

Réduction des vibrations main-bras

Meuleuses

Cette fiche traite des meuleuses quels que soient leur mode d'énergie et leur puissance à l'exception des tourets à meuler. Elles sont utilisées principalement en chaudronnerie, mécanique, fonderie, garages, BTP... Chaque année se vendent en France plus de 400 000 meuleuses professionnelles électriques et quelques milliers de meuleuses pneumatiques. Le modèle le plus répandu est la meuleuse d'angle équipée d'une meule de 125 mm de diamètre.

Risque vibratoire

Les meuleuses sont employées selon trois modes opératoires principaux : le tronçonnage pour la découpe de matériaux, l'ébavurage ou le meulage pour l'enlèvement d'une quantité importante de métal et le ponçage ou le polissage qui assure la finition de la pièce.

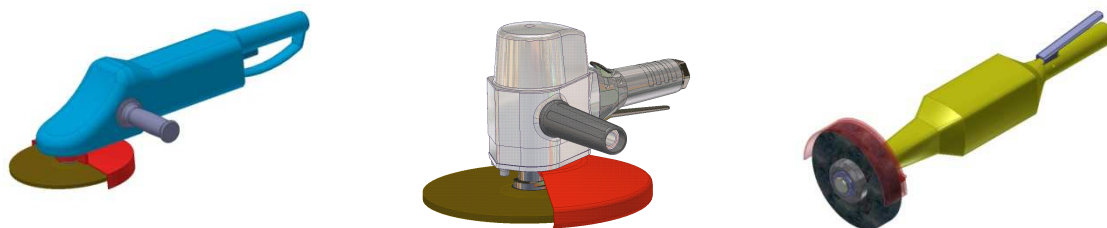


Figure 1 : Exemples de meuleuses d'angle, verticale et droite

En application du décret n°2005746 du 4 juillet 2005, le dossier web «vibrations transmises à la main et au bras » de l'INRS décrit la méthode de calcul de l'exposition vibratoire d'un opérateur sur une journée de 8 heures de travail (notée A(8) et exprimée en m/s^2). En situation réelle, on constate que quelle que soit la famille de meuleuses, la valeur d'exposition A(8) évaluée à partir des résultats de la figure 1, dépasse fréquemment la valeur déclenchant l'action de prévention fixée à $2,5 m/s^2$ dès que la durée d'utilisation excède 2 heures par jour. Il est rare que l'exposition quotidienne dépasse la valeur limite de $5,0 m/s^2$. Néanmoins l'opérateur peut être

amené à utiliser plusieurs machines au cours d'une journée de travail. Dans ce cas, il faut combiner les expositions dues à ces différentes machines.

L'amplitude des vibrations sur les poignées d'une meuleuse en travail dépend du disque utilisé. Les principales sources de vibration sont le balourd des parties en rotation (arbre, disque, roulement...) et l'interaction entre le disque et la matière usinée.

Un constructeur dispose de trois méthodes complémentaires pour réduire à la conception les vibrations émises par une meuleuse : diminuer la source des vibrations en réduisant le déséquilibre ou balourd des parties tournantes, rendre la machine moins sensible aux forces à l'origine des vibrations en augmentant son moment d'inertie (sans en accroître le poids) et isoler les mains de l'opérateur des vibrations par des poignées antivibratiles.

Les dispositifs antivibratiles réduisent les vibrations mais cela ne suffit pas toujours à limiter l'exposition des salariés en dessous de la valeur d'action. Aussi, pour une prévention efficace, il faudra limiter la durée d'exposition quotidienne en tenant compte des autres machines vibrantes employées par l'opérateur.

Les constructeurs doivent obligatoirement indiquer dans la notice d'instruction, le niveau d'émission vibratoire de la machine relevé sur les zones de préhension, si cette valeur d'émission dépasse 2,5 m/s² ainsi que les recommandations de bonne utilisation de la machine. Si cette valeur est inférieure à 2,5 m/s², ce fait doit être mentionné.

