

# ANALYSE DE LA MÉTHODOLOGIE DE LA DÉCLARATION DU BRUIT DES MACHINES : APPLICATION AU CAS DES MEULEUSES ÉLECTRIQUES

La directive 98/37/EC a rendu obligatoire la déclaration de l'émission sonore des machines lors de leur mise sur le marché européen. Les niveaux de pression d'émission acoustique au poste de travail et les niveaux de puissance acoustique (si le niveau de pression acoustique d'émission au poste de travail dépasse 85 dB(A)) doivent être fournis par le constructeur dans la notice d'instructions et dans la documentation technique de la machine. Pour leur déclaration, les constructeurs s'appuient sur des normes qui décrivent de façon générale les méthodes de mesure acoustique (normes « B ») et de façon précise et spécifique à la machine les conditions de montage et de fonctionnement dans lesquelles les mesures acoustiques doivent être effectuées (code d'essai des normes « C »).

Cet article présente la mise en oeuvre de la méthodologie de déclaration du bruit des machines en appliquant les codes d'essai appropriés, dans le cas particulier des meuleuses électriques. Le classement obtenu, décliné en termes de pression acoustique émise, est ensuite comparé à un classement issu de mesures d'exposition sonore afin de comparer la déclaration à l'exposition réelle des utilisateurs.

Deux normes s'appliquent pour les meuleuses électriques : la norme EN 50144-1 et la norme NFE 65-131. Les fabricants utilisent tous la première pour la déclaration du bruit de leurs machines. Il s'agit de mesures à vide. L'étude montre que les niveaux affichés ne sont pas représentatifs de la puissance acoustique réelle délivrée par la machine et qu'ils n'ont aucun rapport avec l'exposition des utilisateurs.

La seconde norme (NFE 65-131) a également été appliquée. Elle exige des mesures en charge et elle est beaucoup plus complexe à utiliser. Cette fois, les niveaux obtenus sont très bien corrélés à la puissance acoustique réelle de la machine. Par contre, ils restent sans rapport avec l'exposition des utilisateurs. Ce travail met en évidence le problème de la méthodologie de déclaration du bruit des machines dans le cas des meuleuses électriques étudiées. L'affichage par les constructeurs du bruit émis, effectué à partir de mesures à vide, ne permet pas de distinguer les machines les moins bruyantes et les écarts avec l'exposition réelle sont très importants (jusqu'à 20 dB(A)). Les mesures en charge sont en revanche bien corrélées à la puissance acoustique délivrée par la machine mais les écarts avec l'exposition restent conséquents (10 dB(A) en moyenne). Il est donc préférable d'effectuer la déclaration au moyen de mesures en charge et il convient d'attirer l'attention des utilisateurs sur le niveau réel d'exposition sonore, qui oscille entre 100 et 110 dB(A) dans un environnement acoustiquement neutre.

La directive 98/37/EC [1] a rendu obligatoire la déclaration de l'émission sonore des machines lors de leur mise sur le marché européen.

Les niveaux de pression acoustique au poste de travail et les niveaux de

puissance acoustique (si le niveau de pression acoustique au poste de travail dépasse 85 dB(A)) doivent être fournis par le constructeur dans la notice d'instructions et dans la documentation technique de la machine. Les mesures correspondantes sont basées sur des normes de type B qui décrivent de façon

- Meuleuse
- Acoustique
- Bruit
- Normalisation
- Mesure

► Nicolas TROMPETTE, Michel CAFAXE,  
INRS, Département Ingénierie des équipements  
de travail

## ANALYSIS OF MACHINE NOISE DECLARATION METHODOLOGY: APPLICATION TO ELECTRIC GRINDER CASE

European Directive 98/37/EC makes it compulsory to declare the machine sound emission, when machines are placed on the European market. The manufacturer is required to declare acoustic emission pressure levels at the workstation and acoustic power levels (if acoustic emission pressure levels at the workstation exceed 85 dB(A)) in the machine instruction manual and technical documentation. Manufacturers base their declarations on standards, which describe generally acoustic measurement methods ("B" standards) and both accurately and specifically to the machine, the assembly and operating conditions in which acoustic measurements must be taken ("C" standard testing code).

This paper describes implementation of machine noise declaration methodology based on applying appropriate testing codes in the specific case of electric grinders. The resulting classification, expressed in terms of emitted acoustic pressure, is then compared with a classification obtained from noise exposure levels to compare the declaration with user real exposure.

Two standards apply to electric grinders: standard EN 50144-1 and standard NFE 65-131. All manufacturers use the first standard for declaring noise emitted by their machines, but this involves no-load sound measurements. The study reveals that the levels displayed are not representative of the real acoustic power delivered by the machine and they are totally unrelated to user exposure.

The second standard (NFE 65-131) has also been applied. It requires sound measurements under load and is much more complex to use. In this case, the levels obtained correlate closely with the machine real acoustic power. On the other hand, the levels remain totally unrelated to user exposure.

This research reveals the problem of machine noise declaration methodology for the electric grinders studied. The emitted noise displayed by manufacturers, based on no-load measurements, does not allow the least noisy machines to be distinguished and discrepancies with respect to real exposure are very large (up to 20 dB(A)). On the other hand, measurements under load correlate closely with the acoustic pressure delivered by the machine, but discrepancies with respect to exposure remain significant (10 dB(A) on average). It is therefore better to base emitted noise declaration on measurements under load and users' attention should be drawn to the real sound exposure level, which oscillates between 100 and 110 dB(A) in an acoustically neutral environment.

- Grinder
- Acoustics
- Noise
- Standardization
- Measurement

générale les méthodes de mesure acoustiques et, quand elles existent, sur des normes de type C, appelées codes d'essai, qui sont très spécifiques à des familles de machines. Les codes d'essai précisent, dans chaque cas, les conditions de montage et de fonctionnement dans lesquelles les mesures acoustiques doivent être effectuées. Les déclarations peuvent être utilisées pour construire un diagramme comportant en abscisse une grandeur représentative de la machine (puissance électrique, vitesse de rotation, etc.) et, en ordonnée, les valeurs acoustiques mesurées sur un ensemble de machines du marché. Le nuage de points ainsi constitué permet d'objectiver « l'état de la technique » pour la famille de machines considérée, notion utilisée dans la directive, et de situer chaque machine de la famille dans ce nuage, ce qui peut permettre :

- aux constructeurs, d'évaluer la qualité acoustique de leur production par rapport à celle de la concurrence,
- aux utilisateurs, d'inclure le bruit dans leurs critères d'achat, en complément des autres facteurs liés à leurs besoins (performances souhaitées, matériaux à usiner, etc.),
- aux préventeurs, de disposer d'informations permettant de conseiller les utilisateurs.

La pérennité de ces courbes est limitée compte tenu de l'apparition continue de nouveaux modèles sur le marché. Le nuage de points pris dans sa globalité est tout de même relativement représentatif, dans la mesure où l'amélioration globale des performances acoustiques des produits est lente. Il donne donc une image du marché qui reste une référence à moyen terme et permet de hiérarchiser les machines en termes de bruit.

Mais de nombreux paramètres sont susceptibles d'induire des différences de classement : la façon dont les opérateurs manipulent les machines, les matériaux usinés qui peuvent être différents de ceux prescrits dans le code d'essai, et, plus généralement, le fait que les conditions de fonctionnement prescrites par le code d'essai acoustique ne sont pas nécessairement celles d'utilisation de la machine in situ.

