

CHAPITRE 3

ÉVALUATION AU POSTE DE TRAVAIL – MÉTROLOGIE – ENVIRONNEMENTS SPÉCIFIQUES



3-1
ESTIMATION IN SITU DE L'ATTÉNUATION DES BOUCHONS MOULÉS
INDIVIDUALISÉS

3-2
OSEV : UN OUTIL D'ÉVALUATION DU RISQUE VIBRATOIRE AUQUEL EST SOUMIS
UN CONDUCTEUR D'ENGINS

3-3
ÉVALUATION DE L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS CORPORELLES
DES OPÉRATEURS DU DÉPARTEMENT COQUE D'UN CHANTIER NAVAL

3-4
TROIS EXEMPLES D'ENCOFFREMENT DE POINÇONNEUSES

3-5
TRAITEMENT ACOUSTIQUE DANS UN ATELIER DE TRI MANUEL DE GALETS

3-6
VIBRATIONS : POURQUOI ET QUAND FAIRE DE LA MÉTROLOGIE ?

3-7
BILAN D'EXPOSITION VIBRATOIRE D'UN CONDUCTEUR DE CHARIOT
AUTOMOTEUR - BIAIS MÉTROLOGIQUE

- Évaluation de l'exposition
- Mesure
- Sonomètre
- Vibromètre
- Dosimètre
- Banque de données

3.1.

ESTIMATION *IN SITU* DE L'ATTÉNUATION DES BOUCHONS MOULÉS INDIVIDUALISÉS

► Alain KUSY, Jacques CHATILLON,
INRS, département Ingénierie des
équipements de travail

Le niveau de bruit résiduel (L'_A) sous un protecteur individuel contre le bruit (PICB) est la différence entre le niveau de bruit d'exposition et l'atténuation du protecteur. L'_A comparé aux valeurs limites d'exposition permet de vérifier la réalité de la protection de l'audition d'un salarié exposé.

Une campagne de mesures de l'efficacité *in situ* des bouchons moulés individualisés (BMI) a été menée avec le concours de 63 sujets d'essai équipés de BMI dans neuf sites d'activités diverses. La technique utilisée consiste à comparer les niveaux de pression acoustique, mesurés à l'aide de deux microphones, l'un dans le conduit auditif entre le BMI et le tympan, l'autre sur le pavillon de l'oreille. L'écart (NR) entre les deux niveaux est un indicateur de la réduction du bruit due au BMI.

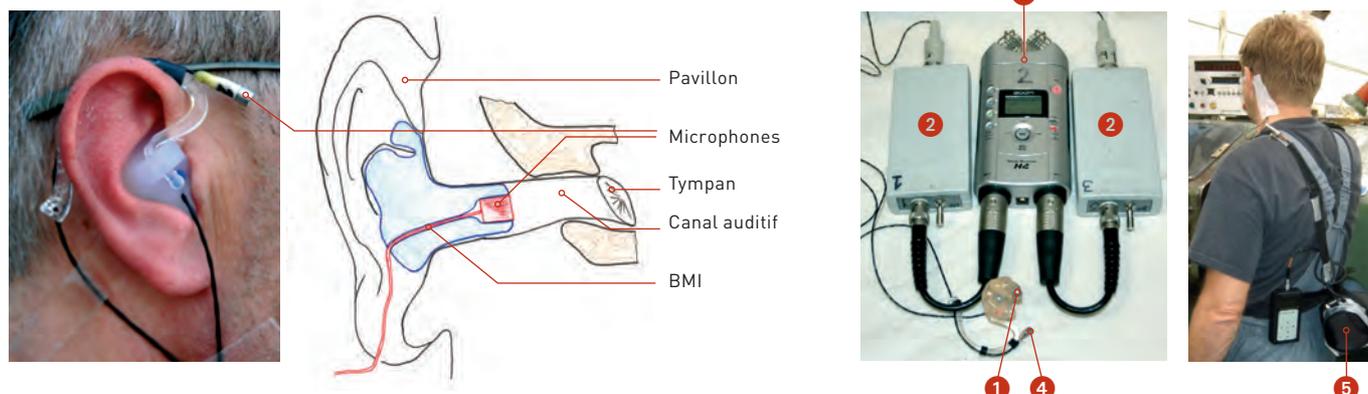
Les résultats confirment une surestimation de la protection affichée par les fabricants. Pour l'un des BMI testés, la surestimation, de 10 dB dans les aigus passe à 15 et 20 dB dans les médiums et les graves. Pour les deux autres BMI, ils indiquent également un manque d'efficacité de 5 à 10 dB entre 125 et 1 000 Hz. Enfin, il n'a pas été possible de déterminer un réel effet de la durée du port du protecteur sur son efficacité.

La réglementation [1] relative à la protection des travailleurs exposés au bruit fixe des valeurs limites d'exposition (VLE) qui se définissent protecteurs individuels contre le bruit (PICB) inclus. Par conséquent, la détermination du niveau de bruit résiduel (L'_A) sous le protecteur doit tenir compte du niveau de bruit d'exposition et de l'affaiblissement acoustique du PICB. Une revue de la littérature [2] montre que l'atténuation

des PICB affichée par les fabricants surestime celle évaluée *in situ*. Le L'_A calculé est donc sous-estimé et, dans certains cas, n'assure pas la protection requise. Il existe peu de données disponibles concernant les PICB de type bouchon moulé individualisé (BMI). La mise en œuvre *in situ* d'une technique dérivée d'une méthode normalisée [3], utilisée habituellement en laboratoire, a permis l'évaluation des performances réelles des BMI sur le terrain.

FIGURE 1

À gauche, une oreille équipée des deux microphones et la position du microphone dans le BMI.
À droite, la chaîne d'acquisition et équipement d'un salarié



MÉTHODE ET MATÉRIEL

Le principe de la technique est fondé sur la comparaison de deux niveaux de pression acoustique mesurés par deux microphones miniatures, un de chaque côté du bouchon placé dans le conduit auditif. Le niveau atténué est mesuré par un microphone inséré dans le BMI et placé à son extrémité, côté tympan. Le niveau d'exposition est mesuré par l'autre microphone, placé au plus près de l'oreille au-dessus du pavillon comme l'indique la *Figure 1*.

Les capteurs utilisés ($\varnothing \approx 5$ mm) sont des microphones à électret ① et ④. Ces capteurs délivrent des signaux pré-amplifiés par deux conditionneurs ② puis acquis dans un enregistreur numérique portable à deux voies ③. L'autonomie de l'enregistreur autorise des durées d'enregistrement proches de 3 heures. L'ensemble, compact et très léger ⑤ est placé dans une besace que porte le salarié sans nuire à l'accomplissement de sa tâche.

Une campagne de mesures a été menée avec le concours de trois fabricants de BMI dans neuf entreprises d'activités variées. Des mesures ont été effectuées, avec enregistrements numériques des données, sur des périodes variant de 1 heure 30 à 2 heures 45, dans les neuf sites, avec un panel validé de 63 salariés, objet d'une observation permanente pendant les enregistrements. Les différents protecteurs utilisés (notés BMI1, BMI2 et BMI3) ont été fabriqués sur le même modèle. *In situ*, l'expérimentateur a positionné le BMI à l'aide d'un tour d'oreille sur chaque salarié. Les câbles de connexion des micro-

phones ont été fixés à l'aide de ruban adhésif, assurant ainsi le maintien de l'ensemble en place pendant la durée complète de l'enregistrement.

TRAITEMENT DES DONNÉES

L'écart entre les deux niveaux mesurés constitue l'indicateur brut de la réduction du bruit apportée par le port du BMI. Des traitements complémentaires permettent de préciser cet indicateur en éliminant des signaux recueillis tout ce qui n'est pas directement relié à l'atténuation du protecteur et/ou au bruit d'exposition. Ces traitements conduisent à un affaiblissement de terrain qui peut être comparé à l'affaiblissement mesuré en laboratoire. Ils sont effectués en trois phases : une mise en forme, une sélection des signaux utiles et un amendement des données.

MISE EN FORME

La mise en forme consiste à transformer les fichiers temporels enregistrés *in situ* en données tabulées par bandes d'un tiers d'octave comprises entre 50 Hz et 10 kHz. Les fichiers sont ainsi constitués d'échantillons contigus de 200 ms (5 spectres par seconde), pour chacune des deux voies. La cohérence avec les VLE exige qu'à ces données soit appliquée la pondération A. La différence, fréquentielle ou globale, entre la voie extérieure et la voie inté-

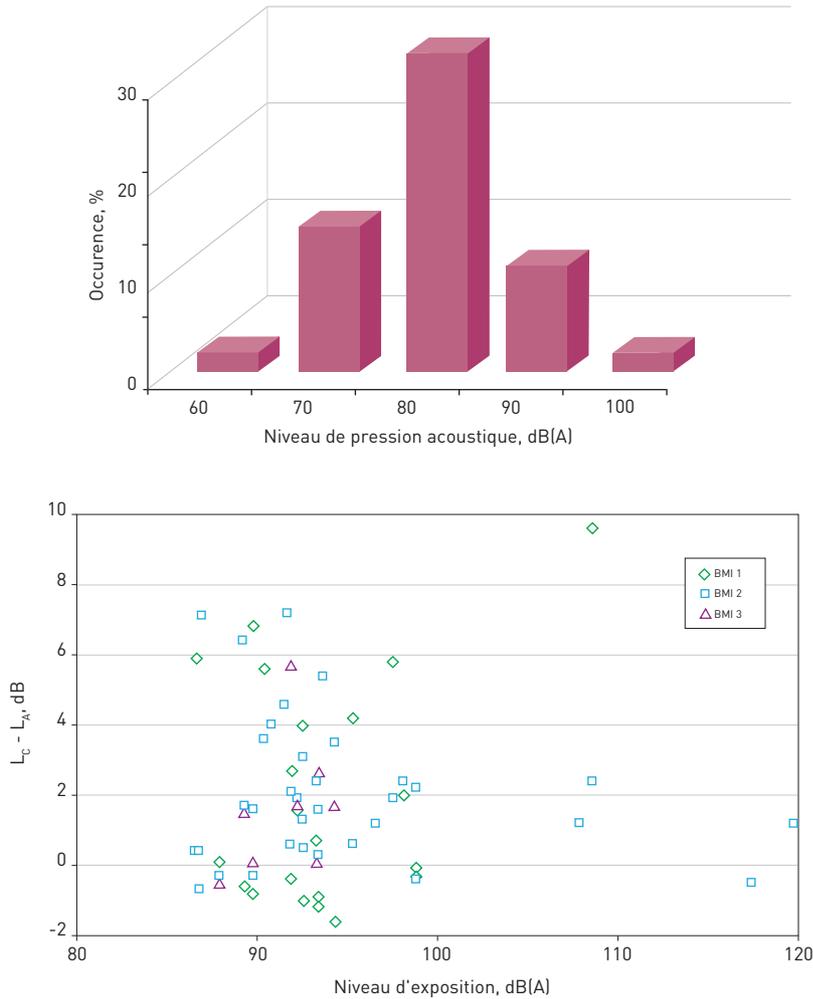
rieure correspond à la réduction du bruit, notée NR, apportée par le port du protecteur. La réduction du bruit, obtenue objectivement ne doit pas être confondue avec l'affaiblissement acoustique, noté REAT, établi subjectivement en laboratoire en conformité avec la norme NF EN 24869-1:1993 [4].

SÉLECTION DES SIGNAUX UTILES

Lorsque l'écart entre les niveaux mesurés par les deux microphones ne reflète ni la réalité du poste de travail ni le niveau du bruit d'exposition, les signaux ont été éliminés. C'est le cas des phases correspondant à des pauses ou à des conversations longues. La détection de ces périodes était aisée grâce aux observations effectuées lors des enregistrements. De même, les artefacts correspondant à des phénomènes de saturation des signaux ont été décelés au moyen de tests informatiques et éliminés. En revanche, les phases perturbées par un manque de dynamique des signaux sont moins évidentes ; de même pour les bruits physiologiques, consécutifs à une toux, par exemple. L'observation de la cohérence des signaux a cependant permis de les faire apparaître. Cette observation donne des indications sur la corrélation entre la pression extérieure et la pression intérieure, et donc sur la qualité des signaux. La cohérence moyenne a été observée sur la largeur de la bande de fréquences utile. La cohérence moyenne est calculée au même rythme que les niveaux de pression (toutes les 200 ms). Elle est alors comparée à un seuil pour éliminer les phases pendant lesquelles les signaux présentent une faible corrélation entre eux.

FIGURE 2

Niveaux d'exposition des postes étudiés par occurrence et en fonction de $[L_C-L_A]$.



À l'issue de ces traitements, il subsiste des phases d'enregistrement dans lesquelles apparaissent des niveaux de pression extérieurs plus faibles que les niveaux de pression intérieurs correspondants. C'est le cas, en particulier, lors des conversations courtes dont la cohérence reste élevée. Le critère d'élimination est alors fondé sur la comparaison entre le niveau atténué et le niveau d'exposition augmenté du bruit physiologique de masquage [5]. Ce dernier est surtout influent dans les fréquences inférieures à 400 Hz.

Les fichiers ont été reconstitués en accolant les unes aux autres les phases conservées.

AMENDEMENT DES DONNÉES

L'amendement des données consiste à déterminer un pseudo-affaiblissement (pREAT) par une transposition de NR au moyen de termes correctifs. Des tra-

vaux [6, 7, 8] ont montré que pour assurer une comparaison réaliste entre pREAT, résultat de mesures objectives, et REAT, issu de mesures subjectives pour un même protecteur, des corrections doivent être appliquées aux niveaux sonores mesurés objectivement. Ces corrections tiennent compte de paramètres inclus mais transparents dans la mesure subjective et qui nécessitent des conditions particulières pour être mesurés objectivement. Les paramètres appliqués dans cet amendement sont :

- la fonction de transfert de l'oreille ouverte (TFOE), décrite dans la norme NF EN ISO 11904-1 [3] qui en donne un spectre chiffré ;

- la diffraction, effet dû à la présence du salarié sur la mesure du niveau d'exposition ; celle-ci a été mesurée en laboratoire avec le matériel utilisé *in situ* ;

- le bruit physiologique de masquage, dont Berger a établi un spectre quantifié [5] ;

- J. Voix [6] évoque d'autres paramètres, propres à son équation, dont il n'est pas tenu compte dans cette transposition. En effet, dans le cas de notre matériel, leurs valeurs n'ont pu être quantifiées préalablement à la campagne de mesures *in situ*.

RÉSULTATS

ANALYSE DESCRIPTIVE DES DONNÉES

Les postes de travail choisis pour les mesures *in situ* (cf. Figure 2) présentent des niveaux de pression acoustique compris dans une fourchette allant de 76,1 à 119,8 dB(A) avec une moyenne de 94,7 dB(A). La majorité des postes choisis ont des indices L_C-L_A compris entre -2 et +3 dB pour des niveaux d'exposition compris entre 85 et 100 dB(A). Une dizaine de postes à prépondérance de basses fréquences présentent un indice L_C-L_A supérieur à 5 dB ; un parmi ces derniers est remarquable avec un $L_C-L_A = 9,6$ pour un niveau d'exposition de 108,6 dB(A), conditions dans lesquelles il est particulièrement difficile de protéger les salariés.

RÉDUCTION CORRIGÉE DU BRUIT

La réduction corrigée du bruit pREAT est globalement inférieure aux REAT affichées par les fabricants ; en particulier dans le cas du fabricant du BMI3 pour lequel l'affaiblissement acoustique affiché par le fabricant est notablement différent de l'affaiblissement estimé *in situ*.

Cet écart est probablement attribuable à un défaut de fabrication. Il n'a pas été possible de vérifier cette hypothèse. En revanche, les estimations de pREAT pour les BMI1 et BMI2, soit un peu plus de 87 % des protecteurs testés, semblent être en accord avec des valeurs observées dans la littérature [9, 10, 11].

Ces résultats indiquent une corrélation entre le pREAT et l'indice L_C-L_A . Cette corrélation, bien que faible, confirme l'incapacité des bouchons d'oreille, quel qu'en soit le type, à affaiblir les basses fréquences.

EFFET DE LA DURÉE DE PORT DES BMI

Selon les sujets d'essai, les graphes temporels de la réduction du bruit montrent des variations plus ou moins importantes de cette grandeur. La question est : le fait de porter un BMI pendant une longue durée a-t-il un effet sur son efficacité acoustique ? Cet effet serait éventuellement lié à des phénomènes de non-ajustement au conduit auditif, de déplacement dans le conduit, de rejet (à cause de la forme du conduit), d'échauffement du conduit, d'excès de cérumen, de conditions atmosphériques au poste de travail, du type de tâche, de mouvements, de positions particulières du porteur. Les durées d'enregistrement ne sont pas assez importantes pour pouvoir en tirer des conclusions sauf dans quelques rares cas comme celui de la Figure 4 où l'on constate une baisse progressive et durable de l'atténuation.

