

2011

Évaluation des vibrations et du bruit des équipements miniers

Pierre Marcotte

IRSST, pierre.marcotte@irsst.qc.ca

Sylvain Ouellette

CANMET

Jérôme Boutin

IRSST

Gilles LeBlanc

CANMET

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

Citation recommandée

Marcotte, P., Ouellette, S., Boutin, J. et LeBlanc, G. (2011). *Évaluation des vibrations et du bruit des équipements miniers* (Rapport n° R-682). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

É

Bruit et vibrations

Études et recherches

RAPPORT R-682



Évaluation des vibrations et du bruit des équipements miniers

*Pierre Marcotte
Sylvain Ouellette
Jérôme Boutin
Gilles Leblanc*





Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

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 laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour.

De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2011
ISBN : 978-2-89631-535-2 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
février 2011



Bruit et vibrations

Études et recherches

■ RAPPORT R-682

Évaluation des vibrations et du bruit des équipements miniers

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Pierre Marcotte¹, Sylvain Ouellette², Jérôme Boutin³, Gilles Leblanc²

¹Service de la recherche, IRSST

²CANMET

³Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

SOMMAIRE

Ce projet visait à identifier les différentes sources vibratoires et sonores parmi une gamme d'équipements miniers pouvant potentiellement avoir un effet néfaste sur la santé des travailleurs. Dans un premier temps, un questionnaire a été distribué à 12 mines souterraines afin de dresser un inventaire des équipements miniers souterrains. De ce nombre, 8 mines ont répondu. Un comité technique a ensuite établi une liste de catégories d'équipement à évaluer en utilisant une grille de décision tenant compte de la sévérité des vibrations, du nombre de travailleurs exposés, de la durée moyenne de l'exposition ainsi que des données disponibles dans la littérature.

Par la suite, un système d'acquisition compact, robuste et de faible coût a été développé afin de permettre la réalisation d'une campagne de mesure dans des mines souterraines québécoises. Ce système est constitué de deux cartes USB NI-9234 de *National Instrument*, donnant un total de 8 canaux, d'une batterie externe Li-ion, d'un mini-ordinateur avec disque dur à mémoire flash pour plus de fiabilité, ainsi que d'une petite valise *Pelican*TM à l'épreuve de l'eau. Afin de satisfaire les exigences de la norme ISO 8041:2005, un filtre numérique FIR a été ajouté pour corriger le gain dans les basses fréquences. L'enregistrement du bruit a été réalisé à l'aide d'un microphone de type 2 relié à un enregistreur numérique.

Un total de 28 équipements miniers répartis dans 8 mines souterraines québécoises a été évalué. Plusieurs de ces équipements ont un niveau vibratoire suffisamment élevé pour poser un risque à long terme à la santé des travailleurs. Les tâches associées aux niveaux de vibration globale du corps les plus élevés sont le marinage avec rétrocaveuse (sur rail et sur roues), la conduite de certains véhicules dépourvus de suspension, le forage sur échafaudage d'aluminium et l'opération des chargeuses-navettes. La performance des sièges à suspension des différents équipements a aussi été évaluée. Plusieurs sièges, notamment ceux du Minecat 100PC et de plusieurs chargeuses-navettes, ont contribué à augmenter significativement l'exposition vibratoire de l'opérateur. L'exposition au bruit des opérateurs des différents équipements a aussi été documentée. Les équipements pneumatiques, tels que les rétrocaveuses et les foreuses pneumatiques, ont présenté les niveaux de bruit les plus élevés.

Finalement, sept recommandations spécifiques visant à réduire l'exposition des travailleurs miniers au bruit et aux vibrations, basées sur les résultats obtenus et les observations effectuées lors de la campagne de mesure, ont été formulées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les travailleurs ainsi que les compagnies minières ayant participé à la sélection des équipements miniers à évaluer ainsi qu'à la campagne de mesure.