L'objectif de cette étude était de mettre en œuvre et de valider, dans un cas particulier, la méthodologie de déclaration du bruit des machines et de

comparer le classement obtenu en termes de pression acoustique émise à l'exposition au bruit des utilisateurs.

## MATÉRIEL TESTÉ

Les machines portatives étaient les plus indiquées pour ce travail. Plus de 5 % des salariés sont régulièrement utilisateurs de machines portatives ou guidées à la main, dans presque toutes les branches d'activité. De nombreuses machines portatives sont sources de nuisances multiples et le bruit et les poussières sont prédominants. Parmi les machines portatives, les meuleuses sont de loin les plus bruyantes. Elles ont fait l'objet d'actions de normalisation et de réglementation importantes. C'est pourquoi elles ont été choisies pour cette étude.

Il existe une grande variété de meuleuses, les plus employées étant les meuleuses pneumatiques droites de diamètre 230 mm dans la métallurgie et les meuleuses électriques coudées de diamètres 125 et 230 mm dans le BTP et le tertiaire. Le choix final des meuleuses électriques coudées de diamètre 125 mm est motivé par le grand nombre de marques représentées, ces machines étant aussi destinées au grand public. Neuf modèles ont été testés (cf. *Tableau 1*).

## ANALYSE DES MÉTHODES NORMALISÉES

Deux normes s'appliquent pour les meuleuses électriques : la norme EN 50144-1 et la norme NFE 65-131. Les fabricants utilisent tous la première pour la déclaration du bruit de leurs machines. Il s'agit de mesures à vide. La seconde norme exige des mesures en charge et elle est beaucoup plus complexe à utiliser, mais elle paraît plus réaliste.

Pour analyser les deux méthodes normalisées proposées, nous avons comparé les résultats obtenus à un résultat de référence.

TABLEAU 1

Modèles testés  
Models tested

Désignation	Diamètre (mm)	Puissance électrique absorbée en watts
HI	125	1020
MO	125	1010
RI	125	920
HTI	125	1400
BH	125	1020
SL	125	900
MA	125	1010
AC	125	1010
FX	125	1010

Les comparaisons portent sur la puissance acoustique délivrée par la machine. La référence est obtenue en appliquant la norme NF EN ISO 9614. Il s'agit de la méthode normalisée de mesure de la puissance acoustique la plus précise.

## MESURES À VIDE SUIVANT LA NORME EN 50144-1

La norme EN 50144-1 [3] demande simplement de suspendre la machine à 1 m du sol en fonctionnement. La meuleuse est équipée d'un disque à meuler classique. La pression acoustique est mesurée en cinq points répartis autour de la machine à 1 m du centre de gravité de cette dernière. La durée de la mesure est de 20 secondes. La pression acoustique finale affichée est obtenue directement à partir de la moyenne des pressions acoustiques mesurées aux cinq points définis par la norme.

Les mesures ont été réalisées en chambre semi-anéchoïque, c'est-à-dire dans un environnement parfait au sens de la norme. La puissance acoustique délivrée est déduite directement de la pression acoustique finale en ajoutant 13 dB (champ libre sur plan réfléchissant).

Le montage d'essai est présenté *Figure 1*. La suspension a été réalisée à l'aide d'un sandow, garantissant un total découplage de la machine vis-à-vis de son environnement. Comme la meuleuse est simplement suspendue et qu'il n'y a pas d'opérateur, le montage d'essai ne peut pas influencer la mesure.

FIGURE 1

Montage d'essai pour les mesures à vide  
Test set-up for no-load measurements

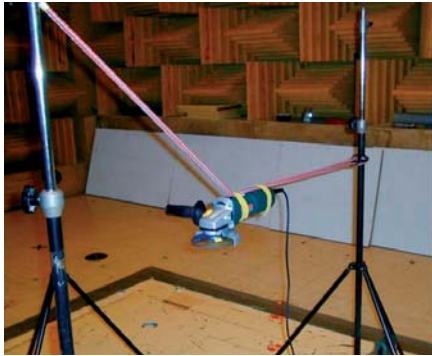


TABLEAU II

Niveaux de puissance acoustique moyenne à vide au sens de la norme EN 50 144 – résultats des mesures et déclarations des constructeurs  
No-load average acoustic pressure levels according to standard EN 50 144 – measurement results and manufacturer declarations

Marque	Déclarations constructeurs <sup>1</sup>	Mesures EN 50.144 <sup>2</sup>
BH	101 dB(A)	99,4 dB(A)
HTI	101 dB(A)	102,7 dB(A)
AC	100 dB(A)	99,9 dB(A)
HHI	98 dB(A)	95 dB(A)
MO	99 dB(A)	99,3 dB(A)
MA	96 dB(A)	95,5 dB(A)
RI	98 dB(A)	98,7 dB(A)
FX	101 dB(A)	103,5 dB(A)
SL	96 dB(A)	101,7 dB(A)

1 Niveau de pression acoustique moyenne déclaré par le constructeur.

2 Niveau de pression acoustique moyenne émise mesurée suivant l'EN 50 144.

Les résultats sont présentés *Tableau II*. Ils concordent avec les déclarations des fabricants, à  $\pm 3$  dB. Ces derniers appliquent donc l'EN 50 144 pour la déclaration du bruit, de préférence à la norme NFE 65-131. En complément du niveau de pression et du niveau de puissance acoustique suivant la norme EN 50144, l'information « Le niveau sonore en fonctionnement peut dépasser 85dB(A) » est souvent ajoutée dans les documentations ou les notices des machines.

## MESURES EN CHARGE SUIVANT LA NORME NF E 65-131

### Banc d'essai

Le banc d'essai a été implanté dans une petite salle calme, de 40 m<sup>3</sup>, isolée du sol par une suspension vibratoire à plots visco-élastiques et isolée acoustiquement vis-à-vis de l'extérieur par deux doubles parois. Le sol est réfléchissant, le plafond et les murs sont recouverts d'un matériau absorbant constitué de deux épaisseurs de laine de verre.

Le banc d'usinage décrit dans la norme a été strictement reproduit. Il est constitué par un établi équipé d'un étai en acier fondu (cf. *Figure 2*).

### Protocole d'essai

La norme NF E 65-131 [4] propose un protocole d'essai pour la caractérisation acoustique des meuleuses électriques, qui s'appuie sur la norme NF S 31-031 pour les conditions de mesure acoustique. La norme demande des mesures acoustiques en charge pour deux opérations, le meulage et le tronçonnage.

L'opération de meulage consiste en un surfacage d'un plat d'acier E24 de 250 mm de longueur, 20 mm d'épaisseur, 60 mm de largeur. La meuleuse est équipée d'un disque à meuler de type 27 de dureté Q. Les mesures sont réalisées sur des périodes de 40 secondes. La meuleuse est tenue par un opérateur, qui doit meuler par passes régulières l'échantillon. La puissance absorbée doit être égale à 70 % de la puissance nominale, et être maintenue constante à  $\pm 10$  % pendant la durée de l'essai. L'opération de tronçonnage consiste en la découpe d'un plat d'acier E24 de section 40 x 10 mm. Pour les meuleuses utilisées, cette section est trop importante. Elle conduit à l'éclatement des disques. Elle a donc été ramenée à 40 x 5 mm. La meuleuse est équipée d'un disque à tronçonner de type 42E et de dureté Q. Les mesures sont réalisées pendant le tronçonnage du plat. Leur durée est de 40 secondes  $\pm 20$  %, soit entre 32 et 48 secondes. Le tronçonnage doit être régulier et sans interruption.