En revanche, les conclusions d'une étude menée au Québec [12] font état de variations significatives des indices d'atténuation en fonction du temps sur de longues périodes de temps. La plupart des enregistrements de cette étude ont été effectués sur des durées de 8 à 9 heures consécutives. Les auteurs précisent que les variations sont plus importantes pour les BMI que pour les serre-tête. La lecture des résultats montre que ces variations peuvent être une perte d'efficacité mais aussi et, *a contrario*, une amélioration de la performance du protecteur.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Si les valeurs du BMI₃ sont exclues (pour manque de fiabilité technique) de notre panel de données, les résultats relatifs aux BMI₁ et BMI₂ indiquent une assez bonne crédibilité des valeurs d'affaiblissement acoustique affichées par les fabricants dans la partie la plus élevée du spectre, c'est-à-dire les fréquences les plus faciles à amortir. L'écart entre REAT et pREAT est proche de 3 dB, écart acceptable en se référant à l'avertissement contenu en introduction à la norme NF EN ISO 4869-2 [13] et à l'annexe sur l'incertitude de mesurage de l'affaiblissement acoustique de la norme NF EN 24869-1 [4]. En

FIGURE 3

Réduction corrigée du bruit (pREAT) comparée à l'affaiblissement acoustique établi en laboratoire (REAT) pour les trois BMI

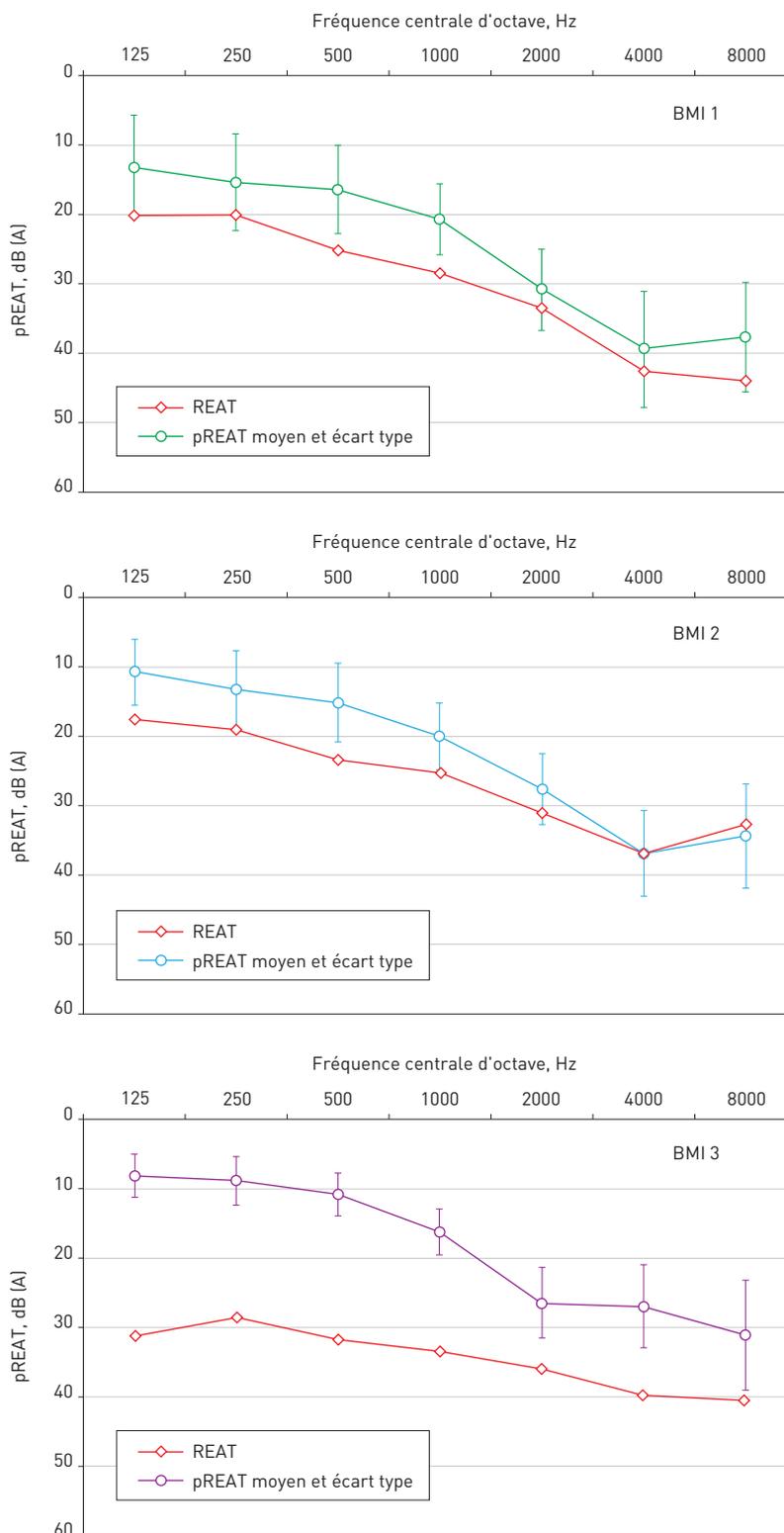
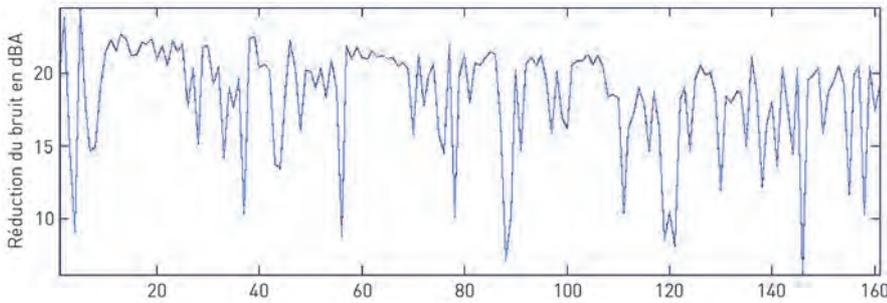


FIGURE 4

Evolution minute par minute de la réduction du bruit sur une durée de 2 heures 40 pour un salarié



revanche, ces résultats confirment le manque d'efficacité des bouchons d'oreille dans les fréquences basses. Pour les fréquences comprises entre 125 et 1 000 Hz, l'écart entre REAT et pREAT varie de 5 à 10 dB(A). Ces résultats sont comparables à ceux, peu nom-

breux, signalés dans notre revue bibliographique [2].

Des investigations complémentaires [14] montrent que des utilisateurs de BMI bien informés et motivés ressentent les variations de l'affaiblissement

acoustique apporté par le protecteur, surtout lorsque la tendance est à la perte d'efficacité. Dans ce cas, ils procèdent à la remise en place du protecteur de manière quasi instinctive. Ceci peut expliquer pour partie le constat de stabilité, en moyenne, de la réduction du bruit tout au long du déroulement des mesures. Le peu de cas pour lesquels la tendance globale serait à l'amélioration de l'efficacité n'a pas trouvé de véritable explication.

Ces mêmes investigations complémentaires ont également montré une influence de la coloration spectrale du bruit d'exposition sur l'affaiblissement acoustique estimé *in situ*. Plus le bruit d'exposition est à tonalité grave, moins le BMI est capable de l'atténuer. Ceci doit être pris en compte lors du choix du protecteur pour obtenir une adéquation entre ses performances et les caractéristiques du bruit d'exposition.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Décret 2006-892 du 19 juillet 2006, relatif aux prescriptions de sécurité et de santé applicables en cas d'exposition des travailleurs aux risques dus au bruit et modifiant le code du travail (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat). JO du 20 juillet 2006.

[2] KUSY A., 2008. Affaiblissement acoustique *in situ* des protecteurs individuels contre le bruit. Étude bibliographique. ND 2295. 212 (08), 43-59.

[3] Norme NF EN ISO 11904-1:2002 – Acoustique – Détermination de l'exposition sonore due à des sources sonores placées à proximité de l'oreille. Partie 1 : Technique du microphone placé dans une oreille réelle (technique MIRE). Paris - La Défense, AFNOR.

[4] Norme NF EN 24869-1:1993 - PICB. Partie 1 : Méthode subjective de mesurage de l'affaiblissement acoustique. Paris - La Défense, AFNOR.

[5] BERGER E. H., KERIVAN J. E., 1983. Influence of physiological noise and the occlusion effect on the measurement of real-ear attenuation at threshold. *Journal of the Acoustical Society of America*. 74 (1), 81-94

[6] VOIX J., LAVILLE F., 2005. Problématiques associées au développement d'un bouchon d'oreille «intelligent». *Pistes*. Vol. 7, n° 2. <http://www.pistes.uqam.ca>

[7] BERGER E. H., VOIX J., KIEPER R. W., 2007. Methods of developing and validating a field-MIRE approach for measuring hearing protector attenuation. *Spectrum*. Vol 24, Suppl. 1.

[8] BOCKSTAEL A., DE GREVE B., VAN RENTERGHEM T., BOTTELDOOREN D., D'HAENENS W., KEPPLER H., MAES L., PHILIPS B., SWINNEN F. et VINCK B., 2008. Verifying the Attenuation of Earplugs *in situ*: Method validation using artificial head and numerical simulations. *Journal of the Acoustical Society of America*. 124 (2), 973-981.

[9] EDWARDS R. G., GREEN W.W., 1986. Effect of an improved hearing conservation program on earplug performance in the workplace. *Noise Control Engineering Journal*. 28 (2), 55-65.

[10] PFEIFFER B. H., KUHN H. D., SPECHT U., KNIPFER C., 1989. Schalldämmung von Gehörschützern in der betrieblichen Praxis. BIA, *Sankt-Augustin*. Rapport 5/89.

[11] DANTSCHER S., SICKERT P., LIEDTKE M., 2009. Sound attenuation of hearing protectors in use at work – Study from 2005 to 2007. BIA, *Sankt-Augustin*. Rapport 4/2009e.

[12] NELISSE H., GAUDREAU M-A., BOUTIN J., LAVILLE F., VOIX J., 2010. 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. *IRSST*, Canada. Rapport R-662.

[13] Norme NF EN ISO 4869-2:1995 - PICB. Partie 2 : Estimation des niveaux de pression acoustique pondérés A en cas d'utilisation de protecteurs individuels contre le bruit. Paris - La Défense, AFNOR.

[14] KUSY A., 2010. Commentaires sur l'efficacité du BMI en fonction de la durée de port et de l'indice harmonique du bruit d'exposition. Document de travail interne, non publié.

3.2.

OSEV : UN OUTIL D'ÉVALUATION DU RISQUE VIBRATOIRE AUQUEL EST SOUMIS UN CONDUCTEUR D'ENGINS

► Laurent HARDY, Pascal POUPONNEAU,
Carsat Midi-Pyrénées, département
Prévention des risques professionnels

Osev (outil simplifié d'évaluation des expositions aux vibrations) est un outil d'aide pour estimer l'exposition vibratoire journalière transmise pour chaque conducteur et ceci même s'il conduit plusieurs véhicules dans la même journée. Il ne nécessite pas de réaliser des mesures de vibrations ni d'avoir des connaissances détaillées sur l'évaluation des expositions.

Le résultat permet à chaque opérateur de se situer par rapport aux valeurs limites et d'action édictées par la directive Vibration

RISQUE VIBRATOIRE : TÉLÉCHARGEZ OSEV, UN OUTIL D'ÉVALUATION

niques du rachis lombaire provoquées par des vibrations.

COMMENT ÉVALUER LES VIBRATIONS ?

Un outil

L'évaluation du niveau vibratoire auquel sont soumis les salariés peut sembler complexe. Pourtant, il existe aujourd'hui plusieurs moyens pour estimer ces valeurs.

Le département Prévention des risques professionnels de la Carsat Midi-Pyrénées propose aujourd'hui un outil pour évaluer plus précisément le risque vibratoire et pour pouvoir prendre les mesures adaptées si nécessaire. Cet outil informatique simple et intuitif pour évaluer le risque vibratoire est le logiciel *osev* (outil simplifié d'évaluation des expositions aux vibrations).

UN RISQUE IMPORTANT

La conduite d'engins de chantier, de transport ou de manutention soumet les conducteurs à des vibrations qui peuvent provoquer de graves problèmes de santé. La réglementation impose de limiter l'exposition des travailleurs à ce type de vibrations et de mettre en place des mesures de prévention peuvent permettre d'éviter certaines pathologies.

L'INRS estime qu'en France, 1,5 million de travailleurs, issus de diverses professions, sont exposés régulièrement à des vibrations mécaniques. En 2008, 377 maladies professionnelles déclarées concernent ainsi des affections chro-

Osev est téléchargeable gratuitement sur le site Internet de la Carsat Midi-Pyrénées (<http://www.carsat-mp.fr/entreprises/tms/osev.htm>)

Une méthode

Pour le réaliser, le département Prévention des risques professionnels de la Carsat Midi-Pyrénées s'est basé sur la méthode décrite dans l'ED 6018 « vibrations et mal de dos » de l'INRS.

Les différentes étapes de la méthode sont :

- la prise en compte des émissions vibratoires retenues par familles d'engins qui ont été mesurées en situation réelle ;

- la prise en compte des conditions d'utilisation de l'engin. Si le véhicule à évaluer est utilisé en conditions favorables, la valeur sélectionnée sera le 25^e percentile. Si les conditions d'utilisations sont sévères, la valeur sélectionnée sera le 75^e percentile ;

- la prise en compte du temps réel d'exposition quotidienne.

Intuitif

En quelques clics, osev permet, en exploitant une base de données pondérée par l'ajout de toutes les données relatives au travail effectif, d'évaluer au cas par cas l'exposition réelle de chaque salarié. Il est possible ensuite de comparer cette exposition aux valeurs réglementaires d'action et aux valeurs limites d'exposition afin de prendre les mesures de prévention adaptées, si nécessaire.

Simple

Son principal atout est sa facilité d'utilisation : l'outil fonctionne à partir d'une feuille Excel (cf. Figure 1). Les données à saisir sont : le nom du salarié, la tâche effectuée, les engins utilisés et les conditions d'utilisation (paramètres liés au conducteur, à l'environnement, au siège et au véhicule). Enfin, on note la durée d'exposition et on aboutit au résultat (cf. Figure 2) : si les valeurs sont dépassées, il faut agir.

Préventif

Dès que l'évaluation des risques fait apparaître pour les salariés un risque important dû aux vibrations mécaniques, l'employeur doit prendre des mesures techniques ou organisation-

FIGURE 1

Sélection du véhicule utilisé avec osev

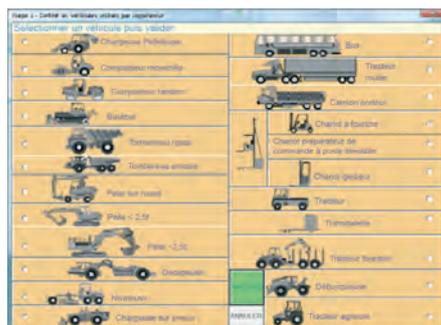
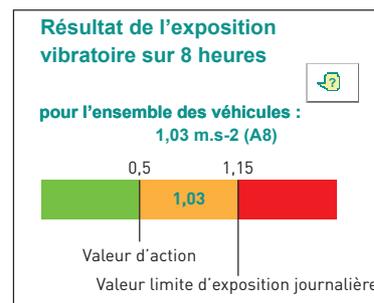


FIGURE 2

Affichage du résultat de l'évaluation avec osev



nelles pour prévenir l'apparition de pathologies. L'outil osev permet d'orienter les choix de l'employeur sur les points d'amélioration les plus pertinents, par exemple :

- la limitation des temps d'exposition,

- un programme approprié de maintenance ou de renouvellement du matériel (ex. : remplacement du siège),

- le maintien en état de l'environnement de travail (ex. : sol),

UTILISATION D'OSEV PAR UNE PME

L'ENTREPRISE

L'entreprise est une plate-forme logistique située dans la banlieue nord de Toulouse, composée de 45 salariés et dotée d'un CHSCT. Elle est spécialisée dans l'approvisionnement de commandes complètes pour des interventions de maintenance sur chantiers. Les matériaux peuvent aller du simple domino au touret de câble de plusieurs tonnes. Une partie est stockée en palletiers à l'intérieur du bâtiment. Les pièces les plus encombrantes et les plus lourdes sont stockées sur le parc extérieur. La préparation de commande est donc réalisée, en fonction des commandes, en intérieur et/ou en extérieur. Les commandes complètes sont ensuite chargées pour livraison.

LE MATÉRIEL

Toutes ces étapes nécessitent des moyens de manutention mécanique divers tels que :

- chariots de préparateur de commande à poste de conduite debout (cf. Figure 3),

- chariots de préparateur de commande à poste de conduite assis (cf. Figure 4),

- chariots élévateurs à fourche 2,5 t (cf. Figure 5),

- chariots élévateurs à fourche 5 t (cf. Figure 6).

LA PROBLÉMATIQUE

Le médecin du travail a constaté que certains salariés se plaignaient de mal de dos.

Parmi les facteurs qui peuvent contribuer aux douleurs dorsales, les vibrations sont transmises par les chariots à l'ensemble du corps de l'opérateur. En effet, les opérateurs d'engins mobiles sont exposés à des secousses, des chocs et des vibrations transmises à l'ensemble du corps par le siège ou la plate-forme sur laquelle ils se tiennent debout.

Lors de la mise à jour du document unique d'évaluation des risques, les membres du CHSCT ont décidé d'engager une démarche de prévention concernant le risque vibratoire.

De plus, le décret 2005-746 précise les obligations de l'employeur pour évaluer et pour réduire les risques résultant de l'exposition aux vibrations.

FIGURE 3

Sélection du véhicule utilisé avec *osev*

FIGURE 4

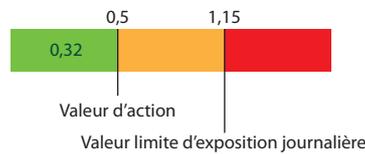
Sélection du véhicule utilisé avec *osev*

FIGURE 5

Sélection du véhicule utilisé avec *osev*

FIGURE 6

Sélection du véhicule utilisé avec *osev*

L'ÉVALUATION SANS MESURE

Dans un premier temps, le médecin du travail propose une évaluation sans mesure à l'aide de l'outil *osev*.

Après avoir identifié les machines mobiles exposant les travailleurs et après avoir estimé, pour chaque poste de travail, la durée réelle d'exposition, l'évaluation peut commencer.