Tous les remerciements s'adressent également à Lambert Laliberté, ingénieur aux Services et expertises de laboratoire de l'IRSST, pour sa précieuse aide dans l'étalonnage des équipements.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
1.1	Problématique de santé et sécurité du travail.....	1
1.2	Revue de la littérature	2
2.	OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	5
3.	MÉTHODE.....	7
3.1	Sélection des équipements	7
3.1.1	Liste préliminaire des équipements à évaluer	7
3.1.2	Questionnaire à l'intention des mines.....	8
3.1.3	Choix des équipements à évaluer et planification.....	8
3.2	Instrumentation et mesure.....	10
3.2.1	Système d'acquisition pour les vibrations	10
3.2.2	Accéléromètres	15
3.2.3	Mesure du bruit.....	15
3.3	Analyse des signaux et calcul des niveaux vibratoires	16
3.3.1	Valeur efficace pondérée, corps entier.....	17
3.3.2	Valeur de dose vibratoire, corps entier	18
3.3.3	Facteur SEAT.....	18
3.3.4	Valeur efficace pondérée, main-bras	19
3.3.5	Niveau de bruit pondéré.....	19
4.	RÉSULTATS.....	21
4.1	Synthèse des résultats	21
4.1.1	Vibrations globales du corps.....	21
4.1.2	Vibrations main-bras.....	28
4.1.3	Bruit	29
4.2	Fiches de mesure détaillées.....	31
5.	DISCUSSION.....	33
5.1	Vibrations globales du corps.....	33
5.2	Facteurs <i>SEAT</i> des sièges évalués.....	34
5.3	Vibrations main-bras.....	35
5.4	Bruit	36
6.	CONCLUSION.....	37
6.1	Sommaire des travaux.....	37
6.2	Recommandations.....	37
	BIBLIOGRAPHIE.....	39

ANNEXE A : QUESTIONNAIRE À L'INTENTION DES MINES	41
ANNEXE B : INVENTAIRE DES ÉQUIPEMENTS	47
ANNEXE C : PLANIFICATION PRÉLIMINAIRE DES ESSAIS	53
ANNEXE D : FICHES DE MESURES DÉTAILLÉES DES ÉQUIPEMENTS MINIERS	57
Explication des fiches détaillées	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Liste préliminaire des équipements à évaluer (catégorie – équipement)	7
Tableau 2. Grille de sélection des équipements	9
Tableau 3. Validation en bandes de tiers d’octave du mode « corps entier » du système d’acquisition avec des signaux électriques.	13
Tableau 4. Validation en bandes de tiers d’octave du mode « main-bras » du système d’acquisition avec des signaux électriques	14
Tableau 5. Accéléromètres utilisés pour les mesures vibratoires	15
Tableau 6. Sommaire des niveaux de vibrations par équipement pour les vibrations corps entier	22
Tableau 7. Facteur <i>SEAT</i> des sièges selon chacun des axes, valeur efficace (a_w)	25
Tableau 8. Facteur <i>SEAT</i> des sièges selon chacun des axes, valeur de dose vibratoire (<i>VDV</i>)	26
Tableau 9. Comparaison des facteurs <i>SEAT</i> selon chacun des axes obtenus avec les valeurs efficaces (a_w) et avec les valeurs de doses vibratoires (<i>VDV</i>)	27
Tableau 10. Sommaire des niveaux de vibrations par équipement pour les vibrations main-bras	28
Tableau 11. Sommaire des niveaux de bruit par équipement	29
Tableau 12. Niveau de risque, pour les vibrations globales du corps, des différents équipements miniers opérés sur 8 heures.	34
Tableau 13. Niveau de risque, pour les vibrations main-bras, des différents équipements miniers opérés sur 8 heures.	35
Tableau 14. Classification des équipements miniers évalués selon leurs niveaux de bruit	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Système d'acquisition : (a) Vue interne sans le mini-portable montrant les composants; (b) installé sur une rétrocaveuse avec accéléromètre.....	11
Figure 2. Gain du filtre, montrant aussi la tolérance de ± 1 dB : (a) Réponse 0-250 Hz; (b) Zoom 0-1,5 Hz.....	12
Figure 3. Phase linéaire du filtre FIR.....	12
Figure 4. Courbes de pondération pour les vibrations globales du corps et main-bras	16
Figure 5. Définition des axes x, y et z pour les vibrations corps entier (postures assise et debout) et pour les vibrations main-bras.....	17
Figure 6. Rétrocaveuse sur roues CAVO310.....	54

1. INTRODUCTION

1.1 Problématique de santé et sécurité du travail

Une vaste consultation menée auprès des intervenants du milieu minier canadien fut réalisée par les Laboratoires des mines et des sciences minérales de CANMET (LMSM-CANMET) en 2003 et 2004, à la demande de SOREDEM (Société de recherche et de développement minier), dans le but de mieux orienter les efforts de recherche. Les intervenants ont identifié, par ordre d'importance, les principaux axes de recherche à prioriser. L'amélioration des conditions de vie et du travail sous terre venait au deuxième rang de cette étude, après les nouvelles méthodes et les nouveaux équipements de travail [1].

