégradation de l'audition pour les alarmes qui n'ont pas ou pas assez de composantes en basses fréquences ( $f < 500$  Hz). L'article consacré à ce point (pp. 41-48) décrit, à partir des exemples de mesures d'alarmes ferroviaires sur sujets normo-entendants et malentendants, les mécanismes à prendre en compte pour évaluer l'audibilité des alarmes, dans le cas du port de protecteurs auditifs et d'atteintes auditives.

## Conclusion

En matière de prévention du bruit au travail, la problématique du bruit lésionnel reste toujours bien présente, comme l'établissent les chiffres des maladies professionnelles et des accidents du travail. Et si ces chiffres ont significativement baissé depuis les années 1980, ils restent tout de même significatifs (704 surdités professionnelles reconnues en 2016, pour un coût de 74 M€). Néanmoins, des solutions génériques existent et des experts savent les dimensionner et les mettre en place.

A *contrario*, de nouveaux développements apparaissent: le travail de bureau en espace ouvert s'étend, la perception des alarmes reste critique dans un contexte de généralisation du port de protections auditives, une nouvelle réglementation des protections auditives vient d'entrer en vigueur et enfin, des innovations sont apparues en matière de réduction à la source du bruit.

Comment appréhender ces nouveaux sujets? Quelles sont les conséquences de la nouvelle réglementation? À quelles solutions innovantes, à la source, peut-on recourir? Autant de points abordés dans les articles qui suivent. ●

1. Le tableau n° 42 des maladies professionnelles s'intitule plus précisément « Atteinte auditive provoquée par les bruits lésionnels ». Voir : ED 835, INRS. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)
2. Norme NF EN ISO 9612 – Acoustique. Détermination de l'exposition au bruit en milieu de travail. Méthode d'expertise. Paris, Afnor, mai 2009. Accessible sur : [www.boutique.afnor.org/](http://www.boutique.afnor.org/)
3. Norme NF S31-199 – Acoustique. Performances acoustiques des espaces ouverts de bureaux. Paris, Afnor, mars 2016. Accessible sur : [www.boutique.afnor.org/](http://www.boutique.afnor.org/) (site payant).
4. Questionnaire Gabo: Gène acoustique dans les bureaux ouverts. Voir : [www.inrs.fr/actualites/questionnaire-gene-acoustique.html](http://www.inrs.fr/actualites/questionnaire-gene-acoustique.html).

## POUR EN SAVOIR +

- Dossier Web INRS « Bruit ».

Accessible sur :

[www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html)

- Dossier Bruit Travail et Sécurité : à paraître, mai 2019.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] **RAPPORT ANNUEL DE L'ASSURANCE MALADIE – RISQUES PROFESSIONNELS, 2016.** Paris, Cnam, 2017. Accessible sur : [www.risquesprofessionnels.ameli.fr/](http://www.risquesprofessionnels.ameli.fr/)
- [2] **CHOUANIÈRE D. et al.** – Expositions psychosociales et santé : état des connaissances épidémiologiques. *Documents pour le Médecin du Travail*, 2011, 127, Réf. TP 13, pp. 509-517. Accessible sur : [www.rst-sante-travail.fr](http://www.rst-sante-travail.fr)
- [3] **WEINSTEIN N.D.** – Effect of noise on intellectual performance. *Journal of Applied Psychology*, 1974, 59 (5), pp. 548-554.
- [4] **CODE DU TRAVAIL – ART. L.4121-3-1.** Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)
- [5] **PREMIÈRES INFORMATIONS ET SYNTHÈSES – ACCIDENTS ET CONDITIONS DE TRAVAIL.** Paris, Dares, août 2007, n° 31.2. Accessible sur : <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/2007.08-31.2.pdf>
- [6] **CODE DU TRAVAIL – ARTICLE L.4121-2.** Accessible sur : [www.legifrance.gouv.fr](http://www.legifrance.gouv.fr)
- [7] **BRUIT AU TRAVAIL : LES OBLIGATIONS DE L'EMPLOYEUR.** INRS, 2016, coll. Fiches focus.
- [8] **ÉVALUER ET MESURER L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AU BRUIT.** INRS, 2009, ED 6035, 76 p.
- [9] **BRUIT AU TRAVAIL : ACQUISITION D'UNE NOUVELLE MACHINE.** INRS, 2016, coll. fiches focus.
- [10] **BRUIT AU TRAVAIL : CONCEPTION ET AMÉNAGEMENT DES LOCAUX.** INRS, 2016, coll. fiches focus.
- [11] **TECHNIQUES DE RÉDUCTION DU BRUIT EN ENTREPRISE : EXEMPLES DE RÉALISATION.** INRS, 2007, ED 997, 112 p.
- [12] **RÉUSSIR UN ENCOFFREMENT ACOUSTIQUE.** INRS, 2003, ED 107, 6 p.
- [13] **VALEURS LIMITES D'EXPOSITION AU BRUIT ET PORT DE PROTECTEURS INDIVIDUELS.** INRS, 2012, ED 133.
- [14] **OPPBTP –** [www.preventionbtp.fr/Documentation/Explorer-par-produit/Terrain/Prevention-et-performance](http://www.preventionbtp.fr/Documentation/Explorer-par-produit/Terrain/Prevention-et-performance)
- [15] **DOSSIER – LA PRÉVENTION DES RISQUES : UN ATOUT POUR LA PERFORMANCE DE L'ENTREPRISE.** *Hygiène et sécurité du travail*, 2018, 251, pp. 20-50. Accessible sur : [www.hst.fr](http://www.hst.fr)
- Les publications et outils de l'INRS sont accessibles sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)*

# SOLUTIONS COLLECTIVES DE RÉDUCTION DU BRUIT: QUELQUES ACTIONS EXEMPLAIRES

La participation de l'Assurance maladie – Risques professionnels à la prévention du bruit au travail s'illustre par de nombreuses actions envers les entreprises et les lieux de travail, en premier lieu dans l'instauration de mesures de protection collective. Pendant quatre ans<sup>1</sup>, la Carsat Midi-Pyrénées a mis en œuvre un plan d'action régional contre le bruit et contribué à des réalisations exemplaires: réduction du bruit à la source ou encoffrement (machines, équipements); traitement acoustique de plusieurs locaux industriels; organisation d'événements pour mieux informer les salariés. Les Caisses régionales de santé au travail (Carsat, Cramif, CGSS) proposent également des aides financières simplifiées ou des contrats de prévention, selon les tailles des entreprises, pour accompagner celles qui souhaitent mener des actions de prévention.

MICHEL CUNNAC, LAURENT HARDY  
service Prévention, Carsat Midi-Pyrénées

Près de 70% des Français se disent dérangés par le bruit sur leur lieu de travail. Selon l'enquête Sumer menée en 2010<sup>2</sup>, en France, 18% des salariés sont exposés à des bruits supérieurs à 85 dB(A) (ils sont 56% dans la construction, 39% dans l'industrie et 38% dans l'agriculture). Les expositions les plus nocives pour l'audition – celles de longue durée (plus de 20 h par semaine) et à des niveaux élevés (plus de 85 décibels) – concernent près de 5% des salariés (17% dans l'industrie, 11% dans la construction et 10% dans l'agriculture). Pourtant, des solutions de prévention éprouvées existent depuis de nombreuses années, des plus simples (silencieux d'échappements, compresseur insonorisé...) aux plus complexes (encoffrement de machine, traitement acoustique des parois de locaux de travail...). Le bruit est un risque qui, au fil des ans, s'est banalisé dans le monde professionnel. Soit dans le déni, soit par sous-évaluation, soit par manque d'information sur les solutions qui existent, les acteurs de prévention dans l'entreprise peinent à le prendre en compte et à le traiter pour en réduire les effets qui peuvent être, à la longue, très handicapants pour les salariés exposés. De très nombreux secteurs sont concernés par ces nuisances, particulièrement le BTP et la métallurgie et toutes les industries de transformation (métaux, bois, plastiques, verres), sans oublier le tertiaire (bureaux ouverts, centres d'appels, logistique).

## Contexte

C'est dans ce contexte que la Carsat Midi-Pyrénées a décidé, en 2013, de lancer une action régionale sur la prévention des nuisances sonores sur la période 2014-2017, en s'appuyant sur son centre de mesures physiques (CMP). Cette action a été déclinée en plusieurs axes, selon différentes cibles et modalités d'action.

- Première cible : toutes les entreprises dans lesquelles des salariés avaient présenté une surdité professionnelle reconnue entre 2009 et 2013, puis celles où apparaissaient de nouveaux cas de surdité, de 2014 à 2017.
- Deuxième cible : les entreprises où des niveaux élevés d'exposition au bruit avaient été identifiés par les agents du service prévention de la Carsat Midi-Pyrénées.

Pour toutes ces entreprises, un plan d'action a été mis en œuvre, suite à l'intervention du CMP de la Carsat, qui a émis des préconisations pour réduire l'exposition au bruit des salariés. Pour ces deux cibles, 130 entreprises ont été suivies, dont 68% ont mis en œuvre un plan d'actions de prévention du bruit, hors de l'acquisition d'équipements de protection individuelle (EPI) et du rappel de consignes. Dans ces entreprises qui employaient 9 700 salariés, 4 300 d'entre eux étaient exposés à des nuisances sonores au moment du lancement de l'action. De nombreuses actions de réduction de l'exposition au bruit ont été conduites dans ces entreprises

ciblées, en application des principes généraux de prévention, dont certaines sont détaillées ci-après. 90% des salariés concernés ont vu leurs conditions de travail s'améliorer vis-à-vis de l'exposition au bruit.

### Agir en amont : réduire le bruit de la source

#### Investir dans des équipements de travail moins bruyants

Réduire le bruit à la source est une des mesures les plus efficaces pour limiter l'exposition des salariés. L'action de la Carsat a consisté à sensibiliser les entreprises ciblées et plus particulièrement leurs acheteurs, pour privilégier à l'achat les équipements les moins bruyants, en les incitant à modifier leurs cahiers des charges en ce sens. Pour compléter cette action, plusieurs journées d'information ont été organisées pour attirer l'attention des technico-commerciaux de grossistes en matériel de la région Midi-Pyrénées, qui interviennent dans le secteur de la métallurgie. Ces réunions ont permis de les sensibiliser sur deux risques qui faisaient l'objet d'actions prioritaires déployées par le service prévention de la Carsat et auxquels les salariés de ce secteur sont exposés : le bruit et les fumées de soudage.

Près de 300 entreprises ciblées ont investi dans des équipements de travail moins bruyants. Parmi ces investissements, le remplacement de compresseurs par des compresseurs insonorisés a été l'une des solutions de prévention les plus utilisées. Cela a été le cas plus particulièrement pour les TPE (très petites entreprises), qui ont pu bénéficier d'une aide au financement dans le cadre de l'aide financière simplifiée (AFS « Nuisances sonores+ » ; cf. Encadré). Parmi les autres investissements en équipements de travail moins bruyants, on notera les changements de procédés (machine à chanfreiner en remplacement de meuleuses...), les équipements de travail électriques en remplacement d'équipements de travail à moteurs thermiques, les équipements de travail autonomes sur batteries (machine à enduire les murs...), les soufflettes silencieuses, les boulonneuses/déboulonneuses hydrauliques ou hydropneumatiques... Deux exemples sont détaillés ci-après, les démonte-obus et les outils autonomes pour les espaces verts.

#### Professionnels du pneumatique : dégonfler les pneus en silence

Développé par l'INRS, le démonte-obus silencieux (« Dosil »), outil de dégonflage des pneus en silence et en sécurité, connaît une deuxième vie, avec un nouvel accord industriel pour le fabriquer et de nouveaux partenaires pour le commercialiser en Europe (dont Facom en France). Cet outil a rencontré un grand succès au travers des actions menées dans le cadre de l'action régionale lancée en Midi-Pyrénées. Il permet de réduire de 20 à 30 décibels (dB), selon

le type de véhicules, le niveau sonore auquel l'opérateur est exposé en dégonflant un pneumatique. Pour les activités impliquant un grand nombre d'opérations de réparation ou de remplacement de pneus effectuées sur une journée de travail, on mesure le gain en confort acoustique pour un opérateur, dont l'ambiance de travail reste par ailleurs relativement bruyante. Au-delà du gain sonore, le démonte-obus silencieux permet également d'éviter toute blessure due à la projection de l'obus ou de particules, qui sont retenus par l'outil.

Plus d'une quarantaine d'entreprises de la région Midi-Pyrénées se sont déjà équipées de ces démonte-obus. Grâce aux différentes actions de communication menées par la Carsat, mais surtout par ses partenaires (les services de santé au travail, qui s'étaient équipés d'un kit de démonstration), une grande partie de la profession du pneumatique a été sensibilisée et connaît maintenant cet outil.

Les acteurs régionaux ont également participé au développement du même outil de dégonflage pour les pneus de « gros engins », en réalisant plusieurs séries de tests. Le prototype est quasiment finalisé. Il reste maintenant à trouver des débouchés industriels (filière aéronautique,...) pour permettre sa commercialisation à grande échelle.

#### Outils d'espaces verts autonomes

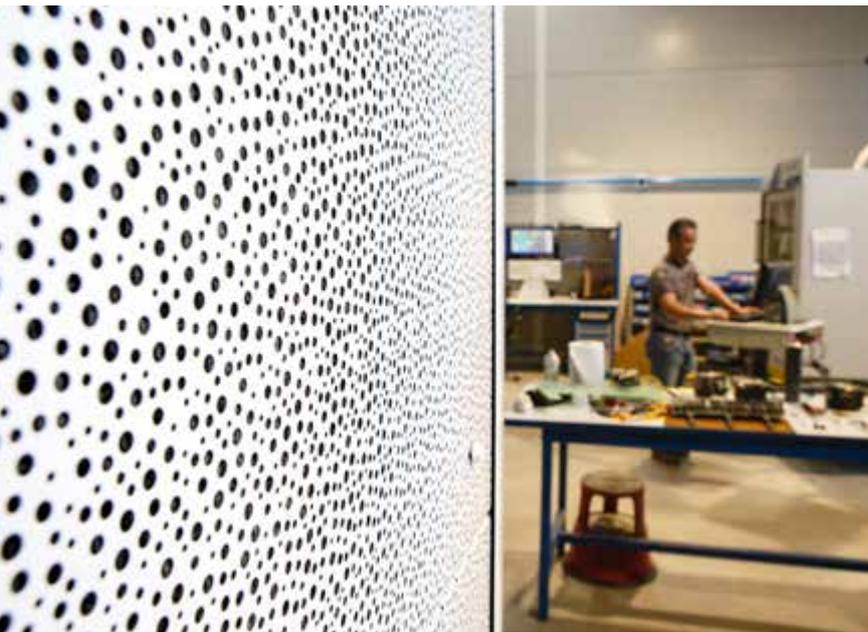
Les services techniques d'un golf du Lot ont renouvelé leur parc d'outils d'entretien d'espaces verts (débroussailleuse, taille-haie, etc.). Ils sont passés de matériels à moteur thermique à l'achat de matériels électriques. La réflexion avait été initiée suite à la sollicitation de leur service de santé, partie prenante de l'action régionale de prévention des nuisances sonores, à la suite de la réforme sur la pénibilité. Au-delà des gains mesurés (21 dB pour le souffleur électrique, 13 dB pour le taille-haie électrique), le changement s'accompagne également d'une amélioration en terme de poids du matériel, l'électrique étant beaucoup plus léger. L'entreprise a bénéficié d'une aide financière, qui lui a également permis d'investir dans des sécateurs électriques dont les salariés se disent très satisfaits, car leur utilisation réduit le niveau d'exposition vibratoire (5 m/s<sup>2</sup> avec le sécateur pneumatique, contre 2,5 m/s<sup>2</sup> avec le sécateur électrique). L'entreprise poursuit aujourd'hui ses investissements dans d'autres matériels électriques.

#### Agir dès la conception des locaux : traitement acoustique

##### Halls industriels

Une entreprise de fabrication sur mesure de circuits imprimés de haute technologie, implantée à Toulouse depuis vingt ans, a inauguré en janvier 2018 une extension de ses locaux de 600 m<sup>2</sup>, venue s'ajouter aux 2 200 m<sup>2</sup> pré-existants [1].





© Vincent Nguyen pour l'INRS

↑ PHOTO 1  
Exemple de  
traitement  
acoustique d'un  
hall industriel.

Lors de la conception de l'extension, l'entreprise s'est appuyée sur ses partenaires, avec la volonté de créer le meilleur environnement de travail possible. Le nouveau bâtiment est celui des « process secs » et doit être isolé du « pôle chimie ». Un nouveau secteur « perçage et détournage » y a été aménagé avec également les tests électriques, le contrôle final, l'empilage, le pressage et l'expédition. Les murs et le plafond ont été traités sur toute la surface, avec des matériaux absorbants acoustiques. Les machines de perçage peuvent effectuer jusqu'à 800 trous par minute sur les panneaux contenant les circuits. Dans l'ancien atelier, qui n'était pas traité, elles émettaient un véritable bruit de mitraille!