L'outil a permis de situer les niveaux d'exposition et, d'après les résultats, il apparaît que l'engin le plus pénalisant serait le transpalette à conducteur debout. L'exposition vibratoire journalière A(8) pour cet engin se situe au-dessus de la valeur déclenchant l'action.

RÉDUCTION DU RISQUE VIBRATOIRE

Dans un deuxième temps, le CHSCT a sollicité le Centre de mesures physiques de la Carsat Midi-Pyrénées afin de l'aider dans la recherche de solutions de prévention.

Nous avons confirmé, par la mesure, la hiérarchisation des niveaux vibratoires des engins donnés avec *osev*. Cependant, pour les chariots à conducteur debout, des différences importantes de niveau vibratoire sont constatées pour un même parcours avec le même opérateur.

L'observation du travail réel a mis en évidence un problème lié à la rotation

des engins. En effet, l'immobilisation de certaines machines pendant la charge provoque des méplats sur les bandes de roulements induisant à eux seuls des vibrations importantes.

L'outil *osev* ne peut pas remplacer une analyse fine des situations de travail. Il sert à une analyse rapide, un état des lieux.

La mise en place d'un planning de rotation des engins ainsi que d'autres actions d'organisation (création d'un pont pour le passage des chariots sur le caniveau de la cour, changement d'un type de siège, formation des opérateurs au réglage des sièges, chargement exclusivement à l'aide de chariots à fourche, etc.) ont permis de réduire le risque vibratoire.

CONCLUSION

Le département prévention des risques professionnels de la Carsat Midi-Pyrénées a mis à la disposition des entreprises un outil qui permet d'évaluer plus précisément le risque vibratoire et qui peut également permettre de proposer des mesures de préventions adaptées si nécessaire. Dans le cas de cette PME, l'utilisation d'*osev* a en outre permis la mobilisation des différents acteurs de l'entreprise autour d'un sujet jusqu'ici inexploré. Le partenariat avec le Centre de mesures physiques de la Carsat Midi-Pyrénées a contribué à l'élaboration d'une stratégie de maîtrise du risque avec des mesures concrètes de réduction de l'exposition.

3.3.

ÉVALUATION DE L'EXPOSITION AUX VIBRATIONS CORPORELLES DES OPÉRATEURS DU DÉPARTEMENT COQUE D'UN CHANTIER NAVAL

► Franck FALCO,
Université de la Méditerranée,
IUT d'Aix en Provence, département Hygiène
sécurité environnement

A la demande de la médecine du travail et du service Santé sécurité au travail, le département Hygiène sécurité environnement de la Ciotat a procédé à l'évaluation du niveau de vibrations transmises aux membres supérieurs d'opérateurs travaillant sur le site d'un chantier naval. Effectuée dans les ateliers du département Coque et lors de chantiers de maintenance d'un sous-marin, cette étude s'inscrit dans une démarche d'amélioration des conditions de travail.

Les mesurages ont pour but d'évaluer l'exposition quotidienne $A(8)$ à laquelle sont soumis les opérateurs effectuant des travaux en atelier ou à bord. Les analyses portent sur les disqueuses de type électroportatif et pneumatique. La méthode utilisée afin d'évaluer l'exposition quotidienne due aux vibrations des opérateurs suit les normes AFNOR EN ISO 5349 -1:2001 [1] et EN ISO 5349-2:2001 [2]. Les mesurages sont effectués à l'aide d'un analyseur de vibrations corporelles modèle 4447 de chez Brüel et Kjaer, équipé d'un accéléromètre triaxial. L'étude a permis d'effectuer une comparaison entre le matériel utilisé et le matériel présentant des caractéristiques anti-vibratiles. Des courbes d'exposition quotidienne aux vibrations en fonction de la durée d'exposition sont dressées permettant ainsi au service Santé sécurité au travail d'entreprendre les mesures techniques, organisationnelles et humaines pertinentes.

Le département Coque d'un chantier naval comprend 60 opérateurs répartis en atelier et sur chantiers extérieurs, à bord des bâtiments en maintenance ou réparation. Les travaux nécessitent entre autres l'utilisation de machines électroportatives et pneumatiques, de type disqueuse. Afin de rendre compte de la nuisance imposée aux opérateurs, une étude vibratoire au niveau des

membres supérieurs a été mise en place. Deux types de situations de travail sont présentées, la première relative aux travaux effectués sur la coque d'un sous-marin, la seconde relative aux travaux de tôlerie effectués en atelier. Les mesures sur site ont permis d'évaluer l'accélération efficace pondérée selon chaque axe, a_{hwX} , a_{hwY} et a_{hwZ} contribuant ainsi à la détermination de l'exposition quotidienne $A(8)$ en ms^{-2} .

TABLEAU I

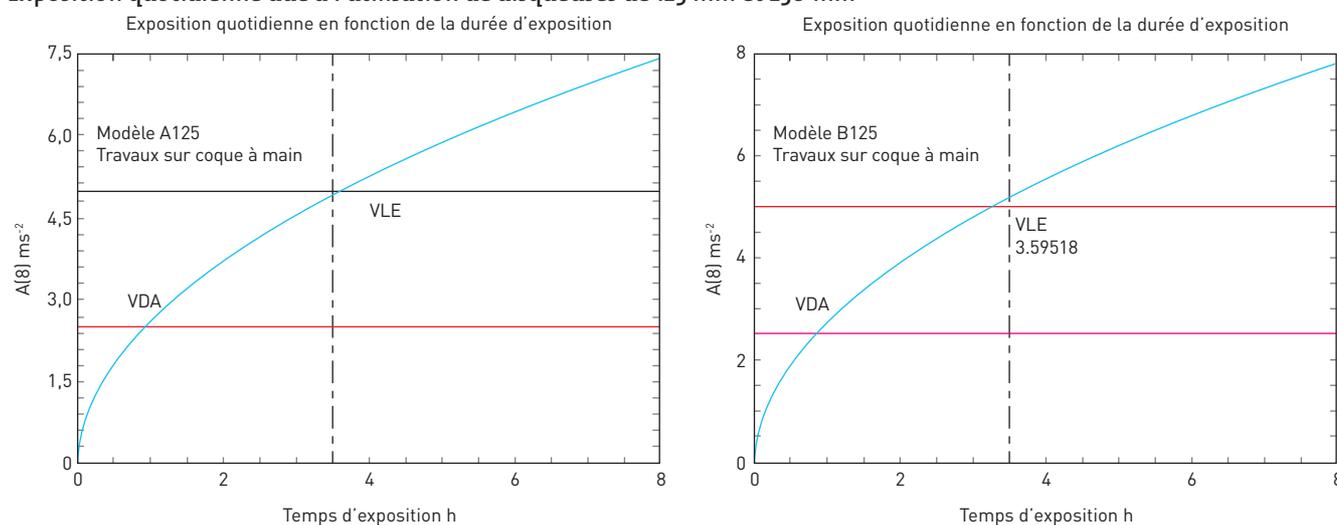
Mesures lors de travaux sur coque

Modèles	T de mesure	Accélérations efficaces ms ⁻²	ahv ms ⁻²	Commentaires
Modèle A 125 mm	1 h 05 min	X = 4,55 Y = 5,03 Z = 3,01	7,4	Poignée principale uniquement (poignée auxiliaire retirée)
Modèle A 230 mm	0 h 45 min	X = 2,32 Y = 3,06 Z = 5,38	6,6	Poignée principale
	0 h 45 min	X = 2,45 Y = 6,03 Z = 4,31	7,8	Poignée auxiliaire



FIGURE 1

Exposition quotidienne due à l'utilisation de disques de 125 mm et 230 mm



Avant que la série de mesurage débute, la valeur de l'exposition quotidienne A(8) était le principal moyen de décision du service SST et de la médecine du travail quant au remplacement du parc d'outillage du département Coque associé aux mesures organisationnelle et humaine. Il a été cependant également proposé de dresser des graphes comparatifs d'exposition quotidienne entre les disques utilisés et les nouveaux modèles possédant des propriétés anti-vibratiles. Il est important de rappeler que les résultats expérimentaux complétés des calculs de dose vibratoire ne doivent pas occulter le ressenti des opérateurs lors du changement de matériel. Il ne faut en aucun cas adopter une vision purement « mathématique » et chronométrique vis-à-vis des graphes d'exposition. Les activités de tôlerie ou de chaudronnerie diffèrent d'une pièce à l'autre. Outre la durée d'exécution, les moyens employés résultent le plus souvent de l'association de plusieurs machines - disqueuse électrique, disqueuse pneumatique, martelage... - avec des disques de natures différentes et de degré d'usure divers. De ce fait, il n'existe aucune journée « type » par opérateur.

L'analyseur de vibration délivre la valeur de l'exposition quotidienne pour une durée totale vibratoire de 8 heures par défaut. Il faut donc procéder à un calcul par extrapolation tenant compte de la durée effective d'exposition aux vibrations.

$$A(8) = a_{hv} \times \sqrt{\frac{T_e}{T_o}}$$

Avec a_{hv} , l'accélération efficace en ms⁻², T_e la durée d'exposition effective et T_o la durée d'exposition de référence de 8 heures.

L'estimation du temps réel d'exposition T_e reste difficile, cette tâche est simplifiée grâce à une analyse graphique.

Travaux de Meulage sur coque



RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX – TRAVAUX SUR COQUE

TRAVAUX DE MEULAGE SUR COQUE DU SOUS MARIN

Deux modèles de disques sont utilisés, dénommés Modèle A 125 et Modèle A 230. Le *Tableau I* présente les

résultats de mesure obtenus (les repères X, Y et Z sont identiques à toutes les machines).

Le graphe associé au Modèle A 230 correspond aux mesures effectuées sur la poignée auxiliaire, condition la plus pénalisante d'un point de vue de l'exposition vibratoire.

Dans la mesure où l'opérateur utilise ces deux machines au cours de son activité, l'exposition quotidienne résultante est déterminée par la relation suivante :

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum a_{hvi}^2 \cdot T_i}$$

A(8) résultant = 3,5 ms⁻² pour une exposition totale d'environ 5 heures.

TRAVAUX DE MEULAGE SUR COQUE – COMPARAISON DE MATÉRIEL

Les disqueuses précédentes sont remplacées par une machine anti-vibratile dénommée Modèle B 125 (voir tableaux comparatifs).

Diamètre 125 mm

Le Modèle B 125 est équipé d'un équilibreur de balourd. Le ressenti de l'opérateur est immédiat quant à la sensation vibratoire fortement diminuée. Le modèle équilibré présente une puissance de 1100 W contre les 1400 W précédents. Cette différence de puissance n'a pas incité l'opérateur à forcer davantage sur la machine. La disqueuse équilibrée existe également en 1400 W.

Diamètre 230 mm

Les deux modèles testés apportent d'après l'opérateur une amélioration concernant l'exposition vibratoire. Le modèle B 230 présente les meilleures performances. L'opérateur a également apprécié la différence de poids par rapport au modèle C 230 mm utilisé à ce jour.

Concernant la sensation vibratoire entre les modèles B 230 et C 230, l'opérateur ne ressent que très peu de différence. La disqueuse C 230 est plus lourde cependant.

TABLEAU II

Comparaison entre les modèles 125 mm dont un équipé d'un équilibreur de balourd

	Modèle A 125 mm	Modèle B 125 mm
ahw ms ⁻²	7,4	3,4
Valeur seuil	53 min	4 h 25
Valeur limite	3 h 40	> 8 h

TABLEAU III

Le Modèle B 230 est équipé d'un équilibreur de balourd et le Modèle C 230 est équipé d'une poignée auxiliaire suspendue.

	A 230	C 230 poignée suspendue	B 230 équilibrée
ahw ms ⁻²	7,8	6,0	5,1
Valeur seuil	1 h 00	2 h 00	3 h 00
Valeur limite	4 h 30	8 h	> 8 h

FIGURE 2

Comparaison entre les modèles A 125 et B 125

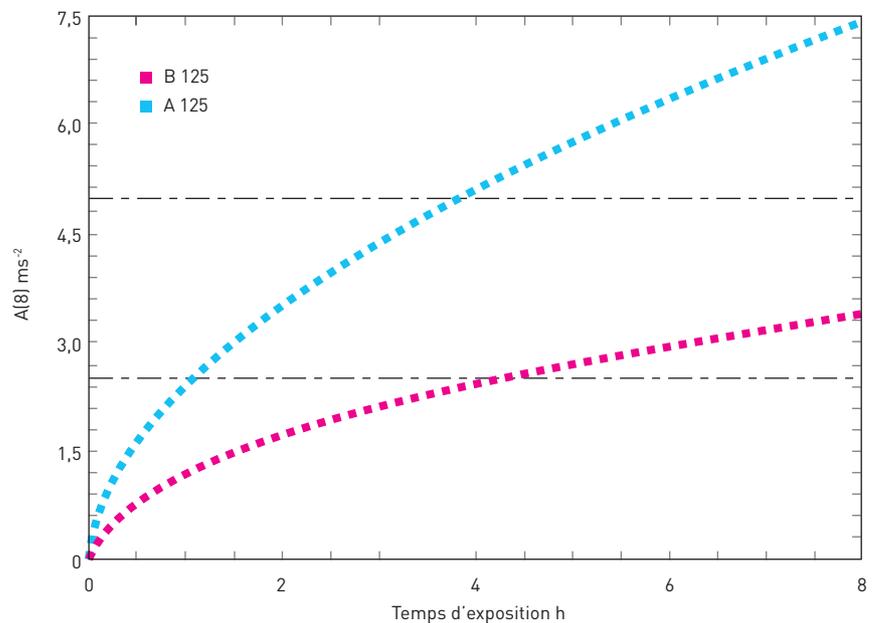


FIGURE 3

Comparaison entre les modèles 230 mm

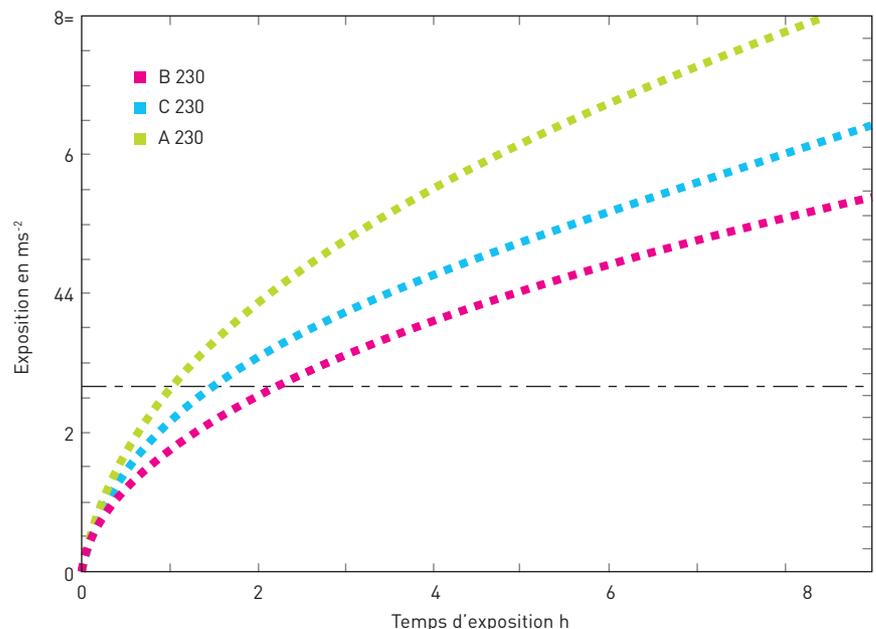


TABLEAU IV

Comparaison entre modèles A 125 et B 125 équilibré pour différents types de disques.

A 125	B 125 équilibré	Disques
$a_{hv} = 5,1 \text{ ms}^{-2}$	$a_{hv} = 2,8 \text{ ms}^{-2}$	Flap (disque neuf)
$a_{hv} = 7,3 \text{ ms}^{-2}$	$a_{hv} = 4,7 \text{ ms}^{-2}$	Meulage (disque neuf)
$a_{hv} = 9,3 \text{ ms}^{-2}$	$a_{hv} = 5,3 \text{ ms}^{-2}$	Tronçonnage (disque neuf)

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX – TRAVAUX EN ATELIER

Comme précédemment, les mesures sont effectuées sur un même opérateur afin d'obtenir une homogénéité des résultats vis-à-vis de la force de préhension. Les disques utilisés en atelier ont essentiellement des diamètres de 125 mm. Trois types de disques sont analysés : flap (abrasif pour polissage), meule et tronçonnage lors du façonnage de brides métalliques. Les mêmes mesures sont effectuées sur le modèle pneumatique.

DISQUEUSE ÉLECTRIQUE 125 MM

Le modèle utilisé à ce jour est le A 125, identique à celui utilisé pour les travaux sur coque. Le modèle corrigé proposé est le B 125 équilibré.

Les valeurs ci-dessus révèlent une forte différence entre les deux modèles de disques. La sensation vibratoire diminuée est clairement ressentie par l'opérateur. Les valeurs mettent en évidence l'efficacité du système de compensation du balourd dont est équipée la disqueuse B 125.

DISQUEUSE PNEUMATIQUE 125 MM

Le modèle utilisé à ce jour est le D 125. Le modèle corrigé proposé est le E 125 équilibré.

La diminution de vibrations est clairement ressentie par l'opérateur. Cependant, le poids supérieur du modèle D 125 par rapport au modèle E 125 a tendance à gêner l'opérateur qui craint l'apparition d'une fatigue prématurée au niveau de l'avant-bras.

