

Laboratoires des mines et des sciences minérales de CANMET



Exposition des travailleurs miniers aux vibrations et au bruit

Document informatif

Produite pour SOREDEM

par

Sylvain Ouellette, LMSM-CANMET et
Pierre Marcotte, IRRST

Projet : 603216
Rapport LMSM-CANMET 10-010(TR)

Version : avril 2010

Document informatif

Exposition des travailleurs miniers aux vibrations et au bruit



**Produit pour SOREDEM
par Sylvain Ouellette, LMSM-CANMET
et Pierre Marcotte, IRSST
Avril 2010**

Laboratoires des mines et des sciences minérales de CANMET (LMSM-CANMET)

Les Laboratoires des mines et des sciences minérales de CANMET sont les principaux intervenants pour Ressources Naturelles Canada dans le secteur des technologies minières. Les LMSM-CANMET sont reconnus internationalement depuis longtemps pour l'excellence de leur technologie de l'exploitation minière et du traitement des minéraux, et pour leur leadership dans la conception de solutions technologiques permettant de réduire les impacts environnementaux et d'améliorer la santé et la sécurité des travailleurs miniers.

Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)

Solidement implanté au Québec depuis 1980, L'IRSST est un organisme privé à but non lucratif. La composition de son conseil d'administration, où des représentants des employeurs et des travailleurs siègent en nombre égal, en fait un organisme paritaire. La Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST) lui fournit la majeure partie de son financement, à même les cotisations qu'elle perçoit des employeurs. La mission de l'IRSST est de contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Offrir les services de laboratoire et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail et assurer la diffusion des connaissances.

SOREDEM

Des membres de l'Association minière du Québec (AMQ) ont mis sur pied, en janvier 1992, la Société de recherche et développement minier SOREDEM. Cette société, sans but lucratif, s'est donnée le mandat de favoriser l'émergence de nouvelles technologies dans les mines souterraines du Québec afin d'accroître la compétitivité de ces entreprises sur le marché international et de développer des conditions plus sécuritaires en milieu de travail. SOREDEM est formée de compagnies minières, membres de l'AMQ, qui financent des travaux de recherche. La Société coordonne différents projets avec des chercheurs de plusieurs institutions et organismes de recherche.

Ministère Développement économique, Innovation et Exportation (MDEIE)

Le Ministère a pour mission de soutenir le développement économique, l'innovation et l'exportation ainsi que la recherche en favorisant notamment la coordination et la concertation des différents acteurs des domaines économique, scientifique, social et culturel dans une perspective de création d'emplois, de prospérité économique, de développement scientifique et de développement durable.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier nombreux collaborateurs des organismes suivants :



Préface

Le présent document a été rédigé dans le cadre d'un projet réalisé conjointement par les LMSM-CANMET, l'IRSST et SOREDEM dans le but de dresser un portrait général de l'exposition des travailleurs miniers aux vibrations et au bruit.

Problématique

Les problèmes de santé liés aux vibrations et au bruit sont parmi les principales causes d'indemnités liées au travail dans les mines. Bien qu'aucune réglementation canadienne ne contraigne les employeurs à limiter l'exposition de leurs travailleurs aux vibrations, la Société de recherche et développement minier SOREDEM a décidé de s'attaquer au problème en incluant les vibrations parmi ses axes de recherche prioritaires.

Objectif du document

Ce document a été rédigé avec l'objectif premier de circuler l'information à jour relative à l'exposition des travailleurs miniers aux vibrations et au bruit. Il présente un sommaire de l'information recueillie dans la littérature ainsi que lors de la réalisation d'une campagne de mesure dans les mines de SOREDEM en 2009.

À qui s'adresse ce document

Ce document est principalement destiné aux préventionnistes et aux intervenants en santé et sécurité dans les mines. Ceux-ci trouveront l'information de base, les méthodes de calcul, les niveaux vibratoires et sonores typiques et des outils leur permettant d'évaluer l'exposition des travailleurs de leur entreprise aux vibrations et au bruit. Des exemples concrets sont présentés aux annexes 1 à 4.

Les gestionnaires, les acheteurs et les contremaîtres sont aussi invités à consulter le document afin de faire des choix judicieux par rapport aux équipements et aux tâches assignés aux travailleurs.

Finalement, les opérateurs soucieux de leur santé pourront consulter le document afin d'estimer si les niveaux vibratoires et sonores auxquels ils sont exposés sont susceptibles d'avoir un effet à long terme sur leur santé.

Table des matières

PRÉFACE	II
TABLE DES MATIÈRES	III
SECTION 1 : LES VIBRATIONS	1
QUE SONT LES VIBRATIONS?.....	1
Y A-T-IL UNE RÉGLEMENTATION SUR LES VIBRATIONS?	1
QUELS SONT LES EFFETS DES VIBRATIONS SUR LA SANTÉ?	2
<i>Vibrations globales du corps</i>	2
<i>Vibrations main-bras</i>	3
LA MESURE DES VIBRATIONS.....	4
<i>Les instruments</i>	4
<i>Le positionnement des accéléromètres</i>	7
<i>Les fréquences dommageables et l'accélération pondérée</i>	8
<i>Interprétation des résultats</i>	9
<i>Qu'est ce que la VDV et qu'est ce qui la différencie de l'exposition journalière?</i>	9
<i>Calcul de l'exposition journalière aux vibrations main-bras : A(8)</i>	9
<i>Calcul de l'exposition journalière aux vibrations globales du corps : A(8)</i>	10
<i>Calcul de la dose de vibration globales du corps : VDV</i>	11
NIVEAUX MAXIMAUX RECOMMANDÉS : A(8) ET VDV	12
OUTILS D'AIDE AU CALCUL	12
SECTION 2 : LE BRUIT	13
OÙ TROUVER LES NOTIONS DE BASE DE SONOMÉTRIE.....	14
LIMITE D'EXPOSITION LÉGALE AU CANADA	15
NIVEAU DE PROTECTION RÉEL VS NRR	16
EFFET DE LA DOUBLE PROTECTION	17
EFFET DE L'ENLÈVEMENT DES PROTECTEURS AUDITIFS POUR DE COURTES PÉRIODES	17
CALCUL DE L'EXPOSITION QUOTIDIENNE POUR PLUSIEURS TÂCHES	17
EXPOSITION QUOTIDIENNE MAXIMALE RECOMMANDÉE	18
SECTION 3 : NIVEAUX DE VIBRATION ET DE BRUIT DES ÉQUIPEMENTS MINIERES	19
NOTE SUR L'UTILISATION DES FOREUSES PNEUMATIQUES	27
NOTE SUR LES SIÈGES À SUSPENSION	28
SECTION 4 : RÉFÉRENCES ET OUTILS	29
ANNEXE 1 : EXEMPLE DE CALCUL D'EXPOSITION JOURNALIÈRE AUX VIBRATIONS MAIN-BRAS - A(8)	31
ANNEXE 2 : EXEMPLE DE CALCUL D'EXPOSITION JOURNALIÈRE AUX VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS - A(8)	32
ANNEXE 3 : EXEMPLE DE CALCUL DE LA DOSE DE VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS - VDV	33
ANNEXE 4 : EXEMPLE DE CALCUL DE L'EXPOSITION SONORE POUR PLUSIEURS TÂCHES	35
ANNEXE 5 : NIVEAUX VIBRATOIRES PROVENANT DE LA LITTÉRATURE	37

SECTION 1 : Les vibrations

Comme dans beaucoup de milieux industriels, les vibrations sont omniprésentes dans l'industrie minière. Celles-ci peuvent avoir un impact négatif sur la santé des travailleurs et il est important d'en connaître l'ampleur afin de pouvoir poser les gestes préventifs appropriés.

Cette section présente des connaissances de base sur les vibrations, leur effet sur la santé, la réglementation en vigueur, les équipements et la méthode de mesure, les méthodes de calcul ainsi que les expositions quotidiennes maximales recommandées.

Que sont les vibrations?

Les vibrations sont les oscillations mécaniques d'un objet ou d'un outil. Les vibrations affectant les travailleurs sont divisées en deux types selon leur mode d'action, à savoir les **vibrations globales du corps** et les **vibrations main-bras**.

Y a-t-il une réglementation sur les vibrations?

Le Code canadien du travail stipule que l'employeur doit veiller à ce que l'aération, l'éclairage, la température, l'humidité, le bruit et les vibrations soient conformes aux normes réglementaires¹. Il ne définit toutefois pas les limites d'exposition permises. La plupart des provinces, incluant le Québec, n'ont pas d'article traitant de l'exposition des travailleurs aux vibrations dans leur réglementation.

La Colombie-Britannique est la seule province définissant les limites d'exposition aux vibrations globales du corps et aux vibrations main-bras. Elle définit aussi l'obligation de l'employeur d'effectuer des mesures et, dans le cas où les vibrations excèdent les limites recommandées, informer l'employé des effets possibles sur sa santé et mettre en place un plan de réduction des vibrations. Le Nouveau-Brunswick ne définit que les limites d'exposition pour les vibrations main-bras. Le Nunavut et les Territoires du Nord-Ouest obligent l'employeur à fournir des gants, des chaussures et des sièges anti-vibrations lorsque nécessaire, sans toutefois définir de limite d'exposition.

La réglementation la plus utilisée dans le monde est la Directive 2002/44/EC du Parlement Européen. Cette directive est appliquée sur le territoire de l'union européenne et est souvent utilisée comme référence dans d'autres réglementations. Elle définit des valeurs d'action et des valeurs limites pour les vibrations main-bras et les vibrations globales du corps.

¹ Code canadien du travail, L.R.C. 1985, c. L-2, art. 125

Quels sont les effets des vibrations sur la santé?

Les effets des vibrations sur la santé des individus ne sont pas immédiats et varient d'un travailleur à l'autre. La période requise pour le développement des symptômes est appelée période de latence. Certains dommages causés par les vibrations sont permanents tandis que d'autres sont réversibles.

Vibrations globales du corps

Les vibrations globales du corps sont les vibrations transmises à l'opérateur par le siège ou par le plancher. Des études épidémiologiques de l'exposition prolongée à des vibrations globales du corps ont révélé une fréquence plus élevée de douleurs lombaires, des hernies discales et de la dégénérescence précoce de la colonne vertébrale². La posture assise prolongée ainsi que la torsion du tronc lors de l'exposition à des vibrations globales du corps constituent des facteurs de risque supplémentaires.

Selon le Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail, les vibrations globales du corps peuvent causer la fatigue, l'insomnie, les problèmes de digestion, des maux de tête et pourraient aussi être à l'origine de plusieurs troubles du système circulatoire, de l'intestin, de l'appareil respiratoire et du dos³.

² INRS, Vibrations et mal de dos, ED 6018, février 2008, p 24

³ http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/vibration/vibration_effects.html#_1_4

Vibrations main-bras

Les vibrations mains-bras sont les vibrations transmises à l'opérateur, par les mains, lors de l'utilisation d'outils vibrants ou par les commandes de certains véhicules. L'atteinte la plus connue est la maladie de Raynaud, aussi connue sous le nom de maladie des mains blanches (figure 1). Les symptômes de cette maladie sont aggravés par le froid et par l'humidité. Le graphique présenté à la figure 2 permet d'estimer la période de latence pour l'apparition du premier stade de la maladie de Raynaud en fonction de l'exposition vibratoire journalière aux vibrations main-bras $A(8)$. L'exemple présenté en pointillé sur le graphique permet d'estimer que 10% des travailleurs développeront le premier stade de la maladie de Raynaud après 4 années à un niveau d'exposition journalière de 5 m/s^2 .