Le niveau sonore moyen dans l'atelier est maintenant inférieur à 70 dB(A), alors qu'il était de 88 dB(A) dans les anciens locaux. L'activité est identique, avec même une machine supplémentaire en fonctionnement. Les résultats des mesures de décroissance du bruit par doublement de la distance et des mesures de temps de réverbération, confirment que ce sont bien les qualités acoustiques du local qui permettent d'obtenir ces progrès (cf. Photo 1).

### Carrosserie

Dans une entreprise de réparation automobile (mécanique et carrosserie) implantée dans une petite ville, la création d'une zone d'activité a décidé le gérant à y construire un nouveau local. Dans ses priorités, il souhaitait privilégier l'amélioration de l'ambiance physique au travail. « *Nous n'avons jamais fait de mesures d'exposition des salariés au bruit* », précise le gérant. Souvent présent dans les ateliers, il sait que l'utilisation de certains outils génère un niveau sonore important. C'est pour cela que l'une de ses premières demandes à son maître d'œuvre a été que le local ne soit pas réverbérant. Afin d'assurer

l'absorption du bruit, il a donc été prévu un bardage et un plafond perforés, sur laine de verre.

La mesure de la décroissance du bruit par doublement de la distance du local donne un résultat de 4,5 dB, à comparer au minimum réglementaire de 3,6 dB pour ce local. En complément, le temps de réverbération, mesuré à 0,7 seconde, montre la performance acoustique obtenue.

### Encoffrement d'équipements de travail

#### Encoffrement de pompes à vide

À Montauban (Tarn-et-Garonne), une PME de 21 salariés est spécialisée dans la mise en œuvre de procédés spéciaux et le développement de matériaux pour l'industrie aéronautique. À la suite du diagnostic sur les nuisances sonores par la Carsat, elle a lancé un programme d'actions visant à réduire le bruit [2]. L'évaluation a eu lieu dans tous les secteurs de l'entreprise, dans des conditions d'activité normales. Les résultats donnaient des niveaux de bruit dépassant 80 dB(A) dans les ateliers et même 93 dB(A) à proximité de certains équipements, comme les pompes à vide. Dans l'usine, les opérateurs portaient des protecteurs individuels contre le bruit (PICB), mais une réduction du bruit n'avait pas été envisagée. Après un travail en commun, des actions ont été proposées dans tous les secteurs et planifiées par l'entreprise, qui a bénéficié alors d'une aide financière simplifiée (cf. Encadré).

Dans l'atelier « traitement thermique », il a fallu travailler sur la réduction du bruit émis par les groupes de pompes à vide des fours. Des caissons avec parois absorbantes ont été mis en place autour de chaque pompe, en prévoyant un système d'évacuation des calories. Les accès nécessaires aux opérations de maintenance ont été préservés. L'encoffrement de ces pompes a permis de ramener le niveau sonore de 93 dB(A) à 68 dB(A).

Réduire le bruit n'a pas d'incidence directe sur la production. Pour autant, offrir un meilleur environnement de travail aux salariés pour un coût raisonnable est forcément bénéfique. Sur les différents points identifiés dans l'usine, les niveaux sonores initiaux étaient tous supérieurs à 80 dB(A). Ils ont été ramenés en dessous de 70 dB(A), pour le bénéfice de tous.

#### Encoffrement de deux chaînes de production

Dans un atelier (78 salariés) situé dans le Tarn-et-Garonne et filiale d'un groupe national, l'activité principale est le tréfilage de fers à béton, pour les autres unités du groupe. Dans cette structure, dont la taille le permet, différents acteurs contribuent à la prévention : un CHSCT, un responsable HSE et un directeur motivé pour l'amélioration des conditions de travail, et des moyens sont disponibles [3]. Depuis sa création, cet atelier est bruyant, mais les efforts de la société s'étaient principa-

## ENCADRÉ

## INCITATIONS FINANCIÈRES : UN OUTIL AU SERVICE DE L'ACTION RÉGIONALE

Pour les aider dans la mise en œuvre de plans d'actions de prévention du bruit, les entreprises ont pu bénéficier d'incitations financières au travers d'une aide financière simplifiée, l'AFS « Nuisances sonores+ » pour les petites entreprises, et du contrat de prévention pour les autres entreprises.

• **LE DISPOSITIF D'AFS**

est une incitation financière du réseau Assurance maladie – Risques professionnels, réservé aux très petites et petites entreprises (de 1 à 49 salariés) et qui permet le déploiement de masse de solutions de prévention éprouvées. En Midi-Pyrénées, cette AFS a été conçue en partenariat avec les services de santé au travail de la région. L'AFS « Nuisances sonores+ » a permis de financer une partie des investissements d'entreprises de la région en matière de prévention du bruit, pour les aider à mettre en œuvre leur plan d'action. Ce dispositif permettait de financer entre autres, selon des critères prédéfinis [5], l'acquisition

de matériels (compresseurs insonorisés, outil de dégonflage de pneumatique en silence, boulonneuse/déboulonneuse hydropneumatique ou hydraulique); l'acquisition de matériel neuf en remplacement de matériel existant bruyant; la réalisation de travaux d'insonorisation (encoffrement de machines bruyantes, cloisonnement acoustique, traitement acoustique des parois d'un local).

Ce dispositif a permis d'aider plus d'une centaine d'entreprises de la région dans la mise en œuvre de leur plan d'actions, pour un montant de 500 k€, contribuant à un investissement des entreprises de 1 700 k€. On note plus de 80 dossiers de financement, du remplacement de machines bruyantes par des machines moins ou non bruyantes, et plus de 20 dossiers de financement de traitements acoustiques des parois de locaux.

• **LE CONTRAT DE PRÉVENTION**

est une incitation financière qui permet à l'entreprise (jusqu'à un effectif de 199 salariés), à partir

d'un diagnostic partagé avec le représentant du service prévention de la Carsat, de mettre en œuvre un plan d'actions de prévention des risques prioritaires à maîtriser dans son établissement. Ce dispositif est accessible pour les entreprises de tous les secteurs d'activité pour lesquels une Convention nationale d'objectifs (CNO) est en vigueur. Plusieurs entreprises de divers secteurs d'activité ont pu bénéficier de ce dispositif, la plupart du temps dans le cadre de programmes d'actions national ou régional, en complément de mesures de prévention d'autres risques : exposition aux fumées de soudage, aux émissions de moteur diesel... Au final, c'est une vingtaine d'entreprises qui ont complété leurs plans d'actions sur la prévention des nuisances sonores, avec des mesures financées par un contrat de prévention, prioritairement des actions nécessitant des investissements importants, comme le traitement acoustique de locaux, le remplacement d'équipements de travail bruyants ou l'encoffrement de machines.

lement portés sur les sites employant davantage de salariés exposés. Néanmoins, les conditions de travail plutôt pénibles génèrent un turnover important et, suite à une alerte du CHSCT, l'entreprise a décidé la réalisation d'un chantier important : la réduction des émissions de poussières, du niveau sonore et des manutentions dans ses lignes de tréfilage. En travaillant avec l'entreprise sur le projet des deux lignes de tréfilage, la Carsat Midi-Pyrénées a proposé de coupler deux actions : un encoffrement acoustique et l'installation d'une aspiration à la source de poussières, située directement dans l'encoffrement. L'avantage de l'encoffrement était de cantonner les poussières et d'isoler les installations du bruit généré par les équipements. Après réception des devis, l'entreprise, pour des raisons budgétaires, avait décidé de n'encoffrer que l'une des deux lignes présentes en parallèle dans l'atelier. Comprenant que cette mise en œuvre partielle ne ferait baisser que faiblement (environ 3 dB) le niveau sonore global de l'atelier, la direction a débloqué un budget plus conséquent, afin d'encoffrer les deux lignes de fabrication. Au final, plus de 15 dB(A) ont été

gagnés dans cet atelier pour le confort de tous les salariés (cf. Photos 2 et 3).

**Agir en réception : des cabines insonorisées pour les opérateurs**

Placer des opérateurs dans des cabines insonorisées n'est pas une pratique de prévention courante. Cette dernière reste limitée à des postes fixes, sans besoin d'un accès à la source de bruit (contrôle, pilotage...). La Carsat Midi-Pyrénées a travaillé avec une scierie située en Ariège, afin de faire concevoir, réaliser et installer des cabines insonorisées pour les conducteurs de ligne. En constatant que les conducteurs d'engins mobiles étaient moins exposés du fait de leur travail en cabine fermée, l'entreprise a souhaité installer des cabines pour les conducteurs de scies. Après travaux, dans un environnement sonore extérieur qui peut atteindre 95 dB(A), l'opérateur au pupitre de commande travaille avec un niveau sonore ambiant de moins de 70 dB(A) dans la cabine : des conditions de travail bien plus favorables pour les salariés, couplées à la climatisation et au chauffage.

**Remarque :** ce type de cabine pour poste de commande de machines pourrait être généralisé dans



→PHOTOS  
2 ET 3  
Exemple  
d'encoffrement  
d'équipement de  
travail (chaînes de  
production):  
avant, après.



© Carsat Midi-Pyrénées



© Carsat Midi-Pyrénées

bon nombre d'entreprises, afin d'abaisser le niveau d'exposition quotidien, même si le salarié n'y reste pas en poste fixe. En effet, la dose journalière reçue dépendant du produit (niveau sonore x temps d'exposition), celle-ci diminuera si une partie du temps de travail, dans ce type de cabine insonorisée, est effectuée au cours de la journée.

#### Les services de santé au travail : des partenaires impliqués

Un autre axe d'action a été initié par la quasi totalité des services de santé au travail de la région Midi-Pyrénées impliqués dans l'action régionale, avec pour objectif la réduction de l'exposition des salariés aux bruits liés aux échappements d'air comprimé dans les TPE et PME de la région. Ces réflexions ont été initiées au sein du groupe d'échanges sur la prévention des nuisances physiques, que la Carsat et la Direccte animent depuis 2013, dans le cadre du Plan régional de santé au travail (PRST). Les membres de ce groupe ont décidé de mettre en œuvre une action collective pour la prévention du bruit. La mise en commun de connaissances au sein de ce groupe et le partage d'expériences ont permis aux services de santé au travail de progresser en compétences sur la prévention des nuisances sonores, avec l'aide des agents du centre de mesures physiques de la Carsat. Une dizaine de services de santé au travail ont mené l'action au sein de leurs structures respectives, dont sept l'ont inscrite dans leurs CPOM (Contrats pluriannuels d'objectifs et de moyens). L'action, qui s'est déroulée sur la période 2014-2018, a permis de sensibiliser près de 160 entreprises (majoritairement des TPE) et de les accompagner dans la mise en œuvre d'une ou plusieurs actions de prévention du bruit lié aux échappements d'air comprimé. Comme l'ont rappelé à plusieurs reprises les membres du groupe d'échanges, cette action leur a permis d'apprendre à travailler ensemble, en capitalisant sur la complémentarité des missions. Qui plus est, l'évaluation qui a été faite de cette action par le médecin inspecteur du travail de la Direccte a permis de confirmer que bon nombre

d'agents des services de santé au travail, impliqués dans l'action régionale, ont développé des compétences techniques sur la prévention des nuisances sonores et se sentaient plus à l'aise pour conseiller les entreprises. À noter que le groupe d'échanges poursuit ses travaux, également sur d'autres nuisances physiques.

#### Communiquer : un axe d'action incontournable pour mieux informer les salariés et les employeurs

Un autre axe d'action était la communication tout au long du projet. L'idée était de « faire du bruit ! », afin de toucher le plus grand nombre d'entreprises et de salariés, de partenaires et de relais potentiels de cette action de prévention. Le plan de communication s'est déployé au travers de diverses actions et événements, en fonction de la cible et de la thématique visée. Au-delà de la communication écrite et des pages web créées sur le site Internet de la Carsat, quelques illustrations sont évoquées ci-après.

#### Matinées employeurs

Pour sensibiliser les entreprises du secteur d'activité de la réparation automobile par exemple, la Carsat Midi-Pyrénées a organisé des journées dédiées à cette branche professionnelle, avec les adhérents du CNPA (Conseil national des professions de l'automobile), sous forme de « matinées employeurs », organisées dans un CFA (centre de formation à l'apprentissage) ou dans les locaux d'une entreprise volontaire, selon les cas. À l'ordre du jour : une mini-formation, avec un transfert de connaissances sur l'oreille, le bruit, les pathologies de l'audition, les solutions de prévention existantes, et des démonstrations à l'aide de maquettes (soufflettes silencieuses, maquette sur la réverbération et le traitement acoustique, dégonflage de pneu en silence avec le démonte-obus développé par l'INRS) et en ateliers, pour démontrer leur efficacité aux salariés et aux employeurs. Le public repartait avec deux brochures de l'INRS : ED 6020 et ED 6103 [6,7].

### Actions auprès des futurs salariés

La Carsat Midi-Pyrénées est intervenue dans le cadre des JNA (Journées nationales de l'audition), organisées le deuxième jeudi de mars de chaque année, dans des lycées professionnels de la région, en partenariat avec deux services de santé au travail (SMTI 82 et SPSTT), pour sensibiliser les lycéens et leurs professeurs de filières, qui forment les futurs salariés, dont certains seront particulièrement exposés au bruit. Parmi les actions conduites figuraient :

- **un forum** : dans le cadre des JNA, en 2016, la Carsat a organisé un forum sur la prévention des nuisances sonores, dans le cadre d'un partenariat avec l'IUT de Blagnac, qui a réuni près de 300 personnes. Le programme, construit autour d'une série de conférences, réunissait une dizaine d'exposants, mais aussi les services de santé, qui ont réalisé des audiogrammes gratuitement durant tout le forum. Le public a pu suivre des démonstrations sur des solutions de prévention existantes réalisées par des étudiants, dans la salle semi-anéchoïque de l'IUT ;
- **le spectacle *Work & Lobe*** : sensibiliser les jeunes par la musique. Parti des actions de la Carsat vers le public des jeunes lors des JNA, et d'un dispositif qui existait déjà pour les collégiens, le spectacle *Peace & Lobe*, un nouveau dispositif a été conçu dans le cadre de l'action régionale. Le rectorat de l'académie de Toulouse, la fédération régionale Octopus et la Carsat Midi-Pyrénées ont créé ensemble un spectacle pédagogique, afin de sensibiliser les élèves de lycées professionnels, de CFA et de BTS aux risques auditifs en milieu professionnel [4] : une sensibilisation sur un format inédit. *Work & Lobe* est une animation – concert de 50 minutes, dans une salle de spectacle et où s'enchaînent concert, exposés, vidéos et diaporamas. On y retrouve l'histoire des musiques amplifiées (rock, reggae, rap, electro, etc.) avec leurs évolutions technologiques (amplification des sons, puissance, saturation, etc.) et des messages pédagogiques (Qu'est-ce que l'oreille ? Anatomie et fonctionnement – Qu'est-ce que le son ? Le bruit ? – L'oreille et l'audition – Les pathologies

de l'oreille – Les solutions de prévention du bruit). Quatre journées ont déjà été organisées, réunissant plusieurs centaines d'élèves de la région, des professeurs, des partenaires et même des entreprises intéressées par ce nouveau format de sensibilisation, et qui réfléchissent à les organiser dans leurs propres structures.

Pour structurer et pérenniser la démarche auprès des jeunes, des actions de formation des professeurs de certaines filières professionnelles, dont l'exposition des salariés aux nuisances sonores est connue, ont été lancées dans le cadre du partenariat conventionnel du rectorat et de la Carsat : la filière chaudronnerie est déjà formée, d'autres vont suivre.

### Perspectives

La Carsat Midi-Pyrénées a décidé de poursuivre son action pour la prévention des nuisances sonores avec un programme d'action régional prioritaire sur la période 2019-2022, avec deux nouveaux axes privilégiés, en complément des actions déjà initiées. Le premier va consister à favoriser la mise en œuvre de traitements acoustiques de locaux de travail (plafonds, murs...) dès la conception ou lors de réaménagements ou extensions. La volonté affichée est de faire de la conformité acoustique des locaux, entre autres, en application de l'arrêté du 30 août 1990, une règle dans tout projet de construction. Un deuxième axe est une action plus structurée vers un public de plus en plus exposé aux nuisances sonores : jeunes, lycéens, apprentis, techniciens supérieurs... Autant de futurs salariés et employeurs, dont les statistiques en matière de pathologies auditives sont inquiétantes, sur la tranche d'âges 15-25 ans. ●

1. Sur la durée de la Convention d'objectifs et de gestion de la branche Accidents du travail – maladies professionnelles (AT-MP) 2014-2017.