Les mesures de pression acoustique pendant les opérations d'usinage sont effectuées conformément à la norme NF S 31-031. La pression est mesurée en cinq points : quatre points aux quatre

FIGURE 2

Montage d'essai pour les mesures en charge  
Test set-up for measurements under load



coins d'un losange horizontal de 2 m de côté, centré sur la machine, à 1,1 m au-dessus du sol réverbérant, un cinquième à 2,1 m du sol réverbérant sur l'axe vertical passant par le centre de la machine. Pour chacun des trois opérateurs, la mesure est répétée cinq fois. L'écart entre les valeurs finales des cinq mesures ne doit pas excéder 2 dB. Dans le cas contraire, les mesures sont recommencées jusqu'à l'obtention d'une série conforme à la norme. Le disque est neuf au premier essai et changé toutes les cinq opérations. La valeur finale du niveau de pression est la moyenne logarithmique des valeurs obtenues pour chacun des trois opérateurs. Ces valeurs sont elles-mêmes la moyenne arithmétique des valeurs obtenues pour cinq opérations. Pour chaque essai, il s'agit d'une moyenne logarithmique à partir des valeurs mesurées en chaque point de mesure. Les écarts entre les opérateurs ne doivent pas excéder 3 dB. Enfin, la puissance acoustique émise par la machine est déduite de la pression au moyen d'un facteur  $K_2$  dit « de correction de site » mesuré conformément à la norme NF EN ISO 3746.

### Facteur de correction de site

#### Définition et calcul du facteur de correction de site

Le facteur de correction de site  $K_2$  est mesuré au moyen d'une source de référence. La norme NF EN ISO 3746 s'applique de la façon suivante :

■ la puissance acoustique émise par le dispositif d'essai est mesurée avec une source connue (en termes de

puissance acoustique) positionnée à la place de la meuleuse, par intensimétrie par balayage,

- la pression acoustique moyenne de cette source est mesurée au sens du code d'essai E 65-131, c'est-à-dire à partir d'une mesure de pression en cinq points,
- le facteur de correction de site  $K_2$  est calculé par différence entre les deux mesures.

Par analogie, ce facteur permettra par la suite de passer de la pression acoustique moyenne en cinq points au sens de la norme E 65-131 à la puissance acoustique réelle émise par la machine.

Les résultats des mesures sont synthétisés dans le *Tableau III*.

Le facteur  $K_2$  obtenu est en moyenne de 8 dB pour une valeur théorique de 13 dB. La pression en cinq points tend donc à majorer la pression moyenne émise.

#### Validation de la méthodologie de mesure acoustique

Ce facteur de correction de site n'est réputé valable que si la directivité de la source réelle est moindre que celle de la source de référence. Par ailleurs, il ne tient pas compte de la présence de l'opérateur.

Nous avons donc validé la méthodologie, avant l'application de la norme. Pour cette validation, la donnée de référence choisie est la puissance acoustique émise de la machine. Il s'agit en effet d'une caractéristique intrinsèque d'un bruiteur. Elle a été obtenue à l'aide de mesures par intensimétrie conformément à la norme NF EN ISO 9614. Il s'agit de la méthode normalisée de mesure de la puissance acoustique la plus précise.

La norme NF EN ISO 9614 distingue encore deux méthodes :

- des mesures de puissance par intensimétrie par points suivant la partie 1 de la norme NF EN ISO 9614. Les mesures sont faites point par point (156 dans notre cas) à l'aide d'une sonde d'intensité ;
- des mesures de puissance par intensimétrie par balayage suivant la partie 2 de la norme NF EN ISO 9614. Les mesures sont faites en balayant manuellement à l'aide d'une sonde des surfaces enveloppant la source.

**TABLEAU III**

**Facteurs de correction de site  $K_2$  au sens de la norme NF EN ISO 3746**  
**Site correction factors  $K_2$  according to standard NF EN ISO 3746**

Fréquence Hz	Source de référence		
	Lp pression moyenne sur les 5 micros <sup>1</sup>	Lw puissance réelle de la source <sup>2</sup>	$K_2$ <sup>3</sup>
125	51,8	60,7	8,9
160	57	64	7
200	53	60,9	7,9
250	52,1	60,6	8,5
315	49,9	60,5	10,6
400	53,9	61,6	7,7
500	55	63,4	8,4
630	57	65,1	8,1
800	54,2	64,3	10,1
1 k	52	62,4	10,4
1,25 k	54	64,7	10,7
1,6 k	53,9	64,5	10,6
2 k	64	72,4	8,4
2,5 k	64,3	72,3	8
3,15 k	64,6	75,3	10,7
4 k	68,8	79,2	10,4
5 k	74,6	82,5	7,9
6,3 k	76,7	83,5	6,8
8 k	70,9	77,8	6,9
A*	80,4	88,3	7,9

1 Lp 5 micros: niveau de pression acoustique moyen mesuré suivant la norme E65-131.

2 Lw balayage : puissance acoustique réelle émise par la source de référence.

3  $K_2$  : facteur de correction de site calculé conformément à la NF EN ISO 3746 par différence entre la puissance effective de la source de référence et la puissance calculée suivant la norme E65-131 :  $K_2 = [Lw \text{ Balayage}] - [Lw \text{ 5 micros}]$ .

La méthode par points est donc la plus précise, mais également la plus longue à mettre en œuvre. Pour simplifier les essais, nous avons d'abord validé la mesure de puissance par intensimétrie par balayage par rapport à la mesure de puissance par intensimétrie par points sur une machine, puis validé la mesure de puissance en cinq points par rapport à la mesure de puissance par intensimétrie par balayage sur l'ensemble des machines. Ces validations ont été réalisées pour une seule opération, le meulage, et un seul opérateur.

Les puissances obtenues par intensimétrie par balayage ou par intensimétrie par points (156 points) sont proches : l'écart maximum est de 3,2 dB, l'écart moyen de 0,8 dB.

La validation a été étendue aux neuf machines. Pour chacune, la puissance acoustique mesurée, comme exigé par la norme E 65-131, a été

comparée à la puissance acoustique émise mesurée par balayage conformément à la norme NF EN ISO 9614 partie 2 (cf. *Tableau IV*).

Les résultats montrent que la norme E 65-131 permet d'obtenir avec une excellente précision la puissance acoustique émise par la machine. Ce qui permet d'affirmer que les pressions moyennes mesurées en cinq points sont représentatives de la puissance acoustique réelle de la machine et valide la méthodologie de mesure acoustique.

#### SYNTHÈSE SUR L'ANALYSE DES MÉTHODES NORMALISÉES

Le *Tableau V* compare les résultats pour les deux méthodes normalisées, en sachant que, dans le cas de la norme NF E 65-131, seul le tronçonnage a été considéré.