Selon les statistiques de l'Association minière du Québec de 2004, il y avait 12 000 travailleurs affectés à la production dans les mines, dont 5 000 pour les mines souterraines. Une portion de ces travailleurs miniers sont exposés à de nombreuses sources vibratoires et sonores dans l'exercice de leurs fonctions. Le niveau vibratoire de certains équipements n'étant pas documenté, il n'est pas considéré lors de la planification des tâches et lors de la sélection des équipements. Par ailleurs, un projet conjoint entre les LMSM-CANMET, l'IRSSST, l'Université de Sherbrooke et un partenaire manufacturier, portant sur le développement d'une poignée anti-vibratile (2000 – 2006), a permis de conscientiser l'industrie minière aux problèmes reliés à l'exposition aux vibrations. De plus, SOREDEM a observé une augmentation des réclamations associées aux vibrations main-bras au cours des dernières années [2]. Par ailleurs, une étude effectuée par l'IRSSST [3] a révélé qu'au Québec pour la période 1993-2002, le secteur Mines et Services miniers est le secteur où il y a eu le plus de travailleurs indemnisés pour syndrome de Raynaud (51,1 % des dossiers d'indemnisation), suivi de loin par le secteur Exploitation et Services forestiers (12,7 % des dossiers d'indemnisation). Cependant, les réclamations associées aux vibrations globales du corps sont difficilement quantifiables, étant donné qu'elles sont souvent classifiées dans d'autres types de malaises. Par conséquent, SOREDEM a établi l'identification et la caractérisation des sources vibratoires parmi ses priorités de recherche [4]. En ce qui concerne le bruit, il s'avère qu'au Québec, pour la période 1998-2003, 458 travailleurs du secteur des mines ont été indemnisés pour surdité professionnelle [5].

Il est reconnu par la communauté scientifique que l'exposition prolongée à des niveaux vibratoires ainsi qu'à des niveaux sonores élevés peut entraîner de nombreux troubles de santé. En effet, une exposition excessive aux vibrations du système main-bras peut résulter en la maladie des doigts blancs (syndrome de Raynaud) ou en une inflammation du tunnel carpien, tandis que les vibrations globales du corps peuvent être associées à des maux de dos (lombalgies) [6]. Une étude de l'IRSSST (projet 099-237) a démontré que les travailleurs miniers opérant des chargeuses-navettes peuvent être exposés à des niveaux de vibrations globales du corps élevés, les sièges à suspension installés sur ces véhicules étant la plupart du temps inadaptés à ce type d'équipement. Par ailleurs, il est reconnu que l'exposition des travailleurs à des niveaux excessifs de bruit cause des problèmes de surdité professionnelle.

Le niveau vibratoire des équipements est la plupart du temps inconnu. Dans certains cas, dépendamment de la durée d'exposition quotidienne, la dose journalière de vibrations transmises

aux mineurs pourrait représenter des risques d'atteinte à leur santé. Tandis que les niveaux de vibrations main-bras des mines québécoises ont été quantifiés dans plusieurs études [7-9], peu d'information existe sur les niveaux de vibrations globales du corps et de bruit des différents véhicules miniers utilisés au Québec. La mesure des doses vibratoires (surtout globales du corps) et de bruit permettra d'identifier les tâches et équipements qui contribuent de façon significative à l'exposition des travailleurs aux vibrations et au bruit, afin d'élaborer des pistes de solutions et de prioriser des travaux futurs visant la réduction de l'exposition à ces agents physiques. Cependant, pour évaluer les doses vibratoires et sonores, il est nécessaire de connaître l'émission vibratoire et sonore des différents équipements utilisés ainsi que leurs temps d'utilisation.