La valeur déclarée par le fabricant est mesurée en référence aux codes d'essai européens suivants :

- *Pour les modèles récents* : EN 28927-1 : 2010 (meuleuses d'angle et verticales) et EN 28927-4 : 2011 (meuleuses droites) pour les machines pneumatiques et EN 60745-2-3 : 2007 (3 types de meuleuses) pour les machines électriques.
- *Pour les modèles les plus anciens* : EN ISO 8662-4 : 1995 et EN 50144-2-3 : 2002 pour les machines pneumatiques et électriques. Ces deux normes ne tiennent compte que de l'axe dominant des vibrations au lieu des 3 axes. Il convient de multiplier par 1,5 les valeurs déclarées en référence à ces normes pour les rendre comparables à celles obtenues avec les normes plus récentes.

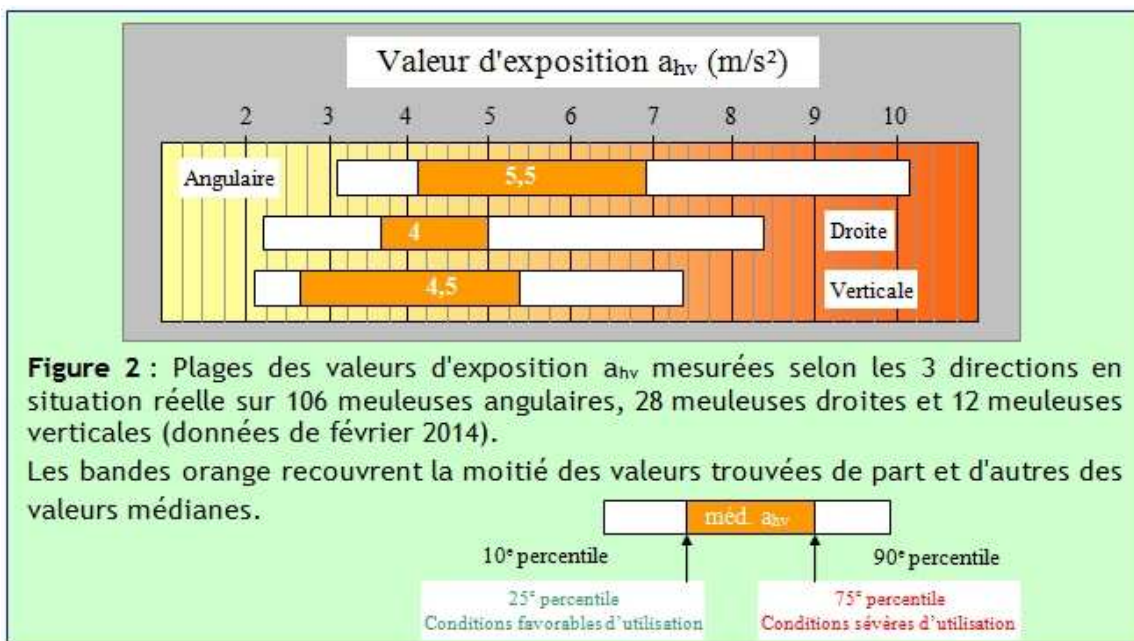


Figure 2 : Plages des valeurs d'exposition a_{hv} mesurées selon les 3 directions en situation réelle sur 106 meuleuses angulaires, 28 meuleuses droites et 12 meuleuses verticales (données de février 2014).

Les bandes orange recouvrent la moitié des valeurs trouvées de part et d'autres des valeurs médianes.

Note : si une meuleuse est équipée avec une brosse métallique, il est recommandé de multiplier les valeurs de la figure 2 par un facteur de 1,6.