TABLEAU IV

Puissance acoustique délivrée en charge en tronçonnage sens de la norme NF E 65-131 et puissance acoustique réelle - comparaison

Delivered acoustic power under load, when cutting, according to standard NF E 65-131 and real acoustic power - comparison

Marque	Niveau de puissance NF E 65-131 <sup>1</sup>	Niveau de puissance par intensité ISO 96014-2 <sup>2</sup>
BH	102,7 dB(A)	103,1 dB(A)
HTI	102,6 dB(A)	103,0 dB(A)
AC	102,3 dB(A)	102,8 dB(A)
HHI	99,4 dB(A)	99,9 dB(A)
MO	101,8 dB(A)	102,3 dB(A)
MA	102,2 dB(A)	102,6 dB(A)
RI	100,3 dB(A)	100,7 dB(A)
FX	102,1 dB(A)	102,5 dB(A)
SL	104,5 dB(A)	104,8 dB(A)

1 Niveau de puissance acoustique émise au sens de la norme NF E 65-131.

2 Niveau de puissance acoustique émise mesuré par intensimétrie par balayage.

La mesure à vide minore systématiquement la puissance acoustique délivrée et les écarts vont jusqu'à 7 dB. Elle ne permet donc pas d'afficher des valeurs réalistes. Ce constat est d'autant plus vrai que ces machines ne sont jamais utilisées à vide et que le niveau acoustique est plus élevé en charge. Enfin, la comparaison est faite pour la seule opération de meulage. Or, le tronçonnage est plus bruyant (4 dB en moyenne) ce qui amplifie la différence avec les mesures à vide.

## COMPARAISON ACOUSTIQUE DES MACHINES

La comparaison acoustique des machines a été effectuée en les caractérisant au moyen de la norme E 65-131.

Le protocole décrit ci-dessus a été strictement appliqué. C'est la pression moyenne issue des mesures aux cinq points prescrits qui est utilisée pour les comparaisons. Les puissances n'ont pas été calculées et le facteur K2 n'est pas appliqué car cela n'avait pas d'intérêt et aurait compliqué les comparaisons futures avec les mesures d'exposition qui sont aussi exprimées en termes de pression.

TABLEAU V

Puissance acoustique délivrée en charge en tronçonnage sens de la norme NF E 65-131 et puissance acoustique réelle - comparaison

Delivered acoustic power under load, when cutting, according to standard NF E 65-131 and real acoustic power - comparison

Marque	Niveau de puissance EN 50 144	Niveau de puissance NF E 65-131
BH	99,4 dB(A)	102,7 dB(A)
HTI	102,7 dB(A)	102,6 dB(A)
AC	99,9 dB(A)	102,3 dB(A)
HHI	95 dB(A)	99,4 dB(A)
MO	99,3 dB(A)	101,8 dB(A)
MA	95,5 dB(A)	102,2 dB(A)
RI	98,7 dB(A)	100,3 dB(A)
FX	103,5 dB(A)	102,1 dB(A)
SL	101,7 dB(A)	104,5 dB(A)

Les résultats des comparaisons entre les machines de marques différentes sont présentés *Figure 3*.

La dispersion entre des machines théoriquement identiques a été évaluée à partir de comparaisons entre trois spécimens d'une même marque, pour trois marques : HHI, AC et HTI.

Les résultats sont présentés *Figures 4 et 5* : En meulage, les écarts entre les modèles ne sont pas significatifs (1,6 dB). Les écarts pour un même modèle sont faibles, inférieurs à 1 dB, mais élevés par rapport aux écarts entre les modèles (0,9 dB pour 1,6 dB). Les différentes marques se tiennent sur moins de 2 dB. L'incertitude liée au spécimen, pour un même modèle, est de

FIGURE 3

Niveaux de pression acoustique moyenne à 1 m en charge au sens de la norme E 65-131

Average acoustic pressure levels at 1 m under load, according to standard E 65-131

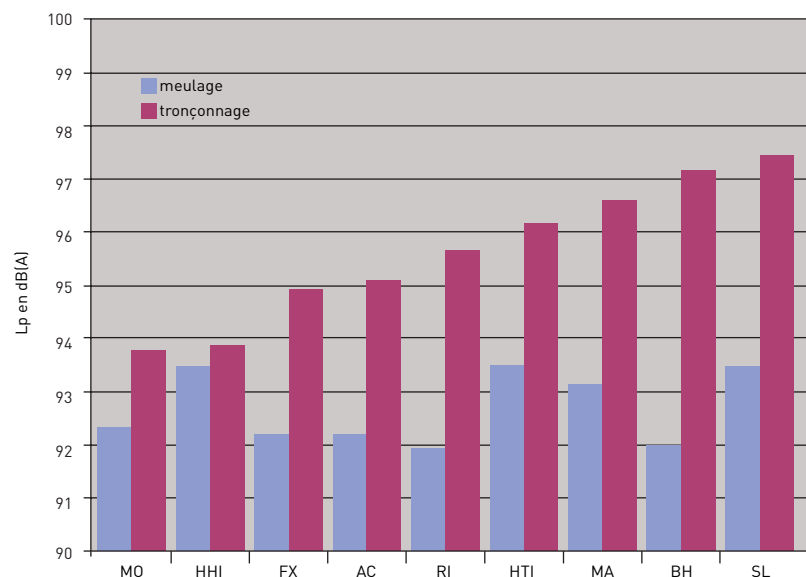


FIGURE 4

**Opération de meulage : Niveaux de pression acoustique moyenne à 1 m en charge au sens de la norme E 65-131 – Ecarts entre des machines identiques**

Grinding operation: average acoustic pressure levels at 1 m under load, according to standard E 65-131 – Differences between identical machines

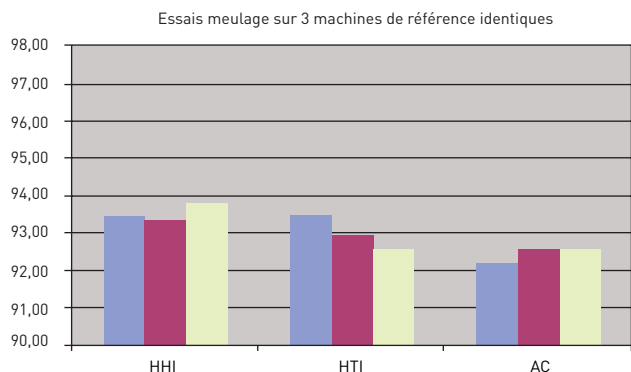
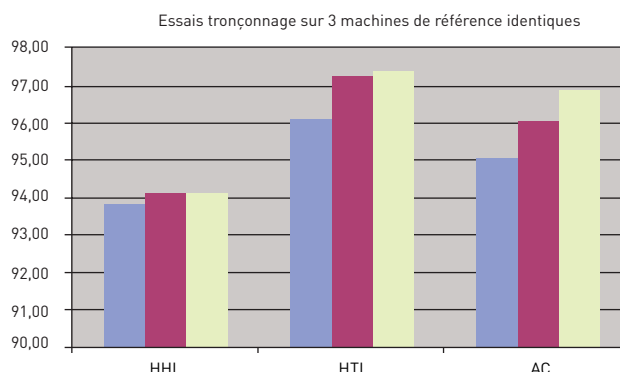


FIGURE 5

**Opération de tronçonnage : Niveaux de pression acoustique moyenne à 1 m en charge au sens de la norme E 65-131 – Ecarts entre des machines identiques**

Cutting operation: average acoustic pressure levels at 1 m under load, according to standard E 65-131 – Differences between identical machines



1 dB. Si l'on inclut l'incertitude de mesure et l'incertitude liée au nombre de microphones, on peut conclure qu'il n'y a pas d'écart significatif entre les modèles. Enfin, la pesée de l'échantillon montre que la masse de matière usinée est toujours la même, de l'ordre de 5 grammes.