Figure 1 : Main atteinte de la maladie de Raynaud⁴

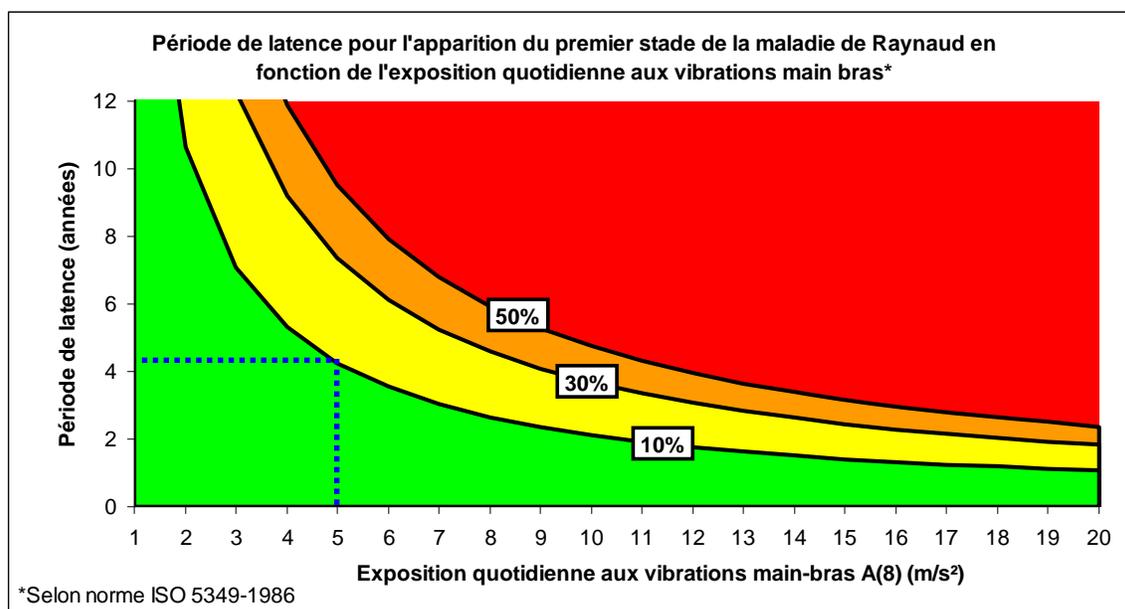


Figure 2 : Graphique de la période de latence de la maladie de Raynaud

Parmi les autres maladies professionnelles pouvant être causées ou aggravées par les vibrations main-bras, on retrouve notamment les troubles musculo-squelettiques, le syndrome du tunnel carpien et les tendinites.

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Raynaud's_phenomenon

La mesure des vibrations

Au même titre que la prise de mesures sonores, les mesures vibratoires peuvent être prises directement par les entreprises ou par l'entremise de consultants. Dans certaines juridictions, comme en Europe, cette pratique est réglementée. Cette section présente les notions de base nécessaires à la prise de mesures vibratoires en entreprise. Il est fortement recommandé de consulter les documents donnés en référence avant d'entreprendre une campagne de mesure.

Les instruments

Il existe deux types de système permettant d'évaluer l'exposition des travailleurs aux vibrations. Le premier type consiste en un système d'acquisition de données permettant d'enregistrer les données vibratoires complètes et d'en faire ensuite l'analyse détaillée à l'aide de logiciels spécialisés. Ce type de système est principalement utilisé par les chercheurs et les consultants. C'est un système de ce type qui a été utilisé pour la prise de mesures vibratoires dans les mines dans le cadre du projet qui est à l'origine de ce document.

Un second type d'appareil, le dosimètre vibratoire, est beaucoup mieux adapté aux besoins de l'industrie minière. Tout comme un dosimètre sonore, l'appareil n'enregistre pas les données complètes, mais calcule plutôt diverses valeurs permettant de définir l'exposition. Ce type d'appareil, très compact, peut être glissé dans la poche du travailleur dont l'exposition doit être évaluée. Les deux modèles les plus populaires sont le Larson Davis HVM100 et le Brüel & Kjær Type 4447, montrés à la figure 3.



Figure 3 : Dosimètres vibratoires

Les deux types de systèmes, le système d'acquisition et le dosimètre vibratoire, sont utilisés avec le même type de capteur, soit un accéléromètre triaxial miniature. Celui-ci

prend généralement la forme d'un cube et a une dimension inférieure à un centimètre. Il est relié au dosimètre ou au système d'acquisition par un fil. Dépendant de la source vibratoire à évaluer, celui-ci peut être monté à l'aide de différents accessoires de montage tels des collets, des adaptateurs collés, vissés ou magnétiques ou encore monté dans un coussin spécial pour l'évaluation des sièges. Un accéléromètre triaxial typique ainsi que divers accessoires de montage sont montrés à la figure 4.



Figure 4 : Exemple d'accéléromètre triaxial et d'accessoires de montage

Les systèmes de dosimètre vibratoires intégrés sans fil sont récemment apparus sur le marché. Dans ces systèmes, des composantes électroniques permettant l'enregistrement des niveaux vibratoires sont intégrés au capteur. Une fois activés à partir d'un ordinateur, ils sont autonomes et enregistrent automatiquement les niveaux vibratoires. Ils sont donc particulièrement intéressants pour effectuer de la dosimétrie industrielle.

Lors du projet, nous avons fait l'essai du système sans fil EVEC⁵ pour la mesure des vibrations globales du corps. Cet appareil utilise une connexion Bluetooth pour configurer les capteurs ou transférer les données emmagasinées vers un ordinateur de bureau ou un ordinateur de poche. Le système comprend deux capteurs, soit un capteur de siège et un capteur de plancher. Il peut donc être utilisé pour évaluer les performances des sièges à suspension. Il est à noter que les résultats obtenus à partir de ce système sont similaires à ceux obtenus à partir d'appareils commerciaux conventionnels.



Figure 5 : Système EVEC pour vibrations globales du corps

Au moins deux fabricants travaillent actuellement au développement de dosimètres vibratoires intégrés sans fil pour les vibrations main-bras. Ces dosimètres autonomes sont insérés entre les doigts et fonctionnent comme le système EVEC décrit plus haut. Il faut toutefois demeurer prudent face à ce type de dosimètre car la plage de sensibilité et la méthode de montage n'est pas toujours adaptée aux équipements miniers. Des essais avec un prototype pré-production ont été réalisés et il s'est avéré inadéquat pour la mesure du niveau vibratoire des foreuses pneumatiques. Il est fortement recommandé d'effectuer un test comparatif avec un appareil conventionnel pour les différents équipements à évaluer avant d'acquiescer un système de ce type.

⁵http://www.body-vibration.eu/en/evect_human_vibration_meter_en.aspx

Le positionnement des accéléromètres

Les trois principales positions pour la prise de mesures sont les mains, le siège et le plancher. Les accéléromètres doivent être montés afin de respecter les orientations montrées à la figure 6.

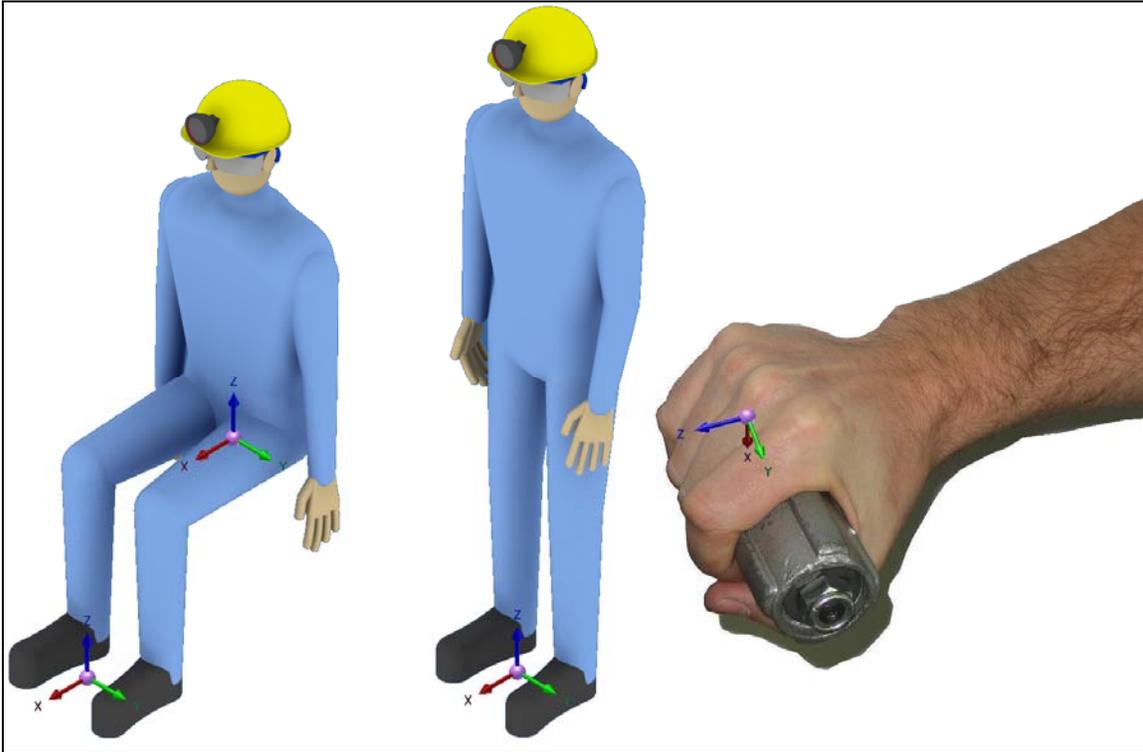


Figure 6 : Orientation des accéléromètres

Les fréquences dommageables et l'accélération pondérée

La fréquence d'une vibration, exprimée en Hertz (Hz), est le nombre d'oscillations par seconde. Pour une même accélération, le déplacement est plus faible pour les hautes fréquences.

Les différents organes du corps humains réagissent différemment en fonction de la fréquence des vibrations. Par exemple, les faibles déplacements associés aux hautes fréquences sont absorbés par la peau et les tissus mous et se transmettent peu à la colonne vertébrale. À l'opposé du spectre, les vibrations de très basse fréquence, bien qu'étant associées à de grands déplacements, n'affectent pas les mains car celles-ci se déplacent au complet au rythme des oscillations.

Par conséquent, il existe une plage de fréquences vibratoires ayant un effet plus marqué sur le corps humain. Des courbes de pondération ont été développées afin de tenir compte de ce phénomène et donner plus d'importance aux fréquences ayant un effet sur le corps. La norme ISO 5349 définit la courbe de pondération W_h utilisée pour les vibrations main-bras (axes X, Y et Z). La norme ISO 2631 définit la courbe de pondération W_k pour l'axe Z des vibrations globales du corps et la courbe W_d pour les axes X et Y des vibrations globales du corps.

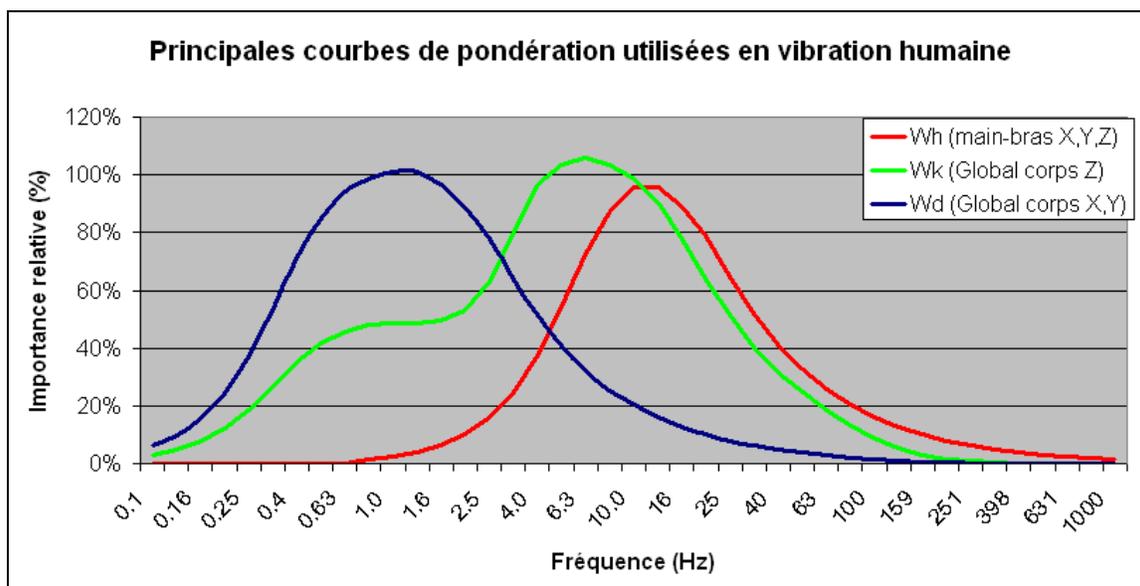


Figure 7 : Principales courbes de pondération utilisées en vibration humaine

Les courbes de pondération sont intégrées dans les appareils de type dosimètre vibratoire. Il ne faut toutefois pas oublier de sélectionner la bonne courbe de pondération avant d'effectuer les mesures.