2. Enquête de surveillance médicale des expositions aux risques professionnels (Sumer) 2010. Voir : Références en santé au travail, 2013, 133, pp. 59-74. Accessible sur : [www.rst-sante-travail.fr](http://www.rst-sante-travail.fr)

## BIBLIOGRAPHIE

[1] BRASSEUR G. – Conception de locaux : une croissance silencieuse. *Travail & Sécurité* n° 797, septembre 2018, pp. 36-37. Accessible sur : [www.travail-et-securite.fr](http://www.travail-et-securite.fr)

[2] BRASSEUR G. – Une nuisance traquée en tous points. *Travail & Sécurité* n° 786, septembre 2017, pp. 42-44. Accessible sur : [www.travail-et-securite.fr](http://www.travail-et-securite.fr)

[3] BRASSEUR G. – Une journée avec... Un chargé de sécurité, deux sites, un objectif collectif. *Travail & Sécurité* n° 788, novembre 2017, pp. 30-31. Accessible sur : [www.travail-et-securite.fr](http://www.travail-et-securite.fr)

[4] RAVALLEC C. – La pédagogie monte sur scène. In : Dossier :

La formation initiale. *Travail & Sécurité* n° 798, octobre 2018, p. 24. Accessible sur : [www.travail-et-securite.fr](http://www.travail-et-securite.fr)

[5] DOSSIER DE RÉSERVATION DE L'AIDE FINANCIÈRE SIMPLIFIÉE AFS « NUISANCES SONORES+ ». Toulouse, Carsat Midi-Pyrénées. Accessible sur : [www.carsat-mp.fr](http://www.carsat-mp.fr) / Rubrique « Entreprises », chapitre « Améliorer vos conditions de travail », thème « Incitations financières ».

[6] MOINS FORT LE BRUIT. INRS, Dépliant de sensibilisation, 2007, ED 6020, 6 p. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

[7] TRAITEMENT ACOUSTIQUE DES LOCAUX DE TRAVAIL. INRS, 2011, ED 6103, 20 p. Accessible sur : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

# MASQUAGE SONORE: UNE SOLUTION POUR RÉDUIRE LA GÊNE LIÉE AU BRUIT DANS LES BUREAUX OUVERTS?

L'objectif de l'étude présentée dans cet article était de mettre en évidence les effets de l'utilisation, en conditions réelles, d'un système de masquage sonore, à la fois sur la perception de l'environnement sonore et sur différents paramètres psychologiques, tels que la fatigue et la charge mentale de travail. Un système de masquage sonore (utilisation de bruits artificiels, pour masquer les bruits de conversations) a été installé dans un bureau ouvert (open space) pendant 14 semaines. Le bruit a été caractérisé par des mesures acoustiques. En parallèle, des auto-évaluations de l'état psychologique des salariés et de leur satisfaction vis-à-vis de l'environnement sonore ont été effectuées à l'aide de questionnaires. Ces mesures ne mettent en évidence aucun effet positif de l'utilisation du système de masquage (satisfaction vis-à-vis de l'environnement de travail et gêne due aux conversations intelligibles). L'étude montre clairement que le masquage sonore n'est pas une solution systématique au problème de nuisance sonore dans les bureaux ouverts. Son installation nécessite au préalable une étude de pertinence et/ou de faisabilité d'un masquage effectif, sur la base de mesures des caractéristiques acoustiques du local et du bruit ambiant.

---

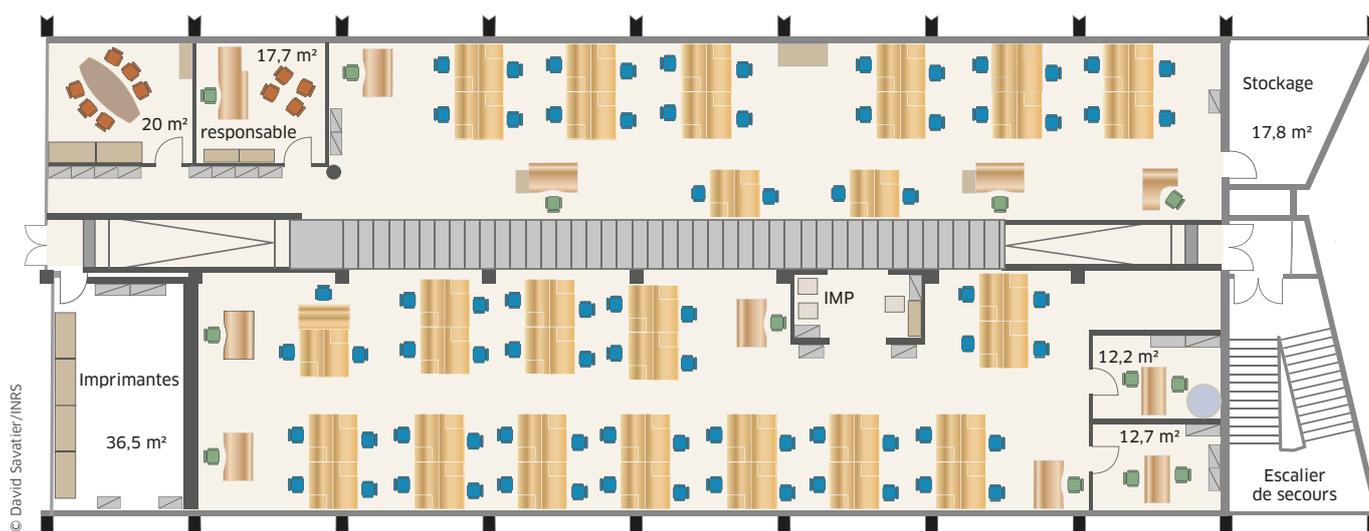
LUCAS  
LENNE,  
PATRICK  
CHEVRET  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

---

**D**epuis que les bureaux ouverts existent, le bruit représente une problématique permanente. En effet, ce type d'aménagement de l'espace de travail concentre les travailleurs dans un même lieu, sans cloison allant du sol jusqu'au plafond. La multiplication des sources de bruit (conversations, sonneries de téléphones, bruit des ordinateurs ou encore des imprimantes) dans un même espace a souvent pour conséquence une insatisfaction des salariés envers leur environnement de travail : une enquête, réalisée en avril 2011 par Actinéo (Observatoire de la qualité de vie au bureau) et TNS-Sofres auprès de 547 actifs travaillant dans un bureau (et représentatifs de la population française âgée de plus de 18 ans), a montré que près de 40% des personnes travaillant dans un bureau ouvert (contenant au moins cinq personnes) sont insatisfaites de leur environnement sonore de travail, contre seulement 10% des personnes travaillant dans un bureau individuel et 15% de celles travaillant dans un bureau collectif (de deux à quatre personnes).

Parmi les sources de bruit présentes dans un bureau ouvert, toutes ne sont pas équivalentes vis-à-vis de la gêne occasionnée : les résultats du projet de recherche Gabo (gêne acoustique dans les bureaux ouverts<sup>1</sup>), financé par l'Anses et réalisé par l'INRS et l'INSA<sup>2</sup> de Lyon, montrent que les conversations intelligibles occasionnent la gêne la plus importante. En plus de provoquer une gêne importante, elles interfèrent avec les processus cognitifs nécessaires à la réalisation du travail, ce qui entraîne une diminution de la performance des salariés [1]. Aussi, la diminution de l'intelligibilité de la parole est devenue un enjeu majeur de la conception acoustique des bureaux ouverts. Cette intelligibilité, qui se mesure objectivement à l'aide d'un indicateur appelé STI (cf. Encadré) [2], est principalement fonction du rapport signal (bruit de parole) sur bruit (bruit de fond). Pour réduire la gêne due aux paroles intelligibles, deux approches sont ainsi défendues par les spécialistes de l'aménagement de bureau :

- limiter la propagation des signaux de parole, grâce à l'installation de traitements acoustiques dans le bureau (des cloisonnettes acoustiques entre les



© David Savatier/INRS

postes de travail par exemple et de l'absorbant au sol, au plafond et sur les murs) ;

- augmenter le bruit de fond de manière contrôlée, par l'intermédiaire d'un système de diffusion sonore, appelé système de masquage.

Des études scientifiques [3,4] mettent en évidence la capacité du masquage sonore à diminuer la gêne et la baisse de performance dues au bruit de conversations dans les bureaux. Elles semblent en effet montrer que le fait de rendre une conversation moins intelligible, en la masquant par un bruit artificiel (semblable à un bruit de ventilation) a pour conséquence de permettre une meilleure concentration des salariés sur leur travail.

Cependant, ces études comportent des faiblesses importantes, du fait qu'elles ont été réalisées en laboratoire, sur de courtes durées d'exposition au bruit (inférieures à une heure), en mettant en œuvre des tâches (mémoire sérielle, calcul mental, etc.) peu représentatives de celles réalisées dans les bureaux ouverts (traitement de dossiers, démarchage téléphonique, etc.) et même parfois, en demandant aux sujets de s'imaginer travailler dans cet environnement sonore. Par conséquent, ces études qui évaluent la gêne et la capacité à se concentrer sur une courte période, ne considèrent jamais les effets du bruit ajouté à moyen et long termes, tels que la fatigue, une baisse de vigilance, une baisse de motivation, etc. Ainsi, sans nier la pertinence des expériences en laboratoire, on constate leur manque de représentativité qui limite la portée de leurs résultats.

C'est de ce constat qu'est venue l'idée de l'expérimentation présentée ici. Elle vise à mettre en évidence les effets de l'utilisation, en conditions réelles, d'un système de masquage, à la fois sur la perception de l'environnement sonore et sur différents paramètres psychologiques, tels que la fatigue

et la charge mentale de travail. Pour atteindre cet objectif, un système de masquage sonore a été installé dans un bureau ouvert pendant 14 semaines sur le plateau d'une entreprise française du secteur bancaire. Le bureau ouvert a été caractérisé par des mesures acoustiques en l'absence d'occupants et le bruit dû à l'activité sur le plateau a été caractérisé à l'aide de mesures de bruit ambiant pendant son fonctionnement. Ces mesures ont été réalisées conformément à la norme NFS31-199 (2016) [5]. En parallèle, des auto-évaluations de l'état psychologique des salariés et de leur satisfaction vis-à-vis de l'environnement sonore ont été effectuées à l'aide de questionnaires issus de la littérature. Ces enquêtes ont été réalisées tout au long de l'expérimentation, en présence ou non du système de masquage. Cet article présente, dans un premier temps, les conditions dans lesquelles l'expérimentation a été réalisée, puis une description du protocole expérimental. Les effets du masquage, après plusieurs mois d'utilisation du système, sont ensuite présentés, avec une discussion sur les précautions à prendre, avant d'envisager l'utilisation des tels systèmes.

### Conditions de l'expérience

L'organisation sélectionnée pour l'étude est une grande entreprise du secteur bancaire français. Le bureau ouvert qui a servi pour l'étude, d'une surface d'environ 500 m<sup>2</sup>, peut accueillir jusqu'à 83 collaborateurs (cf. Figure 1). L'ameublement récent est constitué de bureaux séparés par des écrans absorbants de 1,4 m de hauteur et d'un espace pour les imprimantes (cf. Figure 2, visible sur la droite), isolé de l'espace de bureau par des cloisons acoustiques allant jusqu'au faux-plafond. Le plafond est traité acoustiquement avec des dalles absorbantes de 2 cm d'épaisseur, placées à un mètre sous la

↑ FIGURE 1  
Plan du bureau participant à l'étude.



ENCADRÉ

**LES INDICATEURS ACOUSTIQUES PERTINENTS**

- **STI (speech transmission index)** est un indice d'intelligibilité de la parole. Plus le signal de parole est à un niveau important devant le bruit de fond, plus le STI s'approche de 1, sa valeur maximale, qui correspond à une intelligibilité parfaite. Dans le cas contraire, où le bruit de fond est grand devant le signal de parole, le STI tend vers sa valeur minimale, qui est de 0 [2].
- **Distance de distraction  $r_D$**  : c'est la distance séparant le locuteur de l'auditeur à partir de laquelle le STI est inférieur à 0,5. Une fois cette distance dépassée, un effort conscient est nécessaire pour comprendre le sens d'une conversation.
- **Temps de réverbération  $T_r$**  : c'est le temps que met l'énergie sonore à décroître (de 60 dB) dans un local. Une valeur faible indique que le traitement acoustique global du local est performant.
- **Décroissance spatiale du niveau d'un signal de parole par doublement de la distance  $D_{2,5}$**  : cette valeur, si élevée, indique que les bruits de parole s'atténuent beaucoup en traversant le local. Elle permet de caractériser plus précisément la qualité acoustique des cloisonnettes et du plafond.
- **Atténuation poste à poste  $D_n$**  : c'est un indicateur plus local que le précédent, caractérisant la propagation des sons d'un poste de travail donné à son voisin.
- **Niveau acoustique équivalent pondéré A local  $L_{Aeq}$**  : c'est le bruit ambiant local en activité.
- **Niveau de bruit de fond, local occupé, noté  $L_{90}$**  : c'est un indicateur statistique caractérisant le niveau de bruit dépassé 90% du temps.

dalle en béton. Les murs ne sont pas traités acoustiquement et le sol est un plancher technique (sauf l'allée centrale, qui est recouverte de moquette). Enfin, des dalles absorbantes horizontales (volume = 1 m<sup>2</sup> x 2 cm) sont suspendues parallèlement aux faux-plafond (cf. Figure 2), pour renforcer la capacité d'absorption des bruits du local.



↑ FIGURE 2 Aménagement du bureau participant à l'étude.

L'activité principale réalisée sur le plateau est le traitement de dossiers clients, activité qui nécessite une forte concentration de la part des salariés. Les conversations téléphoniques ne sont nécessaires que dans les rares cas de dossiers complexes. Les observations, réalisées au préalable (et indépendamment de l'étude) par les préventeurs, ont mis en évidence des plaintes émanant des personnes

travaillant sur le plateau quant au niveau de bruit ambiant, et aux conversations intelligibles des collègues. Pour cette raison, ce bureau ouvert a été jugé *a priori* comme tout indiqué pour l'installation d'un système de masquage.

Le système de masquage utilisé pour l'étude a une architecture centralisée. Il est constitué de haut-parleurs, de microphones de contrôle et d'une unité de commande : 23 haut-parleurs sont positionnés au-dessus du faux-plafond, orientés vers le haut et répartis uniformément dans le plateau. Cette configuration permet d'assurer l'homogénéité spatiale du bruit de masquage. Quatre microphones sont fixés dans les dalles du faux-plafond et mesurent en permanence le niveau acoustique dans le local. Ils permettent d'adapter le niveau du masquage en fonction du niveau de bruit des conversations. L'unité de commande est placée dans le plénum et réalise toutes les opérations nécessaires au fonctionnement du système de masquage.

**Protocole expérimental**

L'expérimentation a mis en jeu des mesures physiques et des évaluations subjectives. Les mesures physiques comprenaient des mesures réalisées sur le plateau vidé de ses occupants (ou mesures à vide) et des mesures en occupation (ces dernières ont été réalisées avec et sans le système de masquage sonore). Les grandeurs suivantes, recommandées par la norme NF S31-199 [5], ont été mesurées : le temps de réverbération ( $T_r$ ), la décroissance spatiale de la parole ( $D_{2,5}$ ), l'atténuation poste à poste ( $D_n$ ) et le bruit ambiant ( $L_{Aeq}$ ) (cf. Encadré). Les évaluations subjectives ont quant à elles été réalisées à plusieurs reprises tout au long de l'expérimentation. Elles sont basées sur un ensemble de questionnaires issus de la littérature (dont les réponses sont anonymes) et portent sur différentes dimensions de la fatigue perçue, la gêne occasionnée par l'environnement sonore, ainsi que la charge mentale de travail (cf. Tableau 1). Le calendrier complet de l'expérimentation (cf. Tableau 2) s'étale sur 26 semaines (entre octobre 2017 et avril 2018), parmi lesquelles 14 semaines correspondent à un fonctionnement nominal du système de masquage. Cette durée longue permet de répondre à l'objectif de l'étude qui est de mettre en évidence d'éventuels effets à long terme d'une exposition à un bruit de masquage. L'expérimentation se divise en quatre phases :

- **la phase 1** permet de mesurer un état de référence et de mettre en évidence un éventuel effet de « désirabilité sociale » (un système de masquage ayant été installé, les personnes pourraient, consciemment ou non, être influencées dans leur réponses). Les questionnaires sont déployés deux fois (J1 et J2 : cf. Tableau 2) ;
- **la phase 2** est la phase de mise en fonctionnement du système : le niveau du masquage augmente pro-

gressivement durant trois semaines afin d'éviter une réaction de rejet. Il n'y a pas d'enquête durant cette période d'habituation;

- **la phase 3** est la phase de fonctionnement nominal du système. Elle dure 14 semaines et permet de mettre en évidence les effets à long terme du masquage grâce à trois journées d'enquêtes (J3, J4, J5: cf. Tableau 2);
- **la phase 4**, qui débute lorsque le système de masquage est arrêté, se termine après six semaines par une dernière journée d'enquête (J6). Elle permet de mettre en lumière les effets de l'arrêt du système de masquage.