Choisissez la meuleuse et ses équipements en fonction de la tâche

Des niveaux vibratoires analogues ont été trouvés en moyenne pour les tâches de meulage et tronçonnage. Pour ce qui est des tâches de polissage/ponçage, on note des niveaux moindres (de l'ordre de 40 % pour les angulaires). De même, les mesures ont montré que la dureté de la matière travaillée influençait peu l'amplitude des vibrations mesurées. Par contre, elle fait varier la durée de l'exposition. Il convient donc d'utiliser des machines dont la puissance et les équipements sont adaptés à la dureté de la matière travaillée afin de réduire la dose vibratoire quotidienne.

Privilégiez la meuleuse la moins vibrante possible

Privilégiez à l'achat la meuleuse possédant la valeur d'émission vibratoire la plus faible pour sa famille et indiquée dans la notice d'instruction selon le code d'essai normalisé. Les mesures ont mis en évidence que les meuleuses d'angle électriques et de plus de 2,5 kg vibraient légèrement plus.

Retenez les meuleuses équipées avec un équilibreur de balourd

La figure 3 schématise les différentes causes de déséquilibre ou balourd d'un disque : axe de l'alésage non perpendiculaire à la surface du disque (a), faces non parallèles (b), alésage non concentrique avec la périphérie du disque (c), ovalisation du disque lors du travail (d), diamètre de l'alésage supérieur au diamètre de l'arbre de la meuleuse (e), variation de la densité du disque ...

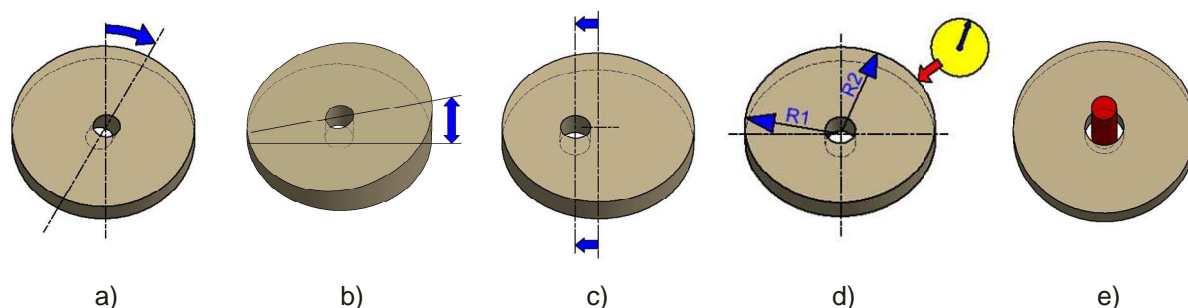


Figure 3 : Différentes causes de balourd pour un disque

Note : Contrairement à ce que pensent certains utilisateurs, un disque fortement déséquilibré (meule ovalisée en particulier) n'enlève pas plus de matière et n'est donc pas plus efficace en opération de meulage. En moyenne, l'amplitude vibratoire décroît avec l'usure du disque.

Idéalement la façon la plus efficace de réduire les vibrations à la source serait l'utilisation de disques avec un faible balourd. L'arbre et les flasques de serrage doivent être maintenus avec un bon état de surface afin de respecter les règles et les tolérances de montage de sécurité. Certains constructeurs de meuleuses d'angle, verticales et droites montent un équilibreur sur l'axe de la machine, qui compense automatiquement le balourd (figure 4). Cet équilibreur est

constitué d'une cage emprisonnant quelques billes en acier qui peuvent se déplacer librement dans une rainure circulaire. En une fraction de seconde, ces billes circulent dans le sens opposé aux forces résultant du déséquilibre du disque de façon à ce que la masse en rotation soit équilibrée. Les mesures réalisées sur diverses meuleuses avec et sans ce dispositif, permettent de constater une réduction (de 25 à 50 %) des vibrations quelle que soit la tâche.