En tronçonnage, les écarts entre les modèles sont cette fois tout juste significatifs (3,6 dB). Les écarts pour un même modèle sont toujours faibles, inférieurs à 2 dB, mais, une fois encore, élevés par rapport aux écarts entre les modèles (1,8 dB pour 3,6 dB). Les différentes marques se tiennent sur moins de 4 dB. L'incertitude liée au spécimen, pour un même modèle, est de 2 dB. Si l'on inclut à nouveau l'incertitude de mesure et l'incertitude liée au nombre de microphones, on peut conclure que l'écart est tout juste significatif entre les modèles. Les machines sont donc légèrement différentes.

## MESURES D'EXPOSITION

### MESURES D'EXPOSITION EN LABORATOIRE

#### Protocole d'essai

Il n'existe pas de norme ni de code d'essai pour la mesure de l'exposition des opérateurs utilisant des machines portatives. Un protocole de mesure original a donc été appliqué. L'objectif

était de réaliser une pseudo mesure d'exposition, permettant de qualifier chaque machine en termes de bruit reçu par l'opérateur afin de vérifier que la classification des machines issue des mesures à vide et en charge était corrélée à l'exposition réelle des opérateurs.

Le protocole d'essai a été entièrement créé. Les mêmes conditions d'essai que pour les mesures en charge et à vide ont été appliquées : les trois mêmes opérateurs, les mêmes disques à meuler et à tronçonner, le même banc d'essai. Comme il s'agit de mesure d'exposition, la mesure du bruit a consisté en une mesure de la pression acoustique avec un dosimètre. La machine étant proche de l'opérateur, le local a très peu d'influence. Aussi les essais ont-ils été exécutés dans un hall non traité, l'opérateur étant à plus de 4 m des murs. La mesure a été réalisée pour les tâches suivantes :

- le tronçonnage d'un fer à béton de 10 mm de diamètre pendant 2 x 10 secondes,
- l'ébarbage d'un tube rectangulaire en acier de section 50 x 30 mm et d'épaisseur 1 mm pendant 2 x 20 secondes,
- le meulage d'un fer plat en acier de section 40 x 8 mm pendant 2 x 20 secondes.

Pour obtenir le niveau d'exposition final, les niveaux de pression acoustique de chacune de ces périodes ont été ajoutés. Le niveau d'exposition final est donc le niveau  $L_{Aeq,100s}$  moyenné sur 100 secondes de travail.

### Résultats des mesures d'exposition en laboratoire

Les résultats sont présentés dans le *Tableau VI* comparant les valeurs obtenues pour chaque opération et chaque opérateur, puis la valeur globale calculée.

Pour chaque opération, les écarts entre les opérateurs (désignés n°1, 2 et 3) sont très élevés. La position du microphone, la morphologie de l'opérateur et sa façon de travailler suffisent à expliquer ces écarts. Ce n'était pas le cas lors des mesures normatives. Par contre, la hiérarchie des machines n'est pas la même en fonction des opérateurs alors que c'était le cas lors des mesures normatives (moins de 3 dB d'écart entre les opérateurs).

Il est donc difficile d'établir une hiérarchie des machines qui ait une signification en termes d'exposition, puisque d'un opérateur à l'autre, cette hiérarchie est bouleversée. Nous avons donc fait deux classements : un classement par rapport au niveau d'exposition final  $L_{Aeq}$  moyenné sur 100 secondes de travail calculé à partir de la moyenne des  $L_{Aeq}$  pour chaque opération et chaque opérateur et un classement global calculé à partir de la somme des classements de la machine dans le *Tableau VII*. Ces classements, assez homogènes, permettent de distinguer les machines.

Les mesures ne permettent pas d'aboutir à une valeur robuste du niveau d'exposition des opérateurs pour une machine donnée, au contraire des mesures suivant les normes, qu'elles

TABLEAU VI

### Classement des machines en fonction des opérations et des opérateurs

Machine classification according to operations and operators

Opérateur	Opération de tronçonnage					
	n°1		n°2		n°3	
	Niveau en dB(A)	Classement	Niveau en dB(A)	Classement	Niveau en dB(A)	Classement
SL	102,5	5	97	6	101,2	1
MO	101	2	94	1	101,3	2
RI	103	7	99	8	103,9	7
MA	102,9	6	96,7	5	103,6	5
FX	102	4	95,8	4	101,9	3
AC	106,2	9	94,4	2	103,8	6
BH	101,1	3	95,6	3	105,2	8
HTI	105,2	8	99,4	9	105,2	8
HHI	99,6	1	97,7	7	103,3	4

Opérateur	Opération de meulage					
	n°1		n°2		n°3	
	Niveau en dB(A)	Classement	Niveau en dB(A)	Classement	Niveau en dB(A)	Classement
SL	103,7	100	8	102,1	2	
MO	100	2	95,5	2	103,3	5
RI	105	9	99,1	7	102,5	3
MA	103	7	97,2	4	103,8	6
FX	100,1	3	96,5	3	101,1	1
AC	101,3	5	95,4	1	103,2	4
BH	101,5	6	97,5	5	106,4	9
HTI	100,5	4	100	8	105,4	8
HHI	95,7	1	98	6	104,6	7

Opérateur	Opération d'ébardage					
	n°1		n°2		n°3	
	Niveau en dB(A)	Classement	Niveau en dB(A)	Classement	Niveau en dB(A)	Classement
SL	103,4	4	102	5	105	1
MO	102,5	2	97	1	107	4
RI	104	5	103,05	6	107,6	6
MA	102,9	3	101	3	106,2	2
FX	106,5	7	103,1	5	106,4	3
AC	107	8	100,4	2	110,4	8
BH	99,4	1	104,2	7	107,7	7
HTI	106,1	6	104,7	8	107	4
HHI	109,3	9	108,7	9	112,6	9

soient faites à vide ou en charge. Elles sont simplement l'image d'une exposition pour une situation et une machine données telles que l'on peut les rencontrer dans l'industrie, comme le paragraphe suivant va le montrer.

### MESURES IN SITU

Deux mesures d'exposition ont été effectuées sur des opérateurs principalement exposés au bruit de meuleuses portatives, lors d'interventions dans des

entreprises. Les tracés d'exposition sont présentés *Figures 6 et 7*.

Dans les deux cas, les mesures d'exposition ont eu lieu pendant des opérations de meulage et il s'agit de préparation de surface ou de meulage de cordons de soudure sur des pièces qui ne rayonnaient pas (bridées ou posées au sol). Il est très important de le souligner car, dans l'atelier de chaudronnerie, le meulage de tronçons de mât avec les mêmes machines entraînait une exposition à des niveaux beaucoup plus important que ceux mesurés (de

TABLEAU VII

### Classement final des machines en exposition

Machine final classification in terms of exposure

Classement final des machines en exposition	
MO	101,1 dB(A)
SL	101,7 dB(A)
FX	102,2 dB(A)
BH	102,5 dB(A)
MA	102,6 dB(A)
RI	103 dB(A)
RA	103,5 dB(A)
HTI	104,4 dB(A)
HHI	106,3 dB(A)

l'ordre de 120 dB) du fait du rayonnement de la pièce usinée.