## Résultats

### Effets attendus du masquage sonore

Les mesures physiques réalisées permettent de qualifier le plateau, vis-à-vis de la norme NFS 31-199 [5]. Les différents indicateurs acoustiques sont explicités dans l'encadré. Le temps de réverbération mesuré est compris entre 0,48 s et 0,59 s, ce qui est conforme aux valeurs recommandées par la norme. La décroissance des niveaux  $D_{2,5}$  est comprise entre 5,5 dB(A) et 7,3 dB(A), ce qui est, au mieux, tout juste conforme à la norme (qui exige une  $D_{2,5}$  supérieure à 7 dB(A)). L'atténuation poste à poste ( $D_n$ ) est comprise entre 3 dB et 3,8 dB, ce qui est fortement inférieur à la valeur de la norme, qui exige une atténuation supérieure à 6 dB. Enfin, le bruit ambiant ( $L_{Aeq}$ ) a une valeur de 53,9 dB(A), ce qui est très supérieur aux valeurs cibles de la norme, qui recommande que le bruit ambiant, pour ce type d'activité, soit compris entre 40 dB(A) et 45 dB(A). Le bruit de fond en occupation ( $L_{90}$ ) atteint un niveau de 40 dB(A). Le niveau du bruit de masquage a ainsi été ajusté entre 40 et 45 dB(A). Ces différents résultats de mesures ( $D_{2,5}$  et de  $D_n$ , d'une part, et bruit ambiant, d'autre part) expliquent les plaintes des personnes travaillant sur le plateau vis-à-vis des conversations intelligibles et du niveau de bruit.

Le système de masquage a pour objectif théorique de compenser les lacunes du plateau (vis-à-vis de la limitation de la propagation des signaux de parole) par l'augmentation du niveau du bruit de fond et donc, par la diminution de l'intelligibilité des conversations. Pour évaluer l'effet du système de masquage, on peut d'abord estimer la « distance de distraction »  $r_D$  (cf. Encadré). Cette distance de distraction peut se calculer à partir des mesures réalisées en local vide.

Les mesures réalisées sur le plateau permettent d'obtenir une distance de distraction de 8,6 m (en l'absence de masquage) et de 2,4 m (en présence de celui-ci). Il est intéressant de dénombrer, pour chaque poste de travail, le nombre de postes voisins situés dans la zone de distraction. La figure 3 représente la proportion des postes de travail (en ordonnées) qui dérangent théoriquement (en se fiant à la

NOM DU QUESTIONNAIRE	MESURES	NOMBRE DE SOUMISSIONS PAR JOUR	TEMPS DE RÉPONSE SUR LA JOURNÉE
Bond & Lader [6]	Somnolence	2	2 min
Thayer [7]	Vigilance Tension	2	4 min
MFI20 [8]	Fatigue générale Fatigue mentale Activité réduite Motivation	2	4 min
Gabo* [5,9]	Satisfaction Niveau perçu et gêne ressentie Relation avec le bruit Santé perçue	1	15 min
Gabo court*	Satisfaction Niveau perçu et gêne ressentie	1	5 min
Questionnaire ICA [10]	Charge intrinsèque Charge externe Charge essentielle Ressources disponibles	1	15 min
<b>Durée totale</b>			<b>45 min</b>

\*Le questionnaire Gabo est disponible dans la norme NF S 31-199 [5] et sur le site de l'INRS<sup>1</sup>.

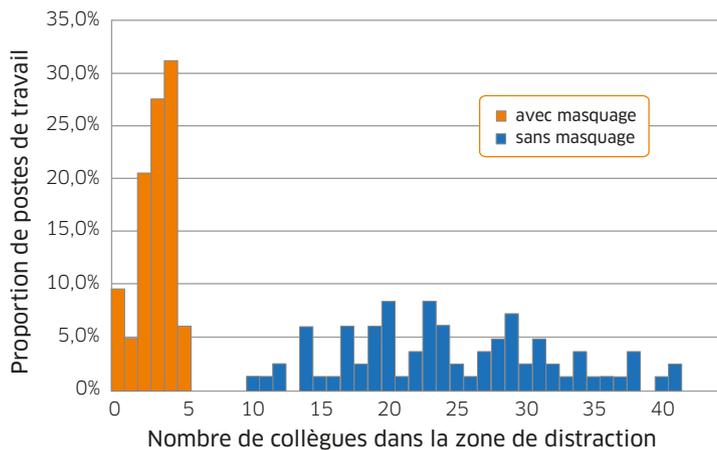
distance de distraction) un certain nombre de collègues du voisinage (en abscisses). Les distributions sont clairement disjointes : en l'absence de masquage, tous les postes de travail dérangent plus de dix collègues, tandis qu'en présence de masquage, tous les postes de travail dérangent moins de cinq collègues. Il est donc légitime de s'attendre à une diminution significative de la gêne due à l'environnement sonore et à une augmentation significative de la satisfaction des occupants du plateau ouvert vis-à-vis du bruit.

↑ **TABLEAU 1**  
Questionnaires, fréquences de soumission et durées nécessaires à leur remplissage.

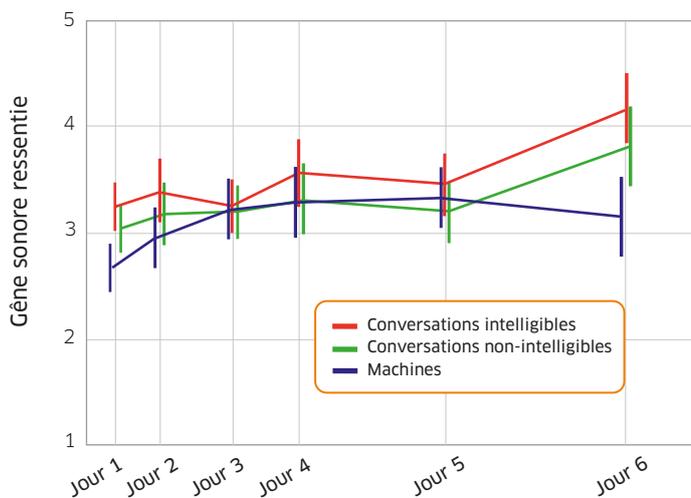
↓ **TABLEAU 2**  
Calendrier de l'expérimentation.

SEMAINES	PHASE EXPÉRIMENT.	SYSTÈME DE MASQUAGE	DATES D'UTILISATION DES QUESTIONNAIRES
1	1	Absent	J1
2		Installation	-
3		OFF	J2
4 à 6	2	OFF -> ON (Rampe)	-
7		3	ON
8-9	-		
10	J4		
11 À 19	-		
20	J5		
21 À 25	-		
26	4	OFF	J6

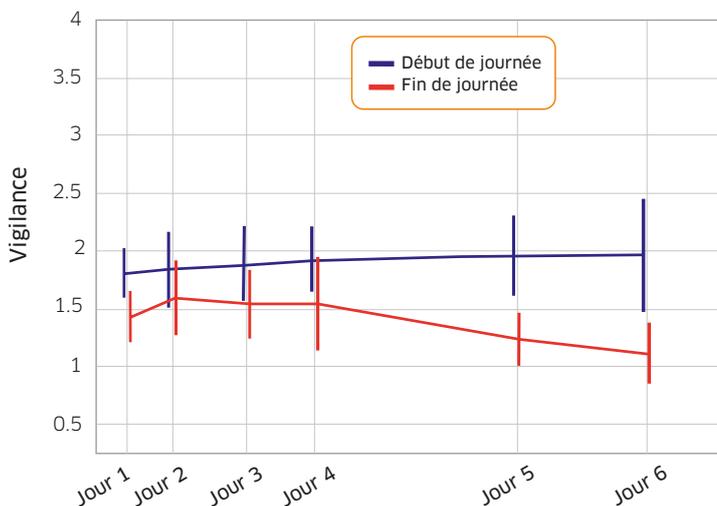




↑ FIGURE 3 Nombre de collègue(s) dérangé(s) par chaque poste de travail.



↑ FIGURE 4 Valeurs moyennes et intervalles de confiance (à 95%) de la gêne ressentie due à différentes sources de bruit. (1 : Pas du tout gênant, 5 : Tout à fait gênant, cf. questionnaire Gabo).



↑ FIGURE 5 Évolution de la vigilance au cours de l'expérimentation et de la journée de travail (0,25 : peu vigilant, 4 : très vigilant).

### Effets réels du masquage sonore

Les effets réels du masquage sonore sont évalués à partir des réponses aux questionnaires. Les résultats montrent que dans l'ensemble, les salariés considèrent leur environnement sonore initial (avant l'installation du système) comme trop bruyant et ressentent une gêne vis-à-vis de celui-ci. Ceci est conforme aux valeurs mesurées des indicateurs acoustiques, ainsi qu'aux plaintes initiales des salariés vis-à-vis du bruit ambiant. Si on compare les questionnaires avant et après la mise en route du système de masquage, l'analyse statistique des réponses ne révèle aucun effet significatif de l'installation du système de masquage sonore, que ce soit sur la perception du niveau ou sur la gêne ressentie.

Une analyse plus précise, différenciée sur les sources sonores, ne révèle aucun effet significatif du masquage sur la gêne occasionnée par les sonneries de téléphone et par les bruits de pas. En revanche, un effet significatif du jour de soumission des questionnaires a été mis en évidence sur la gêne due aux conversations, intelligibles ou non, ainsi que sur la gêne due aux bruits de machines (cf. Figure 4). En particulier, il est à noter que :

- la gêne due au bruit des machines (ordinateurs, ventilation, imprimantes, etc.) augmente de manière significative lors de la mise en fonctionnement du système de masquage. Cette observation peut s'expliquer par le fait que le bruit de masquage choisi est proche d'un bruit de ventilation (bruit blanc avec une pente d'environ -6 dB par octave) ;
- la mise en fonctionnement du système de masquage n'a pas d'effet significatif sur la gêne occasionnée par les conversations, intelligibles ou non, mais après l'arrêt du système, cette gêne est significativement plus importante qu'avant la mise en fonctionnement du système.

En ce qui concerne les différentes dimensions de la fatigue évaluée et les facteurs de la charge mentale de travail, on n'observe pas de variations significatives dues à la mise en fonctionnement du système de masquage. Toutefois, les dimensions de la fatigue varient significativement au cours de la journée de travail. Par exemple, la vigilance (cf. Figure 5) diminue de manière significative entre le début et la fin de la journée de travail.

Enfin, la satisfaction vis-à-vis de l'environnement de travail et notamment vis-à-vis de la privacité<sup>3</sup> (cf. Figure 6) ne varie pas significativement avec l'installation du système de masquage. La satisfaction vis-à-vis de la privacité dépend pourtant de la possibilité d'avoir des conversations privées et de la possibilité de concentration, qui devraient, théoriquement, augmenter suite à la diminution de la distance de distraction.

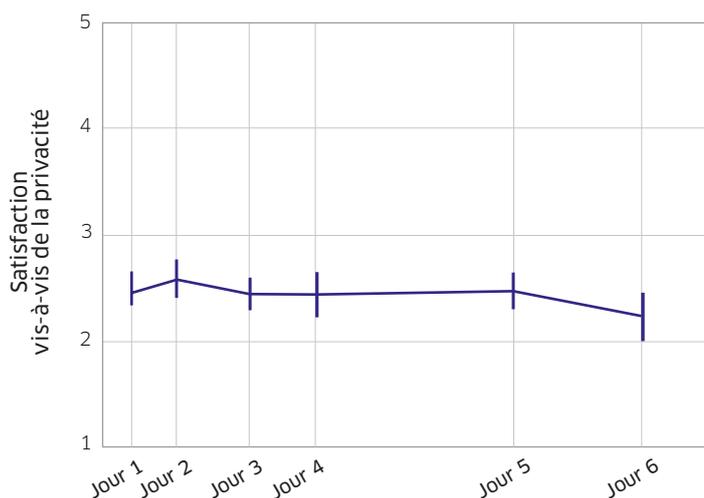
### Discussion - Perspectives

L'étude a permis de mieux connaître les effets de l'utilisation d'un système de masquage en bureau ouvert dans une entreprise du secteur bancaire français. Le plateau sélectionné, dont l'aménagement est relativement standard dans le panel des bureaux ouverts des entreprises françaises, a été équipé durant 14 semaines d'un système de masquage, dont la structure et le fonctionnement suivaient les recommandations de la littérature scientifique. L'expérimentation, d'une durée totale de six mois, était divisée en quatre phases : un état de référence avant l'installation du système ; la mise en fonctionnement du masquage ; le masquage en fonctionnement ; et l'arrêt du système, durant lesquelles des évaluations subjectives du ressenti des salariés ont été régulièrement réalisées.

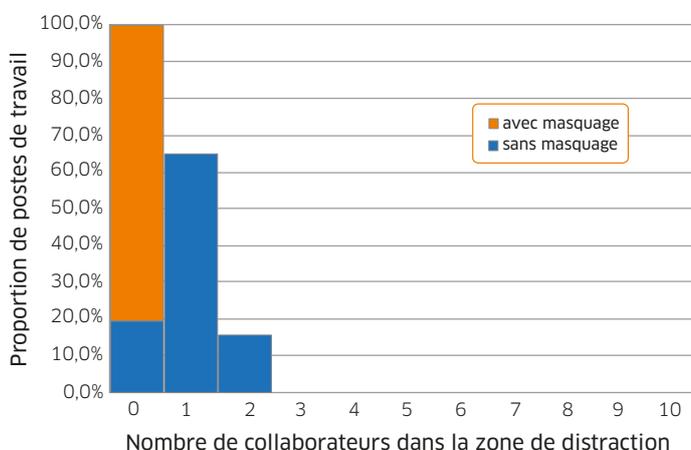
Ces évaluations ne mettent en évidence aucun effet positif de l'utilisation du système de masquage (satisfaction vis-à-vis de l'environnement de travail et gêne due aux conversations intelligibles). Au contraire, le bruit de masquage a entraîné une augmentation de la gêne due au bruit de machines, sans la contrebalancer par une diminution de la gêne due à d'autres sources de bruit.

Ces observations sont en contradiction avec les considérations théoriques et les expériences réalisées en laboratoire. De notre point de vue, une explication pourrait résider dans le niveau du bruit de fond mesuré dans les locaux occupés ( $L_{90}$ ), déjà élevé avant l'installation du système. Ce bruit de fond en occupation, constitué principalement d'un mélange de bruits de parole, agirait lui-même comme un bruit de masquage vis-à-vis des conversations particulières. Partant de cette hypothèse, il est possible d'estimer la distance de distraction en considérant le bruit de fond mesuré pendant l'activité (et non pas en l'absence du personnel comme précédemment). La distance de distraction est alors de 1,7 m en l'absence de masquage et de 0,5 m en présence de celui-ci. La figure 7, tracée de la même manière que la figure 3, est en adéquation avec les observations subjectives réalisées. En effet, contrairement à la figure 3, les distributions se superposent. Cela laisse supposer un très faible effet du masquage sur la gêne due aux conversations intelligibles.

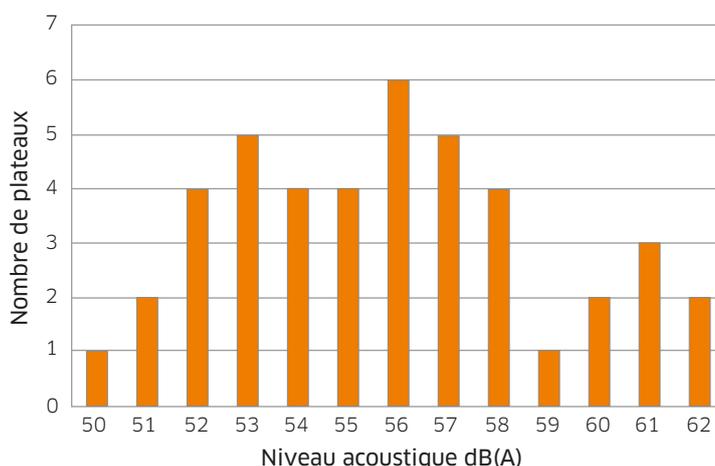
Si notre étude présente d'éventuelles faiblesses (le renouvellement d'une partie de l'équipe travaillant sur le plateau), elle met clairement en évidence le fait que le masquage sonore n'est pas une solution systématique au problème de nuisance sonore dans les bureaux ouverts. Elle démontre que l'installation de tels systèmes nécessite au préalable des études de pertinence et/ou de faisabilité. De telles études seraient basées sur des mesures des caractéristiques acoustiques du local vide comme la décroissance et du local occupé comme le bruit ambiant et le bruit de fond.



↑ FIGURE 6 Évolution de la satisfaction vis-à-vis de la privacité au cours de l'expérience (1 : Pas du tout satisfait, 5 : Tout à fait satisfait).



↑ FIGURE 7 Nombre de collègue(s) dérangé(s) par chaque poste de travail (en considérant le bruit de fond en occupation).



↑ FIGURE 8 Niveaux ambiants mesurés par l'INRS depuis 2009 dans 43 bureaux ouverts français.