Interprétation des résultats

Dans cette section, les calculs de base permettant d'interpréter les résultats fournis par un dosimètre vibratoire seront expliqués. Ces calculs peuvent être effectués en utilisant les niveaux vibratoires présentés à la section 3 pour estimer l'exposition d'un travailleur en fonction de ses tâches journalières.

Qu'est ce que la VDV et qu'est ce qui la différencie de l'exposition journalière?

Plusieurs sources considèrent que l'effet des impacts et des chocs sur la santé est sous-estimé par la méthode d'exposition journalière $A(8)$. Une méthode alternative, la VDV ou valeur de dose de vibration, a été développée afin de mieux tenir compte de l'effet des impacts sur la santé.

Le facteur de crête est la valeur d'accélération maximale par rapport à la valeur efficace du signal (valeur rms). Il est donné par la plupart des dosimètres vibratoires. Un facteur de crête élevé est donc associé à la présence d'impacts et de chocs. Pour les tâches où il y a présence de chocs et d'impacts (facteur de crête >9), il est recommandé d'utiliser la dose de vibration VDV^6 .

Il est à noter que pour les vibrations globales du corps, la directive européenne 2002/44/EC permet d'utiliser l'exposition journalière $A(8)$ ou la dose de vibration VDV pour définir les limites d'exposition.

Calcul de l'exposition journalière aux vibrations main-bras : $A(8)$

L'accélération pondérée en fréquence selon la courbe W_h est représentée par les symboles a_{hvx} , a_{hvy} et a_{hvx} . Afin d'évaluer l'effet des vibrations dans les trois axes sur le système main-bras, on calcule la valeur totale de l'accélération pondérée a_{hv} de la façon suivante :

$$a_{hv} = \sqrt{(a_{hvx})^2 + (a_{hvy})^2 + (a_{hvx})^2}$$

L'exposition journalière $A(8)$ est l'accélération pondérée normalisée sur 8 heures. Elle s'exprime en m/s^2 . Lorsque le travailleur effectue plusieurs tâches, l'exposition journalière associée à chaque tâche est notée $A_i(8)$.

Pour calculer l'exposition journalière à partir de l'accélération pondérée et de la durée d'une tâche, il faut utiliser la formule suivante :

$$A_i(8) = a_{hv} \times \left(\frac{T}{8}\right)^{0.5} \quad \text{où } T : \text{durée de l'exposition exprimée en heures}$$

Si l'on veut connaître le temps requis pour atteindre une certaine valeur d'exposition, on isole T dans la formule précédente pour obtenir :

$$T = 8 \times \frac{A(8)_{cible}^2}{a_{hv}^2}$$

⁶ ISO-2631-1: 1997

Finalement, pour calculer l'exposition journalière totale à partir de l'exposition journalière associée à plusieurs tâches, il faut utiliser la formule suivante :

$$A(8) = \sqrt{(A_1(8))^2 + (A_2(8))^2 + (A_3(8))^2 + \dots}$$

Un exemple de calcul est présenté à l'annexe 1.

Calcul de l'exposition journalière aux vibrations globales du corps : $A(8)$

La présente procédure peut être appliquée pour évaluer des risques pour la santé d'un travailleur dont les vibrations sont transmises au corps par le siège ou par le plancher.

L'accélération pondérée en fréquence selon la courbe W_d pour les axes x et y est représentée par les symboles a_{wx} et a_{wy} . L'accélération pondérée en fréquence selon la courbe W_k pour l'axe z est représentée par le symbole a_{wz} .

Pour les vibrations globales du corps, on calcule indépendamment l'exposition journalière pour chacun des axes ($A_x(8)$, $A_y(8)$ et $A_z(8)$). L'exposition journalière équivalente totale est la plus grande des valeurs obtenue. Lorsque le travailleur effectue plusieurs tâches, les expositions journalières partielles associées à chaque tâche sont notées $A_{ix}(8)$, $A_{iy}(8)$ et $A_{iz}(8)$. Attention, il faut appliquer un facteur de 1.4 pour les axes x et y lors du calcul de l'exposition journalière.

$$A_{ix}(8) = 1.4 \times a_{wx} \times \sqrt{\frac{T}{8}} \quad A_{iy}(8) = 1.4 \times a_{wy} \times \sqrt{\frac{T}{8}} \quad A_{iz}(8) = a_{wz} \times \sqrt{\frac{T}{8}}$$

où : T est la durée de l'exposition exprimée en heures.

Les différentes tâches sont combinées, selon chacun des axes, en utilisant les formules suivantes :

$$A_x(8) = \sqrt{(A_{1x}(8))^2 + (A_{2x}(8))^2 + (A_{3x}(8))^2 + \dots}$$

$$A_y(8) = \sqrt{(A_{1y}(8))^2 + (A_{2y}(8))^2 + (A_{3y}(8))^2 + \dots}$$

$$A_z(8) = \sqrt{(A_{1z}(8))^2 + (A_{2z}(8))^2 + (A_{3z}(8))^2 + \dots}$$

Finalement, l'exposition journalière correspond à la plus grande des valeurs obtenues pour les différents axes :

$$A(8) = \max(A_x(8), A_y(8), A_z(8))$$

Un exemple de calcul est présenté à l'annexe 2.

Calcul de la dose de vibration globales du corps : VDV

La valeur de la dose de vibration **VDV**, est une méthode alternative pour calculer l'exposition journalière totale aux vibrations globales du corps. Celle-ci repose sur une sommation quadratique qui donne plus d'importance aux impacts. Comme dans le cas du calcul de A(8) pour les vibrations globales du corps, il faut calculer la VDV pour chaque axe et prendre la valeur maximale.

La valeur de la dose de vibration calculée par l'appareil tient compte de la durée de la prise de mesure. Pour un même niveau vibratoire, plus la durée d'exposition est longue, plus la **VDV** augmente. Il est donc nécessaire de corriger la **VDV** en fonction de la durée totale de l'exposition du travailleur au cours d'un quart de travail en utilisant la formule suivante (attention au facteur 1.4 pour les axes x et y) :

$$VDV_{exp,i,x} = 1.4 \times VDV_{i,x} \left(\frac{T_{exp}}{T_{mes}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

où : T_{exp} = Durée de l'exposition (h)
 T_{mes} = Durée de la mesure (h)

$$VDV_{exp,i,y} = 1.4 \times VDV_{i,y} \left(\frac{T_{exp}}{T_{mes}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$VDV_{exp,i,z} = VDV_{i,z} \left(\frac{T_{exp}}{T_{mes}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Lorsque le travailleur effectue plusieurs tâches au cours d'un quart de travail, on peut combiner les VDV

partielles de la façon suivante:

$$VDV_x = \left(VDV_{exp,1,x}^4 + VDV_{exp,2,x}^4 + VDV_{exp,3,x}^4 + \dots \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$VDV_y = \left(VDV_{exp,1,y}^4 + VDV_{exp,2,y}^4 + VDV_{exp,3,y}^4 + \dots \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$VDV_z = \left(VDV_{exp,1,z}^4 + VDV_{exp,2,z}^4 + VDV_{exp,3,z}^4 + \dots \right)^{\frac{1}{4}}$$

La valeur de la dose de vibration pour le travailleur est la valeur maximale obtenue pour les différents axes :

$$VDV = \max(VDV_x + VDV_y + VDV_z)$$

Un exemple de calcul est présenté à l'annexe 3.

Niveaux maximaux recommandés : A(8) et VDV

La directive européenne 2002/44/EC définit des valeurs d'action et des valeurs limites pour les vibrations mains-bras et les vibrations globales du corps. Les niveaux prescrits par cette directive récente sont basés sur les recommandations d'organismes de référence en la matière tels que l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*.

Dans les juridictions où cette directive est appliquée, la valeur d'action est la valeur à laquelle l'employeur doit poser certaines actions :

- déterminer et évaluer des risques
- prendre des dispositions visant à éliminer ou à réduire l'exposition
- former et informer le travailleur
- surveiller la santé du travailleur

Toujours dans les juridictions soumises à cette directive, la valeur limite est la limite légale d'exposition quotidienne à laquelle un employé peut être soumis.

Sous la valeur d'action, les risques pour la santé du travailleur n'ont pas été clairement démontrés et/ou objectivement observés. Entre la valeur d'action et la valeur limite, des risques potentiels pour la santé du travailleur ont été documentés. Au delà de la valeur limite, les effets sur la santé du travailleur exposé à long terme sont très probables⁷. Le tableau 1 présente les valeurs d'action et les valeurs limites spécifiées par la directive européenne 2002/44/EC.

	Main-bras	Globale du corps	
	A(8)	A(8)	VDV
Valeur d'action	2.5 m/s ²	0.5 m/s ²	9.1 m/s ^{1.75}
Valeur limite	5 m/s ²	1.15 m/s ²	21 m/s ^{1.75}

Tableau 1 : Limites d'exposition recommandées

Outils d'aide au calcul

D'excellents outils d'aide au calcul sont disponibles gratuitement sur internet. Le HSE, un organisme gouvernemental du Royaume-Uni, rend disponible sur son site internet deux calculateurs Excel permettant de calculer l'exposition aux vibrations globales du corps et aux vibrations mains-bras.

<http://www.hse.gov.uk/VIBRATION/hav/vibrationcalc.htm>

<http://www.hse.gov.uk/VIBRATION/wbv/calculator.htm>

⁷ ISO 2631-1 : 1997

SECTION 2 : Le bruit

La problématique du bruit dans l'industrie minière est connue depuis longtemps et le protecteur auditif est associé à l'industrie minière au même titre que la lampe de mineur.

La section XV du Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec⁸ traite du bruit. Elle définit, entre autres, l'exposition maximale à laquelle un travailleur peut être soumis. Elle définit aussi l'obligation de l'employeur, dans les entreprises de 50 employés ou plus, d'effectuer des mesures sonores pour tout poste de travail où l'exposition maximale est susceptible d'être dépassée.

Les entreprises minières étant soumises à cette loi, celles-ci comptent généralement du personnel qualifié pour effectuer les mesures requises par la loi.

Ce document ne couvre pas les notions de base de sonométrie. Il a plutôt été choisi de porter à votre attention certaines notions importantes.

⁸ Règlement sur la santé et la sécurité du travail, D. 885-2001, 2001 G.O. 2, 5020

Où trouver les notions de base de sonométrie

Le Centre canadien d'hygiène et de sécurité du travail possède un site internet (<http://www.cchst.ca>) complet présentant une foule d'informations reliée à l'hygiène industrielle. Ce site contient, entre autres, deux sous-sections particulièrement intéressantes qui traitent de l'exposition au bruit en milieu de travail.

La première section (http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/noise_basic.html) vulgarise les notions de base de la sonométrie sous forme de questions/réponses. Les questions suivantes y sont développées :

- Qu'est-ce qu'un son et qu'est-ce qu'un bruit?
- Pourquoi le bruit constitue-t-il un danger important en milieu de travail?
- Comment puis-je savoir si mon milieu de travail est trop bruyant?
- Quelles sont, à titre d'exemple, certaines des propriétés du bruit qui peuvent être mesurées?
- Que sont la hauteur et la fréquence?
- Qu'est-ce que la pression acoustique?
- Qu'est-ce que le niveau de pression acoustique?
- Qu'est-ce que la puissance acoustique?
- Quelle est la relation entre la pression acoustique et la puissance acoustique?
- Quels sont les types de bruit?
- Que sont les décibels pondérés en gamme A?
- Quelles sont les règles de base des calculs avec les décibels (dB)?
- Comment les niveaux de bruit s'additionnent-ils?