FIGURE 4

Comparaison entre les modèles A et B équilibré

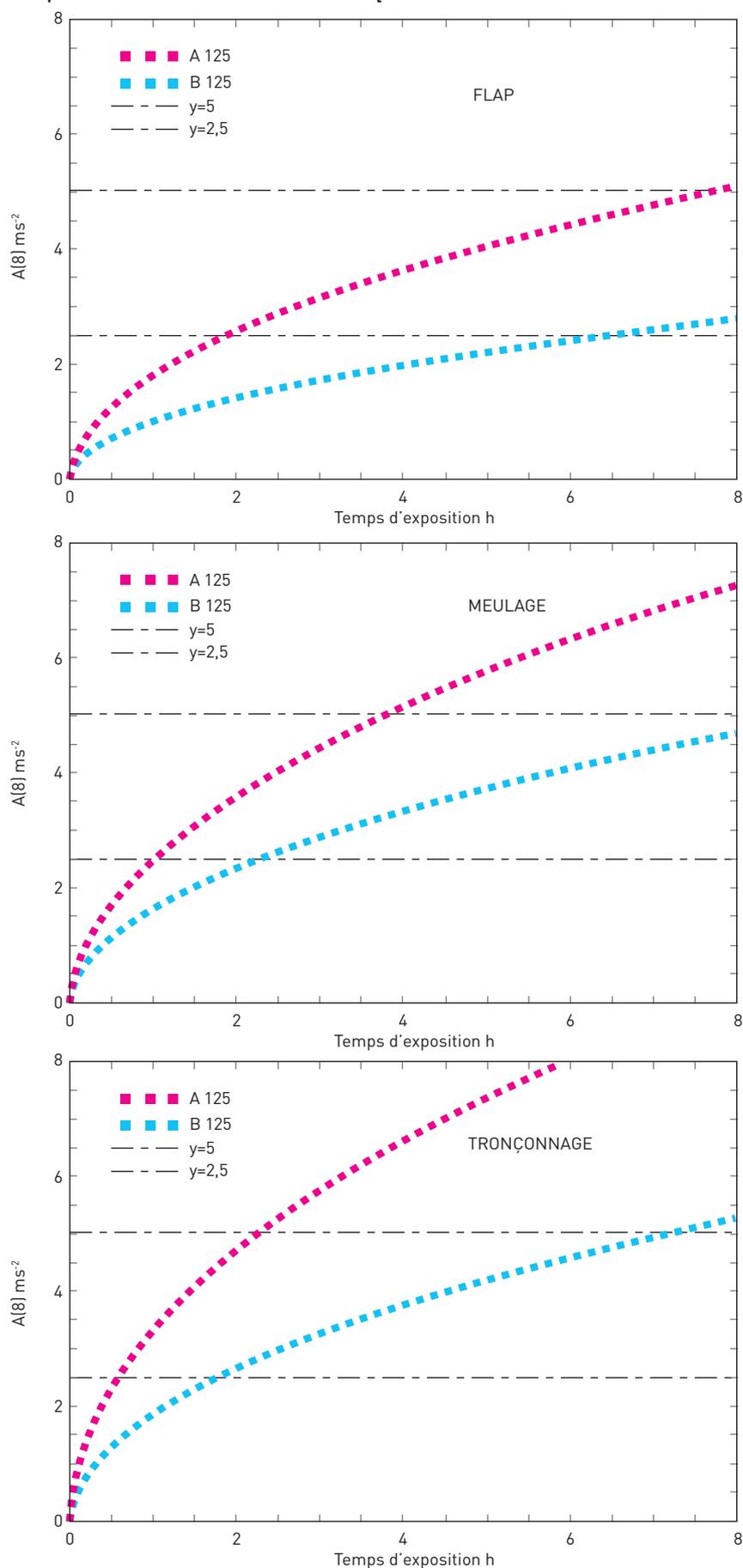


TABLEAU IV

Comparaison entre modèles D 125 et E 125 équilibré pour différents types de disques.

	D 125	E 125 équilibré	Disque
ahw ms^{-2}	2,2	1,7	Flap (disque neuf)
Valeur seuil	> 8 h	> 8 h	
Valeur limite			
ahw ms^{-2}	5,1	3,5	Meulage (disque neuf)
Valeur seuil	2 h	4 h	
Valeur limite	5 h	> 8 h	
ahw ms^{-2}	5,5	3,5	Tronçonnage (disque neuf)
Valeur seuil	1 h 10	4 h	
Valeur limite	4 h 46	> 8 h	

FIGURE 5

Disqueuses D 125 et E 125

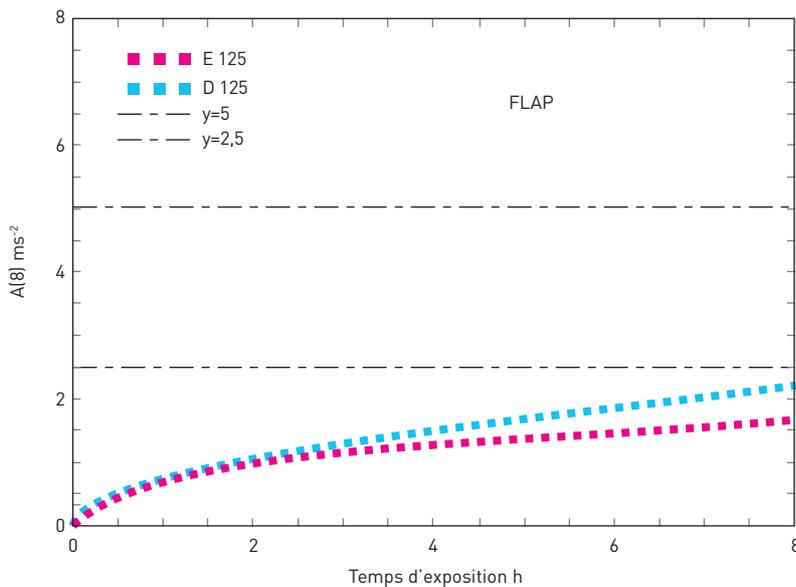
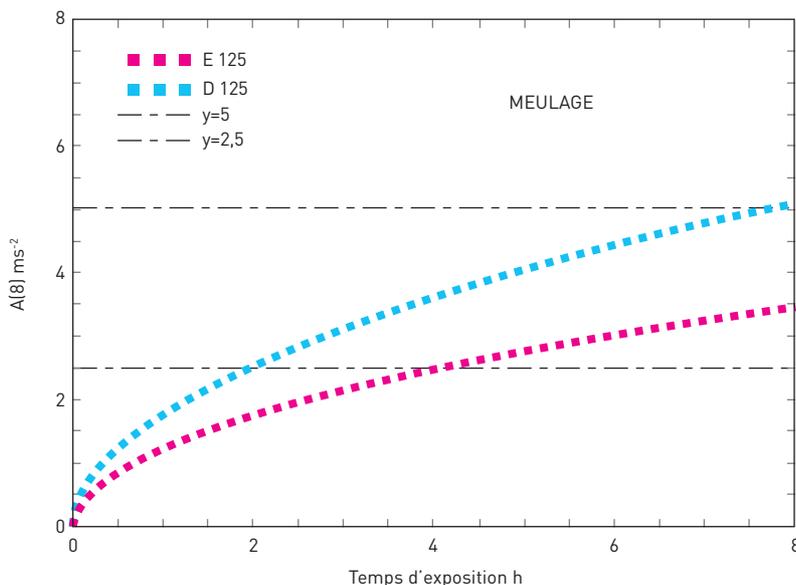


FIGURE 6

Comparaison entre les modèles D 125 et E 125



CONCLUSION

Le matériel utilisé à ce jour présente, en fonction du temps d'exposition, des niveaux vibratoires élevés, proches voire dépassant les valeurs réglementaires. Au-delà des résultats quantitatifs obtenus, le ressenti, positif, des opérateurs lors de la substitution de matériel est un aspect, qui en termes de santé et sécurité au travail, doit constituer une priorité. Le choix définitif des machines à utiliser ne peut se faire qu'à l'issue d'une concertation entre opérateurs et agents de prévention. Un seul exemplaire de chaque nouvelle machine étant disponible lors de cette évaluation, une phase d'essai avec mise à disposition d'une durée significative du matériel devra être entreprise. Cela constituerait un retour d'expérience pour le service SST qui tiendrait alors compte des différents avis avant d'entreprendre le remplacement total du matériel.

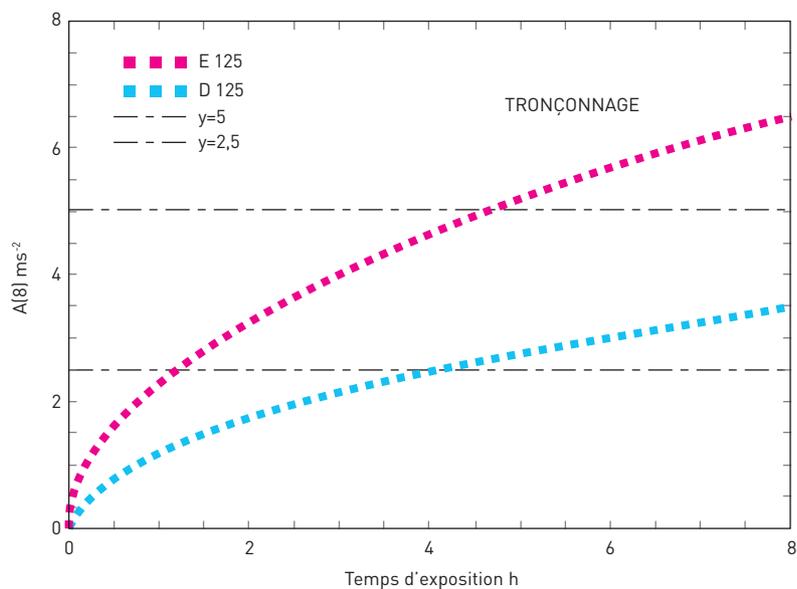
Des critères tels que le poids, l'ergonomie, la mise en œuvre, la maintenance sont à prendre en considération en parallèle des qualités anti-vibratiles, tout en tenant compte des facteurs humains liés au changement de matériel et donc à une perte éventuelle d'habitude et de méthode de travail.

Ces mesures techniques ne doivent cependant pas écarter la mise en place de mesures organisationnelles telles que la répartition du temps de travail afin de diminuer les temps d'exposition notamment lors des phases de travail à bord des bâtiments. Ces mesures doivent bien entendu être compatibles avec les facteurs économiques inhérents à l'entreprise.

La durée réelle d'exposition reste un paramètre difficile à déterminer, les opérateurs ayant « naturellement » tendance à augmenter ce dernier lorsqu'ils sont interrogés. Cette difficulté complique l'évaluation de l'exposition quotidienne $A(8)$. Lors de cette étude, les graphes ont permis une analyse comparative aisée entre les modèles de machines utilisées à ce jour par les opérateurs et les modèles dotés d'équipements anti-vibratiles. Ils apparaissent ainsi comme des outils d'aide à la décision quant au choix du matériel à utiliser à l'avenir en facilitant l'estimation du temps effectif d'exposition des opérateurs vis-à-vis des valeurs seuil et limite.

FIGURE 7

Comparaison entre les modèles D 125 et E 125 équilibré



BIBLIOGRAPHIE

[1] Norme AFNOR EN ISO 5349 -1:2001 « Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par les mains Partie 1 : Exigences générales. »

[2] Norme EN ISO 5349-2:2001 «Vibrations mécaniques - Mesure et évaluation de l'exposition des personnes aux vibrations transmises par les mains Partie 2 : Guide pratique pour les mesures sur le lieu de travail ».

3.4. TROIS EXEMPLES D'ENCOFFREMENT DE POINÇONNEUSES

► Jean VITTONATI, Caisse régionale
d'assurance maladie d'Ile-de-France,
Centre de mesures et contrôles physiques

Les encoffrements acoustiques de poinçonneuses automatiques sont couramment mis en place pour réduire le niveau sonore, notamment dans les ateliers de métallerie. Ils ont déjà fait l'objet de nombreuses publications.

Cet exposé présente trois solutions qui, pour être encore plus représentatives, sont réalisées par un même fabricant en Ile-de-France, avec des contraintes techniques et industrielles différentes. Les comparaisons sont facilitées car les règles techniques de conception sont identiques d'une réalisation à l'autre, notamment suppression soignée des fuites acoustiques, découplage de l'encoffrement identique, absorption du bruit à l'intérieur traité avec la même attention.

Nous comparerons les gains aux postes de commande, l'atténuation en bande d'octaves et les coûts de trois encoffrements :

- un encoffrement standard fermés sur cinq côtés,
- un encoffrement fermé sur les côtés sans toit mais avec traitement acoustique par baffles verticaux en partie supérieure,
- un encoffrement avec traitement acoustique en partie supérieure et portes à ouverture rapide par repliement selon le souhait de l'industriel.

Cet exposé fera apparaître les limites de ces réalisations.

Nous avons caractérisé l'efficacité *in situ* d'une cabine et de deux enceintes de poinçonneuses automatiques « AMADA » ou « TRUMPF ».

Il s'agit de réalisations sur mesure par le même fabricant qui applique sensiblement les mêmes règles de conception et la même technologie. On retrouve notamment le même type de paroi pleine en panneaux modulaires, le même revêtement absorbant et des oculi feuilletés (double vitrage 4-0, 2-4). L'assemblage et la qualité de finition sont analogues, notamment l'étanchéité au sol et dans les angles.

Les différences principales sont un plafond fermé dans un cas (cabine avec une ventilation mécanique) et deux plafonds ouverts avec baffles acoustiques verticaux (enceintes à ventilation naturelle) dans les deux autres cas.

En fonction des contraintes de production et des exigences des industriels, l'entrée et la sortie matière ont été traitées dans les deux premiers cas par des bavettes souples en caoutchouc et dans le troisième cas par des portes automatiques renforcées à ouverture et fermeture rapides.

FIGURE 1

Cas n°1



Pour chaque configuration étudiée, nous avons réalisé :

- des mesures de pression, avec la machine en fonctionnement, à l'intérieur de l'enceinte et à l'extérieur au niveau du pupitre de commande et calculé le gain acoustique apporté par l'enceinte au poste de travail,

- des mesures de puissance acoustique rayonnée, machine à l'arrêt et source de référence à l'intérieur de l'enceinte, par une méthode intensimétrique.

Les caractéristiques (mesurées en chambre sourde) de la source de référence sont $LW = 116,1 \text{ dB(Lin)}$ et $115,3 \text{ dB(A)}$. Nous avons mesuré par intensimétrie (avec la source de référence à l'intérieur des enceintes) la puissance acoustique émise par chacune des différentes surfaces pour identifier la contribution de celles-ci (ouvertures, oculus, parois) à la puissance acoustique totale.

Ensuite, nous avons calculé la puissance acoustique totale, du type $Lw = Lp + 10 \log(S/S_0)$, pour déterminer le niveau transmis en puissance et obtenir l'isolement (IL) de l'enceinte.

Puis, nous avons quantifié les coûts avec le fabricant en fonction des techniques utilisées.

Enfin, nous proposons quelques pistes d'amélioration.

CAS N° 1

Encoffrement de dimensions $L \times l \times h = 7,1 \text{ m} \times 6,6 \text{ m} \times 3,6 \text{ m}$. Il se compose de trois faces : deux faces latérales et un plafond plein. Il s'appuie d'un côté sur un mur en parpaings et de l'autre côté sur une paroi en tôle du bâtiment (cf. Figure 1).

FIGURE 2

Comparaison des niveaux de pression acoustique à l'intérieur et à l'extérieur (au pupitre de commande) poinçonneuse en fonctionnement (spectre sonore à dominante BF).

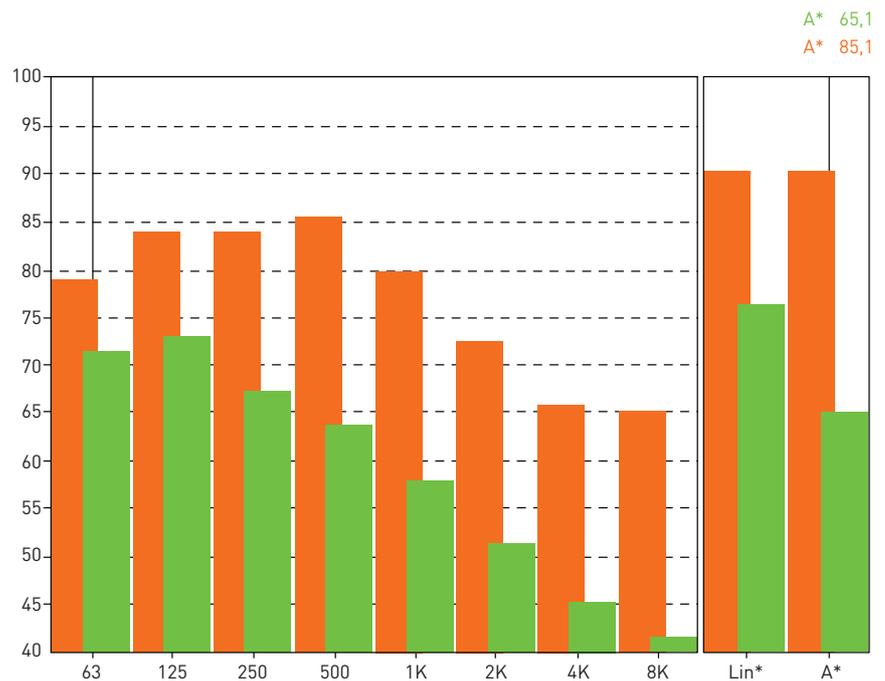


TABLEAU I

Gain obtenu

f(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	Lin
Gain (dB)	7,4	10,7	16,7	21,6	21,7	21,1	20,5	23,5	20	13,8

FIGURE 3



Face XZ



Face YZ

MESURES DE PRESSION ACOUSTIQUE

Le gain augmente avec la fréquence (type loi de masse) puis il plafonne à partir de 500 Hz (à cause des fuites) (cf. Figure 2 et Tableau I).