© Philippe Castano pour l'INRS

À noter, pour finir, que dans la plupart des bureaux ouverts en France, le niveau de bruit ambiant est supérieur à 54dB(A) (dans 72% des 43 bureaux dans lesquels l'INRS a réalisé une campagne de mesures depuis 2009 ; cf. Figure 8). Dans ces bureaux ouverts, l'environnement sonore est donc similaire, sinon de qualité inférieure, à celui du bureau ayant fait l'objet de l'étude. C'est pourquoi, d'après nous, il est important de rappeler aux différents acteurs de la prévention des risques liés au bruit un principe simple : il est préférable, dans un premier temps, de réduire le niveau du bruit ambiant plutôt que d'ajouter un bruit supplémentaire à un environnement déjà bruyant, même si cela tend à réduire les modulations du bruit ambiant (dues aux conversations, et qui causent de la gêne). Cette réduction du

niveau de bruit dans le bureau peut être réalisée par l'installation de matériaux de haute performance acoustique dans le local, mais également par l'amélioration de l'agencement du mobilier, à l'aide d'une analyse de l'activité. ●

1. *Questionnaire Gabo (gêne acoustique dans les bureaux ouverts)*, accessible via le site de l'INRS. Voir : [www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil62](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil62)
2. Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'environnement et du travail. Site : [www.anses.fr](http://www.anses.fr) ; Institut national des sciences appliquées de Lyon. Site : [www.insa-lyon.fr](http://www.insa-lyon.fr)
3. *La privacité se réfère à tout ce qui a trait à la vie privée. Dans le contexte des bureaux ouverts, la privacité pourrait être assimilée à la confidentialité.*

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] JONES D. MADDEN C., MILES C. – Privileged access by irrelevant speech to short-term memory : the roles of changing state. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1992, 44, pp.645-669.
- [2] STEENEKEN H.J.M., HOUTGAST T. – A physical method for measuring speech-transmission quality. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1980, 67, pp.318-326.
- [3] HONGISTO V. – Effect of sound masking on workers in an open-plan office. In : Euronoise, Paris, 2008.
- [4] SCHLITTEMEIER S.J., HELLBRÜCK J. – Background music as noise abatement in open-plan offices : A laboratory study on performance effects and subjective preferences. *Applied Cognitive Psychology*, 2009, 23, pp.684-697.
- [5] NORME NF S31-199 – *Acoustique. Performances acoustiques des espaces ouverts de bureaux*. Paris, Afnor, 2016. Accessible sur : [www.boutique-afnor.org](http://www.boutique-afnor.org) (site payant).
6. BOND A., LADER M. – The use of analogue scales in rating subjective feelings. *British Journal of Medical Psychology*, 1974, 47, pp.211-218.
7. THAYER R.E. – Activation-deactivation adjective check list: current overview and structural analysis. *Psychological Reports*, 1986, 58, 2, pp.607-614.
8. GENTILE S. ET AL. – Validation of the French 'multidimensional fatigue inventory' (MFI20). *European Journal of Cancer Care*, 2003, 12, pp.58-64.
9. PIERRETTE M. ET AL. – Noise effect on comfort in open-plan offices: development of an assessment questionnaire. *Ergonomics*, 2015, 58, pp. 96-105.
10. GALY E., CARIOU M., MELAN C. – What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types? *International Journal of Psychology*, 2012, 83, pp.269-275.

# PROTECTEURS INDIVIDUELS CONTRE LE BRUIT (PICB): LE RÈGLEMENT EUROPÉEN

**Du fait notamment de la réglementation en vigueur, qui impose leur mise à disposition, le port de protecteurs individuels contre le bruit (PICB) est une pratique largement répandue dans les ambiances de travail bruyantes. Cependant, l'efficacité réelle des PICB est depuis longtemps discutée par les experts en prévention et les acousticiens. Ce questionnement sur leur efficacité étant partagé par le législateur, une nouvelle réglementation sur les équipements de protection individuelle (EPI) est parue. De leur côté, les fabricants ont anticipé, en proposant désormais des systèmes permettant de vérifier la bonne efficacité d'une protection auditive. Cet article propose un panorama de ces évolutions.**

NICOLAS  
TROMPETTE  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

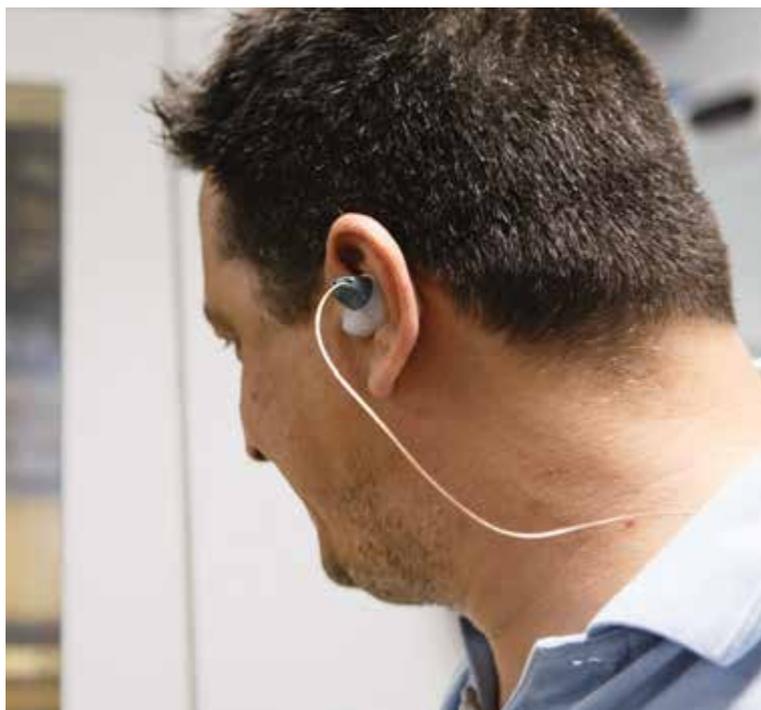
Lorsque l'exposition au bruit est avérée, le recours à une protection individuelle contre le bruit (PICB) est pratiquement systématique. Il y a plusieurs raisons à cela. La principale est que la réglementation impose la mise à disposition de ces équipements. Ensuite, la mise en œuvre de solutions collectives de réduction du bruit prend un certain temps, alors qu'il convient de protéger les personnes exposées, dès lors que le risque est identifié. Enfin, certaines limites réglementaires, notamment relatives à la pénibilité, s'entendent en prenant en compte l'effet de la protection auditive. Cette dernière devient alors un moyen de les respecter. Pourtant, l'efficacité réelle des PICB est depuis longtemps discutée. Les préventeurs déplorent des mauvaises pratiques, qui peuvent avoir un impact majeur sur le niveau de protection. Cela se traduit par un différentiel important entre les niveaux d'atténuation du bruit affichés par les fabricants et ceux effectifs. Cet écart est inhérent à une méthode de certification des PICB trop optimiste, et à l'absence de vérification de l'adéquation de la protection, à la fois avec l'utilisateur et avec la situation de travail. Ce constat a été dressé par le législateur et les fabricants. Une nouvelle réglementation sur les équipements de protection individuelle (EPI) est parue. Elle a été l'occasion de passer les PICB de la catégorie II (« Protection contre un risque intermédiaire ») à la catégorie III (« Protection contre un risque irréversible ou mortel »), et d'ajouter des exigences dans les normes donnant présomption de conformité. De leur côté, les fabricants ont anticipé et proposent désormais des systèmes permettant de vérifier, pour chaque utilisateur individuellement, la bonne effica-

cité d'une protection auditive. Cet article se propose de revenir sur ces évolutions.

## Le nouveau règlement européen Rappels sur la réglementation EPI

Lorsqu'un fabricant veut mettre un EPI sur le marché, il doit attester de sa conformité au règlement n° 2016/425 de la Commission européenne (CE) (cf. En savoir plus). Ce règlement fixe des exigences générales à tous les EPI et particulières à certains – ce qui est le cas pour les protections individuelles contre les bruits lésionnels. Cette attestation de conformité exige la délivrance d'un certificat (dit « UE de type ») par un organisme notifié, c'est-à-dire par un laboratoire accrédité par un état membre. L'organisme notifié certifie que l'EPI respecte le règlement. Il s'appuie pour cela sur des normes qui sont établies par des experts et publiées sur le site de la CE et qui, lorsque leurs exigences sont satisfaites, donnent présomption de conformité au règlement. Pour les PICB, il s'agit de la série des normes EN 352-1 à 352-10 (cf. En savoir plus). Pour chaque exigence générale ou particulière du règlement, la norme impose une ou plusieurs exigences propres à l'EPI considéré. Par exemple, le règlement n° 2016/425 stipule que « les EPI doivent être conçus et fabriqués de façon à ne pas engendrer de risques ou d'autres facteurs de nuisance », ce que les normes EN 352 traduisent par « le protecteur auditif ne doit pas être inflammable », « les matériaux constitutifs en contact avec la peau ne doivent pas être allergènes », etc. Pour beaucoup de ces exigences, les normes vont demander à ce que le PICB passe avec succès certains tests. Par exemple, toujours pour l'inflammabilité, qu'il ne





© Vincent Nguyen pour l'INRS

s'embrase pas lorsqu'il est traversé par une tige incandescente. Enfin, les normes listent les informations à fournir à l'utilisateur et prescrivent les essais nécessaires pour obtenir certaines de ces informations. En particulier, pour les PICB, les performances acoustiques.

### Évolution de la réglementation pour les PICB

Deux changements importants sont apparus dans le nouveau règlement n° 2016/425. Le principal est que les équipements de protection contre les bruits nocifs sont désormais classés en catégorie III : « *Protection contre les lésions irréversibles ou mortelles* ». Cela implique, soit qu'ils doivent subir un contrôle de production tous les ans, soit que l'assurance qualité de leur mode de production doit être contrôlée. Deux annexes du règlement, les modules C2 et D, précisent les modalités de ces deux possibilités de contrôle de la qualité de la production. L'autre changement concerne la durée de validité des certificats, désormais limitée à cinq ans pour tous les EPI – elle n'était pas limitée auparavant. Cette limitation devrait faciliter la surveillance du marché.

Par ailleurs, les normalisateurs discutent actuellement de la prise en compte de deux exigences, déjà présentes dans l'ancienne directive, mais qui n'avaient pas été reprises dans les normes, car elles étaient jugées inapplicables compte tenu de l'état de l'art :

- les EPI « *doivent pouvoir s'adapter à la morphologie de l'utilisateur par tout moyen approprié, tel qu'une variété suffisante de tailles et de pointures* » ;
- dans le cas des EPI « *produits en série lorsque*

*chaque unité est adaptée à un utilisateur donné* », l'organisme notifié « *examine la description des mesures en vue d'évaluer leur adéquation* ».

Les modalités de vérification de ces deux exigences par les organismes notifiés sont encore en discussion, mais leurs grandes lignes sont définies. La première est assez triviale à vérifier : les dimensions extrêmes des conduits auditifs humains sont connues, du moins pour les adultes, et il suffira donc à l'organisme notifié de vérifier que le protecteur ou la gamme d'un type de protecteur est capable de s'adapter à ces dimensions. La seconde, en revanche, représente un changement important. Par « *produits en série lorsque chaque unité est adaptée à un utilisateur donné* », le règlement désigne les bouchons d'oreille sur mesure ou bouchons moulés individuels (BMI). Ceux-ci sont effectivement produits en série, mais chaque unité reproduit l'empreinte du conduit auditif de son utilisateur. Le fabricant devra démontrer à l'organisme notifié que, pour chaque individu, il a mis en place les moyens de s'assurer que les BMI sont adaptés. Cela pourrait se limiter à vérifier qu'ils obturent correctement les conduits auditifs de leur porteur. Il n'est pas encore décidé si leur efficacité acoustique doit aussi être vérifiée. Comme, si le conduit est obturé de façon étanche, l'atténuation apportée par les BMI ne dépend *a priori* que du filtre dont ils sont équipés, ce ne sera probablement pas le cas, sauf peut-être dans le cas d'un filtre à forte atténuation.

### Incidences concrètes de ces évolutions

Pour un fabricant, les conséquences de la mise en application du nouveau règlement sont immédiates : avant avril 2019, il doit mettre en place et faire certifier le système d'assurance qualité de son mode de production, conformément au module D du règlement CE. Sinon, il devra subir un contrôle de production par un organisme notifié tous les ans, à partir d'avril 2020. Il devra aussi avoir renouvelé tous les certificats de ses protecteurs avant avril 2023 au plus tard, date de fin de la période transitoire tolérée par la CE, et cette certification sera reconduite tous les cinq ans. Pour obtenir les nouveaux certificats, il devra désormais montrer, lors de la certification, que ses protecteurs peuvent s'adapter à n'importe quelle morphologie, par exemple en proposant une gamme de tailles. Pour les bouchons moulés sur mesure, il devra aussi expliquer lors de la certification quelle méthode il a mise en place, afin de s'assurer de leur bonne adéquation à l'utilisateur final.

Pour les utilisateurs, ces changements paraissent *a priori* loin de leurs préoccupations. Les protections auditives devraient être de meilleure qualité qu'aujourd'hui, puisque leur suivi par les organismes notifiés sera plus sévère et que leurs certificats devront dater de moins de cinq ans, ce qui éliminera les produits plus anciens. Les bouchons d'oreille formables

(« mousses ») ou préformés (« plastiques ») devraient de plus en plus être proposés en plusieurs tailles – la certification en prévoit trois – mais il faudra donc être capable de bien les choisir. Ce point est très important : un bouchon trop gros ne s'insère pas correctement, un bouchon trop petit n'obture pas le conduit (alors qu'il paraît bien inséré). Si le bouchon est mal enfoncé, son atténuation baisse drastiquement et s'il obture mal le conduit, l'atténuation aux basses fréquences devient nulle, cette absence de protection s'étendant vers les plus hautes fréquences en fonction de la taille de la fuite. Pour choisir, il faut donc posséder les trois tailles et essayer de les insérer en partant de grande taille et en diminuant de taille si l'insertion est impossible. Or, actuellement, les distributeurs n'ont souvent que la taille moyenne (M) ou éventuellement deux tailles, la M et la petite (S), mais n'ont pas la grande taille (L). Ce point devant être obligatoire, il sera normalement possible dans le futur de faire référencer, chez son distributeur, les produits en trois tailles. L'autre possibilité pour choisir la bonne taille est de vérifier l'efficacité du bouchon choisi. Certains fabricants proposent ainsi des systèmes dits « *fit-testing* » ou tests de bon ajustement (voir ci-dessous). En réalisant ce test, l'utilisateur détermine quel bouchon convient à sa morphologie, et en quelle taille. Le même problème se pose pour les casques anti-bruit (aussi appelés serre-tête). Pour une bonne efficacité, le coussinet doit être bien plaqué autour de l'oreille. Pour cela, à l'instar des bouchons d'oreille, les fabricants mettent en général sur le marché deux ou trois tailles. Contrairement aux bouchons d'oreilles, d'une part, les distributeurs proposent généralement ces différentes tailles et d'autre part, l'étanchéité est relativement facile à vérifier visuellement. Néanmoins, là aussi, des systèmes de vérification existent désormais, qui consistent en des petits microphones que l'on glisse sous l'oreillette du casque anti-bruit, pour vérifier que le bruit résiduel est largement inférieur au bruit environnant. Enfin, les utilisateurs de bouchons moulés sur mesure pourront, à l'instar des organismes notifiés, exiger du fabricant qu'il explique comment il garantit que sa fourniture est bien adaptée à la morphologie de son utilisateur. Les modalités de vérification auront certainement un coût. En effet, il est possible que la plupart des fabricants de BMI recourent aussi à des systèmes dits « *fit-testing* ». Or, dans le modèle économique actuel, on constate que ces fabricants se déplacent pour la prise d'empreinte, mais livrent ensuite les protections par courrier. Si un « *fit-testing* » doit être réalisé, un nouveau déplacement du fabricant pour ce test sera nécessaire et les utilisateurs devront aussi être mobilisés. Réglementairement, il est de la responsabilité de l'employeur de s'assurer que la protection auditive est efficace. Au sens du règlement EPI, le fournisseur doit seulement démontrer qu'il sait la fabriquer conformément aux normes.



© Gaël Kerbaol/INRS

Finalement, les normalisateurs devraient s'orienter vers une solution intermédiaire, les fabricants de BMI devant vérifier un nombre statistiquement représentatif de PICB, afin de prouver que leur production est bien systématiquement adaptée à l'utilisateur.

### Les systèmes « *fit-testing* »

Il s'agit de systèmes de test individuel de la bonne efficacité d'un protecteur auditif. Ils utilisent quatre méthodes : le simple test d'étanchéité, la mesure acoustique de part et d'autre de la protection auditive (dite MIRE pour *Microphone In Real Ear* : microphone dans l'oreille réelle), l'égalisation du son entre les deux oreilles et enfin, l'audiométrie dite REAT.