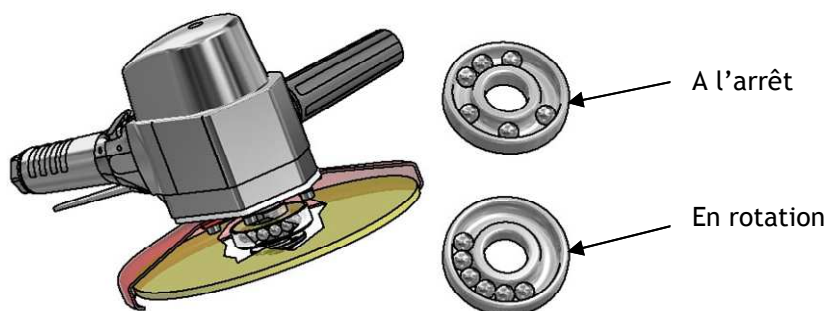


Figure 4 : Schéma d'un équilibreur automatique de balourd.

Sélectionnez une meuleuse avec une inertie augmentée

Une technique complémentaire consiste à rendre la machine moins sensible aux forces à l'origine des vibrations, en augmentant son inertie sans trop accroître son poids. Dans cet objectif, certains constructeurs alourdissent le bord du carter du disque en épaisissant la tôle ou ajoutent une masse à l'extrémité de la poignée auxiliaire (figure 5). Une atténuation de 20 à 30% peut être espérée avec cette technique.

Optez pour une meuleuse équipée de suspensions

Sur les meuleuses d'angle ou les meuleuses verticales, la méthode la plus courante de diminution des vibrations par le constructeur consiste à équiper la meuleuse avec des poignées antivibratiles. L'objectif est de laisser la machine vibrer librement en limitant la transmission des vibrations aux mains. Il s'agit de poignées souples isolées du corps de la machine par un polymère. Une réduction de l'ordre de 30 % peut être obtenue au niveau de la poignée suspendue.



Figure 5 : Exemples de poignées antivibratiles pour meuleuses et de carter alourdi

La plupart du temps seule la poignée auxiliaire est suspendue (fig. 5 a). Elle est vendue

d'origine ou en option selon les constructeurs. Il est par contre plus difficile d'isoler la poignée principale en raison des mécanismes de commande insérés à l'intérieur (fig. 5 b).

Il est essentiel que ces poignées soient conçues par le fabricant de la meuleuse (sauf à en vérifier l'efficacité par des mesures) car la suspension ne doit pas en outre gêner la précision du travail par une souplesse excessive et ne pas augmenter significativement le poids de la machine.

Pour les meuleuses droites, le moteur et l'arbre de transmission sont systématiquement suspendus.

Note : Le recouvrement des zones de préhension avec une couche de matériaux viscoélastiques ne contribue pas à réduire les vibrations transmises aux mains. Ces matériaux sont appréciés de l'opérateur car ils apportent du confort par une meilleure répartition des pressions entre la main et la machine. De plus, un caoutchouc antidérapant permet une meilleure prise en main de la machine, ce qui pourrait contribuer à réduire l'effort de préhension nécessaire pour maintenir la machine. Il isole la main de la poignée métallique refroidie par la détente de l'air comprimé.

Maintenance

Assurez-vous du bon état de la meuleuse conformément aux instructions du constructeur. Cet entretien permet à la machine de conserver toute sa puissance et limite la durée d'exposition.

Quand une machine est équipée avec un équilibreur de balourd, il convient de le changer s'il présente une fuite d'huile. Dans le cas des meuleuses droites, de trop fortes vibrations signalent la détérioration de la suspension du moteur et de l'arbre. Il conviendra de la remplacer.

Pour les machines pneumatiques, vérifiez que l'installation soit lubrifiée et délivre une pression suffisante d'air comprimé pour faire tourner la machine à la puissance nominale (cf. la notice d'instruction). Une baisse de pression de 1 bar peut abaisser la performance jusqu'à 40 %, augmentant le temps de travail d'autant.

Information des opérateurs aux bonnes pratiques

Évitez d'utiliser un disque ovalisé ou usé de façon irrégulière qui présentera un balourd élevé.