Les mesures in situ montrent que l'ordre de grandeur du niveau de pression acoustique moyenne  $LA_{eq}$  reste le même que celui obtenu en laboratoire : entre 100 et 110 dB. Et ce, alors que les trois machines observées sont deux meuleuses électriques de marques et de diamètres différents et une meuleuse pneumatique. Elles valident les mesures d'exposition en laboratoire car elles reflètent bien ce qui aurait pu être obtenu en plaçant les neuf machines testées en situation réelle.

## ANALYSE DES RÉSULTATS

### CONSTAT

La mise en œuvre de la méthodologie de déclaration du bruit des machines, dans le cas particulier des meuleuses électriques de diamètre 125 mm, a été réalisée en appliquant deux codes d'essai : celui de la norme EN 50144-1 exigeant des mesures à vide, utilisée par les fabricants et celui de la norme NFE 65-131 exigeant des mesures en charge.

Les mesures sur les neuf meuleuses étudiées suivant les codes d'essai mènent à des classements ou nuages de points, déclinés en termes de pression acoustique émise. L'objectif était de comparer ces classements à celui obtenu à partir de mesures d'exposition d'utilisateurs en situation réelle : il y a jusqu'à 8 dB d'écart entre les niveaux de pression

FIGURE 6

Mesure d'exposition – Préparation de surface – Atelier métallerie (charpentes métalliques)  
Measuring exposure – Surface preparation – Metalworking shop (structural steelwork)

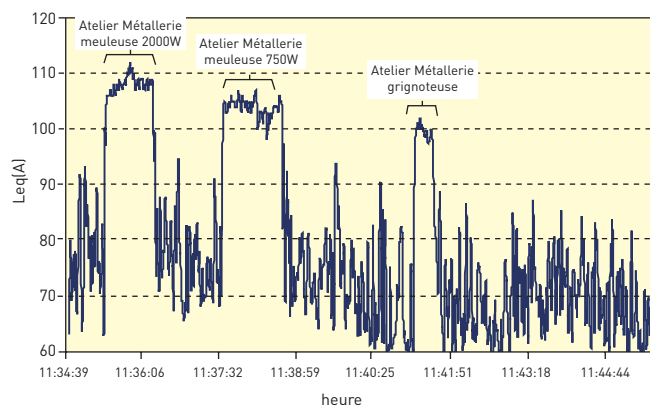


TABLEAU VIII

Déclaration, niveau de pression acoustique au sens des normes EN 50 144 et E65-131 et niveau d'exposition - Comparaison des niveaux  
Declaration: acoustic pressure level according to standards EN 50 144 and E65-131 and exposure level – Comparison of levels

Marque	Déclarations constructeurs dB(A)	Mesures EN 50.144 dB(A)	Mesures E 65-131 dB(A)	Exposition dB(A)
BH	88	86,4	93,6	102,5
HTI	88	89,7	94,2	104,4
AC	87	86,9	92,9	103,5
HHI	85	82	93,6	106,3
MO	86	86,3	92,7	101,1
MA	83	82,5	94,1	102,6
RI	85	85,7	93	103
FX	88	90,5	92,9	102,2
SL	83	88,7	94,6	101,7

1 Deux valeurs de pression sont issues de la norme E 65-131 : une valeur en meulage et une en tronçonnage. La valeur finale est la valeur moyennée avec 40 secondes de meulage et 10 secondes de tronçonnage afin d'être homogène avec le calcul en exposition.

moyens à 1 m pour les mesures à vide et les mesures en charge, et jusqu'à 20 dB entre le niveau de pression déclaré par le constructeur et le niveau d'exposition (cf. *Tableau VIII*).

En ce qui concerne les classements des machines, les résultats sont présentés *Tableau IX*.

La norme EN 50144-1 mène à des niveaux affichés qui n'ont aucun rapport avec l'exposition des utilisateurs et qui ne permettent pas de distinguer les machines les moins bruyantes.

La norme NFE 65-131 donne des valeurs très bien corrélées à la puissance acoustique réelle de la machine. Il était donc légitime de penser que les résultats

seraient également proches de l'exposition des opérateurs. Les meuleuses MO et FX étaient les moins bruyantes, elles sont aussi celles qui exposent le moins les opérateurs. Par contre, le reste du classement est mal corrélé à celui obtenu en exposition. Trois raisons expliquent globalement les différences entre les classements en exposition et suivant les mesures normatives : premièrement, l'intrusion de l'opération d'ébarbage dans les mesures d'exposition, deuxièmement, les écarts entre les machines qui sont bien plus importants et significatifs en meulage lors des mesures d'exposition, et enfin, troisièmement, le manque de robustesse de la méthodologie de mesure en exposition mise en évidence par les écarts entre les opérateurs.

FIGURE 7

Mesure d'exposition – Préparation de surface – Atelier de chaudronnerie  
Measuring exposure – Surface preparation – Boilermaking shop

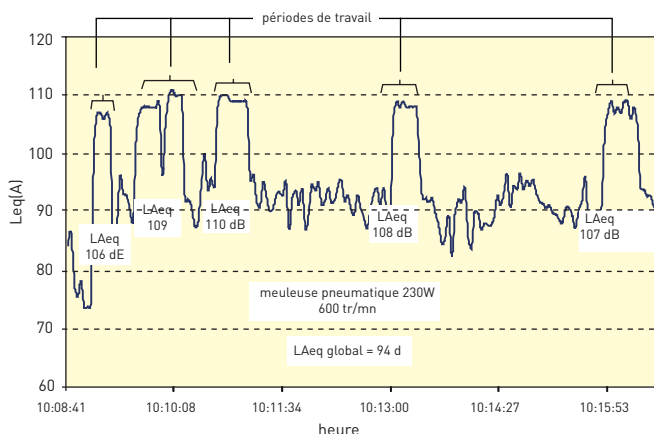


TABLEAU IX

Déclarations, niveaux de pression acoustique au sens des normes EN 50 144 et E65-131 et niveaux d'exposition - Comparaison des classements  
Declarations: acoustic pressure levels according to standards EN 50 144 and E65-131 and exposure levels – Comparison of classifications

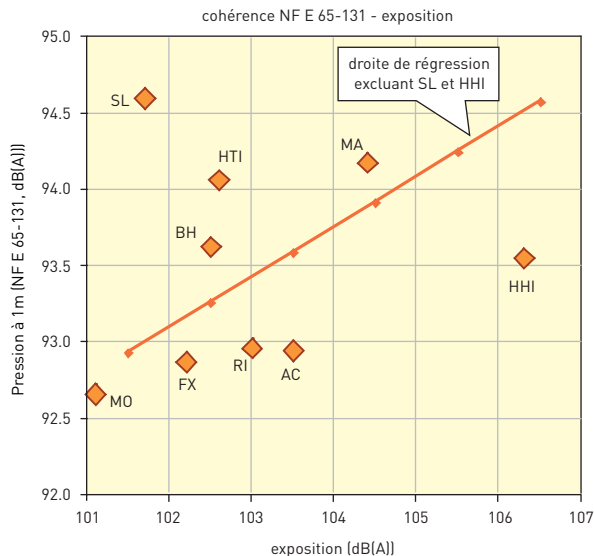
Marque	Déclarations constructeurs	Mesures EN 50.144	Mesures E 65-131	Exposition
BH	7	5	6	4
HTI	7	8	8	8
AC	6	6	3	7
HHI	3	1	5	9
MO	5	4	1	1
MA	1	2	7	5
RI	3	3	4	6
FX	7	9	2	3
SL	1	7	9	2