La seconde section (http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/noise_auditory.html) traite des effets du bruit sur l'audition en développant les sujets suivants :

- Comment l'exposition au bruit affecte-t-elle la santé?
- Exemples d'effets auditifs sur la santé
- Quelles sont les caractéristiques du déficit auditif permanent dû au bruit?
- Le vieillissement affecte-t-il l'audition?
- Autres causes de déficit auditif
- Comment mesurer le déficit auditif
- Comment exprimer ou évaluer l'incapacité auditive
- Exemple de calcul de l'incapacité auditive
- Quel lien y a-t-il entre l'exposition au bruit et le déficit auditif?

Limite d'exposition légale au Canada

Les limites d'exposition au bruit dans toutes les provinces canadiennes sont définies de la même façon. Un niveau d'exposition maximal admissible pour 8 heures et un coefficient d'équivalence sont donnés en dBA. Le coefficient d'équivalence est la valeur par laquelle le niveau sonore peut augmenter si la période d'exposition est réduite de moitié.

Territoire	Niveau d'exposition maximal admissible pour 8 h (dBA)	Coefficient d'équivalence (ou facteur de bissection) (dBA)
Colombie-Britannique	85	3
Alberta	85	3
Saskatchewan	85	3
Manitoba	85	3
Ontario	85	3
Québec	90	5
Nouveau-Brunswick	85	3
Nouvelle-Écosse	85	3
Île-du-Prince-Édouard	85	3
Terre-Neuve et Labrador	85	3
Territoires du Nord-Ouest	85	5
Nunavut	85	3 ou 5
Yukon	85	3

Tableau 2 : Limites d'exposition au bruit par province

Il est à noter que le Québec est la juridiction la moins sévère avec un niveau d'exposition maximal admissible de 90 dBA et un coefficient d'équivalence de 5 dBA.

Le Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec prévoit que le niveau d'exposition maximal admissible sera diminué à 85 dB à partir d'une date ultérieure déterminée par règlement en vertu de l'article 223 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c. S-2.1).

Les articles 134 et 135 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec définissent aussi le nombre d'impacts permis par quart de travail en fonction du niveau de bruit en dB linéaire et la méthode de calcul pour combiner des impacts de niveaux différents.

Niveau de protection réel vs NRR

L'article 137 de La Loi sur la santé et la sécurité du travail du Québec stipule que tout protecteur auditif fourni à un travailleur doit atténuer le bruit de telle sorte que le travailleur ne soit plus exposé à des niveaux excédent les limites d'exposition établies. Elle n'est toutefois pas spécifique tant qu'à la façon d'évaluer l'exposition du travailleur au bruit lorsqu'il porte des protecteurs auditifs. La méthode proposée est une méthode simple permettant d'estimer l'exposition du travailleur au bruit. Veuillez noter qu'il existe des méthodes alternatives plus complexes permettant d'estimer avec une plus grande précision l'exposition du travailleur au bruit.

Les protecteurs auditifs approuvés ont une cote NRR (Noise Reduction Rating) qui peut être utilisée pour estimer le niveau de protection offert. La valeur NRR a été développée afin d'être utilisée pour le calculer le niveau sonore en dBA sous le protecteur en soustrayant la valeur NRR du niveau sonore exprimé en dBC. Comme la réglementation dans toutes les juridictions canadiennes fixe les limites d'exposition en dBA, les mesures sont souvent prises en utilisant cette courbe de pondération.

Pour estimer l'exposition en dBA à partir du niveau sonore en dBA et de la valeur NRR, il faut soustraire 7 dB de la NRR indiquée.

La valeur NRR est obtenue à partir de tests en laboratoire au cours desquels les protecteurs auditifs sont placés sur la tête de sujets, par des techniciens dans des conditions idéales. En pratique, le niveau de protection en milieu de travail est toujours inférieur. Un grand nombre d'études ont été réalisées afin de mesurer l'atténuation réelle des protecteurs auditifs⁹. Afin de tenir compte de l'atténuation réelle des protecteurs auditifs, le NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) recommande que le NRR étiqueté soit réduit par les facteurs indiqués au tableau 3 pour les divers types de protecteurs.

Réduction du NRR recommandée par le NIOSH afin de tenir compte de la protection réelle en milieu de travail		
Coquilles	soustraire 25%	$NRR_{\text{réduit}} = 0.75 * NRR$
Bouchons en mousse	soustraire 50%	$NRR_{\text{réduit}} = 0.50 * NRR$
Tout autre type de bouchons	soustraire 70%	$NRR_{\text{réduit}} = 0.30 * NRR$

Tableau 3 : Réduction du NRR recommandée pour estimer le niveau de protection réel

À titre d'exemple, pour estimer l'exposition sonore efficace d'un travailleur exprimée en dBA, il faut utiliser les formules suivantes à partir des niveaux sonores mesurés en dBA ou en dBC à l'aide d'un dosimètre ou d'un sonomètre :

$$\text{Exposition(dBA)} = \text{dBC} - NRR_{\text{réduit}}$$

$$\text{Exposition(dBA)} = \text{dBA} - (NRR_{\text{réduit}} - 7)$$

⁹ <http://www.cdc.gov/niosh/docs/98-126/chap6.html>

Effet de la double protection

Lorsque des bouchons et des coquilles sont portés simultanément, le niveau de protection augmente. L'augmentation du niveau de protection total n'est toutefois pas directement égale à l'addition des niveaux de protection des bouchons et des coquilles. Afin d'estimer l'effet de la double protection, il est recommandé d'ajouter 5 dB d'atténuation à l'atténuation de la meilleure protection lorsque la protection double est utilisée.

Effet de l'enlèvement des protecteurs auditifs pour de courtes périodes

L'enlèvement des protecteurs auditifs, même pour de courtes périodes, a un effet très négatif sur le niveau de protection réel offert. Les raisons les plus souvent évoquées pour retirer un protecteur auditif pendant le travail sont l'inconfort et l'impossibilité de communiquer due à une atténuation excessive.

Le tableau 4 présente le niveau de protection réel offert pour différentes valeurs d'atténuation du protecteur auditif en fonction de la période pendant laquelle on retire le protecteur.

Atténuation réelle du protecteur auditif (dB)	Niveau de protection équivalent (dB) offert si au cours d'une période de 8 heures si le protecteur auditif est retiré pendant :					
	5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	1 h
30	19.4	16.6	14.9	12	10.2	9
25	18.7	16.2	14.6	11.8	10.1	8.9
20	16.9	15.1	13.9	11.4	9.9	8.7
15	13.8	12.9	12.1	10.4	9.1	8.2
10	9.6	9.2	8.9	8.1	7.3	6.7

Tableau 4 : Protection en fonction de la période de retrait des protecteurs auditifs

En observant le tableau 4, on réalise qu'il n'est pas avantageux d'avoir recours à un protecteur auditif offrant une grande atténuation si on doit le retirer, même pendant de courtes périodes pour communiquer. Par exemple, le fait de retirer un protecteur auditif offrant une atténuation réelle de 25 dB pendant seulement 15 minutes au cours d'un quart de travail de 8 heures abaisse le niveau réel de protection sous la barre des 15 dB. Il serait donc plus avantageux d'avoir recours à un protecteur auditif offrant une atténuation plus faible, mais permettant au travailleur de communiquer.

Le protecteur auditif idéal n'est pas nécessairement celui qui offre la meilleure atténuation; en fait, c'est celui que le travailleur porte en tout temps.

Calcul de l'exposition quotidienne pour plusieurs tâches

Attention : Il existe de nombreux calculateurs sur internet permettant de calculer l'exposition quotidienne pour plusieurs tâches. Toutefois, la plupart utilisent les formules basées sur un coefficient d'équivalence (facteur de bissection) de 3 dB.

La méthode suivante permet de calculer la dose d'exposition sonore correspondant à chaque tâche. Il suffit d'additionner les doses afin de déterminer si le travailleur excède la limite d'exposition quotidienne correspondant à 100%.

L : niveau sonore efficace durant la tâche (dBA)

T : durée de la tâche (heures)

L8_{max} : niveau maximal permmissible pour une période de 8 heures (90 dBA au Québec)

C_{eq} : coefficient d'équivalence (5 au Québec)

$$DOSE(\%) = \frac{T \times 10^{\left(\frac{.3 * L}{C_{eq}}\right)}}{8 \times 10^{\left(\frac{.3 * L8_{max}}{C_{eq}}\right)}} \times 100$$

Pour vérifier la conformité avec la réglementation actuelle du Québec, en remplaçant C_{eq} par 5 et L8_{max} par 90, on obtient la formule simplifiée suivante :

$$DOSE(\%) = \frac{T \times 10^{(0.06 \times L)}}{20095} \quad (\text{si } C_{eq} = 5 \text{ et } L8_{max} = 90)$$

Un exemple de calcul est présenté à l'annexe 4.

Exposition quotidienne maximale recommandée

La plupart des recherches indiquent qu'il y a un risque pour la santé du travailleur dès que l'exposition dépasse 85 dBA pour une période de 8 heures. De plus, la plupart des recherches indiquent aussi que pour évaluer correctement l'effet de l'exposition sonore sur la perte d'audition humaine, il faut utiliser un coefficient d'équivalence de 3. C'est pourquoi, la plupart des juridictions utilisent ces valeurs dans leur réglementation.

La formule simplifiée permettant de calculer la dose d'exposition sonore quotidienne pouvant entraîner une perte d'audition à long terme devient :

$$DOSE(\%) = \frac{T \times 10^{(0.1 \times L)}}{25298221} \quad (\text{si } C_{eq} = 3 \text{ et } L8_{max} = 85)$$

SECTION 3 : Niveaux de vibration et de bruit des équipements miniers

Cette section présente les niveaux vibratoires des équipements miniers afin de permettre d'identifier les postes de travail qui sont potentiellement problématiques.

Plusieurs facteurs peuvent influencer le niveau vibratoire des équipements. L'état de l'équipement, les conditions de terrain et l'opérateur figurent parmi les paramètres ayant la plus grande influence sur les résultats. Dans la littérature, il n'est par conséquent pas rare de rencontrer des valeurs vibratoires très différentes pour le même type d'équipement.

Il faut donc utiliser les résultats présentés dans cette section avec prudence. Il est fortement recommandé de mesurer l'exposition vibratoire des travailleurs dans les cas jugés potentiellement problématiques.

On trouve peu de données dans la littérature sur les niveaux vibratoires des équipements utilisés dans les mines souterraines. C'est pourquoi, une campagne de mesure a été réalisée dans les mines membres de SOREDEM afin d'obtenir ou de confirmer les niveaux vibratoires de certains équipements miniers. Les tableaux 5 et 6 présentent un sommaire des niveaux vibratoires et sonores enregistrés lors de la campagne de mesure dans les mines membres de SOREDEM ainsi que la durée d'exposition requise pour atteindre les valeurs d'action (Taction) et les valeurs limites (Tlimite) telles que définies par la directive européenne.

Les résultats détaillés sont présentés dans un document disponible par l'entremise de SOREDEM.

Les niveaux vibratoires d'équipements miniers de surface et souterrains, tels que retrouvés dans la littérature, sont présentés à l'annexe 5.

VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS (mesures dans les mines membres de SOREDEM)									
Tâche	Exposition journalière A(8) ¹⁰				Dose de vibration VDV				Bruit
	Aw moyen (m/s ²)	Écart type	Taction (h) ¹¹	Tlimite (h)	VDV8 moyen	Écart type	Taction (h)	Tlimite (h)	dBA
Déplacement véhicule utilitaire (camion à flèche, à ciment), pneus pleins, siège pneumatique	1.40	0.21	1.0	5.4	29.6	4.7	0.1	2.0	89
Déplacement Landcruiser (moyenne cabines avant et arrière)	0.75	0.09	3.6	>8	15.0	2.2	1.1	>8	-
Déplacement locomotive 5 tonnes (moyenne siège et plancher)	0.91	0.16	2.4	>8	19.6	3.3	0.4	>8	91
Déplacement MineCat 100PC (conducteur)	1.60	0.02	0.8	4.1	34.7	0.5	0.0	1.1	103
Déplacement RTV	0.72	0.03	3.9	>8	13.8	0.8	1.5	>8	-
Déplacement tracteur Kubota 5740 (conducteur)	1.01	0.05	2.0	>8	29.0	8.7	0.1	2.2	101
Forage avec Jumbo de forage	0.11	0.06	>8	>8	5.6	5.9	>8	>8	76-105
Forage et boulonnage avec boulonneuse	0.16	0.13	>8	>8	4.8	6.0	>8	>8	105
Forage et boulonnage sur Alimak	0.59	0.21	5.7	>8	11.8	3.4	2.8	>8	-
Forage et boulonnage sur camion ciseaux	0.23	0.20	>8	>8	6.3	7.3	>8	>8	-
Forage et boulonnage sur échaffaudage d'aluminium (section qui supporte la foreuse exclue)	1.35	0.14	1.1	5.8	24.8	7.8	0.1	4.1	122
Marinage avec chargeuse navette	1.08	0.26	1.7	>8	22.3	5.1	0.2	6.3	83-105
Marinage avec rétrocaveuse sur rail *	3.42	0.56	0.2	0.9	97.2	21.9	0.0	0.0	117
Marinage avec rétrocaveuse sur roues *	2.62	0.18	0.3	1.5	65.8	7.4	0.0	0.1	115
Niveleuse	0.73	0.11	3.8	>8	15.1	3.3	1.0	>8	101

Légende : moins de 1 heure entre 1 et 4 heures entre 4 et 8 heures plus de 8 heures

*La posture debout peut permettre, dans une certaine mesure, d'atténuer l'effet des vibrations. Il n'en demeure pas moins que ces niveaux d'exposition élevés sont préoccupants

Tableau 5 : Niveaux de vibration globale du corps mesurés lors de la campagne de mesure dans les mines membres de SOREDEM

¹⁰ Pour explication exposition journalière vs dose de vibration, voir page 9

¹¹ Taction et Tlimite selon la directive européenne 2002/44/EC, voir page 12

VIBRATIONS MAIN-BRAS (mesures dans les mines membres de SOREDEM)					
Tâche	Exposition journalière A8				Bruit
	Aw moyen (m/s ²)	Écart type	Taction ¹² (h)	Tlimite (h)	dBA
Déplacement MineCat 100PC (volant)	2.58	0.04	7.5	>8	103
Déplacement RTV (volant)	3.05	0.40	5.4	>8	-
Déplacement tracteur Kubota 5740 (volant)	2.63	0.25	7.2	>8	101
Forage avec Jumbo de forage	1.83	0.19	>8	>8	76-105
Foreuse sur béquille avec poignée anti-vibratile (banc essais)	9.19	0.48	0.6	2.4	117
Foreuse sur béquille avec poignée conventionnelle (banc essais)	21.84	0.50	0.1	0.4	117
Niveleuse (volant)	2.27	0.45	>8	>8	101
Rétrocaveuse sur roues (poignée)	2.08	0.03	>8	>8	115

Légende :	moins de 1 heure	entre 1 et 4 heures
	entre 4 et 8 heures	plus de 8 heures

Tableau 6 : Niveaux de vibration main-bras mesurés

Des graphiques d'exposition journalière ont été générés pour les vibrations globales du corps produites par chaque catégorie d'équipement. Sur ces graphiques, il est possible de visualiser l'étendue de la répartition des mesures ainsi que la zone de risque en fonction du nombre d'heures d'exposition. Un commentaire est ajouté pour chaque catégorie d'équipement.

Déplacement véhicule utilitaire (camion à flèche, à ciment), pneus pleins, siège pneumatique

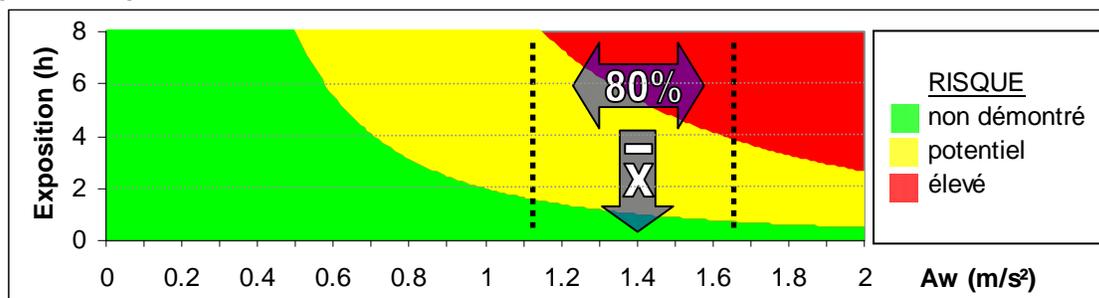


Figure 8 : Exposition journalière : Déplacement véhicule utilitaire

Un camion à flèche et un camion à ciment, tout deux équipés de pneus pleins et d'un siège pneumatique ont été évalués. Les niveaux mesurés étaient similaires. Dans les deux cas, le siège à air a contribué à réduire le niveau vibratoire de 10 à 25 pourcent.

¹² Taction et Tlimite selon la directive européenne 2002/44/EC, voir page 12

Déplacement Landcruiser (moyenne cabines avant et arrière)

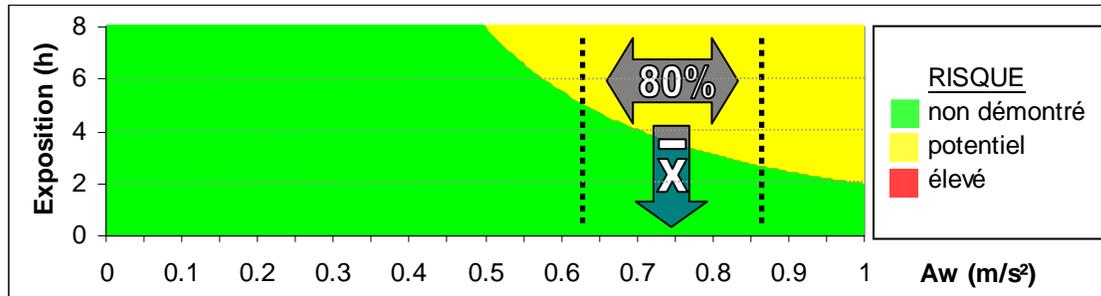


Figure 9 : Exposition journalière : Déplacement LandCruiser

Niveau vibratoire parmi les plus bas pour un véhicule de transport de personnel. La valeur d'action est atteinte après environ 2.5 à 5 heures d'exposition quotidienne.

Déplacement locomotive 5 tonnes (moyenne siège et plancher)

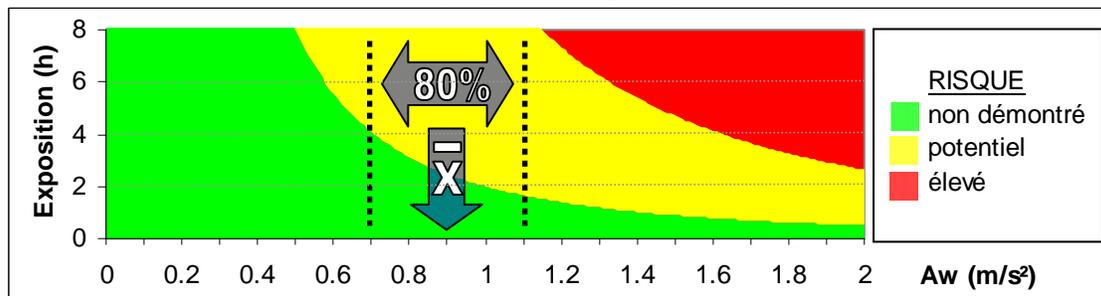


Figure 10 : Exposition journalière : Déplacement locomotive 5 tonnes

Niveaux comparables avec ou sans wagons. La valeur d'action est atteinte entre 1.75 et 4 heures. Dans tous les cas, on demeure sous la valeur limite.

Déplacement MineCat 100PC (conducteur)

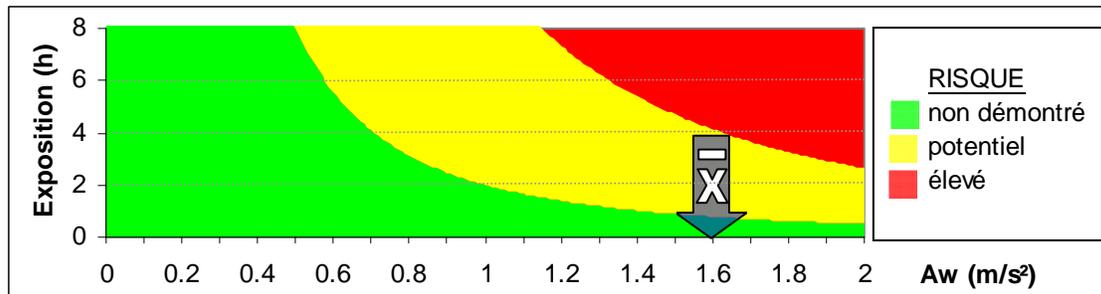


Figure 11 : Exposition journalière : Déplacement MineCat 100PC

Niveau enregistré à la position du conducteur. Les niveaux enregistrés aux places arrière sont encore plus élevés ($1.84 m/s^2$). La valeur d'action est atteinte en moins d'une heure. La valeur limite est atteinte après environ 5 heures d'exposition.

Déplacement en RTV

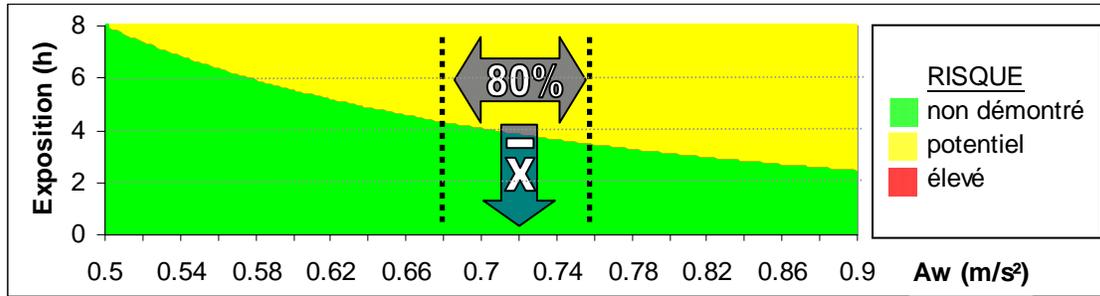


Figure 12 : Exposition journalière : Déplacement RTV

Les niveaux enregistrés sont parmi les plus bas pour un véhicule de transport de personnel. La valeur d'action est atteinte après environ 4 heures d'exposition quotidienne.

Déplacement tracteur Kubota 5740 (conducteur)

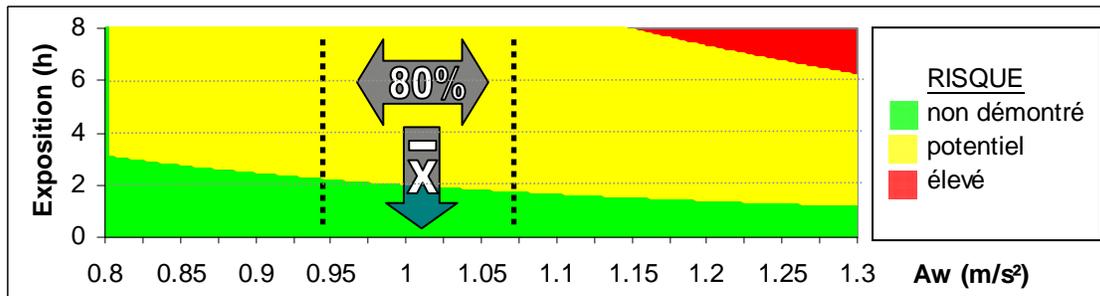


Figure 13 : Exposition journalière : Déplacement tracteur Kubota 5740

Niveau de vibration intermédiaire comparativement aux autres véhicules de transport de personnel. La valeur d'action est atteinte après environ 2 heures. On demeure toutefois sous la valeur limite pour un quart de travail.