MESURES D'INTENSITÉ ACOUSTIQUE

Les plans mesurés sont présentés Figure 3.

RÉSULTATS EN NIVEAUX DE PUISSANCE (Lw)

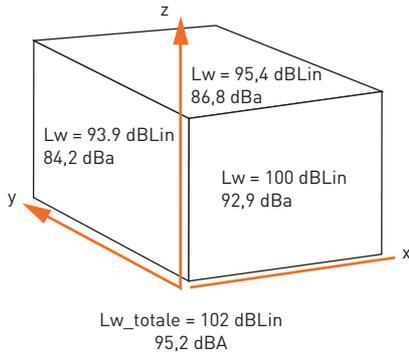
(cf. Figure 4 et Tableau II)

ISOLEMENT (IL)

L'isolement en puissance acoustique est comparable à l'isolement en pression (cf. Tableau III).

FIGURE 4

Représentation schématique :
puissance rayonnée par face



BILAN

Avantages :

- bonne efficacité globale,
- efficacité des oculus feuilletés de 8 mm légèrement supérieure à celle des parois.

Inconvénients :

- plusieurs fuites importantes sur la face avant,
- faible atténuation des lamelles souples plastifiées.

Améliorations possibles :

- traiter l'ouverture différemment,
- traiter les fuites de la porte coulissante : brosses en fibres synthétiques peu efficaces.

CAS N° 2

Enceinte de dimensions L x l x h = 6,5 m x 5,5 m x 3,0 m. Elle se compose de trois faces latérales et la surface du plafond ouvert est traitée par 48 baffles verticaux.

Elle s'appuie sur une paroi en tôle du bâtiment. Hauteur sous plafond : 6 m (cf. Figure 5).

MESURES DE PRESSION ACOUSTIQUE

L'isolement est décevant compte tenu de la qualité des parois de l'encoffrement. Comme vont le montrer les mesures d'intensité, ces mauvaises performances sont dues au fait que le plafond du local est très réfléchissant (tôle sans traitement acoustique), si bien que l'énergie acoustique est réfléchiée dans l'ensemble du local (cf. Figure 6 et Tableau IV).

TABLEAU II

Puissance acoustique rayonnée par les principaux éléments de chaque face

dB(A)	Plafond	Oculus	Paroi	Ouvertures lamelles	Porte
Plafond	86,8				
Face YZ		70,5	84,2		
Face XZ		69,2	87,8	90,3	84,3

TABLEAU III

Isolement (IL)

	63	125	250	500	1000	2000	4000	A	Lin
Lw_Source de référence (dB)	95,1	108,2	107,2	105,1	105,0	108,9	111,5	115,3	116,1
Lw_encoffrement (dB)	89,1	98,1	97,9	90,0	86,4	86,5	87,8	95,2	102,0
IL (dB)	6,0	10,1	9,3	15,1	18,6	22,4	23,7	20,1	14,1

FIGURE 5



Face avant



Plafond avec baffles verticaux

FIGURE 6

Comparaison des niveaux de pression à l'intérieur et à l'extérieur de l'encoffrement (au poste de travail) avec poinçonneuse en fonctionnement.

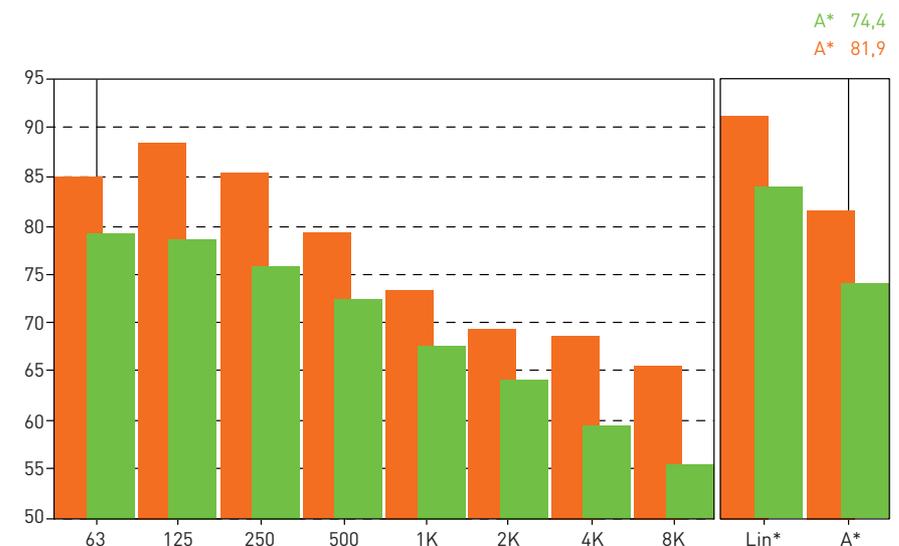


TABLEAU IV

Gain obtenu

f(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	Lin
Gain (dB)	6,6	9,7	10,8	9,4	11,4	11	15	16,5	10,6	9,1

FIGURE 7



Face XZ



Face YZ

MESURES D'INTENSITÉ

Les plans mesurés sont présentés Figure 7.

RÉSULTATS EN NIVEAUX DE PUISSANCE (Lw)

(cf. Figure 8 et Tableau IV)

La Figure 8 présente la mesure par intensimétrie d'une partie du plafond qui n'est pas dans le champ direct de la source. On remarque que l'intensité acoustique est négative de 500 Hz à 4 kHz. La source prépondérante n'est plus l'encoffrement mais la réflexion par le toit du local.

ISOLEMENT (IL)

L'isolement mesuré en puissance acoustique est comparable à l'isolement mesuré en pression (cf. Tableau VI).

BILAN

Avantages :

- pas de ventilation mécanique, ni d'apport d'air conditionné en été,
- on préserve partiellement l'éclairage naturel.

Inconvénient :

- gain au poste limité notamment à cause du plafond du local très réfléchissant (tôle sans aucun traitement absorbant). La solution par plafond à baffles verticaux semble à proscrire lorsque le toit du local n'est pas traité acoustiquement et notamment si la hauteur sous toiture est faible.

FIGURE 8

Représentation schématique : puissance acoustique rayonnée par les faces

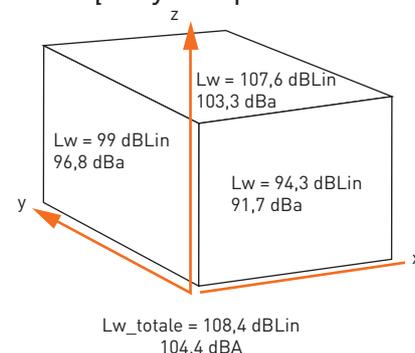


TABLEAU V

Puissance acoustique rayonnée par les principaux éléments de chaque face

dB(A)	Plafond	Oculus	Paroi	Ouverture	Porte
Plafond	103,3				
Face YZ		86,6	89,4	94,1	81,8
Face XZ		84,7	89,8		83,5

FIGURE 9

Mesure où l'intensité mesurée est négative, due à la réflexion par le toit du local.

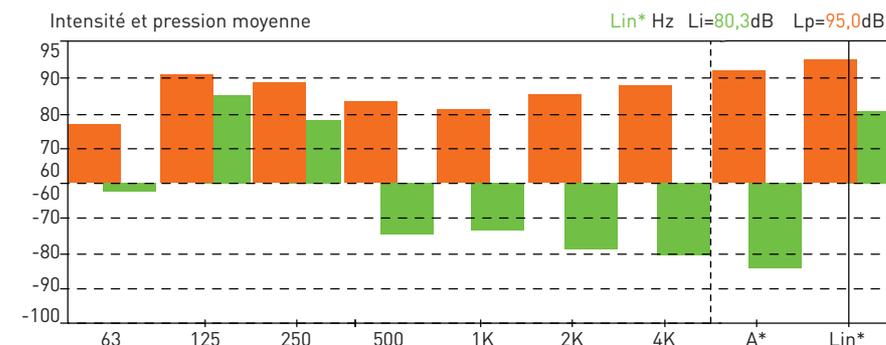


TABLEAU VI

Isolement (IL)

	63	125	250	500	1000	2000	4000	A	Lin
Lw_Source de référence (dB)	95,1	108,2	107,2	105,1	105,0	108,9	111,5	115,3	116,1
Lw_encoffrement (dB)	87,4	103,5	103,5	97,5	94,4	97,0	99,9	104,4	108,4
IL (dB)	7,7	4,7	3,7	7,6	10,6	11,9	11,6	10,8	7,7

CAS N° 3

Enceinte de dimensions $L \times l \times h = 9,4 \text{ m} \times 7,2 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$. Elle se compose de quatre faces latérales et la surface ouverte du plafond est traitée par 88 baffles verticaux, hauteur sous plafond du local : 11 m. La décroissance linéaire (DL) du local remplit le critère réglementaire.

La particularité de l'enceinte est la présence de grandes portes coulissantes renforcées à ouverture rapide (cf. Figure 10).

MESURES DE PRESSION ACOUSTIQUE

(cf. Figure 11 et Tableau VII)

MESURES D'INTENSITÉ

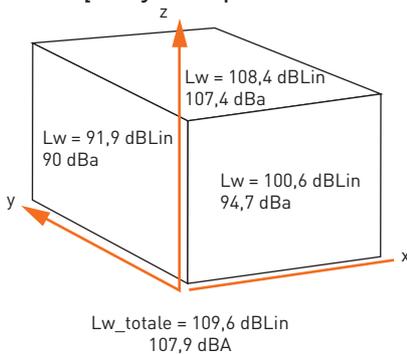
Les plans mesurés sont présentés Figure 11.

RÉSULTATS EN NIVEAUX DE PUISSANCE (L_w)

(cf. Figure 13 et Tableau VIII)

FIGURE 13

Représentation schématique : puissance acoustique rayonnée par les faces



ISOLEMENT (IL)

En recalculant la puissance globale de l'enceinte sans prendre en compte le plafond, l'isolement remonte à $17,5 \text{ dB(A)}$ ($12,8 \text{ dBL}$). Ces valeurs d'isolement en puissance sont proches des valeurs d'isolement en pression acoustique $19,9 \text{ dB(A)}$ ($11,4 \text{ dBL}$). L'énergie qui sort du plafond contribue donc peu au niveau sonore présent au pupitre de commande. L'explication est que le plafond du local est haut et peu réverbérant.

FIGURE 10



Faces de mesure



Plafond avec baffles verticaux

FIGURE 11

Comparaison des niveaux de pression acoustique à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte (au poste de travail) avec poinçonneuse en fonctionnement

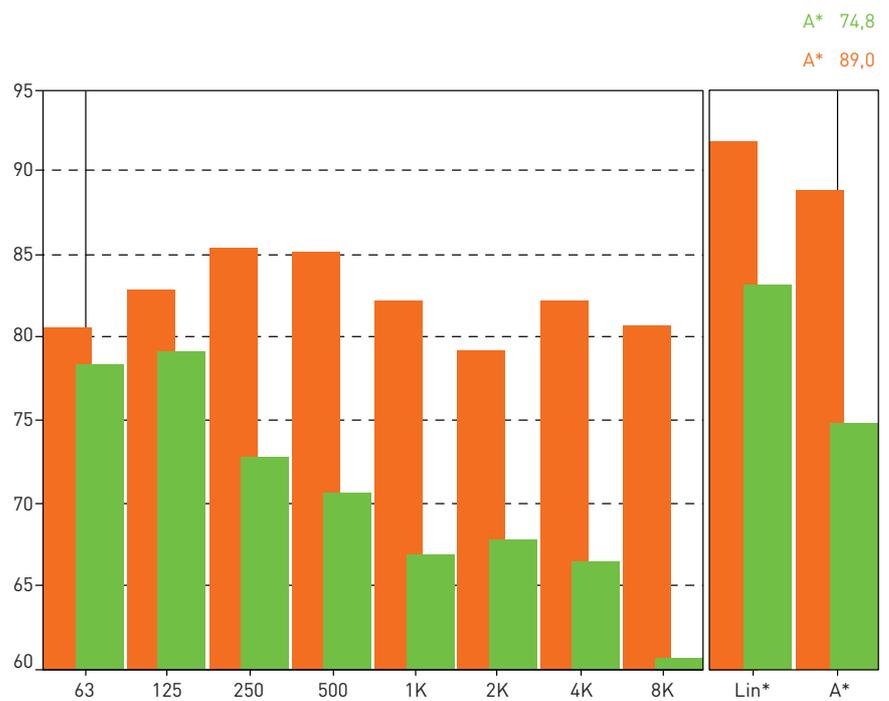


TABLEAU VII

Gain obtenu

f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	Lin
Gain (dB)	3,6	6,0	19,1	19,3	22,6	15,6	29,1	33,5	19,9	11,4

FIGURE 12



Face XZ



Face YZ

BILAN

Avantages :

■ pas de ventilation mécanique, ni d'apport d'air conditionné en été ;

■ on préserve partiellement l'éclairage naturel ;

■ les portes coulissantes renforcées à ouverture rapide ont une efficacité globale en dB(A) correcte. De plus, elles sont très appréciées par les utilisateurs ;

■ l'ouverture du plafond a peu d'impact sur le poste de commande car l'acoustique du local est conforme à la réglementation.

Inconvénient :

■ les portes coulissantes sont peu efficaces en basse fréquence à cause de leur faible masse (confirmation des mesures faites en laboratoire : 9 dB à 250 Hz). Elles sont donc à utiliser avec discernement.

COÛT D'UN ENCOFFREMENT : CAS CONCRET N° 2

ENCEINTE

Surface développée des 4 faces = $72 \text{ m}^2 \times 250 \text{ €} = 18\,000 \text{ €}$

+ Baffles acoustiques : 48 baffles à 100 € : $4\,800 \text{ €} + \text{éclairage} : 2\,000 \text{ €}$

Prix de l'enceinte = $18\,000 \text{ €} + 4\,800 \text{ €} + 2\,000 \text{ €} = 24\,800 \text{ €}$

CABINE

Surface développée + toit = $72 \text{ m}^2 + 36 \text{ m}^2$ à 250 € = $27\,000 \text{ €} + \text{éclairage} : 2\,000 \text{ €} + \text{ventilation} : 2\,500 \text{ €}$.

Prix de la cabine = 31 500 € soit 30 % de plus qu'une enceinte. Sans compter qu'un toit est lourd (25 kg/m^2) par rapport à un baffle (5 kg/m^2) donc la charpente de la cabine doit être renforcée.

Si, en supplément dans les 2 cas, on pose 4 oculus à 500 € pièce + 3 portes à 1000 € pièce, le surcoût avoisine 20 % entre cabine à 37 500 € et enceinte à 29 800 €.

On comprend pourquoi les fabricants privilégient maintenant les enceintes.

TABLEAU VIII

Puissance acoustique rayonnée par les principaux éléments de chaque face

dB(A)	Plafond	Oculus	Paroi	Ouverture	Porte
Plafond	107,4				
Face YZ		77	80,3	89,3	
Face XZ		78,3	81,4		92,7

TABLEAU IX

Isolement (IL)

f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	A	Lin
Lw_Source de référence (dB)	95,1	108,2	107,2	105,1	105,0	108,9	111,5	115,3	116,1
Lw_encoffrement (dB)	89,8	103,1	103,4	100,2	97,3	101,3	103,6	103,6	109,6
IL (dB)	5,3	5,1	3,8	4,9	7,7	7,6	7,9	7,9	6,3

Même si, en complément, on traite le plafond du local par éventuellement 50 m^2 de surface absorbante (surcoût $70 \text{ €} \times 50 \text{ m}^2 = 3\,500 \text{ €}$) ou en augmentant la densité des baffles, l'enceinte reste financièrement attractive pour ce type d'activité d'autant plus qu'ensuite s'ajouteront les coûts d'électricité pour les cabines (ventilation, alimentation).

■ fermer une partie du plafond de l'enceinte de manière à limiter la propagation vers le plafond du bâtiment.

CONCLUSION

Les oculus feuilletés (double vitrage 4-0, 2-4) ne diminuent pas l'efficacité des encoffrements ou des enceintes contrôlées.

Une porte à fermeture 1/4 tour (à la française) est plus efficace qu'une porte coulissante à brosses. L'idéal serait des portes de type RER à double mouvement : translation et plaquage (3 fois plus chères).

Pour des raisons de coût, de poids et de calories, il est plus intéressant d'installer une enceinte plutôt qu'une cabine et de remplacer un plafond plein par un traitement acoustique. La perte d'efficacité d'une enceinte, due à l'ouverture du plafond, a plus ou moins d'impact sur le poste de commande selon que la hauteur sous plafond est haute ou basse et que le local est traité acoustiquement ou non.

Des solutions techniques permettent de limiter les effets négatifs du plafond ouvert :

■ traiter acoustiquement le plafond du local,

■ augmenter la densité des baffles verticaux,

3.5.

TRAITEMENT ACOUSTIQUE DANS UN ATELIER DE TRI MANUEL DE GALETS

► *Thierry BECKER,*
CARSAT Nord-Picardie, Centre de mesures
physiques

Une petite entreprise de 15 salariés, située en zone côtière dans la baie de Somme, est spécialisée dans l'extraction et la transformation de galets pour diverses industries. Les galets doivent être préalablement triés. Cette opération est effectuée à la main par une dizaine de salariés placés autour d'une bande transporteuse. Dans la configuration initiale, les salariés travaillent dans une cabine ne bénéficiant d'aucun traitement acoustique et leur exposition quotidienne au bruit dépasse nettement la valeur limite réglementaire (décret 2006-892). Cependant, les bruits ne sont pas imputables à l'activité de tri elle-même mais à l'environnement des postes de travail. L'entreprise dispose de moyens financiers modestes mais souhaite malgré tout, avec l'aide de la CARSAT, réduire les niveaux sonores au niveau le plus bas possible et, si possible, en dessous du seuil inférieur d'action contre le bruit afin de pouvoir dispenser les salariés du port de protections individuelles contre le bruit.