Il convient d'accompagner la meuleuse et de ne pas faire le « travail à sa place » en exerçant des efforts trop importants. Plus le couplage (serrage et poussée) entre la main de l'opérateur et la meuleuse sera faible, moins l'opérateur recevra de vibrations.

Le poids peut être compensé par un système d'aide à la manutention. La poignée de contrôle sert généralement à guider la machine. Lorsque l'on meule des surfaces horizontales, le poids de la machine permet d'exercer sur la poignée auxiliaire des forces de poussée moindres.

Protégez les opérateurs du froid

Les opérateurs doivent se protéger contre le froid qui favorise le déclenchement de crises du syndrome de Raynaud. Sur les meuleuses pneumatiques, le déport de l'échappement d'air comprimé (par une gaine d'échappement par exemple) évitera que le jet soit dirigé vers les mains.

C'est pourquoi, le port de gants et de vêtements appropriés sont particulièrement recommandés.

Note : Les gants déclarés antivibratiles en référence à la norme EN 10819 s'avèrent, aujourd'hui, peu efficaces pour réduire les vibrations des meuleuses tournant en dessous de 12 000 t/mn.

8 règles pour réduire l'effet des vibrations transmises par les meuleuses

1. Choisir la meuleuse et ses équipements adaptés à la tâche et à l'ergonomie du poste.
2. Privilégier à l'achat la meuleuse possédant la valeur d'émission vibratoire déclarée la plus faible.
3. Retenir les meuleuses dotées d'un équilibreur automatique de balourd.
4. Choisissez une meuleuse avec une inertie augmentée.
5. Opter pour une meuleuse équipée de poignées antivibratiles préconisées par le constructeur.
6. Maintenir en bon état la machine ainsi que les éléments antivibratiles
7. Former les opérateurs aux bonnes pratiques.
8. Travailler avec des gants pour maintenir les mains au chaud.

Pour en savoir plus

- Piette A., Malchaire J., Gomes-Ferreira M., Bitsch J. et Donati P. Meuleuses portatives. Bilan des sources de vibrations. Moyen de prévention. INRS. ND 1989-159-95.
- Bo Lindquist. L'ergonomie des machines portatives. Atlas Copco. ISBN pp180. 1998.
- Atlas Copco. Pocket guide to vibrations in grinder. pp20.
- Falco F. Evaluation de l'exposition aux vibrations corporelles des opérateurs du département de construction d'un chantier naval. INRS. HST n°223. p103
- «Guide de bonnes pratiques en matière de vibrations main bras». Guide consultatif de bonnes pratiques en vue de l'application de la directive 2002/44/EC relative aux exigences minimales d'hygiène et sécurité pour l'exposition des employés aux risques résultant d'agents physiques (vibrations). - 2006, 62 p. (fichier pdf 1 Mo)
<http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE.htm>
- Dossier web vibrations transmises aux membres supérieurs.
<http://www.inrs.fr/risques/vibration-membres-superieurs/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- Syndrome des vibrations. La main et le bras en danger
<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206204>

Référents : Groupe Vibration Carsat/Cramif/INRS

INRS : P. Donati, E. Caruel

CARSAT Clermont-Ferrand : Ch. Garnier, J.-X. Tisserand

CARSAT Lille : Th. Becker

CARSAT Limoges : Ph. Cros

CARSAT Montpellier : M.-A. Kervellec

CARSAT Nancy : B. Gallin

CARSAT Nantes : N. Gainche

CARSAT Orléans : D. Fouché, C. Ruillard

CRAM Paris : F. Maître

CARSAT Rennes : V. Marquenie

CARSAT Toulouse : L. Hardy

Annexe : informations techniques complémentaires

Pourquoi les parties tournantes déséquilibrées font vibrer une meuleuse ?

Le balourd des parties mobiles en rotation crée une force qui s'applique perpendiculairement à l'axe de l'arbre de la meuleuse et tourne à la même vitesse (figure A). Cette force qui change constamment de direction, essaie de mettre en mouvement la masse de la machine. Il en résulte que la machine oscille autour d'un axe qui ne passe pas par son point d'équilibre.