1.2 Revue de la littérature

Plusieurs études se sont penchées sur l'exposition des travailleurs au bruit et aux vibrations dans les mines. Salmoni et al. [10] ont évalué les vibrations globales du corps pour 11 véhicules miniers différents: les camions ciseaux, les chargeuses-navettes, les jumbos de forage, les niveleuses, les concasseurs, les camions de transport souterrain, les camions de 150 tonnes, les boteurs (« bulldozers »), les rétrocaveuses sur rail et sur roues, ainsi que les locomotives. Les mesures ont été effectuées dans deux mines de l'Ontario en situations réelles de travail. Leurs résultats démontrent que l'axe de vibration dominante est l'axe z (vertical), excepté pour les concasseurs, les boteurs et les camions ciseaux. Par ailleurs, les vibrations globales du corps provenant des chargeuses-navettes, des niveleuses et des boteurs excèdent l'exposition maximale recommandée sur 4 heures selon la norme ISO 2631 (1997). Pour les rétrocaveuses sur rail et sur roues, les niveaux de vibrations dépassent l'exposition maximale recommandée sur 1 heure. Finalement, les locomotives et les jumbos de forage n'exposaient pas les opérateurs à des niveaux de vibrations globales du corps excédant la limite recommandée sur 8 heures. Ces résultats ont par ailleurs été publiés dans une revue scientifique [11].

Dans une autre étude, Salmoni et al. [12] ont mesuré les vibrations globales du corps sur neuf chargeuses-navettes de grandes tailles (> 3,5 verges cubiques¹) et huit chargeuses-navettes de petites tailles (< 3,5 verges cubiques) pour différentes conditions d'opération (déplacement chargé et à vide). De façon générale, l'opération des petites chargeuses-navettes ainsi que les déplacements à vide étaient associés à des niveaux de vibrations plus élevés. Les facteurs *SEAT* des sièges de quelques chargeuses-navettes ont également été évalués. Quelques sièges amplifiaient les vibrations du plancher.

Des mesures de vibrations main-bras et de vibrations globales du corps ont été effectuées dans des mines sud-africaines [13]. Il en ressort que pour les vibrations main-bras, ce sont les foreuses à béquille (pneumatiques et hydrauliques) qui ont les niveaux de vibrations les plus élevés. Pour les vibrations globales du corps, ce sont les camions de transport, les boteurs (« bulldozers »), les chargeuses (« front-end loader ») et les pelleuses (« shovels ») qui semblent les plus à risque.

¹ 1 verge cubique (vg³) = 0,765 m³

Un document d'information sur les vibrations globales du corps dans les mines australiennes a été produit par « The joint coal board health & safety trust » [14]. Ce document présente de l'information générale sur les vibrations globales du corps et leurs effets sur la santé, la réduction de l'exposition à ces vibrations, ainsi que leurs mesures.

Village et al. [15] ont mesuré les vibrations globales du corps de chargeuses-navettes ayant des capacités de 3,5; 5; 6 et 8 verges cubiques dans deux mines souterraines. Les mesures ont été effectuées avec 11 véhicules, 8 opérateurs et 4 emplacements de travail. Différentes conditions ont également été considérées : déplacement chargé, déplacement à vide, chargement (« mucking ») et culbutage (« dumping »). Le plus petit véhicule (3,5 verges cubiques) était associé aux niveaux de vibrations les plus élevés dans les directions x et z. Les niveaux étaient également plus élevés lors des déplacements chargés et à vide que lors du chargement et du culbutage.

2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif général de la recherche est d'identifier les différentes sources vibratoires et sonores parmi une gamme d'équipements miniers pouvant potentiellement avoir un effet néfaste sur la santé des opérateurs et d'en mesurer l'amplitude.

Les objectifs spécifiques sont de :

- Documenter les niveaux vibratoires et sonores produits par les différents équipements miniers, ainsi que leurs spectres vibratoires et sonores en vue d'aider à l'identification de pistes de solutions ou de moyens de protection.
- Produire un document d'information et de sensibilisation pour les opérateurs miniers et leurs employeurs. L'information recueillie pour ce document sera compilée et synthétisée sous forme de tableaux présentant les doses vibratoires et sonores des équipements en fonction des modes opératoires et des durées d'exposition, ainsi que des suggestions (par exemple types d'équipements à utiliser, moyens de protection, modes d'opérations, durée d'exposition, etc.) permettant de réduire l'exposition des travailleurs aux sources sonores et vibratoires.
- Aider SOREDEM à définir une liste de projets prioritaires visant l'amélioration des conditions de travail sous terre.