- Pour le test d'étanchéité, limité aux bouchons d'oreille, on se contente de mettre en pression le conduit et de voir à quelle vitesse cette pression diminue.
- La méthode MIRE consiste à mesurer simultanément les niveaux acoustiques extérieurs et intérieurs au conduit auditif (avec pour cette dernière, un microphone miniature sous le protecteur auditif) pour un bruit artificiel. La différence des deux, corrigée par la fonction de transfert moyenne du conduit auditif, permet de vérifier que la réduction du bruit est bien celle qui est attendue.
- La méthode subjective d'égalisation consiste à demander à des personnes d'équilibrer l'intensité de sons perçus alternativement par chacune de leurs deux oreilles, sans protecteur, avec seulement une oreille protégée, puis avec les deux oreilles protégées. Les différences entre les configurations fournissent directement les atténuations.
- Enfin, l'audiométrie, qui peut être rapide (par





© Fabrice Dimer pour l'INRS

balayage, uniquement en front montant...) ou partielle (limitée à certaines octaves), consiste à réaliser deux mesures de seuil d'audition, avec et sans protecteur, l'atténuation étant obtenue par simple différence entre ces deux mesures.

Le test d'étanchéité permet seulement de garantir qu'un bouchon est bien moulé ou à la bonne taille et bien mis. Toutes les autres méthodes permettent d'obtenir une valeur objective de la réduction du bruit ou de l'atténuation. Attention, il s'agit d'un contrôle et non pas d'une mesure d'efficacité, ces méthodes n'étant ni normalisées, ni certifiées. Bien appliquée, la méthode MIRE est la plus fiable et la plus précise. Les méthodes dérivées de l'audiométrie surévaluent l'atténuation et sont moins précises, mais elles fonctionnent. Enfin, la méthode subjective d'égalisation est très difficile à réaliser et donc peu fiable et, surtout, non universelle, en ce sens que certaines personnes n'arrivent pas à l'appliquer. Elle est donc à éviter.

À noter qu'un système « *fit-testing* » permet non seulement de contrôler l'adéquation d'un protecteur, mais aussi de vérifier qu'il est bien inséré. Ce sont donc d'excellents systèmes, qui permettent non seulement de sensibiliser les utilisateurs à l'importance de bien installer une protection, mais encore de les former à leur mise en place optimale.

### Conclusion

Les PICB sont largement utilisés pour la prévention de l'exposition au bruit, alors que de nombreuses études mettent en cause leur efficacité. Fort de ce constat, le législateur a fait évoluer la réglementation. Les PICB sont ainsi passés de la catégorie II à la catégorie III des EPI. Le normalisateur a emboîté le pas, en accentuant les exigences des normes donnant présomption de conformité. Informés de ces changements, certains fabricants ont anticipé

cette évolution. Ils ont d'ores et déjà soumis leur production à des systèmes de contrôle de la qualité et ils développent ou proposent désormais des systèmes « *fit-testing* », permettant de vérifier la bonne adéquation d'une protection auditive à son utilisateur. D'autres, en revanche, sont en retard. Quant aux utilisateurs, ils restent trop peu nombreux à être informés de façon satisfaisante de ces nouveautés et leur mise en pratique est encore confidentielle. Les deux principales explications sont leur coût, non négligeable, et leur caractère très technique, déroutant pour un employeur ou un travailleur ayant bien d'autres préoccupations. Pourtant, elles permettent une bien meilleure protection et représentent un apport important à la bonne formation des utilisateurs. Il faut donc espérer qu'elles se généralisent, conformément aux intentions du législateur et des experts de la prévention. ●

---

### POUR EN SAVOIR +

- Règlement (UE) n° 2016/425 du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 2016 relatif aux équipements de protection individuelle et abrogeant la directive 89/686/CEE du Conseil. *Journal officiel de l'Union européenne*, n° L81 du 31 mars 2016. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/>
  - Série de normes EN 352-1 à 352-10 – Protecteurs individuels contre le bruit. Paris, Afnor. Accessibles sur : [www.boutique-afnor.org](http://www.boutique-afnor.org) (site payant).
  - Dossier web : Bruit. Accessible sur : [www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html](http://www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html)
-

# AUDIBILITÉ DES ALARMES SONORES, PORT DE PROTECTEURS INDIVIDUELS ET ATTEINTES AUDITIVES

Si l'audibilité des alarmes repose en premier lieu sur les niveaux des spectres respectifs du bruit ambiant et des alarmes, deux autres aspects peuvent compromettre cette audibilité et doivent être pris en compte : le port de protecteurs individuels contre le bruit (PICB) et le statut auditif des salariés (audition normale ou atteintes auditives?). Cet article explique les mécanismes qui conditionnent l'audibilité des alarmes et les effets attendus du port de PICB, dans le cas de personnes présentant des atteintes auditives.

JEAN-PIERRE  
ARZ  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
équipements  
de travail

Les alarmes sonores sont souvent utilisées pour alerter les salariés d'un danger potentiel, par exemple le signal de recul émis par un chariot élévateur pour éviter une collision engin-piéton. Pour garantir la sécurité des salariés, il est impératif que ces alarmes soient audibles, même dans un environnement très bruyant. Cette préoccupation est présente dans de nombreux secteurs d'activité, notamment les transports (routier et ferroviaire), la logistique, le BTP ou encore le secteur médical (alarmes sonores en bloc opératoire).

Dans la pratique, si l'audibilité des alarmes repose en premier lieu sur les niveaux des spectres respectifs du bruit ambiant et des alarmes, deux autres aspects peuvent compromettre l'audibilité et doivent être pris en compte : le port de protecteurs individuels contre le bruit (PICB : casques anti-bruit, bouchons d'oreille) et le statut auditif des salariés (ont-ils une audition normale ou présentent-ils des atteintes auditives?).

L'INRS travaille depuis plusieurs années sur la problématique de l'audibilité sous protecteurs auditifs et une précédente étude avait notamment été menée en collaboration avec la SNCF de 2012 à 2015. Cette étude avait montré que l'audibilité des alarmes ferroviaires dans un environnement bruyant est en général améliorée lorsque des PICB sont portés par des personnes ayant une audition normale [1]. Mais qu'en est-il des personnes qui présentent des atteintes auditives?

C'est la question posée à l'INRS par des entreprises et des services de santé au travail qui souhaitent

équiper leurs salariés de protecteurs auditifs. Pour répondre à cette question, une deuxième étude en collaboration avec la SNCF est en cours et des tests auditifs ont été menés sur un panel de 70 personnes ayant des atteintes auditives diverses.

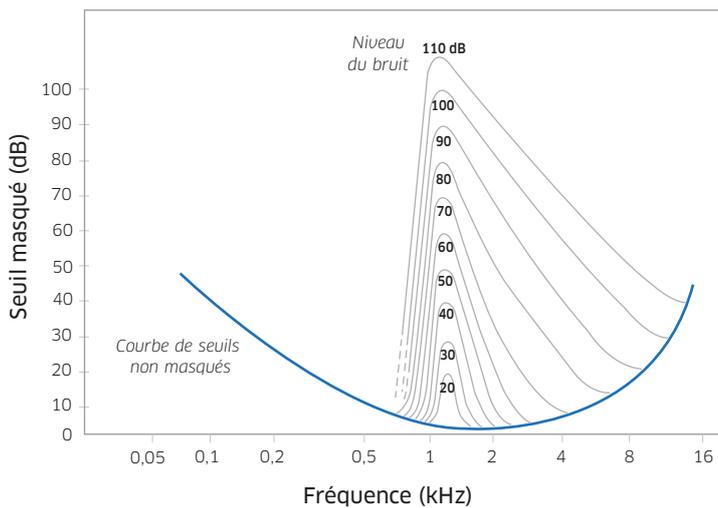
Cet article explique dans un premier temps les mécanismes qui conditionnent l'audibilité des alarmes et les effets attendus du port de PICB dans le cas d'atteintes auditives. Dans un deuxième temps à partir d'un exemple, il présente l'effet du port de PICB observé lors de tests auditifs sur des malentendants.

## Mécanismes gouvernant l'audibilité

L'audibilité d'un signal en présence de bruit est en général conditionnée par deux mécanismes différents: les seuils absolus et le masquage fréquentiel. Les seuils absolus d'un individu représentent les niveaux minimaux qu'il peut percevoir dans le silence pour différentes fréquences<sup>1</sup>. Si les niveaux perçus des alarmes sont inférieurs aux seuils absolus, le signal n'est pas audible.

Le second mécanisme qui conditionne l'audibilité dans le bruit est le masquage fréquentiel. Il représente la capacité qu'a un son (appelé le **signal masquant**) à rendre inaudible un autre son (appelé le **signal masqué**). Le seuil masqué d'un signal est le niveau sonore minimal pour qu'il soit audible en présence du signal masquant. Zwicker [2] a mis en évidence trois caractéristiques majeures du masquage (cf. Figure 1). Ce schéma représente les seuils masqués de sons purs en présence d'un signal masquant centré sur 1 200Hz, de largeur 200Hz et dont le niveau varie de 20 à 110dB (par pas de 10 dB). Pour chacune des courbes, tout ce qui est situé sous





↑ FIGURE 1 Représentation schématique des seuils masqués obtenus en présence d'un bruit de largeur spectrale [1 100 Hz - 1 300 Hz] et pour différents niveaux sonores (d'après Zwicker & Scharf [2,3]).

la courbe n'est pas audible; et tout ce qui est situé au-dessus de la courbe est audible. Il apparaît que :

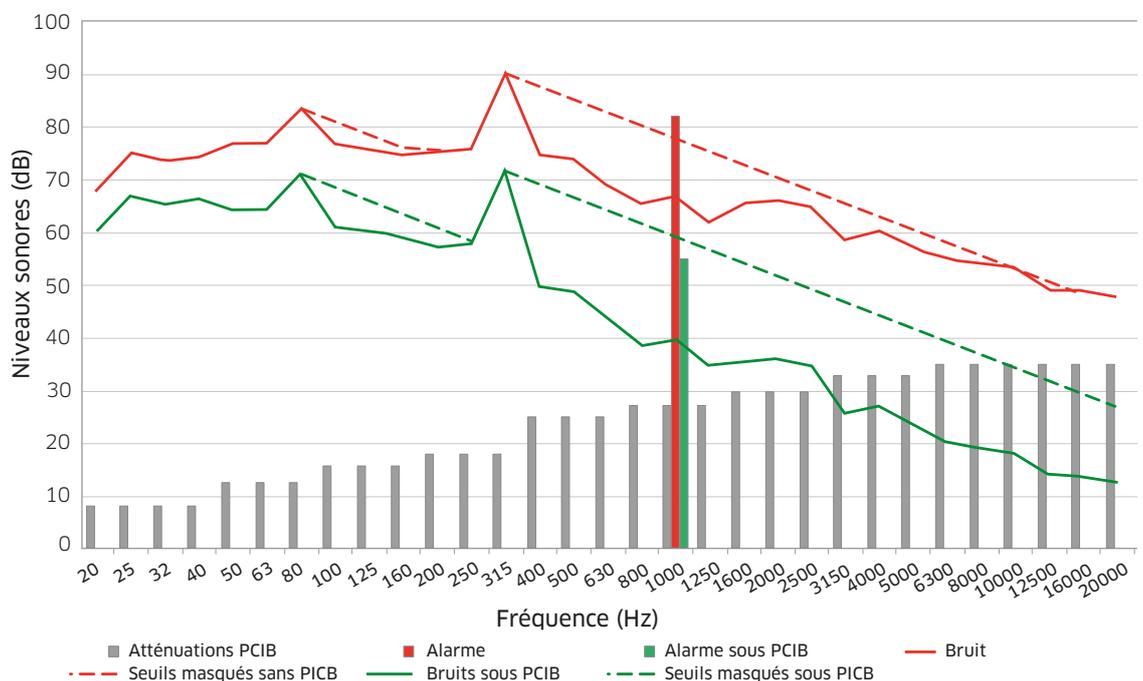
- un signal produit un masquage plus large que sa propre étendue fréquentielle;
- l'étendue du masquage est plus grande en hautes fréquences qu'en basses fréquences;
- quand le niveau du signal masquant augmente, le masquage s'étend de plus en plus vers les hautes fréquences. On remarque notamment que les courbes de seuils masqués ont une forme symétrique pour des niveaux faibles et que la forme devient de plus en plus asymétrique au fur et à mesure que les niveaux augmentent.

### Effets attendus du port de PICB

L'effet du port de PICB sur l'audibilité d'un signal de danger est évalué en comparant, dans un bruit ambiant donné, les seuils masqués obtenus avec et sans PICB. Lorsque le seuil masqué avec protecteur est supérieur au seuil masqué sans protecteur, le port du PICB dégrade la perception (élévation des seuils)<sup>2</sup>. Les différentes études consacrées à l'influence du port de PICB ont montré qu'il existe trois phénomènes distincts, liés à l'influence du port de PICB : deux phénomènes permettent d'expliquer la dégradation et un phénomène permet d'expliquer l'amélioration de la perception des signaux de danger. Ces phénomènes sont décrits ci-après.

### Dégradation due aux seuils absolus

Tout d'abord, la perception peut être dégradée parce que les atténuations apportées par le PICB s'ajoutent aux pertes auditives de l'individu et augmentent ses seuils absolus. Pour des travailleurs qui n'ont pas (ou peu) de pertes auditives, cette dégradation est limitée à des niveaux sonores relativement faibles, tels que ceux de la parole, pour lesquels le port de protecteur auditif n'est pas nécessaire. Cependant, pour des personnes présentant des pertes auditives importantes, ce phénomène peut avoir lieu pour des niveaux beaucoup plus élevés. Par exemple, pour une perte auditive de 50dBHL à 2000Hz<sup>3</sup>, si on ajoute un protecteur dont l'atténuation à 2000 Hz est de 30dB, le seuil d'audition avec PICB est augmenté à 80dB HL<sup>4</sup> et tout signal à 2000Hz inférieur à ce niveau ne sera pas audible. Ce phénomène de dégradation de l'audibilité dû aux pertes auditives est particu-



↑ FIGURE 2 Exemple de détérioration de l'audibilité due au port de PICB.

lièrement vrai en hautes fréquences, où à la fois les pertes et les atténuations des PICB sont souvent les plus élevées. Cet effet a été mis en évidence dans de nombreuses études ou ouvrages pour divers types de protecteurs [4-6].

### Dégradation due au masquage fréquentiel

La figure 2 présente un exemple de dégradation due au masquage fréquentiel. Le modèle de masquage utilisé est celui de la norme sur les signaux de danger NF EN ISO 7731 [7], qui est très simplifié par rapport au modèle de Zwicker (cf. Figure 1). En effet, il considère uniquement le masquage vers les hautes fréquences avec, quel que soit le niveau sonore, une pente de 7,5dB par octave. La figure montre les spectres en tiers d'octave d'un bruit à l'extérieur du PICB (courbe continue rouge) et les seuils masqués correspondants (courbe discontinue rouge). Une alarme est représentée à 2 000 Hz (barre de couleur rouge) ; elle est audible, car située au-dessus de la courbe de masquage.

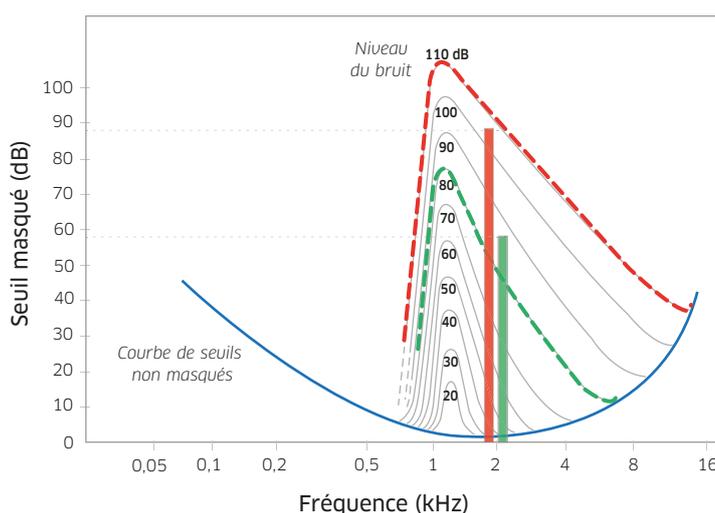
La courbe continue verte représente le bruit sous le PICB ; ses niveaux sont égaux aux niveaux extérieurs, diminués des atténuations du protecteur en fonction de la fréquence. La courbe des seuils masqués sous le PICB est présentée en trait discontinu vert. Comme les atténuations du PICB ne sont pas uniformes (atténuations en hautes fréquences supérieures aux atténuations en basses fréquences), le masquage sous PICB généré par la composante à 315 Hz s'étend beaucoup plus vers les hautes fréquences que dans le cas sans protecteur. On remarque en particulier que l'alarme à 2 000 Hz, qui était audible sans PICB, n'est plus audible sous le PICB (barre de couleur verte) car elle est située en-dessous de la courbe des seuils masqués.