La *Figure 8* met en évidence les deux premiers points : pour obtenir une droite de régression convenablement située, il a fallu exclure deux points aberrants correspondants aux meuleuses SL et HHI. Or la première s'est révélée être la moins bruyante lors des mesures d'exposition en ébavurage, et la seconde a été la plus bruyante. Et même ainsi, les écarts avec la droite de régression atteignent  $\pm 1$  dB pour une dynamique totale de  $\pm 1,5$  dB, ce qui est naturel puisque les écarts entre les machines sont très faibles devant l'incertitude de mesure.



FIGURE 8

Comparaison des résultats issus des mesures suivant la norme NF E 65-131 et des mesures d'exposition  
Comparison of results given by measurements according to standard NF E 65-131 and exposure measurements



### ANALYSE DES FACTEURS EXPLICATIFS

Des capteurs complémentaires ont été mis en place afin de quantifier l'influence de certains paramètres sur le niveau du bruit émis :

- un capteur de force a été placé entre l'étau et l'établi afin de mesurer la force verticale d'appui pendant la période de travail,
- un compte-tours a été implanté sur la machine afin d'enregistrer la vitesse instantanée.

Il ne s'agissait pas d'une sensibilité au sens strict, puisque ces grandeurs n'étaient pas maîtrisées. L'objectif était simplement d'observer si le bruit émis est sensible à ces paramètres.

En complément, la sensibilité de la mesure de bruit au nombre d'opérations effectuées par le disque a été évaluée.

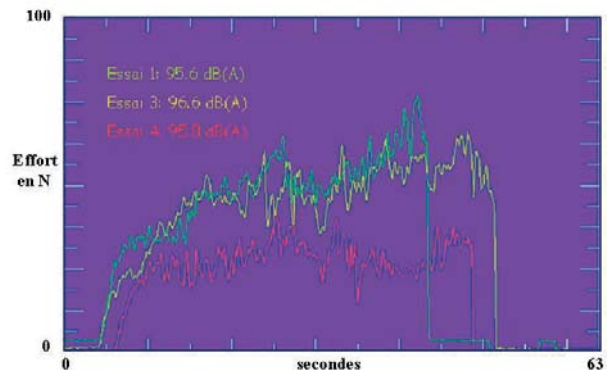
### Force verticale d'appui

L'effort vertical est mesuré à chaque essai. La *Figure 9* présente le tracé instantané de l'effort vertical lors de trois tronçonnages effectués par un même opérateur, avec la même machine (HTI). L'effort moyen varie entre 20 N (courbe rouge) et 40 N (courbe verte). Ce sont à peu près les deux valeurs extrêmes mesurées (pour l'ensemble des machines, l'effort moyen varie entre 15 et 45 N). Le niveau de bruit varie de 1 dB(A).

FIGURE 9

Opération de tronçonnage : Niveau de pression au sens de la norme E 65-131 – Ecarts pour une même machine lorsque la force d'appui varie

Cutting operation: acoustic pressure level according to standard 65-131 – Differences for the same machine when application force is varied



Il s'agit simplement d'un exemple illustratif. Plus généralement, le niveau du bruit ne dépend pas de l'effort vertical d'appui.

### Vitesse de rotation de la meule

La vitesse nominale de la meule est donnée à vide. En charge, la vitesse varie entre 6 000 et 9 500 tours/min suivant les machines. Pour une même meuleuse et pour un même opérateur, la vitesse varie peu (moins de 10 %). Il ne s'agit donc pas d'un paramètre influençant la mesure.

Le tracé *Figure 10* présente la vitesse de rotation instantanée de la meule pour trois machines très différentes : la meuleuse HTI, qui est régulée en vitesse, la meuleuse SL, qui tourne à 10 000 tr/min à vide et autour de 8 000 tr/min en charge et dont la vitesse varie peu avec la charge, et la meuleuse FX, qui présente les mêmes caractéristiques que la meuleuse SL mais qui est très sensible aux variations de charge. On constate que les deux machines présentant les mêmes caractéristiques de vitesse, la SL et la FX, encadrent du point de vue du bruit émis la meuleuse HTI. La vitesse de la meule n'est donc pas déterminante pour le bruit émis par une machine.

Du point de vue de l'opérateur, la régulation en vitesse améliore la qualité de travail, au moins pour l'opération de tronçonnage exigée par la norme. Au

niveau du bruit, sur les quatre machines les plus bruyantes, HTI, MA, BH et FX, les trois premières sont celles qui tournent le plus vite (entre 8 500 et 9 500 tr/min). Ce sont les moins puissantes, les meuleuses FX et HTI, qui font le moins de bruit.

### Usure du disque

Lors des mesures, le mode opératoire a été le suivant : au début d'une mesure pour une machine et un opérateur donné, le disque est changé. L'opérateur effectue ensuite les cinq usinages demandés par la norme avec le même disque. On a donc travaillé avec des disques ayant effectué entre 1 et 5 opérations, ce qui permet d'étudier la sensibilité de la mesure à l'usure du disque.

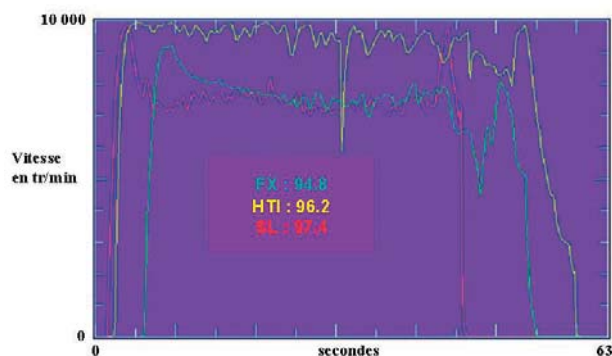
Le tracé *Figure 11* présente l'évolution du niveau sonore au sens de la norme pour chaque machine en charge (tronçonnage) en fonction de l'usure du disque.

L'opération la moins bruyante est systématiquement la première ou la seconde. Ensuite, même s'il y a une légère tendance à la hausse, les niveaux sont quasiment stables. L'influence de l'usure du disque est donc minimale, de l'ordre de 1 à 2 dB suivant les machines. Compte tenu de la relative similitude des comportements, cette influence est négligeable.

FIGURE 10

Opération de tronçonnage : Niveau de pression au sens de la norme E 65-131 – Ecarts entre machines tournant à des vitesses différentes

Cutting operation: acoustic pressure level according to standard E 65-131 – Differences between machines running at different speeds



## Analyse

L'objectif de cette analyse, assez sommaire, était d'observer si le bruit émis est sensible à la force verticale d'appui, à la vitesse de rotation de la meule et à l'usure du disque. En l'absence de protocole de mesure spécifique permettant de ne faire varier qu'un seul des paramètres d'influence, les résultats étaient très dépendants du déroulement des essais. Ils sont néanmoins intéressants en ce sens qu'aucun de ces paramètres n'est déterminant pour le bruit émis.