Forage avec Jumbo de forage

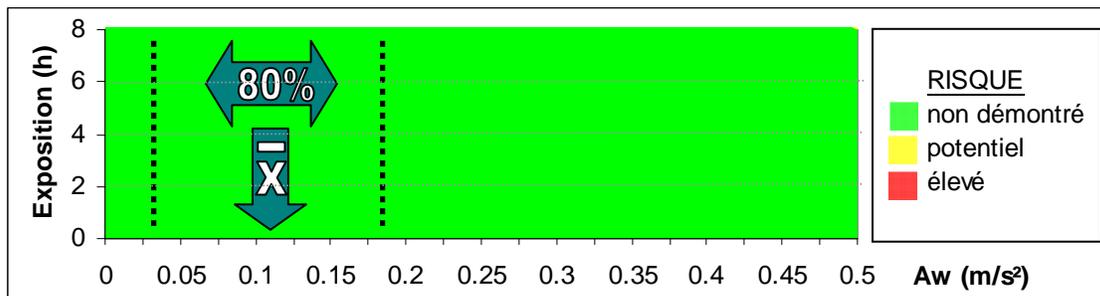


Figure 14 : Exposition journalière : Forage avec Jumbo de forage

Deux jumbos de forage ont été évalués, un avec cabine isolée des vibrations et un jumbo conventionnel. Dans les deux cas, les niveaux vibratoires enregistrés ne représentent pas un risque pour la santé des opérateurs.

Forage et boulonnage avec boulonneuse

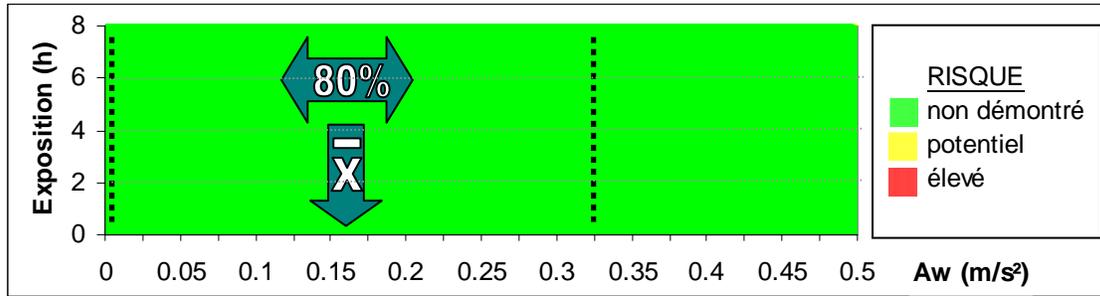


Figure 15 : Exposition journalière : Forage et boulonnage avec boulonneuse

Tâche non problématique au niveau des vibrations globales du corps pour les deux équipements évalués.

Forage et boulonnage sur Alimak

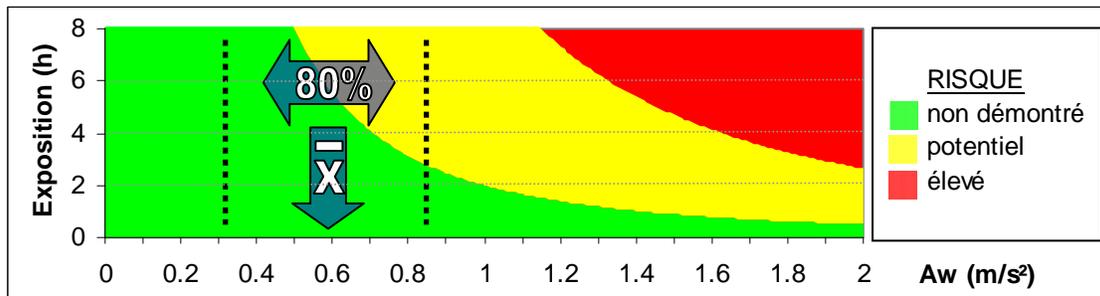


Figure 16 : Exposition journalière : Forage et boulonnage sur Alimak

Un seul Alimak a été évalué. Les niveaux recueillis ne sont pas problématiques pour un quart de travail typique.

Forage et boulonnage sur camion ciseaux

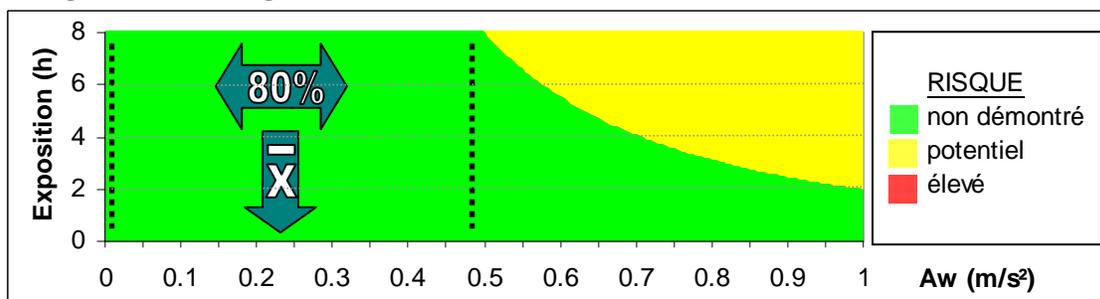


Figure 17 : Exposition journalière : Forage et boulonnage sur camion ciseaux

Tâche non problématique au niveau des vibrations globales du corps pour les deux équipements évalués.

**Forage et boulonnage sur échafaudage d'aluminium
(section qui porte la foreuse exclue)**

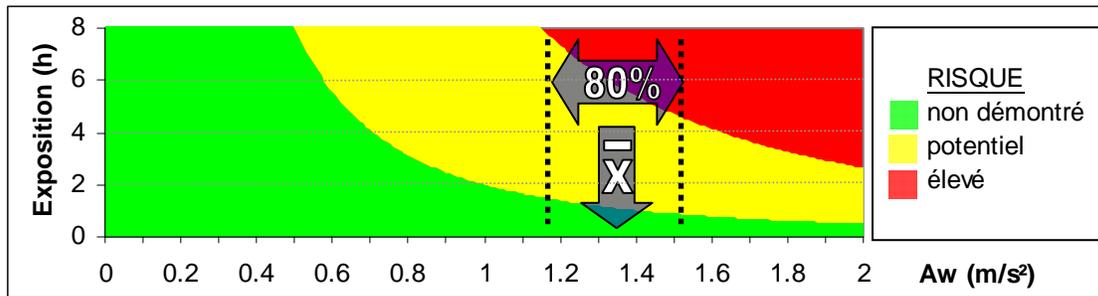


Figure 18 : Exposition journalière : Forage et boulonnage sur échafaudage d'aluminium

Les mesures ont été effectuées sur la section adjacente à la section où la béquille est appuyée. La valeur d'action est atteinte après environ 1 heure d'exposition.

Marinage avec chargeuse navette

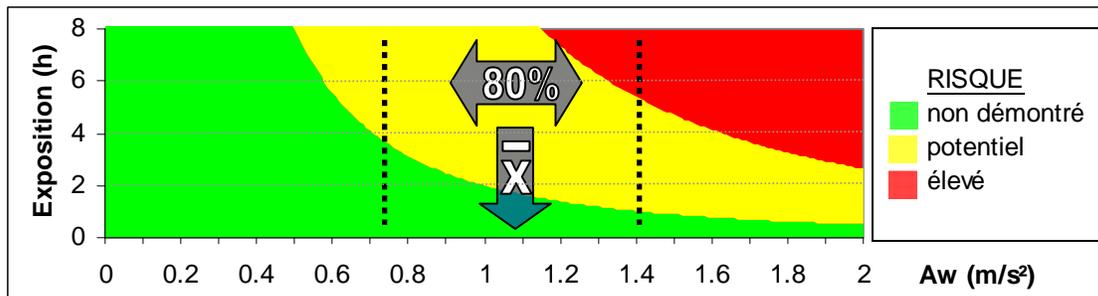


Figure 19 : Exposition journalière : Marinage avec chargeuse navette

Six chargeuses de capacité variant entre 3.5 et 15 verges cubes ont été évaluées. Aucune tendance ne se dégage en fonction de la capacité de la chargeuse. Les niveaux enregistrés varient grandement en fonction de la condition de la galerie et du minerai à excaver.

Marinage avec rétrocaveuse sur rail

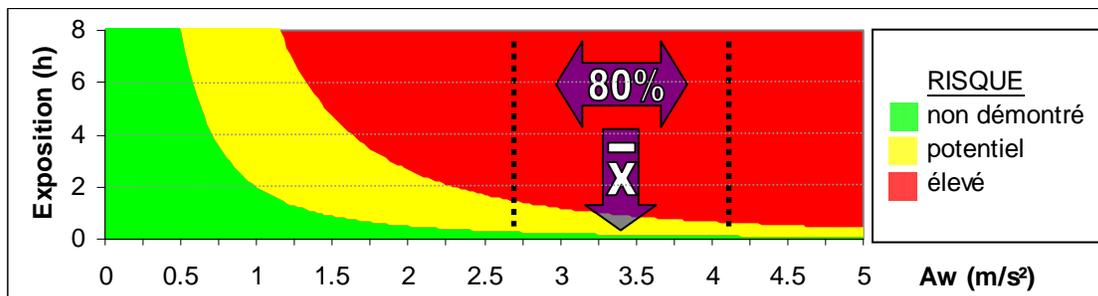


Figure 20 : Exposition journalière : Marinage avec rétrocaveuse sur rail

Niveau vibratoire le plus élevé observé lors de la campagne de mesure. La valeur limite basée sur l'exposition quotidienne A(8) est atteinte après environ 1 heure. Il serait avisé de limiter la durée d'exposition des travailleurs utilisant cet équipement.

Note sur l'utilisation des foreuses pneumatiques

Le niveau vibratoire des foreuses pneumatiques est extrêmement élevé. Un travailleur qui est exposé aux vibrations de la poignée atteint la valeur d'action après une période de seulement 6 minutes et la valeur limite après une exposition de 25 minutes. Une poignée anti-vibratile permettant de réduire le niveau vibratoire d'environ 60% a été développée. Des travaux visant à améliorer la fiabilité et la durée de vie de la poignée sont présentement en cours. Si cette poignée est commercialisée avec succès, elle réduira le niveau vibratoire à environ 9.2 m/s² ce qui permettra à un travailleur d'être exposé aux vibrations mains-bras produites par la poignée pendant plus de deux heures avant d'atteindre la zone de risque élevé. La figure 24 présente le graphique d'exposition quotidienne aux vibrations mains-bras pour les foreuses pneumatiques équipées de la poignée conventionnelle et de la poignée anti-vibratile.