Simultanément la force exercée sur l'arbre crée un couple de force qui amène la machine à tourner autour de son point d'équilibre. L'axe de rotation de ce couple tourne également avec l'arbre entraînant une vibration de l'ensemble de la machine.

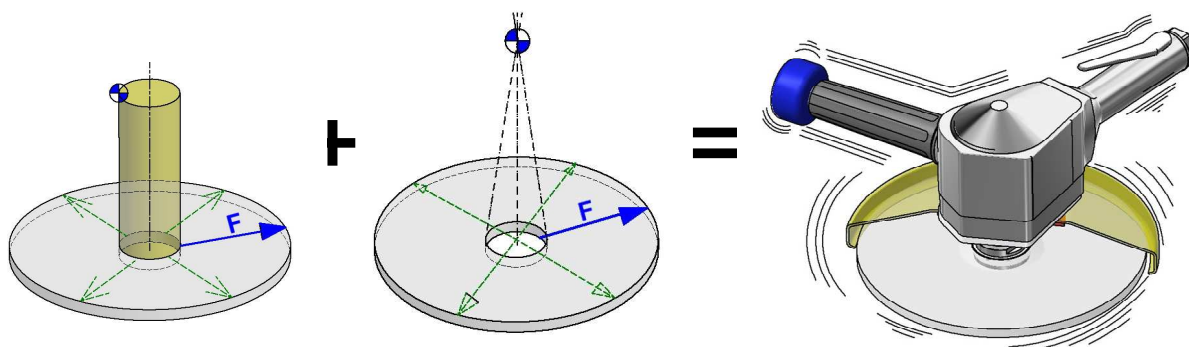


Figure A : Du balourd à la vibration

Pourquoi un équilibreur de balourd ne peut supprimer totalement les vibrations ?

Même avec un équilibreur automatique à billes, il subsiste un déséquilibre résiduel qui provient du fait que l'équilibreur et la meule ne sont pas dans le même plan, si bien que les efforts correspondant sont à l'origine d'un couple.

Les constructeurs cherchent donc à diminuer la distance entre le plan de la meule et le centre de gravité de la meuleuse : 40 mm est un bon compromis pour certains constructeurs (figure B).



Figure B : Distance réduite entre le plan de la meule et le centre de gravité de la machine

Comment un fabricant calcule une suspension de poignées ?

Les caractéristiques dynamiques de la suspension doivent être adaptées à celles de la machine.

La réponse dynamique de la suspension est fonction de la vitesse de rotation de la meuleuse. A faible vitesse, la suspension n'agit pas et reste raide. A une certaine vitesse fonction de sa raideur, elle amplifie les vibrations transmises à l'opérateur par le phénomène de résonance. Ce n'est qu'au-dessus d'une certaine vitesse seuil que la suspension isole la main. L'atténuation possible est d'autant plus forte que la vitesse de rotation de la machine est élevée.

L'expérience montre qu'il serait difficile d'utiliser des poignées suspendues pour des machines qui tourneraient en dessous de 6000 tours par minute, ce qui est rarement le cas. En retenant une poignée avec une suspension présentant une faible raideur, on pourrait abaisser ce seuil de vitesse critique ou améliorer la réduction de la vibration transmise. La pratique montre que l'opérateur éprouve des difficultés pour travailler avec une poignée trop souple qui pénalise la précision du travail.

Autre difficulté, en phase de rotation les masses des poignées isolées par la suspension, ne comptent plus dans le calcul du moment d'inertie. Moins inerte, la meuleuse tend à plus répondre à l'excitation vibratoire, ce qui tend à accroître la vibration du corps de la machine. Cet effet peut être significatif dans le cas des machines les plus légères. Il est donc important que la machine et les poignées suspendues soient conçues comme un tout par le fabricant.