En 2006, le médecin du travail de l'entreprise s'inquiète des niveaux sonores auxquels sont exposés les salariés et suggère le port de protections auditives individuelles et quelques aménagements de postes de travail.

L'entreprise disposant de moyens modestes, elle souhaite pouvoir réaliser par elle-même les traitements acoustiques nécessaires et fait appel à la

CARSAT Nord-Picardie pour obtenir des recommandations en la matière.

Lors de la première intervention, la directive 2003/10 CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques n'a pas encore été transposée en droit français. De ce fait, il n'existe pas encore de valeur limite d'exposition et les seuils d'action sont encore à 85 et 90 dBA.

INTERVENTIONS DU CENTRE DE MESURES PHYSIQUES DE LA CARSAT NORD-PICARDIE

INTERVENTION D'AVRIL 2006

Le tout-venant d'extraction est versé dans la trémie, visible à droite sur la *Figure 1*, au moyen d'une chargeuse. La trémie est commandée par un opérateur. Les galets sont emmenés par une bande transporteuse vers la cabine de tri. Ils entrent par un point haut et chutent sur une seconde bande transporteuse, l'objectif de cette opération étant de répartir les galets (cf. *Figure 2*).

Le tri des galets est donc réalisé, sur le site d'extraction, dans une longue cabine de 15 m x 5 m en bardage métallique plein, sans aucun traitement acoustique.

Dans la cabine, répartis autour de la bande transporteuse de tri, on observe 8 à 10 salariés (cf. *Figure 3*). Leur présence est pratiquement continue sur l'ensemble de la journée de travail, hormis les temps de pause et de remplissage de la trémie.

L'opération de tri consiste à écarter les pierres non exploitables en les plaçant dans une rigole située entre le bord du convoyeur et la bande transporteuse (cf. *Figure 4*). Les galets dans ces rigoles sont ensuite écartés et tombent sur une troisième bande transporteuse située à la perpendiculaire sous la cabine.

Avant même cette première intervention, l'entreprise a déjà adopté une mesure corrective contre le bruit en mettant en place un revêtement en caoutchouc entre le bâti du convoyeur et la bande transporteuse (visible sur la *Figure 4*) pour amortir le choc des galets sur le convoyeur. Cette mesure, selon les propos de l'entreprise, aurait déjà eu un effet très significatif, ce qui permet d'en déduire que le gain apporté par cette mesure est d'au moins 3 dBA.

L'intérieur de la cabine peut être représenté schématiquement comme sur la *Figure 5*.

Les mesures donnent les résultats en dBA présentés *Figure 6*.

FIGURE 1

Vue générale



FIGURE 2

Chute des galets



FIGURE 3

Vue d'ensemble des postes de tri



FIGURE 4

Poste de tri



FIGURE 5

Configuration initiale

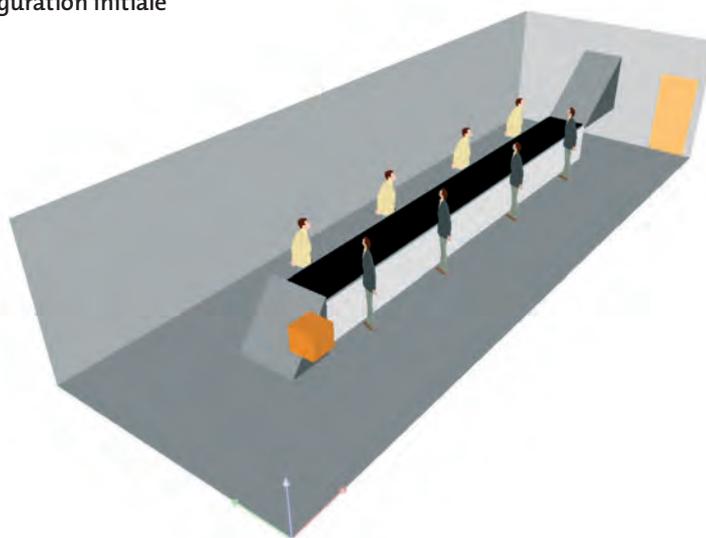


FIGURE 6

Relevé métrologique initial d'avril 2006

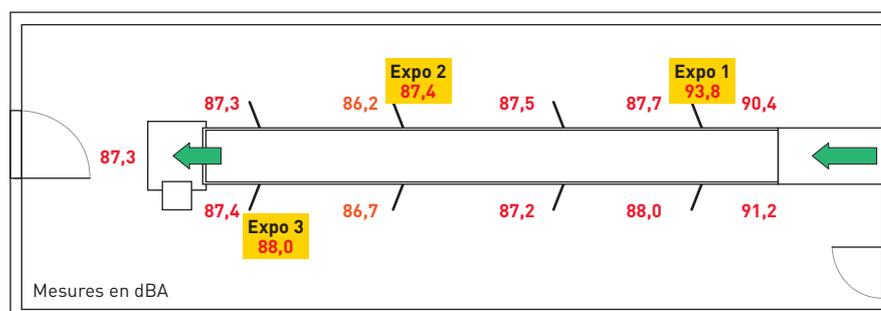


FIGURE 7

Exposimétrie 3

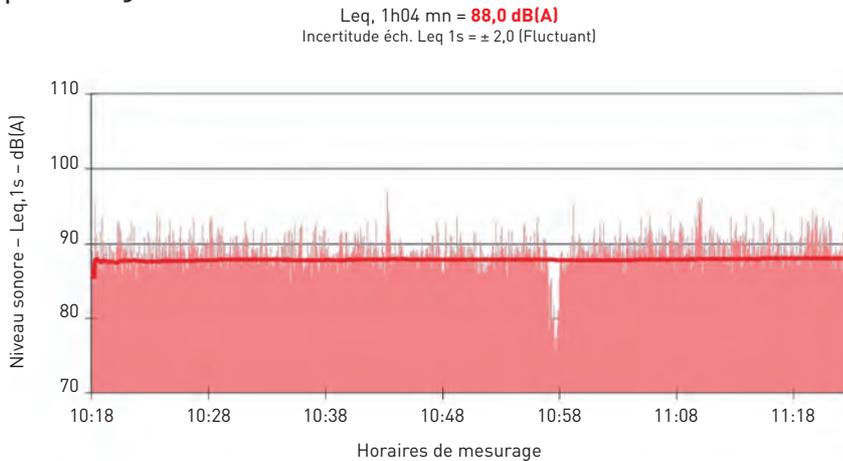


FIGURE 8

Exposimétrie 2

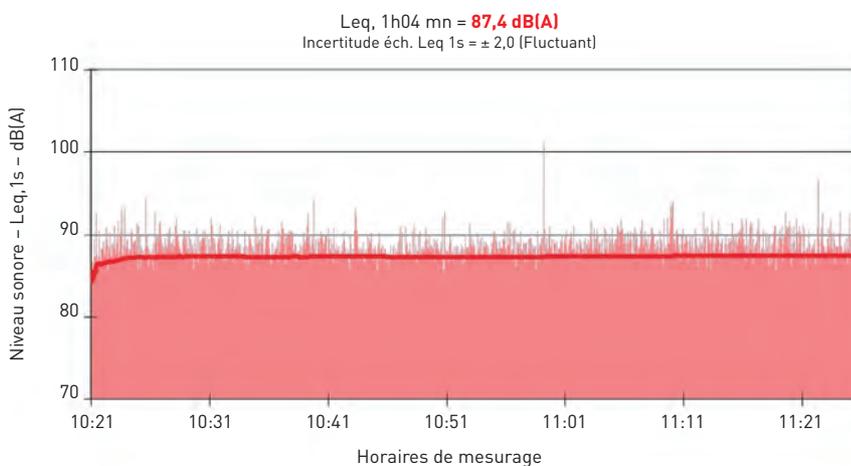
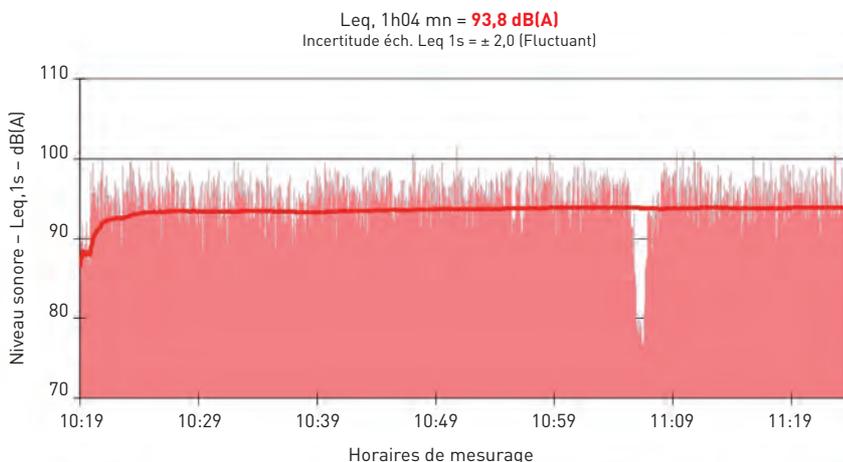


FIGURE 9

Exposimétrie 1



Les exposimétries *Figures 7 à 9*, réalisées sur une période de 1 heure, montrent des niveaux d'exposition au bruit très constants et systématiquement au-dessus de 87 dBA.

Interprétation des mesures et analyse des risques

Compte tenu du fait que la directive de 2003 sur le bruit n'est pas encore transposée, les salariés sont donc encore dans une situation où l'exposition des salariés au bruit est simplement supérieure au seuil inférieur d'action contre le bruit (85 dBA) et, pour deux salariés en particulier, où l'exposition est supérieure au seuil supérieur d'action contre le bruit (90 dBA). Pour tous les salariés, le risque pour la santé lié au bruit est donc confirmé.

La source principale de bruit se situe en entrée de convoyeur, de par la chute des galets sur le convoyeur à bande.

Une source secondaire est également identifiée en sortie de convoyeur : le moteur d'entraînement de la bande transporteuse et la chute des galets sur la bande transporteuse située sous la cabine.

Entre ces deux sources, on note une légère baisse du niveau sonore.

L'observation de l'activité permet de constater que l'activité de tri, prise isolément, est assez peu bruyante. Les salariés sont assez souvent penchés au-dessus de la bande transporteuse, se rapprochant alors des sources de bruit, ce qui explique des exposimétries systématiquement supérieures aux mesures sonométriques (surtout pour les salariés en entrée de bande).

Mesures de prévention

À court terme

Les mesures confirment la nécessité, dans les conditions actuelles, de faire porter des protections individuelles contre le bruit (PICB).

A moyen terme

Pour la source de bruit principale, sont proposées 3 solutions, dans l'ordre inverse d'efficacité :

- les chutes de galets sont supprimées en recherchant un autre système de répartition des galets ; au moyen d'un système de chicane, par exemple ;
- l'alimentation du convoyeur s'effectue à l'extérieur du local, voire dans

FIGURE 10

Paroi acoustique



un local extérieur attenant. L'entrée dans la cabine de tri s'effectue au travers d'un tunnel insonorisé ;

- l'alimentation du convoyeur est isolée du reste de l'atelier par une paroi acoustique. Le convoyeur entre dans la cabine par un tunnel. Pour limiter la propagation solidienne du bruit, le convoyeur est isolé du sol par des plots anti-vibratiles.

Pour le convoyeur, sont données 2 recommandations :

- effectuer une maintenance régulière du convoyeur, de ses dispositifs d'entraînement et de son moteur, pour réduire les jeux d'usure notamment ;
- poser un revêtement sur le sol aux pieds des salariés, pour limiter l'impact sonore des chutes de pierres, qui viennent actuellement percuter du métal.

À long terme

Traiter l'acoustique du local avec un plafond suspendu constitué de dalles acoustiques ou avec des baffles acoustiques suspendus.

INTERVENTION DE MAI 2010

L'entreprise a réalisé quelques aménagements par ses propres moyens, et souhaite valider cette première phase de traitement :

- isolation de l'entrée du convoyeur par une paroi isolante, constituée d'un complexe contre-plaqué de 10 mm – laine de roche de 70 mm – contre plaqué de 10 mm (la laine de roche n'est pas apparente et ne joue donc pas son rôle d'absorbant acoustique) ;
- recouvrement partiel du sol avec du bois ;
- remplacement de la bande latérale du convoyeur par un matériau plus tendre (en rouge sur la Figure 10).

FIGURE 11

Configuration en mai 2010

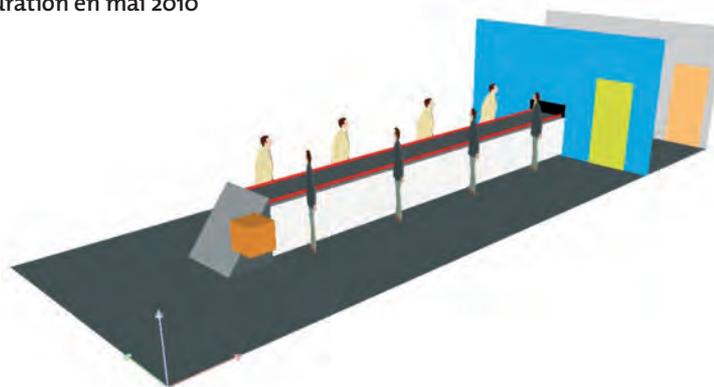
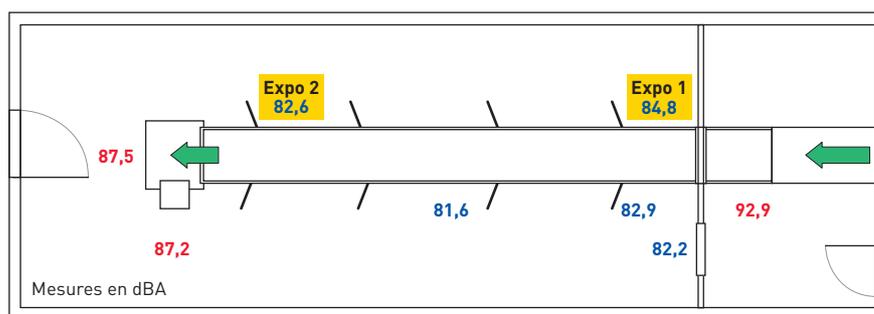


FIGURE 12

Relevé métrologique initial d'avril 2006



Les mesures donnent les résultats en dBA présentés Figure 12.

Interprétation des mesures et analyse des risques

Les exposimétries Figures 13 et 14, réalisées sur une période de 1/2 heure, montrent des niveaux d'exposition au bruit très constants et systématiquement au-dessous de 85 dBA. Le gain réalisé se situe entre 5 et 8 dBA, selon la position du salarié : le gain est moins important pour le salarié situé en sortie de convoyeur, puisqu'il n'y a pas eu de correction acoustique de ce côté.

En regard de la nouvelle réglementation (décret 2006-892), nous sommes encore dans une situation de dépassement de la valeur inférieure d'action (80 dBA). Toutefois, cette conclusion prévaut pour tous les postes de travail. Il reste encore une présomption de risque lié au bruit mais celui-ci a beaucoup diminué.

La source principale de bruit est désormais localisée en fin de convoyeur.

En entrée de convoyeur toutefois, l'ouverture n'a pas été traitée par un tunnel insonorisé et les salariés qui se retrouvent fréquemment dans son axe, continuent à être les plus lourdement exposés au bruit.

Mesures de prévention

À court terme

Dans les conditions actuelles, il est encore conseillé de faire porter des protections individuelles contre le bruit (PICB).

À moyen terme

Pour limiter le niveau sonore de fuite vers le local de tri, il est recommandé de traiter les parois de la nouvelle petite pièce d'entrée du convoyeur avec des matériaux absorbants acoustiques. Le choix d'un complexe acoustique offrant des perforations du côté bruyant aurait pu suffire.

Il est toujours recommandé de placer un tunnel traité avec des matériaux absorbants acoustiques avant l'entrée dans le local de tri.