Dans cet exemple, c'est donc la combinaison d'un bruit riche en basses fréquences (pic à 315Hz) et des atténuations du PICB (qui sont plus faibles en basses qu'en hautes fréquences, ce qui est le cas pour la majorité des PICB passifs) qui explique la détérioration. Cet effet a été reporté dans plusieurs études [8-10].

Toujours à partir de ce modèle de l'ISO 7731, on comprend pourquoi un PICB qui a des atténuations parfaitement plates ou uniformes (c'est-à-dire égales pour toutes les fréquences) n'a pas d'effet sur l'audibilité : les seuils masqués sans PICB et les niveaux extérieurs correspondant aux seuils masqués sous PICB sont égaux. Cela est explicité dans la recommandation de la norme NF EN 458 sur les PICB [11], qui précise que « lorsque des sons indicatifs doivent être perçus dans l'environnement de travail, il est préférable d'utiliser des protecteurs individuels à spectre d'affaiblissement plat ».

### Amélioration de l'audibilité par le port de PICB

Le modèle de masquage de la norme ISO 7731 ne permet pas d'expliquer pourquoi le port d'un PICB



↑ FIGURE 3 Exemple d'amélioration de l'audibilité due au port de PICB.

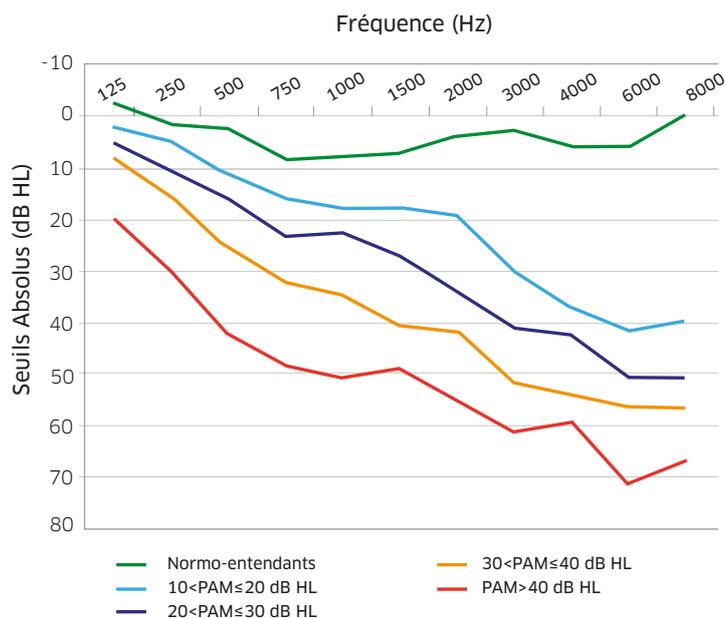
peut améliorer la perception. En effet, selon ce modèle, quelles que soient les atténuations du PICB et le spectre du bruit, les niveaux extérieurs correspondant aux seuils masqués sous PICB sont toujours supérieurs ou égaux aux seuils masqués sans PICB. Or, dans la pratique, plusieurs études montrent que le port de PICB peut améliorer l'audibilité, en particulier pour des normo-entendants [1, 9].

Pour pouvoir prédire une amélioration, il faut prendre en compte la diminution des phénomènes de masquage lorsque le niveau sonore diminue. Un exemple est présenté en figure 3, à partir des courbes de Zwicker [2], déjà explicitées à la figure 1.

Sur cette figure, considérons le bruit masquant à 110 dB et les seuils masqués correspondants (courbe en trait discontinu rouge). Si on considère un PICB dont l'atténuation à 1 000 Hz est de 30 dB, le bruit sous le PICB est réduit à 80 dB et les seuils masqués sous le PICB sont présentés en trait discontinu vert. Le signal à percevoir est un son pur à 2 000 Hz (représenté par la barre de couleur rouge) ; il n'est pas audible sans protecteur car il est situé en dessous de la courbe des seuils masqués. En revanche, en portant un PICB qui apporte 30 dB d'atténuation à 2 000 Hz, le son pur à 2 000 Hz (représenté par la barre de couleur verte) devient audible sous protecteur (il est situé au-dessus de la courbe en trait discontinu vert qui représente les seuils masqués sous protecteur). On obtient une amélioration car on a considéré la même atténuation de 30 dB, à 1 000 et 2 000 Hz. Si au contraire on considérait des atténuations de 30 dB à 1 000 Hz et de 40 dB à 2 000 Hz (atténuation non uniforme), on perd l'effet d'amélioration (voire, on crée une dégradation) car la composante à 2 000 Hz sera sous la courbe des seuils masqués.

En résumé, l'amélioration de l'audibilité par le port de PICB est due au fait que les pentes des courbes de masquage fréquentiel sont plus raides (masquage fré-





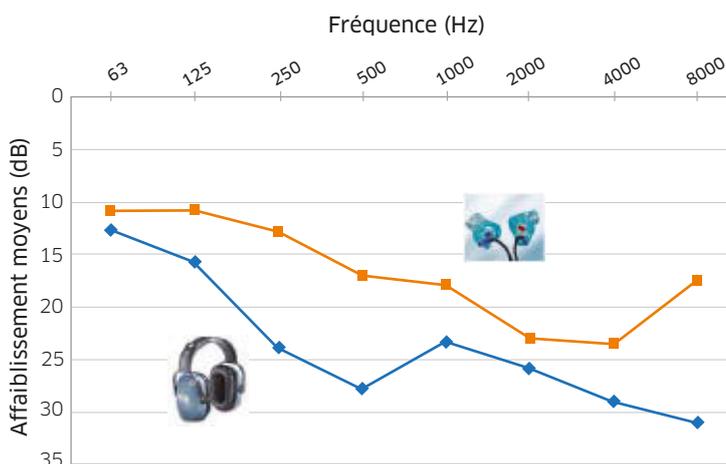
↑ FIGURE 4 Audiogrammes moyens par groupes d'audition.

quentiel moins étalé, donc moins important) lorsque les niveaux sonores sont diminués par le PICB.

#### Bilan sur l'effet attendu des PICB sur l'audibilité

Le fait que l'audibilité puisse être améliorée en cas de port d'un PICB provient de la réduction des phénomènes de masquage et on s'attend notamment à une amélioration quand les PICB présentent une atténuation uniforme. Les dégradations, quant à elles, peuvent provenir de deux mécanismes différents : soit l'augmentation des seuils absolus (les atténuations du PICB s'ajoutent aux pertes auditives de l'individu), soit l'augmentation du masquage fréquentiel avec le port du PICB (en particulier, quand les atténuations ne sont pas uniformes).

Même si l'on connaît qualitativement les mécanismes qui expliquent les améliorations et les dégradations, les modèles actuels de prédiction de l'audibilité ne



↑ FIGURE 5 Atténuations moyennes (selon la norme ISO 4869-1) des deux protecteurs auditifs testés.

permettent pas de prendre en compte plus précisément l'effet des atteintes auditives et des atténuations des PICB. En particulier, concernant l'atténuation des PICB, une difficulté identifiée consiste à ce que les atténuations déclarées par les constructeurs surestiment l'atténuation réelle, en particulier en basses fréquences [12,13], si bien que les atténuations réelles sont moins uniformes, en fonction de la fréquence, que les atténuations déclarées.

En 2016, une collaboration entre la SNCF et l'INRS a été initiée, afin de faire progresser les connaissances sur ces sujets. Dans la pratique, l'objectif à court terme était d'évaluer l'effet des PICB sur l'audibilité des signaux d'alarme, pour des agents de la SNCF présentant des atteintes auditives. Pour cela, une expérience en laboratoire a été mise au point et réalisée à l'INRS pour mesurer l'audibilité de signaux ferroviaires, avec et sans PICB. Les résultats permettent d'illustrer et de préciser les phénomènes décrits précédemment. La suite de l'article présente cette expérience et les principaux résultats.

#### Protocole expérimental

##### Panel de personnes

Au moment de l'écriture de cet article, 69 personnes âgées de 18 à 81 ans (âge moyen = 53,3 ans; écart-type = 14,5 ans) ont passé les tests. Parmi celles-ci, 11 personnes sont normo-entendantes (aucune perte supérieure à 20 dB HL, sur toutes les fréquences et sur les deux oreilles). La figure 4 montre les audiogrammes moyens des cinq groupes d'audition : les normo-entendants, plus quatre groupes constitués en se basant sur la perte moyenne à 500, 1000 et 2000Hz sur la meilleure oreille (PAM pour : perte auditive moyenne). Les groupes sont constitués ainsi :

- 20 personnes sont dans le groupe : 10 < PAM ≤ 20 dB HL ;
- 16 figurent dans le groupe : 20 < PAM ≤ 30 dB HL ;
- 14 sont dans le groupe : 30 < PAM ≤ 40 dB HL ;
- et 8 appartiennent au groupe : PAM > 40 dB HL.

L'augmentation des pertes avec la fréquence (cf. Figure 4) est caractéristique de la presbycusie (atteintes auditives dues au vieillissement).

##### Mesure des seuils masqués

L'expérimentation a consisté à mesurer les seuils masqués de différentes alarmes ferroviaires (c'est-à-dire les niveaux minimums des alarmes pour qu'elles soient audibles en présence d'un bruit donné) dans trois conditions de protection : avec un casque anti-bruit passif, avec des bouchons moulés et sans protecteur. La figure 5 présente les atténuations des deux PICB déclarées par les constructeurs, selon la norme d'évaluation ISO 4869-1 [14]. Sept alarmes ferroviaires ont été étudiées, leurs caractéristiques temporelles et spectrales sont données dans le tableau (cf. Page suivante). Elles sont toutes constituées de la somme de sons purs, mais différent

NOM DE L'ALARME	CARACTÉRISTIQUES TEMPORELLES	CARACTÉRISTIQUES FRÉQUENTIELLES	RÉPARTITION DE L'ÉNERGIE
AUTOPROVA	Constant	Complexe (harmonique + autres fréquences)	$f_0 = 660$ Hz + 3 premiers harmoniques. Composantes largement dominantes à 660 et 1320 Hz.
DAPR	Bi-tons (aigu puis grave)	Harmonique	Aigu : $f_0 = 656$ Hz + nombreux harmoniques. Niveaux similaires de 650 à 3000 Hz.
		Harmonique	Grave : $f_0 = 427$ Hz + nombreux harmoniques. Niveaux similaires de 650 à 3000 Hz.
AVERT.AIGU	Constant	Harmonique	$f_0 = 647$ Hz + nombreux harmoniques.
ST-DIZIER	Constant	Harmonique	$f_0 = 358$ Hz + nombreux harmoniques. Composante dominante à 1432 Hz. Niveaux similaires des autres composantes de 350 à 4000 Hz.
GSM	Bi-tons (aigu puis grave)	Quasi pur	Aigu : $f_0 = 1800$ Hz (+ faibles harmoniques).
		Quasi pur	Grave : $f_0 = 1400$ Hz (+ faibles harmoniques).
RS	Constant	Somme de deux sons purs	3430 Hz et 4084 Hz.
VACMA	Constant	Harmonique	$f_0 = 334$ Hz + quelques harmoniques. Composantes largement dominantes à 334 et 1002 Hz.

← TABLEAU Caractéristiques temporelles et fréquentielles des alarmes étudiées.

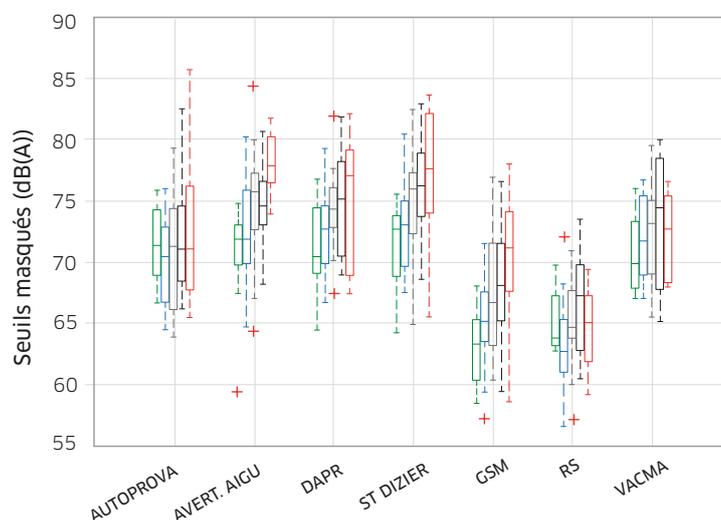
suivant leurs composantes dominantes. Les quatre premières alarmes du tableau correspondent à des signaux utilisés lors de la maintenance des voies ferrées. Elles ont été testées dans un bruit de « bourrage du ballast » (opération qui consiste à mettre en vibration le ballast pour le mettre en place). Les trois suivantes sont des alarmes diffusées en cabine de conduite pour avertir le conducteur d'un événement qui nécessite une action de sa part ; elles ont été testées dans un bruit d'engin de traction. Les deux bruits dominant en basses fréquences, ils étaient diffusés à 86 dB(A).

La méthode de mesure des seuils est une méthode adaptative à deux intervalles et à choix forcé : à chaque essai, deux séquences sonores sont présentées consécutivement (une constituée du bruit et de l'alarme, l'autre constituée du bruit seul) et la personne doit choisir la séquence dans laquelle elle pense avoir entendu l'alarme. En fonction de la réponse, le niveau de l'alarme est modifié : il faut deux bonnes réponses consécutives pour faire baisser son niveau et une seule mauvaise réponse fait augmenter son niveau (procédure « 2down-1up »). On oscille ainsi autour du seuil de détection à 70,7% [15]. Le temps de mesure d'un seuil est d'environ deux minutes et chaque mesure est répétée trois fois.

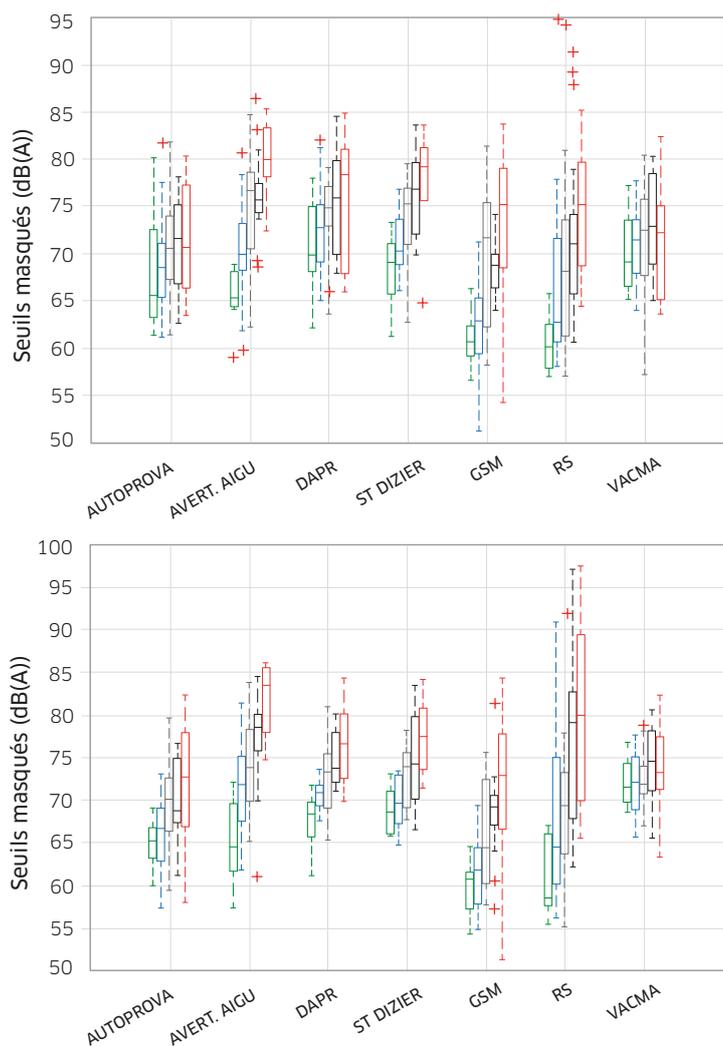
### Résultats

La figure 6 présente les répartitions des seuils mesurés sans protecteurs sous forme de boîtes de Tukey<sup>5</sup> pour les sept alarmes et les cinq groupes d'audition considérés. Pour chaque alarme (en abscisses), les répartitions des seuils sont représentées pour les cinq groupes d'audition, avec les pertes qui augmentent de gauche à droite : groupe normo-entendant ; groupe 10 < PAM ≤ 20 dB HL ; groupe 20 < PAM ≤ 30 dB HL ; groupe 30 < PAM ≤ 40 dB HL et PAM > 40 dB HL.