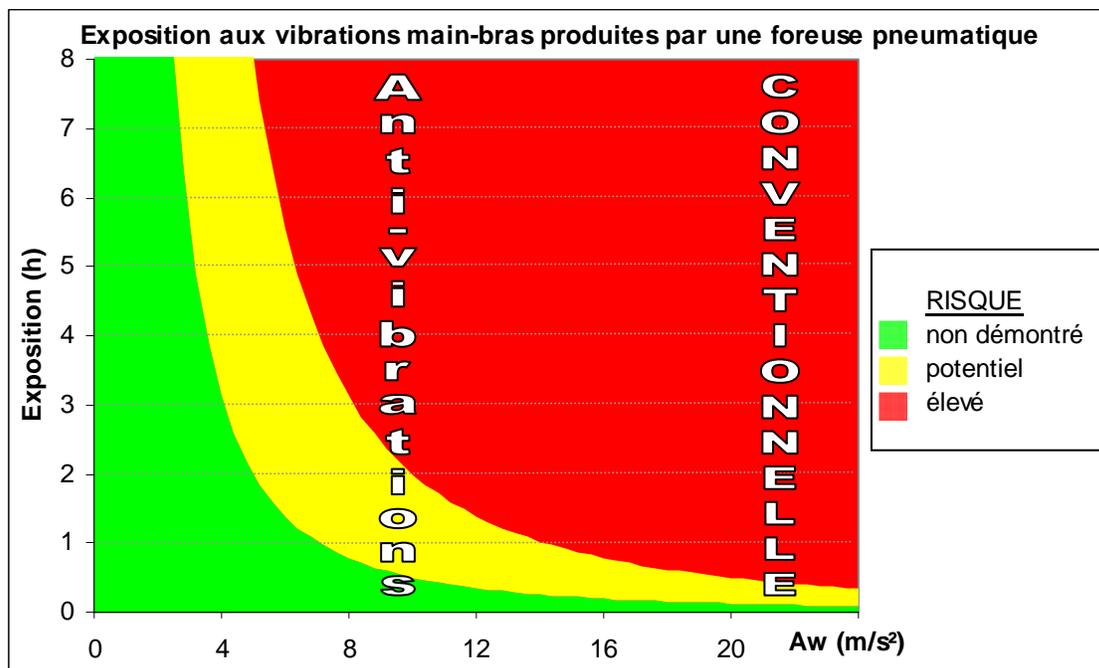


Figure 23 : Exposition journalière : Foreuse pneumatique

Note sur les sièges à suspension

Les sièges à suspension mal adaptés peuvent augmenter significativement le niveau vibratoire et, par conséquent, le risque pour la santé de l'opérateur. Il est important que le siège soit adapté au poids de l'opérateur et qu'il n'entre pas en butée lors de l'opération normale du véhicule. Sur les six chargeuses navettes évaluées, les sièges de 4 chargeuses amplifiaient les niveaux vibratoires.

Les sièges ayant atténué les vibrations étaient des sièges à suspension pneumatique.

Chargeuse	Plancher		Siège		Atténuation siège	
	A(8)	VDV8	A(8)	VDV8	A(8)	VDV8
1	1.17	22.06	1.45	28.00	-24%	-27%
2	0.74	18.53	0.83	18.44	-12%	0%
3	0.61	17.14	0.86	22.17	-41%	-29%
4	0.70	15.46	1.00	19.75	-43%	-28%
5	1.50	35.21	1.38	26.34	8%	25%
6	1.26	33.49	0.98	18.88	22%	44%

Tableau 7 : Atténuation des sièges de chargeuses navettes

SECTION 4 : Références et outils

DIRECTIVE 2002/44/CE

Description du document : texte de la réglementation européenne relative aux exigences minimales d'hygiène et sécurité pour l'exposition des employés aux risques résultant des vibrations. (2002, pdf, 7 pages)

Mots clé Google : 2002/44/CE fr pdf



Guide des bonnes pratiques en matière de vibrations globales du corps

Description : Guide des bonnes pratiques, produit par l'INRS, en vue de l'application de la Directive européenne 2002/44/CE. (2006, pdf, 65 pages)

Mots clé Google : INRS guide vibration corps



Guide des bonnes pratiques en matière de vibrations main-bras

Description : Guide des bonnes pratiques, produit par l'INRS, en vue de l'application de la Directive européenne 2002/44/CE. (2006, pdf, 62 pages)

Mots clé Google : INRS guide vibration main-bras



Vibration et mal de dos

Description : Portion du site web de l'INRS consacrée aux vibrations et au mal de dos en milieu de travail.

<http://www.inrs.fr/dossiers/vibrationsdos.html>



Réponses SST- Agents physiques

Description : Le centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail comporte une section nommée *Réponses SST* qui répond à une foule de questions sur la santé et la sécurité au travail. La section Agents physiques répond à de nombreuses questions portant sur les vibrations et le bruit.

http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/



HSE-Vibration at Work

Description : Le HSE, un organisme gouvernemental du Royaume-Uni consacre une section entière de son site web aux vibrations en milieu de travail. On y trouve beaucoup d'information ainsi que deux calculateurs Excel permettant de calculer l'exposition quotidienne aux vibrations globales du corps et aux vibrations main-bras. Le site est disponible en anglais uniquement.

<http://www.hse.gov.uk/vibration/>



Whole-body vibration on construction mining and quarrying machines

Description : Rapport détaillé portant sur l'évaluation des vibrations des vibrations globales du corps transmises aux opérateurs d'équipements typiques des carrières et des mines à ciel ouvert.

<http://www.hse.gov.uk/resserch/rrpdf/rr400.pdf>



Annexe 1 : Exemple de calcul d'exposition journalière aux vibrations main-bras - A(8)

Mise en situation :

On cherche à déterminer si un travailleur est soumis à une exposition journalière excessive aux vibrations main-bras. Au cours d'un quart de travail typique, le travailleur est exposé aux vibrations main-bras lors de la réalisation des deux tâches suivantes :

Tâche	T (h)	a_{hvx}	a_{hvy}	a_{hvx}	a_{hv}
A	2	2	3	4	5.4
B	0.5	5	6	12	14.3

Dans la littérature, on retrouve directement les valeurs de a_{hv} . Si l'on procède à la mesure dans les trois axes, il faut combiner les valeurs de la façon suivante pour obtenir a_{hv} :

$$a_{hv} = \sqrt{(a_{hvx})^2 + (a_{hvy})^2 + (a_{hvx})^2} \quad \text{tâche A : } a_{hv} = \sqrt{(2)^2 + (3)^2 + (4)^2} = 5.4$$

$$\text{tâche B : } a_{hv} = \sqrt{(5)^2 + (6)^2 + (12)^2} = 14.3$$

L'exposition journalière associée à chaque tâche est calculée de la façon suivante :

$$A_i(8) = a_{hv} \times \sqrt{\frac{T}{8}} \quad \text{où T : durée de l'exposition exprimée en heures}$$

$$\text{Donc } A_A(8) = 5.4 \times \sqrt{\frac{2}{8}} = 2.7 \quad \text{et} \quad A_B(8) = 14.3 \times \sqrt{\frac{0.5}{8}} = 3.6$$

L'exposition journalière des deux tâches combinées est calculée de la façon suivante :

$$A(8) = \sqrt{(A_1(8))^2 + (A_2(8))^2 + (A_3(8))^2 + \dots} \quad \text{donc } A(8) = \sqrt{2.7^2 + 3.6^2} = 4.5$$

La valeur d'exposition journalière **A(8)** de 4.5 dépasse la valeur d'action de 2.5 mais est sous la valeur limite de 5 prescrite par la directive européenne. Il est par conséquent recommandé de prendre des actions visant à limiter l'exposition du travailleur et à surveiller son état de santé, car il existe des risques potentiels pour sa santé à long terme.

Si l'on veut déterminer la durée de la tâche B requise pour atteindre la valeur d'action de 2.5, on doit utiliser la formule suivante :

$$T = 8 \times \frac{A(8)_{cible}^2}{a_{hv}^2} \quad \text{donc } T = 8 \times \frac{(2.5)^2}{(14.3)^2} = 0.25 \text{ heure} = 15 \text{ minutes}$$

Annexe 2 : Exemple de calcul d'exposition journalière aux vibrations globales du corps - A(8)

Mise en situation : On cherche à déterminer si un travailleur est soumis à une exposition journalière excessive aux vibrations globales du corps. Au cours d'un quart de travail typique, le travailleur est aux commandes de deux équipements lui transmettant des vibrations par le siège :

Tâche	Durée de l'exposition T (h)	a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}
A	3	.20	.45	.60
B	1	.55	.30	.90

La première étape de l'analyse consiste à calculer l'exposition journalière pour chacun des axes de chacune des tâches en utilisant les formules suivantes (attention au facteur 1.4 pour les axes x et y):

$$A_{ix}(8) = 1.4 \times a_{wx} \times \sqrt{\frac{T}{8}} \quad A_{iy}(8) = 1.4 \times a_{wy} \times \sqrt{\frac{T}{8}} \quad A_{iz}(8) = a_{wz} \times \sqrt{\frac{T}{8}}$$

Tâche	$A_{ix}(8)$	$A_{iy}(8)$	$A_{iz}(8)$
A	.17	.39	.37
B	.27	.15	.32

Il faut ensuite calculer l'exposition totale pour chaque axe en utilisant la formule suivante :

$$A_x(8) = \sqrt{(A_{1x}(8))^2 + (A_{2x}(8))^2 + (A_{3x}(8))^2 + \dots} = \sqrt{.17^2 + .27^2} = 0.32$$

$$A_y(8) = \sqrt{(A_{1y}(8))^2 + (A_{2y}(8))^2 + (A_{3y}(8))^2 + \dots} = \sqrt{.39^2 + .15^2} = 0.42$$

$$A_z(8) = \sqrt{(A_{1z}(8))^2 + (A_{2z}(8))^2 + (A_{3z}(8))^2 + \dots} = \sqrt{.37^2 + .32^2} = 0.49$$

L'exposition journalière correspond à la plus grande des valeurs obtenues, soit 0.49. Cette valeur est sous la valeur d'action (0.5) donc aucun risque significatif n'a été clairement démontré.

Annexe 3 : Exemple de calcul de la dose de vibrations globales du corps - VDV

Mise en situation : On suspecte que le travailleur de la mise en situation présentée à l'annexe 2 soit soumis à des impacts dus à la suspension du siège qui entre en butée fréquemment. On décide donc de faire le calcul de la dose de vibrations globales du corps – **VDV** pour ce cas.

Note : les dosimètres vibratoires donnent les valeurs de **VDV** et de **A8**, il n'est donc pas nécessaire de refaire des mesures.

Tâche	Durée de la mesure T_{mes} (h)	Durée de l'exposition T_{exp} (h)	$VDV_{i,x}$	$VDV_{i,y}$	$VDV_{i,z}$
A	0.75	3	2.42	5.03	11.93
B	.5	1	6.52	3.19	9.67

La première étape consiste à corriger la VDV obtenue par l'appareil en fonction de la durée de l'exposition du travailleur au cours d'un quart de travail en utilisant les formules suivantes (attention au facteur 1.4 pour les axes x et y) :

$$VDV_{exp,i,x} = 1.4 \times VDV_{i,x} \left(\frac{T_{exp}}{T_{mes}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$VDV_{exp,i,y} = 1.4 \times VDV_{i,y} \left(\frac{T_{exp}}{T_{mes}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$VDV_{exp,i,z} = VDV_{i,z} \left(\frac{T_{exp}}{T_{mes}} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Tâche	$VDV_{exp,i,x}$	$VDV_{exp,i,y}$	$VDV_{exp,i,z}$
A	4.80	9.95	16.87
B	10.86	5.30	11.50

Il faut ensuite calculer la VDV pour chaque axe en combinant les VDV partielles de chaque tâche en utilisant la formule suivante :

$$VDV_{axe} = \left(VDV_{exp,1,axe}^4 + VDV_{exp,2,axe}^4 + VDV_{exp,3,axe}^4 + \dots \right)^{\frac{1}{4}}$$

donc $VDV_x = \left(4.80^4 + 10.86^4 \right)^{\frac{1}{4}} = 10.96$

$$VDV_y = \left(9.95^4 + 5.30^4 \right)^{\frac{1}{4}} = 10.15$$

$$VDV_z = \left(16.87^4 + 11.50^4 \right)^{\frac{1}{4}} = 17.72$$

La dose vibratoire pour le travailleur est la dose maximale obtenue pour les différents axes, soit 17.72. Cette valeur se situe entre la valeur d'action (9.1) et la valeur limite (21) pour la **VDV**. Il est par conséquent recommandé de prendre des actions visant à limiter l'exposition du travailleur et à surveiller son état de santé, car il existe des risques potentiels pour sa santé à long terme.