FIGURE 13

Exposimétrie 2

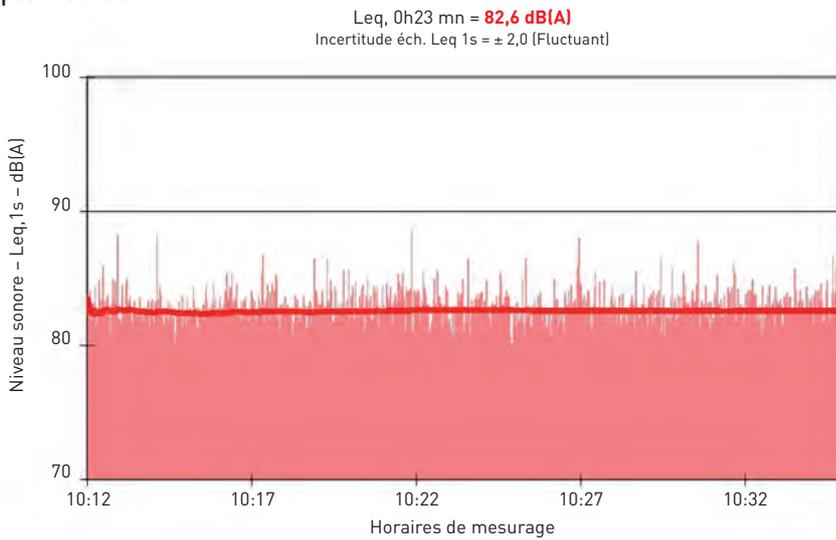


FIGURE 14

Exposimétrie 1

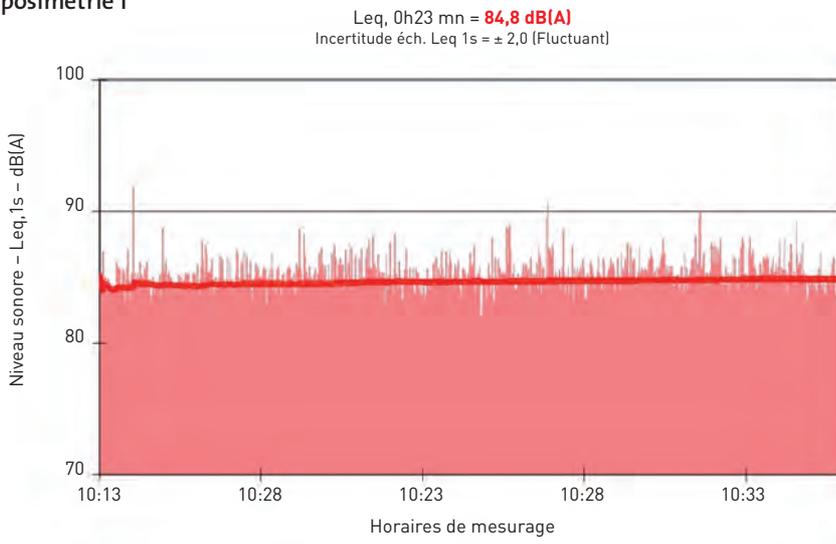


FIGURE 15

Configuration finale planifiée

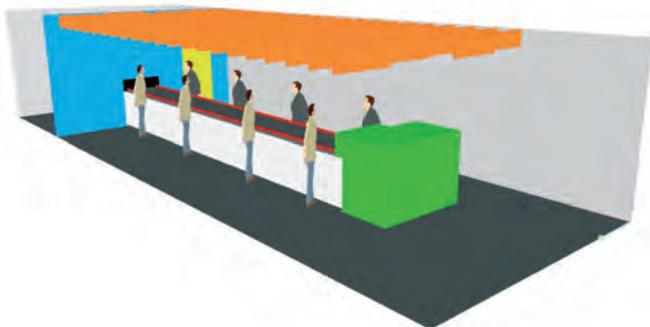


FIGURE 16

Traitement de l'entrée du convoyeur



De même, la sortie devra être traitée : encoffrement du carter de la bande transporteuse et du moteur. Réalisation d'un petit tunnel insonorisé.

À long terme

Traiter l'acoustique du local avec un plafond suspendu constitué de dalles acoustiques ou avec des baffles acoustiques suspendus.

ETAT FINAL PLANIFIÉ

L'entreprise poursuit ses aménagements acoustiques :

- elle a fait réaliser par un professionnel le tunnel acoustique d'entrée ;
- la réalisation de l'encoffrement et du tunnel de sortie est en cours ;
- le traitement du plafond est envisagé pour le courant du premier semestre 2011. Le choix du type de traitement n'est pas encore arrêté.

Une intervention du Centre de mesures physiques de la CARSAT Nord-Picardie sera programmée pour valider ces investissements.

3.6.

VIBRATIONS : POURQUOI ET QUAND FAIRE DE LA MÉTROLOGIE ?

► Jean-Pierre GALMICHE,
Vibr'Action

► Eric CARUEL,
INRS, département Ingénierie des équipements
de travail

Ces dernières années, les fabricants ont développé des appareils de mesure d'utilisation simplifiée pour évaluer les vibrations transmises à l'homme. Les employeurs et les préventeurs peuvent être amenés à les utiliser dans les deux cas suivants :

- la directive Vibrations impose aux employeurs d'évaluer ou de mesurer le risque vibratoire aux postes de travail. Des arrêtés d'application et des normes stipulent les méthodologies d'évaluation de l'exposition quotidienne A(8) ;
- l'action de prévention nécessite des mesurages pour aider le préventeur à orienter et à qualifier des solutions envisageables (efficacité des sièges, machines portatives antivibratiles...).

La plupart des appareils de mesures de type vibromètre ou dosimètre répondent aux spécificités techniques imposées par les normes. Néanmoins, les mesurages devront respecter un certain nombre de précautions décrites dans cet article.

EVALUATION DU RISQUE VIBRATOIRE

LA RÉGLEMENTATION

La directive Vibrations 2002/44/CE [1] renforce la protection des salariés à leur poste de travail. Elle est transcrite en droit français pour le régime général et l'agriculture, par les décrets 2005-746 et 748 [2] et pour les industries extractives par le décret 2009-781 [3].

Ces décrets (complétés par des arrêtés d'application) demandent en parti-

culier aux entreprises d'évaluer le risque vibratoire aux postes de travail impliquant des machines vibrantes portatives, mobiles ou fixes et de le comparer à des valeurs seuils appelées valeurs « déclenchant l'action » et « limite d'exposition » aux vibrations.

Les valeurs d'exposition tiennent compte de l'amplitude de la vibration transmise et de la durée réelle d'utilisation de la (ou des) machine(s). La valeur obtenue A(8) est équivalente à l'exposition vibratoire pendant 8 heures de travail. Au-delà des valeurs d'action, 0,5 m/s² pour l'ensemble du corps et 2,5 m/s² pour l'ensemble main-bras, des

actions de prévention sont mises en place et doivent aboutir à ramener ces valeurs au plus bas niveau possible.

Des valeurs limites sont définies : 1,15 m/s² pour l'ensemble du corps et 5 m/s² pour l'ensemble main-bras. Les salariés ne doivent pas être exposés au-delà de la valeur limite et l'employeur doit mettre en œuvre tous les moyens disponibles pour revenir en dessous de cette valeur.

Les textes réglementaires mentionnent que l'évaluation du risque vibratoire A(8) doit être réalisée par du personnel compétent. Il s'appuiera pour ce faire sur les normes d'exposition vibratoire suivantes : ISO 2631 [4], NF EN14253 [5] et NF EN ISO 5349 [6].

DÉMARCHE D'ÉVALUATION

La détermination du risque nécessite, dans un premier temps, d'identifier les postes de travail et d'évaluer l'exposition vibratoire quotidienne A(8) à partir du niveau d'émission vibratoire et de la durée d'exposition aux vibrations [7]. Dans un second temps, cette exposition vibratoire est comparée aux valeurs seuils fixées par les décrets.

Identification des postes

En premier lieu, il convient d'identifier les postes (engins mobiles, machines portatives ou fixes) exposant les salariés aux vibrations transmises à l'ensemble du corps ou au système main-bras.

On observera plus particulièrement les points suivants :

- mise en garde par le fabricant d'un risque vibratoire,
- utilisation de la machine autre que celle prévue par le constructeur,
- utilisation d'une ou plusieurs machines sur de « longues périodes »,
- opérateur exposé à des chocs importants,
- maintien d'une posture contraignante,
- plainte de l'opérateur,
- maintenance et vétusté de la machine,
- état et réglage du siège,
- état des sols,
- usure des outils...

Durée d'exposition

Pour chaque poste de travail identifié, il y a lieu de déterminer la durée réelle quotidienne d'exposition, qui prend en compte uniquement les périodes pendant lesquelles l'opérateur est effectivement soumis aux vibrations. Elle n'intègre donc pas les phases non vibrantes ou d'attente. En cas de difficulté pour évaluer la durée d'exposition aux vibrations, il est possible de considérer une fourchette à partir d'hypothèses hautes et basses.

Dans le cas d'un chariot, la durée réelle correspondra aux phases de roulement et ne prendra pas en compte les phases d'attente même moteur tournant (si l'accélération équivalente est très faible durant cette phase). Pour une meuleuse, on pourra faire une estimation à partir du nombre de disques consommés.

Amplitude vibratoire

Pour estimer l'amplitude vibratoire des différentes machines utilisées, il est possible de se référer :

- aux valeurs déclarées par le fabricant (directive Machines 2006/42/CE [8]),
- aux valeurs mentionnées dans les bases de données,
- à des mesurages de vibrations.

Dans le cas des valeurs déclarées dans les notices techniques par les fabricants, ces derniers doivent mentionner le code d'essai normalisé employé pour le mesurage. Souvent, les valeurs ne sont pas déclarées ou il manque le code d'essai utilisé. Plusieurs fabricants précisent que ces valeurs ne sont indiquées qu'à titre comparatif. Il est possible de trouver sur Internet des bases de données de fabricants. Selon la directive Machines [8], cette information est obligatoire et exigible par les acheteurs.

En ce qui concerne les bases de données institutionnelles (Osev, INRS, Guides de bonnes pratiques européens - 2006...), les valeurs indiquées sont plus proches de la réalité, car issues de mesurages correspondant à des tâches réelles par famille de machines.

Pour les cas où des écarts importants sont constatés, il y a lieu de procéder à un mesurage.

LA MÉTROLOGIE

Le mesurage est utile pour les machines dont les valeurs ne sont pas indiquées dans les notices techniques ou les bases de données, lors d'utilisations inhabituelles de la machine ou pour l'obtention d'une valeur de A(8) précise reflétant l'exposition vibratoire réelle.

Le mesurage peut aussi s'avérer nécessaire à l'optimisation et à la vérification de l'efficacité d'une action de prévention.

LES VIBROMÈTRES ET DOSIMÈTRES

Pour évaluer le risque vibratoire in situ aux postes de travail en situations réelles, on utilisera de préférence un appareillage conçu pour une utilisation simplifiée. Les fabricants proposent des appareils qui offrent la possibilité d'afficher directement la valeur d'exposition A(8). Ceux-ci doivent être conformes aux exigences de la norme ISO 8041 [9]. Ces appareils doivent permettre le mesurage suivant trois directions simultanées et respecter les pondérations fréquentielles définies par la normalisation.

Un vibromètre apportera directement ou indirectement des informations sur la composition fréquentielle du signal. Pour l'ensemble du corps, certains fabricants commercialisent des dosimètres autonomes et sans fil, pratiques à utiliser pour évaluer l'exposition A(8) sur une longue durée. Pour les mesurages sur les machines portatives, cette option n'est proposée pour l'instant que par un seul fabricant.

LES ACCÉLÉROMÈTRES

Aujourd'hui, les fabricants proposent des capteurs triaxiaux qui couvrent la gamme de fréquence recommandée pour des mesurages ensemble du corps et main-bras. Toutefois, on restera vigilant sur le choix de la dynamique d'amplitude et de la sensibilité de l'accéléromètre qui doivent être adaptées à la machine à évaluer. Ainsi, pour l'ensemble du corps, on pourra s'orienter vers un capteur dont la gamme dynamique sera d'une dizaine de g maximum. Pour une machine portative de type meuleuse une centaine de g

conviendra alors que pour une machine portative percutante, il sera nécessaire d'utiliser un capteur pouvant mesurer et supporter plusieurs milliers de g.

Remarque : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (accélération gravitationnelle).

LES CALIBRATIONS

Quelle que soit la chaîne de mesurages, il convient de vérifier la calibration. Dans le domaine des vibrations, il existe des calibrateurs mono-fréquence destinés à un auto-contrôle des capteurs. Dans le cas où un démontage des capteurs de l'interface de mesurages n'est pas possible, un retour annuel chez le fabricant est recommandé.

LES FIXATIONS DE CAPTEURS

Pour un mesurage corps complet, la fixation du capteur ne pose pas de problèmes particuliers du fait de son insertion dans une interface, à placer sur l'assise du siège de l'opérateur. Par contre, le mesurage main-bras impose de fixer rigidement le capteur sur la surface de préhension au plus près des mains de l'opérateur sans lui apporter de gêne.

Généralement, le capteur est vissé sur un support qui sera lui-même fixé sur la surface à mesurer à l'aide par exemple d'un collier de serrage en métal [6].

Remarque : les supports où la main maintient le capteur en place sur la surface de préhension ne sont pas conformes à la réglementation.

LES ARTÉFACTS

Dans le cas des mesurages ensemble du corps, la difficulté majeure réside dans la gestion des montées et descentes du conducteur de son poste de travail. Certains capteurs sont équipés d'un système de détection de présence qui ne prend en compte que les périodes d'exposition vibratoires réelles de l'opérateur.

En ce qui concerne les mesurages main-bras, notamment sur les machines percutantes, le phénomène de «DC shift» (décalage zéro du signal temporel) dû à des signaux transitoires de très hautes fréquences qui surchargent l'accéléromètre, entraîne une distorsion du signal de vibration. L'utilisation d'un capteur de faible sensibilité (avec une dynamique de plusieurs milliers de g) associé à un filtre mécanique dans l'axe de percussion, limitera l'apparition de ce phénomène [6].

On notera que les appareils signalent la présence de saturation, il arrive parfois que le «DC shift» ne soit pas signalé. Des valeurs aberrantes trouvées pour les accélérations efficaces mettent en évidence ce phénomène.

La taille du capteur sera réduite au maximum afin de ne pas gêner l'opérateur dans sa tâche et le fait d'utiliser un capteur sans fil réduira cet inconvénient.

STRATÉGIE ET DURÉE DE MESURAGE

Après avoir identifié les postes à risques, il conviendra d'adapter le mesurage à chaque machine vibrante suivant l'utilisation faite par l'opérateur. Il n'y a pas de règle établie sur des durées de mesurages préconisées pour obtenir une valeur réaliste de l'émission, il conviendra pour l'intervenant de s'adapter à chaque situation. Dans tous les cas, on veillera à ne pas gêner le travail effectué pour ne pas affecter le niveau vibratoire.

Par exemple, sur une machine mobile, on relèvera l'émission lors de déplacements à vide et en charge représentatifs de la tâche habituelle. La durée du prélèvement dépend de la répétitivité du travail effectué. Pour une opération donnée, la durée de mesurage peut varier de quelques minutes à plusieurs heures.

Dans un atelier, un opérateur peut être amené à utiliser différentes machines portatives au cours de son activité. Aussi, dans le cas de l'évaluation de l'exposition du système main-bras, il y a lieu d'effectuer les mesurages de manière consécutive sur chaque machine pendant une période représentative du fonctionnement de la machine. Si l'on dispose de plusieurs

capteurs autonomes sans fil, la ou les poignées des différentes machines peuvent en être équipées en simultané. Dans cette condition, les mesurages sont plus précis et proches de la réalité.

Pour les configurations où le mesurage interfère sur la production et ne serait plus représentatif, une tâche de travail simulée ou hors production est recommandée.

LA PRÉVENTION

Evaluer le risque vibratoire permet aux entreprises de repérer les postes de travail à risque. Cette étape doit induire des actions de prévention si un risque est reconnu (évaluation supérieure aux valeurs d'action) [10].

GÉNÉRALITÉS

Bien souvent, avant d'engager une démarche préventive structurée, il convient d'agir avec bon sens et discernement. Les opérations de maintenance des machines, l'entretien des sols, le suivi des sièges... constituent une première approche où le ressenti des opérateurs peut contribuer à cette action.

CAS DES MACHINES MOBILES

Pour maîtriser le risque, l'employeur peut agir notamment sur l'état du sol, la vitesse des véhicules, la maintenance de l'engin, le siège et ses réglages. L'effet de ces facteurs peut être évalué par mesurage sur l'assise du siège avant et après action sur l'un de ces paramètres.

La performance de la suspension du siège adapté aux caractéristiques vibratoires de l'engin ne pourra être évaluée que par de la métrologie appropriée pour déterminer le facteur de transmission du siège (SEAT en %). Pour cela, un accéléromètre est positionné sur l'assise du siège et un autre est fixé au plus près de la verticale du précédent, sur le plancher du véhicule. Le rapport de ces deux valeurs caractérise l'efficacité du siège (amplification si SEAT > 100 %). La suspension du siège est d'autant plus efficace que le niveau vibratoire d'entrée est élevé (pour

vaincre les forces de friction de la cinématique de la suspension).

Remarque : SEAT = facteur de transmission des amplitudes efficaces du siège (Seat amplitude transmissibility factor)

CAS DES MACHINES PORTATIVES

Les actions de prévention passeront plutôt par le choix de machines mieux adaptées et traitées d'origine contre les vibrations. Il n'est guère possible d'apporter des solutions *a posteriori*. De plus en plus de machines sont proposées avec des équipements inclus dès la conception, mais leurs efficacités antivibratiles restent encore à valider. Au besoin, une vérification métrologique pourra se faire au poste de travail à la livraison de la machine.

Pour cela, la métrologie permet de comparer les machines entre elles et de choisir la moins vibrante. De même, pour un opérateur utilisant plusieurs machines, le mesurage met en évidence la ou les machines les plus pénalisantes à traiter en priorité pour abaisser l'exposition vibratoire quotidienne de la personne.

Le maintien en bon état de la machine et des outils contribue à une réduction de l'émission vibratoire qui est vérifiée par de la métrologie.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Directive 2002/44/CE, 25 juin 2002, concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (Vibrations).

[2] Décrets n°2005-746 et 748, 4 juillet 2005, relatifs aux prescriptions de sécurité et santé applicable en cas d'exposition des travailleurs aux risques dus aux vibrations mécaniques et modifiant le Code du Travail. NOR : SOCT0511142D et NOR : EQU0501065D.

[3] Décret n°2009-781, 23 juin 2009, relatif à la création d'un titre « Vibrations » au sein du règlement général des industries extractives. NOR : DEV0901840D.

[4] Norme ISO 2631-1, Mai 1997, Vibrations et chocs mécaniques. Evaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps. Partie 1 : spécifications générales.

[5] Norme NF EN 14253, Février 2008, Mesurage et calcul de l'effet sur la santé de l'exposition professionnelle aux vibrations transmises par l'ensemble du corps. Guide pratique.

[6] Norme NF EN ISO 5349-1 et 2. Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main - Partie 1 : Exigences générales, Avril 2002 et Partie 2 : Guide pratique pour le mesurage sur le lieu de travail, Décembre 2001.