La force verticale d'appui varie beaucoup, d'un essai à l'autre et au cours des essais, sans influencer le bruit émis.

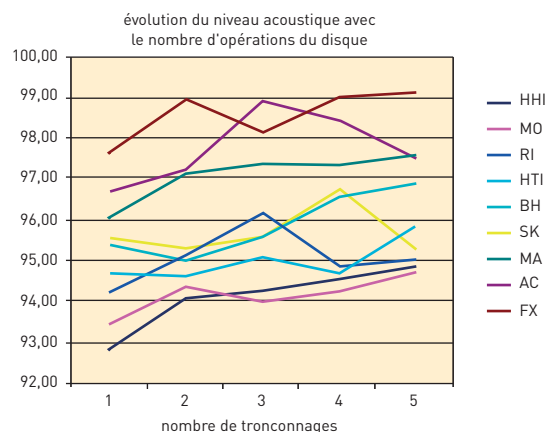
La vitesse de rotation de la meule varie assez peu pour une même machine, même en fonction des opérateurs. Certaines machines sont d'ailleurs munies d'un régulateur de vitesse. Son influence paraît donc négligeable d'autant que, d'une machine à l'autre, les écarts en vitesse sont importants alors que les écarts en termes de bruit émis sont faibles. Cependant, les machines les plus puissantes et qui tournent le plus vite sont aussi les plus bruyantes.

Enfin, l'usure du disque influence légèrement le bruit émis. Aussi, les disques ont été changés régulièrement afin de maîtriser ce paramètre.

FIGURE 11

Opération de tronçonnage : Niveau de pression au sens de la norme E 65-131 – Evolution du niveau acoustique avec le nombre d'opérations du disque

Cutting operation: acoustic pressure level according to standard E 65-131 – Variation of the noise level with regards to the number of machining



## SYNTHÈSE

Cet article présente la mise en œuvre de la méthodologie de déclaration du bruit des machines en appliquant les codes d'essai appropriés dans le cas particulier de neuf meuleuses électriques de diamètre 125 mm. Deux normes s'appliquent pour les meuleuses électriques : la norme EN 50144-1 et la norme NFE 65-131.

La norme EN 50144-1 demande simplement une mesure à vide. Les fabricants l'utilisent tous pour la déclaration du bruit de leurs machines. L'étude montre que les niveaux affichés ne permettent pas de distinguer les machines les moins bruyantes puisqu'ils ne sont pas corrélés aux mesures en charge et qu'ils n'ont aucun rapport avec l'exposition des utilisateurs.

La seconde norme (NFE 65-131) a aussi été appliquée. Elle exige des mesures en charge et elle est beaucoup plus complexe à utiliser. L'étude montre que les niveaux de pression moyenne obtenus sont très bien corrélés à la puissance acoustique réelle de la machine. Par contre, ils sont éloignés des niveaux d'exposition des utilisateurs.

Les classements des machines déclinés en termes de pression acoustique obtenue par l'application des normes ont été comparés à un classement issu de mesures d'exposition sonore. Là encore, les résultats ne sont pas concordants.

La mauvaise corrélation entre les mesures à vide et les mesures d'exposition était à attendre et n'appelle pas de commentaires. Par contre, le fait que les mesures en charge ne soient pas bien corrélées aux mesures d'exposition est plus surprenant. Plusieurs facteurs présumés influents ont été étudiés : effort d'appui, vitesse de rotation, usure des disques. Ils n'expliquent pas les écarts avec les mesures d'exposition. L'explication est plutôt à trouver du côté des mesures d'exposition. L'écart, très important, entre les différents opérateurs et entre les différentes opérations d'usinage, suffit à montrer le manque de robustesse de la méthodologie. Il n'en reste pas moins que, pour cette situation, l'exposition des opérateurs ne dépend pas de la puissance acoustique de la machine au sens de la norme.

Ce travail met donc en évidence le problème de la méthodologie de déclaration du bruit des machines dans le cas des meuleuses électriques étudiées. L'affichage du bruit émis, effectué à partir de mesure à vide suivant l'EN 50144-1, ne permet pas de distinguer les machines les moins bruyantes. Les mesures en charge suivant la norme NFE 65-131 sont en revanche bien corrélées à la puissance acoustique délivrée par les machines et permettent de les distinguer mais la hiérarchie des machines n'est pas retrouvée pour une situation d'exposition.

Les écarts entre les niveaux affichés par les fabricants et l'exposition réelle

des utilisateurs sont très importants (jusqu'à 20 dB), ce qui peut amener ces derniers à sous estimer leur exposition.

Un dernier point mérite d'être souligné : la faiblesse des écarts constatés entre les niveaux de puissance acoustique émise par les machines lors des mesures en charge suivant la norme NFE 65-131. Cela montre que les machines sont assez proches et qu'il n'existe pas de technologie « silencieuse ». Cela montre aussi qu'il est nécessaire, pour travailler à la réduction du bruit sur ce type de machine, de s'intéresser aux mécanismes générateurs qui sont, de toute évidence, liés à la fois à la machine, au disque, à la matière usinée et à la façon de travailler de l'opérateur.

## CONCLUSION

La norme NFE 65-131 permet la mesure de la puissance acoustique délivrée en charge par les machines. C'est donc cette norme qu'il faut utiliser pour effectuer la déclaration.

Étant donné que les niveaux obtenus sont très inférieurs à l'exposition des opérateurs, il convient d'attirer leur attention sur le niveau réel d'exposition, qui oscille entre 100 et 110 dB pour un environnement neutre.

Les machines testées se sont révélées très proches en termes de puissance acoustique et les écarts constatés lors des mesu-

res d'exposition sont imputables au protocole d'essai. Il n'y a donc pas de raison de remettre en cause la méthodologie, par ailleurs déjà très lourde à mettre en œuvre. En revanche, il est souhaitable que les fabricants travaillent à la mise au point de machines et de disques plus silencieux, les spécimens testés pouvant être qualifiés de dangereux pour les utilisateurs.

Reçu le : 20/06/2005

Accepté le : 07/04/2006

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Directive 1998/37/EC du parlement européen et du conseil, concernant le rapprochement des législations des états membres relatives aux machines, *Journal officiel des communautés européennes L207/1 à L207/45 du 23 juillet 1998*.

[2] Norme NF EN 50144-1 Sécurité des outils électroportatifs à moteur. Octobre 1996 Partie 1 : prescriptions générales. *Octobre 1996*.

[3] Norme NF E 65-131 Code d'essai pour le mesurage du bruit émis par les machines portatives à meuler, ébarber, tronçonner à disque, poncer, lustrer, polir, tenues et guidées à la main. *Mars 1997*.

[4] Norme NF ISO 603-14 Meules pour l'ébarbage et l'ébavurage sur meuleuses portatives à renvoi d'angle. *Décembre 1999*.

[5] Norme NF ISO 603-16 Meules pour tronçonnage sur machines portatives. *Décembre 1999*.

[6] Code d'essai pour le mesurage du bruit aérien émis par les machines-outils portatives pour emploi à main, *NF S 31 -031. Septembre 1987*.