3. MÉTHODE

3.1 Sélection des équipements

Plusieurs étapes ont été réalisées pour sélectionner les équipements miniers à évaluer lors de la campagne de mesure. Dans un premier temps, une liste préliminaire des équipements à évaluer a été dressée. Un questionnaire à l'intention des mines québécoises a été élaboré à partir de la liste préliminaire afin d'établir une vue d'ensemble de l'inventaire des équipements miniers utilisés au Québec. Par la suite, le choix des équipements à évaluer et la planification des mesures ont été établis en collaboration avec SOREDEM. Ces étapes sont détaillées dans les sections suivantes.

3.1.1 Liste préliminaire des équipements à évaluer

Une liste préliminaire d'équipements potentiels à évaluer a été dressée par LMSM-CANMET. Les éléments de cette liste sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Liste préliminaire des équipements à évaluer (catégorie – équipement)

Excavation – Chargeuse-navette
Excavation - Rétrocaveuse sur roues (cavo)
Excavation - Rétrocaveuse sur rails (muck machine)
Plateforme - forage et boulonnage (divers)
Niveleuse
Transport de personnel sur roues
Concasseur (poste de travail)
Forage - Jumbo
Forage - Boulonneuse
Transport de minerai sur rails (locomotives)
Excavation - Racloirs
Forage - Aléseuse
Transport de personnel sur rails (vibrations dans wagons)
Transport de minerai sur roues (camions)
Forage - Long trou
Marteau (poste de travail)
Tâches - béton projeté (manuel)
Plateforme - forage et boulonnage sur alimak
Plateforme - forage et boulonnage sur plateforme d'aluminium
Forage - Long tom
Forage/boulonnage manuel

3.1.2 Questionnaire à l'intention des mines

À partir de la liste préliminaire, un questionnaire à l'usage des mines a été élaboré. Une copie du questionnaire se trouve à l'annexe A. Ce questionnaire a été distribué à 12 mines. De ce nombre, 8 mines ont répondu. Les résultats ont par la suite été utilisés pour produire une liste détaillant l'inventaire des équipements miniers de chacune des mines. Cette liste se trouve à l'annexe B.

3.1.3 Choix des équipements à évaluer et planification

Le choix des équipements à évaluer a eu lieu lors de la deuxième rencontre de projet qui a eu lieu à Val-d'Or les 22 et 23 octobre 2008. Deux représentants de l'IRSST, deux représentants des LMSM-CANMET, deux représentants des mines (Agnico-Eagle et Iamgold) et un représentant de SOREDEM étaient présents pour établir la priorité des catégories d'équipements à évaluer (22 octobre). Une grille d'évaluation tenant compte de différents paramètres a été établie (voir tableau 2). Par la suite, cette grille a été validée lors de la réunion de SOREDEM le lendemain (23 octobre). Les paramètres considérés sont :

1. Sévérité : Sévérité des vibrations estimées par les membres du comité technique (1 = faible, 5 = extrême)
2. Durée : Durée moyenne de l'exposition par quart par travailleur (1 = moins de 15 minutes, 5 = 4 heures ou plus)
3. Nombre : Nombre moyen de travailleurs exposés par quart par mine (1 = un seul, 5 = la majorité)
4. Priorité : Ce paramètre discrétionnaire permettra à SOREDEM d'influencer le résultat de la grille en fonction de ses priorités, de ses intérêts ou des données existantes (0 = non intéressé, 5 = fort intérêt)

Un facteur d'importance permet de pondérer chacun des paramètres considérés. La grille de sélection des équipements, avec les efforts en termes de pourcentage de temps à allouer à chaque équipement, est présentée au tableau 2.

Tableau 2. Grille de sélection des équipements

Vert : Catégorie à évaluer
Jaune : Hors projet, financé par les mines
Bleu : Catégorie non évaluée