[7] INRS, février 2008, Vibrations et mal de dos, Guide de bonnes pratiques en application du décret Vibrations, ED 6018, 30 p.

[8] Directive Machines 2006/42/CE, 17 mai 2006, relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE.

[9] Norme NF EN ISO 8041, 2005, Réponse des individus aux vibrations - Appareillage de mesure.

[10] GALMICHE J.P., 2010, Effets des vibrations sur l'Homme. Conséquences des vibrations sur le corps complet et le système main-bras, Réglementations/Métrologie/Prévention. « Spécial Vibrations - Partie 2 » Acoustique & Techniques n°48 : 37-42.

3.7.

BILAN D'EXPOSITION VIBRATOIRE D'UN CONDUCTEUR DE CHARIOT AUTOMOTEUR - BIAS MÉTROLOGIQUE

► Thierry BECKER, CARSAT Nord-Picardie,
Centre de Mesures Physiques

Motivée par la nouvelle réglementation liée aux vibrations, une entreprise procède à un changement de modèle de ses chariots automoteurs. Elle espère obtenir, par cette seule action, une atténuation substantielle de l'exposition de ses caristes aux vibrations. Les résultats attendus ne sont pas atteints. Tout au contraire, les caristes rapportent une dégradation de leurs conditions de travail, ce qui conduit le CHSCT à faire appel à la CARSAT pour mesurer les niveaux vibratoires émis par les deux modèles de chariots. Deux rapports de la CARSAT confirment cette dégradation des conditions vibratoires et, surtout, alertent l'entreprise sur la non-adéquation de ces chariots à la tâche à réaliser car, dans tous les cas, la valeur limite d'exposition journalière est dépassée. L'entreprise, fait appel à un organisme extérieur pour contre-expertiser les mesures. Lors de sa première intervention, cet organisme confirme le dépassement de la valeur limite. A sa seconde intervention, il mesure une exposition journalière inférieure au seuil d'action. Les salariés ne comprenant pas cet écart font appel de nouveau à la CARSAT. En fait, les conditions d'essais avaient changé. Par ses mesures, l'organisme extérieur confirmait l'utilité de travailler avec un chariot de plus fort tonnage.

L'entreprise qui appartient à un grand groupe du secteur de la chimie est spécialisée dans les pigments pour l'industrie textile et emploie environ 600 personnes. Le site de l'entreprise, d'environ 30 hectares, est classé SEVESO.

L'entreprise a identifié les postes de caristes pour les transferts extérieurs comme étant les postes les plus critiques vis-à-vis des risques liés aux vibrations, dans le cadre de l'actualisation de son EvRP et en regard de la nouvelle réglementation sur cette nuisance physique (décret 2005-746 du 4 juillet 2005 et arrêté du 6 juillet).

L'entreprise ne dispose que de chariots automoteurs en location. Elle a donc fait appel à son loueur d'engins pour changer de type de chariot et obtenir un modèle de même capacité, mais plus moderne, et donc supposé moins vibrant.

Les premiers essais ne sont pas concluants. Les caristes rapportent même une dégradation des conditions vibratoires.

L'entreprise décide de faire appel à la CARSAT Nord-Picardie pour l'aider à progresser dans la maîtrise des risques liés aux vibrations.

POSTE DE TRAVAIL ÉTUDIÉ

Les postes de transfert des produits solides ou liquides sur les diverses voies extérieures de l'entreprise se font au moyen de chariots automoteurs de manutention de 2,5 tonnes de charge, entre les différents bâtiments de réception produits, de production, de stockage et d'expédition.

Le parcours des chariots croise régulièrement des voies ferrées et empreinte des itinéraires plus ou moins fortement dégradés. Les réparations des sols ne sont pas rigoureusement lisses.

ÉTUDE VIBROTOIRE D'OCTOBRE 2007 PAR LA CARSAT NORD-PICARDIE

A ce stade de première étude, le but des mesures est d'objectiver des différences de niveaux d'émission vibratoire entre deux chariots de même marque mais de modèles différents, le modèle le plus récent (modèle B) étant le plus critique par les caristes.

L'analyse des caractéristiques techniques des deux modèles de chariot (cf. *Tableau I*) ne fait pas apparaître de différence notable qui pourrait expliquer un comportement différent ou même un ressenti vibratoire différent. Cela explique la perplexité de l'entreprise face à la réaction de ses caristes alors que, de toute bonne foi, elle avait tenté d'améliorer leurs conditions de travail. Quant au bruit, il n'est certainement pas étranger à la sensation de moindre confort, puisque le niveau sonore du nouveau chariot a fortement augmenté.

MÉTROLOGIE

Les mesures des niveaux vibratoires sont effectués conformément à l'arrêté du 6 juillet 2005, afin de déterminer l'exposition vibratoire quotidienne notée $A(8)$, dans les conditions les plus stables possible. Le siège à suspension est réglé au poids du conducteur.

Même cariste : il s'agit d'un cariste de production.

Même parcours : sur le parcours, les obstacles ne sont pas évités. Le rythme

TABLEAU I

Tableau comparatif des deux modèles de chariots étudiés

	Modèle A	Modèle B
Pneus pleins souples AV	7.00-12-12	
Pneus pleins souples AR	6.00-9-10	
Capacité	2,5 t	
Poids	3,62 t	3,62 t
Niveau son.	78 dBA	82 dBA
Empattem. AV/AR	2555-455	2525-455
Empattem. G/D	1130 mm	1150 mm
Hauteur siège	1090 mm	1114 mm
Hauteur toit	2145 mm	2245 mm
Vitesse	17/19 km/h	19/19,5 km/h

TABLEAU II

Mesurages du 08/10/2007 en m/s^2

	$1,4 a_{wx}$	$1,4 a_{wy}$	a_{wz}	a_{wz2}	SEAT (%)	$A(8)$	Temps de parcours
Mesure 1 Modèle A	0,40	0,60	1,15	1,95	59 %	1,10	7'00''
Mesure 2 Modèle A	0,50	0,60	0,80	2,05	39 %	0,75	6'30''
Mesure 3 Modèle B	0,45	0,65	1,15	1,50	77 %	1,10	7'40''

de production et les flux de circulation ne le permettent pas.

Même charge : une palette de 1 tonne.

Même vitesse : la mesure du temps de parcours indique que les vitesses pratiquées entre les différents mesurages sont assez homogènes.

Les mesurages sont répétés deux fois.

La durée d'exposition est estimée, en première approche, à 7 h/j (roulage intensif).

L'entreprise est invitée à déterminer plus précisément l'exposition vibratoire quotidienne $A(8)$ en procédant à des chronométrages de l'activité des caristes.

Lors de cette intervention, la CARSAT réalise 3 séries de mesurages :

■ mesure 1 : chariot de modèle A, sans modification équipé d'un siège à suspension mécanique compacte d'origine, de marque indéterminée ;

■ mesure 2 : chariot de modèle A, équipé d'un siège à suspension mécanique compacte de marque G ;

■ mesure 3 : chariot de modèle B, sans modification, équipé d'un siège à suspension mécanique compacte d'origine, de marque indéterminée.

a_{wx} , a_{wy} et a_{wz} sont respectivement les mesures d'accélération réalisées sur le siège à suspension selon les axes avant-arrière, gauche-droite et vertical. La colonne a_{wz2} correspond aux vibrations mesurées sur le plancher, sous le siège. Le paramètre SEAT est le facteur d'amortissement du siège (a_{wz}/a_{wz2}). Le siège atténue les vibrations transmises au cariste si le paramètre SEAT est inférieur à 100 %.

OBSERVATIONS

Dans leur configuration d'origine, les deux modèles de chariot exposent les caristes à des vibrations dont les niveaux sont proches de la valeur limite.

Les vibrations transversales (axe Y) sont importantes. Elles témoignent de l'instabilité de l'engin et sont observables visuellement. Dans certains cas, des manœuvres rapides peuvent aussi produire ce type de vibrations mais il s'agit ici plutôt de déplacements sur de longues distances.

Le siège de marque G se révèle être particulièrement efficace et contribue à réduire très significativement les vibrations. L'exposition quotidienne aux vibrations est très inférieure à la valeur limite ($1,15 m/s^2$) dans ces conditions.

On observe une relation entre le temps de parcours et les niveaux d'exposition aux vibrations : les niveaux vibratoires sont directement liés à la vitesse de l'engin. On observe que le cariste roule à une vitesse qui est limitée par le niveau vibratoire maximal qu'il peut supporter.

CONCLUSIONS (MESURES OCTOBRE 2007)

■ Les mesurages indiquent des niveaux équivalents entre les chariots de modèle A et B. Cependant, il faut tenir compte de la dernière observation : le cariste a roulé moins vite avec le chariot B. Si le cariste avait scrupuleusement respecté la même vitesse entre les deux essais, les niveaux vibratoires pour le chariot B serait supérieur. Les conditions de roulement se sont donc bien dégradées.

■ Il est recommandé, au minimum, de changer les sièges existants pour des modèles plus efficaces, à l'instar du siège choisi pour les essais.

■ Il est recommandé, surtout, de changer de chariot et de choisir un modèle plus massif et plus stable, d'une capacité d'un minimum de 3,5 t, compte tenu des conditions d'utilisation identifiées.

■ Les chariots n'étant pas utilisés en levage (gerbage) mais uniquement en transfert, il est envisagé de réaliser des essais avec des pneumatiques gonflés qui sont plus efficaces à réduire les vibrations, puisqu'il s'agit d'un principe validé pour les véhicules d'une manière générale (automobiles, camions...).

ETUDE VIBRATOIRE DE JANVIER 2008 PAR LA CARSAT

L'objectif de cette seconde étude est de tester un nouveau siège, de marque I, sur le chariot de modèle B. Il s'agit aussi de tester l'option des pneumatiques gonflés, à la place des pneumatiques pleins souples.

Depuis la dernière intervention, les chariots sont bridés à 12 km/h.

MÉTROLOGIE

Les mesures ne portent que sur le chariot de modèle B portant une charge de 1 tonne.

TABLEAU III

Mesurages du 08/10/2007 en m/s^2

	1,4 a_{wx}	1,4 a_{wy}	a_{wz}	a_{wz2}	SEAT (%)	A(8)	Temps de parcours
Mesure de 2007	0,45	0,65	1,15	1,50	77	1,10	7'40"
Siège marque I Pneus pleins souples	0,75	1,00	1,25	3,00	42	1,20	7'20"
Siège marque I Pneus gonflés	0,85	1,20	1,25	2,60	48	1,20	7'15"
Siège d'origine Pneus gonflés	1,00	1,00	1,50	2,65	57	1,40	7'10"
Idem + charge liquide	1,10	0,80	1,80	2,00	90	1,70	X

■ Mesure 1 : équipement avec un siège à suspension mécanique compacte de marque I.

■ Mesure 2 : même configuration, mais remplacement des pneumatiques pleins souples par des pneumatiques gonflés.

■ Mesure 3 : remise en place du siège à suspension mécanique compacte d'origine, et conservation des pneumatiques gonflés.

■ Mesure 4 : même configuration que pour la mesure 3. La charge est remplacée par un container de liquide de 1,2 t.

OBSERVATIONS

On constate une très nette augmentation du niveau vibratoire auquel est soumis l'engin malgré la réduction de la vitesse. Les conditions climatiques particulièrement froides qui ont perduré entre les deux interventions ont fortement contribué à la détérioration de l'état des surfaces de roulement.

La mise en place des pneumatiques gonflés dégrade fortement la stabilité de l'engin.

Le dernier essai a révélé l'incompatibilité des pneumatiques gonflés avec le transfert de containers de liquides. L'instabilité critique de l'engin a forcé le cariste à interrompre le parcours.

CONCLUSIONS (MESURES JANVIER 2008)

Le niveau d'exposition avec le chariot de modèle B évolue entre 1,1 et 1,7 m/s^2 selon les configurations.

Il est recommandé de :

■ changer de chariot et de choisir un modèle plus massif et plus stable, d'une capacité minimale de 3,5 t compte tenu des conditions d'utilisation identifiées ;

■ utiliser des pneumatiques pleins souples pour cette capacité d'engin ;

■ changer, pour le moins, les sièges existants pour des modèles plus efficaces, à l'instar des sièges de marque G ou I des essais.

■ corriger/réparer les sols.

ETUDE VIBRATOIRE DE SEPTEMBRE 2008 PAR UN ORGANISME EXTÉRIEUR

L'objectif de cette étude est de contre-expertiser les mesures de la CARSAT par un organisme extérieur indépendant pour valider les recommandations.

Pour cette étude, les valeurs de A(8) ont été calculées sur la base d'une durée quotidienne d'exposition revue à la baisse par l'entreprise : 5 h 30.

MÉTROLOGIE

Les mesurages sont effectués par tranches de 180 secondes, en charge (1 t) et à vide.

La mesure de l'accélération au sol n'est pas effectuée et le SEAT n'est donc pas déterminé.

■ Mesure 1 : chariot de modèle B équipé d'un siège pneumatique compact (modèle non précisé).

■ Mesure 2 : les roues du chariot de modèle B sont équipées d'un « cerclage ».

■ Mesure 3 : chariot témoin de modèle A, sans modification, avec siège d'origine.

CONCLUSION (MESURES DE SEPTEMBRE 2008)

Le niveau d'exposition quotidien se situe entre 0,9 et 1,5 m/s² selon les configurations.

Les résultats confirment l'obligation qui s'impose à l'entreprise d'adopter des mesures de prévention.

ETUDE DE JANVIER 2009 PAR UN ORGANISME EXTÉRIEUR

L'objectif de cette étude est d'explorer quelques pistes de prévention.

MÉTROLOGIE

■ Mesure 1 : le même chariot de modèle B que pour la mesure 1 de septembre 2008. Le chariot est conduit par un cariste du service maintenance.

■ Mesure 2 : essai avec un chariot de 3,5 t d'un autre fabricant, prêté pour cette occasion par une entreprise voisine.

Les valeurs de A(8) ont été calculées sur la base d'une durée quotidienne d'exposition de 5 h 30.

CONCLUSION (MESURES DE JANVIER 2009)

Le niveau d'exposition quotidien avec le chariot de 2,5 t de l'entreprise qui était, jusque là, supérieur à la valeur limite, est devenu, compte tenu des conditions de mesure, inférieur au seuil d'action. Ce basculement de situation a amené les membres du CHSCT à en chercher les raisons.

Pour cela, deux membres du CHSCT se sont déplacés à la CARSAT avec les rapports d'intervention de l'organisme extérieur.

INTERPRÉTATION

Pour la première mesure, le cariste a roulé au rythme habituel, à vitesse modérée, en évitant soigneusement les zones de sol très dégradées et en franchissant les voies ferrées à très basse vitesse, ce qui explique les faibles niveaux observés.

Pour la seconde mesure, ce qui est intéressant, c'est que l'engin plus lourd et volumineux lui inspirant confiance, le

TABLEAU IV

Mesurages du 30/09/2008 en m/s²

	1,4 a _{wx}	1,4 a _{wy}	a _{wz}	a _{wz2}	SEAT (%)	A(8)	Temps de parcours
Mesure 1	1,10	0,60	1,85	X	X	1,50	n.c.
Mesure 2	0,65	0,75	1,10	X	X	0,90	n.c.
Mesure 3	0,70	0,60	1,20	X	X	1,00	n.c.

TABLEAU V

Mesurages du 16/01/2009 en m/s²

	1,4 a _{wx}	1,4 a _{wy}	a _{wz}	a _{wz2}	SEAT (%)	A(8)	Temps de parcours
Mesure 1	0,45	0,50	0,40	X	X	0,40	n.c.
Mesure 2	0,65	0,55	0,45	X	X	0,50	n.c.

même cariste a pu rouler à la vitesse nominale de l'engin (environ 20 km/h). Malgré cela, le niveau vibratoire est faible s'agissant d'un engin mieux adapté aux conditions extérieures. Cette mesure valide donc la recommandation de changer d'engin pour le roulage extérieur.

Malgré un niveau beaucoup plus faible et juste au seuil d'action contre les vibrations, ces dernières restent toujours un facteur de gêne et de fatigue ; il est toujours utile de les réduire au maximum. On a pu observer que la réduction des vibrations avait un impact direct et positif sur la productivité. La réduction des vibrations contribue également au maintien des équipements en bon état.

peuvent accompagner l'entreprise jusqu'au terme de la démarche de prévention du risque vibratoire.

■ La mesure des niveaux vibratoires au niveau du plancher de la cabine de l'engin est importante, car révélatrice des conditions auxquelles le siège est soumis. Cette mesure permet de déterminer l'efficacité du siège (SEAT) et d'en interpréter le résultat. La mesure doit être faite impérativement en même temps que la mesure sur le siège. Si, toutefois, en matière de prévention, cet élément est utile et recommandé, il n'est pas demandé par la réglementation pour l'évaluation de l'exposition aux vibrations.

CONCLUSIONS FINALES

■ Quelque soit l'organisme effectuant des mesures de vibrations, l'entreprise cliente doit être vigilante sur les conditions de mesurage lors de la commande et durant l'intervention. Dans le cas contraire, les mesures risquent de ne pas être exploitables ou difficilement interprétables.

■ Dans le cahier des charges établi entre l'entreprise et l'organisme extérieur, dans le cas présenté, l'analyse des risques ainsi que la recherche de solutions de prévention n'étaient pas demandés ; le souhait étant simplement d'obtenir des mesures fiables et indépendantes. Dans ces conditions, il est nécessaire que l'entreprise ait la compétence d'interpréter correctement ces données et de prendre les mesures de prévention adaptées ou recherche une assistance auprès de personnes expérimentées. Certains IPRP