La figure 7 illustre l'influence des pertes auditives sur les médianes des seuils masqués. Pour les quatre autres alarmes (AVERT.AIGU, DAPR, ST-DIZIER et GSM), les différences sont plus importantes et les seuils masqués des malentendants augmentent avec l'augmentation des pertes (jusqu'à 8 dB de différence entre les médianes du groupe le plus malentendant et celles des normo-entendants). Pour les seuils avec protecteurs (cf. Figure 7), les différences entre normo-



↑ FIGURE 6 Seuils sans protecteur pour les sept signaux testés. Pour chaque alarme (en abscisses) sont représentées les répartitions des seuils pour les cinq groupes d'audition, avec les pertes qui augmentent de gauche à droite : normo-entendants ; 10 < PAM ≤ 20 dB HL ; 20 < PAM ≤ 30 dB HL ; 30 < PAM ≤ 40 dB HL et PAM > 40 dB HL.



↑ FIGURE 7 Seuils avec protecteurs pour les sept signaux testés (représentation identique à celle de la figure 6).  
En haut : bouchons moulés ; en bas : casque anti-bruit.

entendants et malentendants sont plus importantes que sans protecteurs. Elles peuvent atteindre 15 à 20dB sur les médianes entre le groupe le plus malentendant et les normo-entendants pour les signaux AVERT.AIGU, GSM et RS.

Afin de mieux visualiser l'influence du port de PICB, la figure 8 présente les répartitions des différences entre les seuils avec PICB et les seuils sans PICB. Lorsque la différence est négative, le port de PICB améliore la perception (le seuil avec PICB est alors inférieur au seuil sans PICB).

Pour les normo-entendants, la perception est très généralement améliorée avec le port de PICB (la médiane des boîtes à moustaches vertes est négative). Ce résultat, qui est conforme aux résultats obtenus dans une précédente étude menée avec la SNCF et consacrée à des normo-entendants [1], s'explique par la réduction du masquage fréquentiel lorsque les niveaux sonores diminuent (cf. le § « Amélioration de l'audibilité par le port de PICB »).

Pour les malentendants, la tendance est à une dégradation de l'audibilité qui augmente avec l'élévation des pertes auditives.

Pour tous les signaux, sauf le signal RS, les détériorations dues au port de PICB sont plutôt modérées puisque les différences sur la médiane sont toujours inférieures à 5 dB, quel que soit le groupe d'audition considéré. Le signal VACMA n'est pas impacté par les pertes auditives. Ceci s'explique par le fait qu'il est constitué d'une fondamentale largement dominante en basse fréquence ( $f_0 = 334\text{Hz}$ ) et que les pertes et les atténuations sont faibles à ces fréquences. Par conséquent, il n'est pas concerné par les dégradations dues aux seuils absolus ou au masquage fréquentiel (cf. § « Effets attendus du port de PICB »). Pour les mêmes raisons, le signal AUTOPROVA, qui a des composantes dominantes à 660 Hz et 1320 Hz, est également peu impacté par les pertes auditives. Par opposition, le signal RS est très sensible aux pertes : la différence sur la médiane atteint 10 dB pour les bouchons et 13 dB pour le casque, avec le groupe d'audition le plus malentendant. Ceci est dû au fait que ce signal est constitué uniquement de deux composantes en hautes fréquences (3430Hz et 4084 Hz). Comme les pertes et les atténuations sont importantes à ces fréquences, cette dégradation est certainement majoritairement due à l'augmentation des seuils absolus (cf. § « Effets attendus du port de PICB »). Ce signal n'est pas un « bon » signal d'alarme car il n'a pas d'énergie en basses fréquences ; il n'est donc pas conforme à la norme ISO 7731 [7] qui exige, dans le cas de personnes portant une protection auditive ou présentant une perte auditive, que l'énergie du signal dans le domaine de fréquences en deçà de 1500Hz soit suffisante (cf. § 6.3 de la norme).

En résumé, si l'audibilité des alarmes est relativement peu sensible aux pertes auditives pour les cas sans protecteur (cf. Figure 6), les différences entre malentendants et normo-entendants sont plus importantes pour les cas avec protecteurs. De plus, le port des protecteurs conduit à une amélioration de l'audibilité pour les normo-entendants (cf. Figure 8).

Dans cette étude, nous émettons l'hypothèse qu'une bonne audibilité est assurée pour les malentendants avec protecteurs, lorsque leur perception des alarmes est égale à celle des normo-entendants sans protecteur. Pour cela, nous avons réalisé des analyses statistiques (test de la somme des rangs de Wilcoxon<sup>9)</sup>, qui permettent de comparer les seuils de ces deux catégories.

Pour le casque, ces analyses révèlent que la perception des malentendants n'est pas significativement différente, jusqu'au groupe d'audition :  $20 < \text{PAM} \leq 30\text{dBHL}$ . Pour les bouchons, les résultats sont les mêmes, sauf pour trois signaux (AVERT.AIGU, ST-DIZIER et GSM), pour lesquels les différences sont significatives dès le groupe :  $20 < \text{PAM} \leq 30\text{dBHL}$ . Cependant, des analyses complémentaires

ont montré que les seuils des malentendants ne sont pas statistiquement supérieurs aux seuils des normo-entendants majorés de 2 dB. Cette différence de 2 dB apparaît comme faible, comparée aux variations de niveaux observées dans la pratique (variations du bruit ambiant ; variations du niveau émis par les différents dispositifs de génération des alarmes ; ou variations de la position du travailleur par rapport à ces dispositifs).

Ainsi, si on tolère cette faible différence de 2 dB, l'audibilité des malentendants avec le casque et les bouchons n'est pas statistiquement moins bonne que l'audibilité pour les normo-entendants sans protecteur, jusqu'au groupe d'audition :  $20 < \text{PAM} \leq 30 \text{ dBHL}$ .

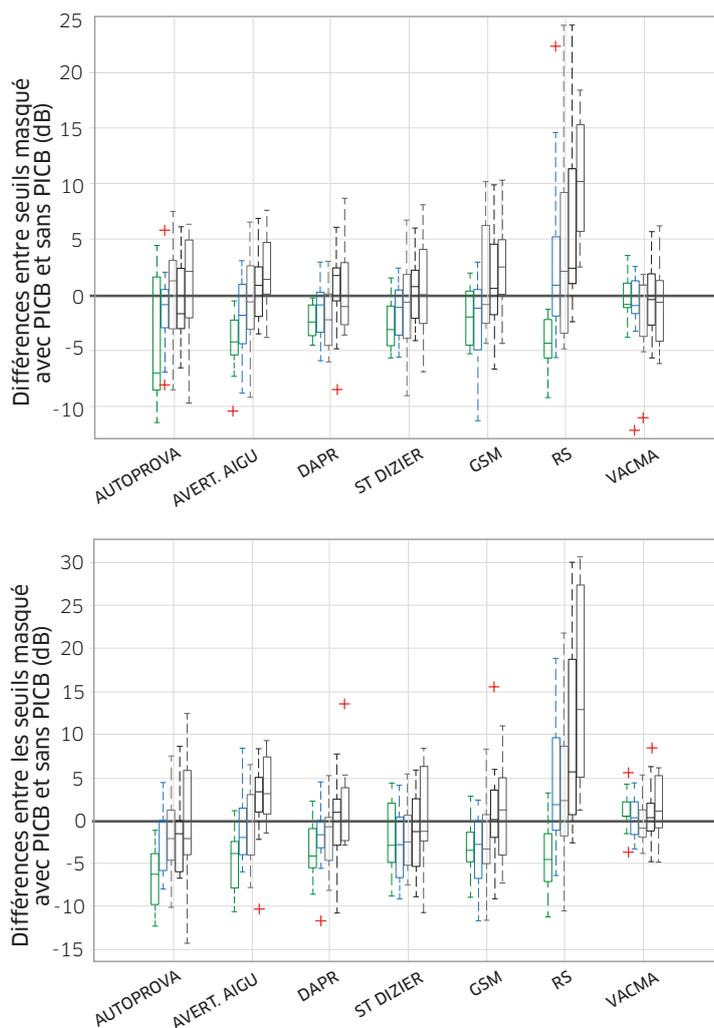
### Conclusion

Cet article a présenté dans un premier temps les mécanismes qui conditionnent l'audibilité et les effets attendus du port de protecteurs individuels contre le bruit (PICB) dans le cas d'atteintes auditives. On retiendra que le port de PICB peut dégrader l'audibilité, pour deux raisons :

- d'une part, parce que les seuils absolus sont augmentés (les atténuations s'ajoutent aux pertes), donc plus les pertes et les atténuations sont importantes, plus il y a risque de dégradation de l'audibilité ;
- d'autre part, l'audibilité peut être dégradée parce que les atténuations du PICB modifient les phénomènes de masquage fréquentiel, en particulier lorsque les atténuations ne sont pas uniformes (atténuations en hautes fréquences plus importantes qu'en basses fréquences). Il est donc essentiel de choisir des PICB avec les atténuations les plus uniformes possibles.

Dans un deuxième temps, les résultats des tests auditifs menés en collaboration avec la SNCF sur des malentendants illustrent que l'effet des PICB dépend beaucoup du type d'alarme. Les alarmes peu sensibles aux pertes auditives sont celles qui ont des composantes qui dominent en basses fréquences ( $f < 500 \text{ Hz}$ ) car les pertes auditives et les atténuations sont généralement faibles à ces fréquences. Au contraire, les alarmes qui n'ont pas ou pas assez d'énergie en basses fréquences sont davantage concernées par des dégradations de l'audibilité. En particulier, l'alarme RS est fortement dégradée par le port de PICB, car elle est uniquement constituée de deux composantes en hautes fréquences ( $f > 3000 \text{ Hz}$ ) et que les pertes et les atténuations des PICB sont importantes à ces fréquences. Ce signal, qui n'est pas conforme aux exigences de la norme ISO 7731 [7], devrait être modifié en lui ajoutant des composantes plus basses fréquences ( $f < 1500 \text{ Hz}$ ).

Pour les sept signaux ferroviaires testés, le résultat principal est que l'audibilité des malentendants avec le casque n'est pas statistiquement différente



↑ FIGURE 8 Différences entre les seuils avec protecteurs et les seuils sans protecteur pour les sept signaux testés et les cinq groupes d'audition (représentation identique à celle de la figure 6).  
En haut : bouchons ; en bas : casque.

de l'audibilité sans PICB des normo-entendants jusqu'au groupe d'audition :  $20 < \text{PAM} \leq 30 \text{ dBHL}$ . Pour les bouchons, le résultat est similaire sauf pour 3 signaux (AVERT.AIGU, ST-DIZIER et GSM) pour lesquels il faudrait tolérer une différence de 2 dB entre les seuils avec bouchons des malentendants et les seuils sans PICB des normo-entendants.

Pour la SNCF, ces résultats ne sont qu'une réponse partielle à l'effet des PICB :

- d'une part, car toutes les alarmes ferroviaires n'ont pas pu être testées ;
- et d'autre part, car les PICB peuvent également nuire à la localisation des alarmes (spatialisation), en particulier pour les protecteurs de type serre-tête (casques anti-bruit) [16].

Il est donc nécessaire, en complément de ces tests en laboratoire, de réaliser des expérimentations en situations réelles de travail pour s'assurer que le port de PICB ne compromet pas la sécurité des agents



dans les multiples situations sonores qu'ils peuvent rencontrer au quotidien.

Enfin, ces résultats illustrent qu'il demeure difficile d'évaluer de manière générale l'effet des PICB sur l'audibilité des alarmes, car cet effet dépend de nombreux paramètres, parmi lesquels les niveaux et les spectres respectifs du signal de l'alarme et du bruit ambiant, les valeurs d'atténuation du PICB, l'audition des individus – et que tous ces paramètres varient avec la fréquence.

Pour faciliter cette évaluation, des modèles prédictifs de l'audibilité sont en cours de développement à l'INRS. L'intérêt de ces modèles est de pouvoir se passer des tests sur des individus, tests qui sont lourds à mettre en œuvre. À terme, ces modèles permettront de choisir un PICB adapté à l'audition des salariés et aux caractéristiques des alarmes à percevoir, dans l'objectif d'assurer au mieux leur sécurité et compte tenu de leur statut auditif. ●

1. Lorsque les seuils absolus sont exprimés en dBHL (HL : Hearing level), ils sont égaux aux pertes auditives mesurées par audiométrie tonale liminaire (« l'audiogramme »). Concernant l'unité du dBHL, le principe est que la référence de 0dBHL a été définie pour correspondre aux seuils absolus d'une population normo-entendante (sans atteintes auditives).
2. Inversement, lorsque le seuil masqué avec protecteur est inférieur au seuil masqué sans protecteur, le port du PICB améliore la perception (diminution des seuils).
3. Ce qui correspond à 59 dB SPL selon la norme NF EN ISO 389-1 [17].
4. Ce qui correspond à 89 dB SPL selon la norme NF EN ISO 389-1 [17].
5. Les boîtes de Tukey (ou boîtes à moustaches) représentent la répartition des données en termes de médiane et des percentiles 25 et 75 %. La longueur des moustaches vaut 1,5 fois l'écart inter-quartiles.
6. Test statistique permettant de tester l'hypothèse selon laquelle les médianes de deux groupes de données sont proches.

L'INRS remercie l'Agence d'essai ferroviaire (AEF), ainsi que les services médicaux et de prévention de la SNCF, pour leur implication dans ce projet.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] ARZ J.P., GETTLIFFE J.P., DELATTRE P. – Effect of wearing hearing protectors on the audibility of railway warning signals – An experimental study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2018, 24(1), pp.149-159.
- [2] ZWICKER E., SCHARF B. – A model of loudness summation. *Psychological Review*, 1965, 72, 1, pp. 3-26.
- [3] BOTTE M.C., CANEVET G., DEMANY L., SORIN C. – *Psychoacoustique et perception auditive*. Paris, éd. INSERM, 1990.
- [4] ABEL S.M., KUNOV H., PICHORA-FULLER M.K., ALBERTI P.W. – Signal detection in industrial noise: effects of noise exposure history, hearing loss, and the use of ear protection. *Scand. Audiol.*, 1985, 14, pp.61-173.
- [5] BERGER E.H. – Chapter 10: Hearing protection devices. In: Berger EH, Royster LH, Royster JD et al., eds – *The noise manual (5th ed.)*. Fairfax, American Industrial Hygiene Association (AIHA), 2000, pp.379-454.
- [6] SUTER A.H. – *Hearing conservation manual (4th ed.)*. Milwaukee, Council for Accreditation in Occupational Hearing Conservation, 2002.
- [7] NORME NF EN ISO 7731 – *Signaux de danger pour lieux publics et lieux de travail. Signaux de danger auditifs*. Paris, Afnor, novembre 2008. Accessible sur : [www.boutique-afnor.org](http://www.boutique-afnor.org) (site payant).
- [8] COLEMAN G. – The signal design window revisited. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1998, 22, 4-5, pp.313-318.
- [9] LAZARUS H. – Signal recognition and hearing protectors with normal and impaired hearing. *Int J Occup Saf Ergon.*, 2005, 11, 3, pp.233-250.
- [10] WILKINS P.A. – *The effects of wearing hearing protection on the perception of warning sounds [dissertation]*. Southampton (UK), University of Southampton, 1980.
- [11] NORME NF EN 458 – *Protecteurs individuels contre le bruit. Recommandations relatives à la sélection, à l'utilisation, aux précautions d'emploi et à l'entretien*. Paris, Afnor, avril 2016. Accessible sur : [www.boutique-afnor.org](http://www.boutique-afnor.org) (site payant).
- [12] KUSY A., CHATILLON J. – Real-world attenuation of custom-moulded earplugs: results from industrial in situ F-MIRE measurements. *Appl Acoust.*, 2012, 73, 6, pp.639-647.
- [13] NELISSE H., GAUDREAU M.A., BOUTIN J., LAVILLE F., VOIX J. – *Étude de la transmission sonore à travers les protecteurs auditifs et application d'une méthode pour évaluer leur efficacité en milieu de travail. Partie 1 – Étude de terrain*. Montréal, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), IRSST n°R-662, 2010.
- [14] NORME ISO 4869-1 – *Acoustique – Protecteurs individuels contre le bruit. Partie 1: Méthode subjective de mesurage de l'affaiblissement acoustique*. Genève, ISO, 2018. Accessible sur : [www.iso.org](http://www.iso.org)
- [15] LEVITT H. – Transformed up-down methods in psychoacoustics. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1971, 49, 2B, pp.467-477.
- [16] ALALI K.A., CASALI J.G. – The challenge of localizing vehicle backup alarms: Effects of passive and electronic hearing protectors, ambient noise level, and backup alarm spectral content. *Noise & Health*, 2011, 13, 51, pp.99-112.
- [17] NORME NF EN ISO 389-1 – *Acoustique – Zéro de référence pour l'étalonnage d'équipements audiométriques. Partie 1 : niveaux de référence équivalents de pression acoustique liminaire pour les écouteurs à sons purs supra-audiaux*. Paris, Afnor, février 2018. Accessible sur : [www.boutique-afnor.org](http://www.boutique-afnor.org) (site payant).