Annexe 4 : Exemple de calcul de l'exposition sonore pour plusieurs tâches

Mise en situation : On désire déterminer si l'exposition d'un travailleur au bruit excède les limites prescrites par le règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec et si la dose d'exposition peut entraîner une perte d'audition à long terme. Des relevés effectués avec un sonomètre ont permis de déterminer les niveaux sonores à chaque poste de travail occupé par le travailleur au cours d'un quart de travail typique.

Tâche	Niveau sonore dBA	Exposition quotidienne en heures	Protection utilisée
A	105	2	coquilles – NRR 27
B	116	1	double protection coquilles-NRR27 et bouchons mousse-NRR29
C	86	3	pas de protection

La première étape consiste à déterminer le niveau de bruit auquel le travailleur est exposé lors de la réalisation de chaque tâche. On note ce niveau de bruit **L**.

$$NRR_{\text{réduit}}(\text{coquilles}) = NRR \times 0.75 = 27 \times 0.75 = 20.25$$

$$NRR_{\text{réduit}}(\text{bouchons mousse}) = NRR \times 0.50 = 29 \times 0.50 = 14.5$$

$$NRR_{\text{réduit}}(\text{bouchons et coquille}) = \max(20.25, 14.5) + 5 = 25.25$$

$$L \text{ (Niveau de bruit auquel le travailleur est exposé)} = \text{dBA} - (NRR_{\text{réduit}} - 7)$$

$$\text{donc } L_A = 105 - (20.25 - 7) = 91.75 \text{ dBA}$$

$$L_B = 116 - (25.25 - 7) = 97.75 \text{ dBA}$$

$$L_C = 86 \text{ dBA}$$

La dose légale d'exposition associée à chaque tâche, est calculée de la façon suivante :

$$DOSE_{\text{légale}}(\%) = \frac{T \times 10^{(0.06 \times L)}}{20095} \text{ (formule simplifiée pour } C_{\text{eq}} = 5 \text{ et } L_{8_{\text{max}}} = 90, \text{ Québec)}$$

$$DOSE_{\text{légaleA}}(\%) = \frac{T_A \times 10^{(0.06 \times L_A)}}{20095} = \frac{2 \times 10^{(0.06 \times 91.75)}}{20095} = 31.8$$

$$DOSE_{\text{légal}B}(\%) = \frac{T_B \times 10^{(0.06 \times L_B)}}{20095} = \frac{1 \times 10^{(0.06 \times 97.75)}}{20095} = 36.4$$

$$DOSE_{\text{légal}C}(\%) = \frac{T_C \times 10^{(0.06 \times L_C)}}{20095} = \frac{3 \times 10^{(0.06 \times 86)}}{20095} = 21.6$$

La dose d'exposition sonore totale pour la journée du travailleur est égale à la somme des doses associées à chaque tâche.

$$DOSE(\%) = DOSE_A + DOSE_B + DOSE_C = 31.8 + 36.4 + 21.6 = 90\%$$

Le travailleur est donc exposé à 90% de la dose d'exposition sonore maximale prescrite par l'actuelle version de la loi sur la santé et la sécurité du travail du Québec.

Si l'on veut déterminer si l'exposition sonore peut avoir un effet à long terme sur la santé auditive du travailleur, il faut répéter le calcul de la dose d'exposition sonore en utilisant $C_{eq} = 3$ et $L_{8max} = 85$:

$$DOSE_{\text{santé}}(\%) = \frac{T \times 10^{(0.1 \times L)}}{25298221} \quad (\text{si } C_{eq} = 3 \text{ et } L_{8max} = 85)$$

$$DOSE_{\text{santé}A}(\%) = \frac{T_A \times 10^{(0.1 \times L_A)}}{25298221} = \frac{2 \times 10^{(0.1 \times 91.75)}}{25298221} = 118$$

$$DOSE_{\text{santé}B}(\%) = \frac{T_B \times 10^{(0.1 \times L_B)}}{25298221} = \frac{1 \times 10^{(0.1 \times 97.75)}}{25298221} = 235$$

$$DOSE_{\text{santé}C}(\%) = \frac{T_C \times 10^{(0.1 \times L_C)}}{25298221} = \frac{3 \times 10^{(0.1 \times 86)}}{25298221} = 47$$

$$DOSE(\%) = DOSE_A + DOSE_B + DOSE_C = 118 + 235 + 47 = 400\%$$

Puisque la dose calculée excède 100%, nous pouvons conclure qu'elle est susceptible d'avoir un effet à long terme sur la santé auditive du travailleur.

Annexe 5 : Niveaux vibratoires provenant de la littérature

VIBRATIONS GLOBALES DU CORPS PROVENANT DE LA LITTÉRATURE					
Sources			Légende		
1-Whole-body vibration on construction, mining and quarrying machines, HSE, research report 400, 2005			 moins de 1 heure  entre 1 et 4 heures  entre 4 et 8 heures  plus de 8 heures		
2-T. Eger, A. Salmoni, A. Cann, R. Jack, Whole-body vibration exposure experienced by mining equipment operators. Occupational Ergonomics, 6:121-127, 2006.					
3- A. Salmoni, T. Eger, P.-É. Boileau, Evaluation of whole-body vibration, seat design and performance, and sitting posture in large mobile equipment. Final Report, WSIB Grant #03-049, 2006.					
4-J.L. van Niekerk, P.S. Heyns, N. Heyns, J.R. Hassall, The measurement of vibration characteristics of mining equipment and impact percussive machines and tools. Final report, Safety in Mines Research Advisory Committee (South Africa), Project number GEN 503, 1999.					
5-J. Village, J.B. Morrison, D.K.N. Leong, Whole-body vibration in underground load-haul-dump vehicles. Ergonomics, 32(10):1167-1183, 1989					
6-guide normalisé ISO TR 25398:2006					
Description	Aw moyen (m/s ²)	Taction ¹³ (h)	Tlimite (h)	Référence	
Bouteur	1.96	0.5	2.8	2	
Bouteur	0.9	2.5	>8	6	
Bouteur	1.45	1.0	5.0	1	
Bouteur (A)	2	0.5	2.6	4	
Bouteur (B)	0.78	3.3	>8	4	
Camion articulé	0.7	4.1	>8	4	
Camion ciseaux	0.72	3.9	>8	2	
Chargeur compact rigide	0.58	5.9	>8	1	
Chargeuse	0.61	5.4	>8	4	
Chargeuse sur pneus	0.9	2.5	>8	6	
Chargeuse Cat 950F	0.59	5.7	>8	1	
Chargeuse Cat 970F (chargement wagon)	0.96	2.2	>8	1	
Chargeuse Cat 970F (travail général)	0.7	4.1	>8	1	
Chargeuse navette	0.54	6.9	>8	4	
Chargeuse navette (grande)	1.04	1.8	>8	3	
Chargeuse navette 3.5 vg ³	1.4	1.0	5.4	5	
Chargeuse navette 3.5 vg ³ (A)	1.12	1.6	>8	2	
Chargeuse navette 3.5 vg ³ (B)	2.01	0.5	2.6	2	
Chargeuse navette 5 vg ³	0.69	4.2	>8	5	
Chargeuse navette 6 vg ³	1.34	1.1	5.9	5	
Chargeuse navette 7.0 vg ³ (B)	0.67	4.5	>8	2	
Chargeuse navette 8 vg ³	0.94	2.3	>8	5	

¹³ Méthode exposition quotidienne A(8) telle que définie par la directive européenne 2002/44/EC

Chargeuse navette petite	1.62	0.8	4.0	3
Chargeuse-pelleteuse	0.8	3.1	>8	6
Chargeuse-pelleteuse (chargement)	0.71	4.0	>8	1
Chargeuse-pelleteuse (excavation)	0.29	>8	>8	1
Foreuse Jumbo	0.18	>8	>8	2
Locomotive (assis)	0.58	5.9	>8	2
Locomotive (debout)	0.76	3.5	>8	2
Locomotive souterraine diesel	0.24	>8	>8	4
Niveleuse	0.8	3.1	>8	6
Niveleuse	0.79	3.2	>8	2
Pelle <25t	0.8	3.1	>8	6
Pelle >25t	0.5	8.0	>8	6
Pelle-butte (chargement camion)	0.74	3.7	>8	1
Pelle-butte (déplacement)	1.04	1.8	>8	1
Plateforme de boulonnage	0.45	>8	>8	2
Rétrocaveuse sur rail	1.02	1.9	>8	2
Rétrocaveuse sur roues	2.29	0.4	2.0	2
Tomberau articulé 25 tonnes	0.92	2.4	>8	1
Tomberau rigide 80 tonnes	0.37	>8	>8	1
Tombereau articulé	0.9	2.5	>8	6
Tombereau rigide	0.9	2.5	>8	6
Tombereau souterrain 16 tonnes	1.2	1.4	7.3	2
Tombereau surface 150 tonnes (A)	0.28	>8	>8	2
Tombereau surface 150 tonnes (B)	0.37	>8	>8	2
Tracteur (transport de personnel)	1.09	1.7	>8	2

Tableau 1 : Niveaux de vibrations globales du corps provenant de la littérature

VIBRATIONS MAIN-BRAS PROVENANT DE LA LITTÉRATURE				
Sources			Légende	
1-Guide des bonnes pratiques en matière de vibrations mains-bras, INRS, 2006				moins de 1 heure
2-J.L. van Niekerk, P.S. Heyns, N. Heyns, J.R. Hassall, The measurement of vibration characteristics of mining equipment and impact percussive machines and tools. Final report, Safety in Mines Research Advisory Committee (South Africa), Project number GEN 503, 1999.				entre 1 et 4 heures
3-Côté Charles, Rapport de recherche sur les aspects ergonomiques des véhicules sous terre, mai 2007				entre 4 et 8 heures
				plus de 8 heures
Description	Aw moyen (m/s ²)	Taction ¹⁴ (h)	Tlimite (h)	Source
Aiguiseur de forêts (A)	4.5	2.5	>8	2
Aiguiseur de forêts (B)	1.5	>8	>8	2
Brise béton	14	0.3	1.0	1
Brise béton (A)	21.7	0.1	0.4	2
Brise béton (B)	24.7	0.1	0.3	2
Brise béton (C)	28.7	0.1	0.2	2
Brise béton (D)	18.1	0.2	0.6	2
Brise béton (E)	23.6	0.1	0.4	2
Brise béton (F)	19.3	0.1	0.5	2
Camion à mat (volant)	0.77	>8	>8	3
Camion tombereau (A)	0.76	>8	>8	3
Camion tombereau (B)	0.87	>8	>8	3
Chargeuse navette (A)	0.36	>8	>8	3
Chargeuse navette (B)	0.35	>8	>8	3
Chargeuse navette (C)	0.3	>8	>8	3
Chariot élévateur	0.74	>8	>8	3
Clef à choc pneumatique	7.5	0.9	3.6	1
Clef à choc pneumatique	11.7	0.4	1.5	2
Compacteur manuel	10.7	0.4	1.7	1
Compacteur manuel (A)	17.1	0.2	0.7	2
Compacteur manuel (B)	10.0	0.5	2.0	2
Débroussailleur	3.8	3.5	>8	1
Jeep Toyota	0.66	>8	>8	3
Meuleuse	5.5	1.7	6.6	1
Meuleuse pneumatique	1.8	>8	>8	2
Perceuse à percussion	12.4	0.3	1.3	1
Scie à chaîne	6	1.4	5.6	1
Tracteur Agco Allis (A) (volant)	0.99	>8	>8	3
Tracteur Agco Allis (B) (volant)	0.76	>8	>8	3
Tracteur Kubota (volant)	0.51	>8	>8	3

Tableau 2 : niveaux de vibration main-bras provenant de la littérature

¹⁴ Méthode exposition quotidienne A(8) telle que définie par la directive européenne 2002/44/EC