Facteur d'importance (1-5)	4	2	2			
Catégories	Sévérité	Durée	Nombre	Priorité	Résultat	Effort
Excavation – Chargeuse-navette	5	5	3	4	144	17%
Excavation - Rétrocaveuse sur roues (cavo)	5	5	3	4	144	17%
Excavation - Rétrocaveuse sur rails (muck machine)	5	3	2	4	120	14%
Plateforme - forage et boulonnage (divers)	2	5	3	4	96	11%
Niveleuse	3	5	1	4	96	11%
Transport de personnel sur roues	3	3	5	3	84	10%
Concasseur (poste de travail)	2	5	1	4	80	10%
Forage - Jumbo	2	3	2	4	72	9%
Forage - Boulonneuse	2	5	2	3	66	*
Transport de minerai sur rails (locomotives)	3	5	2	2	52	0%
Excavation - Racloirs	2	2	2	3	48	0%
Forage - Aléseuse	1	5	1	3	48	0%
Transport de personnel sur rails (vibrations dans wagons)	3	1	2	2	36	0%
Transport de minerai sur roues (camions)	2	5	2	1	22	0%
Forage - Long trou	1	5	3	0	0	0%
Marteau (poste de travail)	1	5	2	0	0	0%
Tâches - béton projeté (manuel)	2	5	2	0	0	0%
Plateforme - forage et boulonnage sur alimak	3	3	2	0	0	0%
Plateforme - forage et boulonnage sur plateforme d'aluminium	3	3	2	0	0	0%
Forage - Long tom	4	3	2	0	0	0%
Forage/boulonnage manuel	5	3	4	0	0	0%

* Financé par les mines intéressées

Une liste préliminaire des équipements à évaluer ainsi qu'une planification préliminaire du temps alloué ont été établies et sont présentées à l'annexe C.

3.2 Instrumentation et mesure

Cette section décrit l'instrumentation qui a été utilisée dans les mines pour faire l'acquisition des signaux de bruit et vibrations, ainsi que leurs analyses en post-traitement.

3.2.1 Système d'acquisition pour les vibrations

Afin d'effectuer l'acquisition des signaux de vibrations dans l'environnement très sévère que constituent les mines souterraines, où le risque d'endommager ou de détruire l'équipement est très élevé, il était nécessaire de développer un système robuste et de faible coût, permettant le monitoring et le contrôle de la prise de mesure à distance. En effet, aucun système sur le marché ne permettait à la fois l'enregistrement multicanaux du signal temporel (au moins six canaux), tout en pouvant être contrôlé à distance, et en étant robuste et de faible coût.

Le système d'acquisition développé dans le cadre de ce projet est composé de deux cartes USB NI-9234 de *National Instrument*, donnant un total de 8 canaux, d'une batterie externe Li-ion, d'un mini-ordinateur avec disque dur à mémoire flash pour plus de fiabilité, et d'une petite valise *Pelican*TM à l'épreuve de l'eau. Les cartes NI-9234 permettent une alimentation électrique IEPE des accéléromètres, et possèdent une résolution numérique de 24 bits, donnant 102 dB de gamme dynamique. Des photos du système d'acquisition sont présentées à la figure 1. Le système devait être très compact afin de pouvoir être installé sur certains équipements où l'espace était très limité (voir figure 1b). L'acquisition des données a été mise en application sous *LabVIEW*TM, avec deux fréquences d'échantillonnage différentes, une pour les vibrations main-bras (5120 Hz) et une pour les vibrations corps entier (512 Hz). Un deuxième ordinateur portable sans fil a été utilisé pour contrôler et surveiller l'acquisition des données vibratoires à distance en utilisant la fonction « *remote desktop* » de *Windows XP*[®]. L'utilisation du mode IEPE des cartes NI-9234 pour alimenter les accéléromètres exige l'utilisation du couplage AC. Cependant, en couplage AC, la carte NI-9234 a une fréquence de coupure de 0,5 Hz (-3 dB). Donc un filtre numérique FIR a été ajouté pour le mode d'acquisition corps entier, afin de satisfaire les exigences de la norme ISO 8041:2005 [16] dans les basses fréquences. Les coefficients du filtre FIR pour la fréquence d'échantillonnage de 512 Hz (corps entier) ont été calculés en utilisant la fonction FIR2 de *MATLAB*[®]. La réponse en fréquence cible du filtre était la compensation nécessaire telle que mesurée à l'aide de signaux électriques calibrés, afin de réaliser une réponse unitaire dans toute la gamme de fréquences. En pratique, la compensation a été nécessaire seulement entre 0 et 6,3 Hz. Un total de 2000 coefficients a été utilisé pour la réalisation du filtre.

La figure 2 montre la compensation obtenue par le filtre FIR, avec les tolérances de ± 1 dB par rapport à la compensation désirée. On note que la compensation rencontre la tolérance de 2 dB à 0,315 Hz requise par la norme ISO 8041:2005. En effet, pour les vibrations corps entier, la norme requiert des tolérances de $+2/-\infty$ dB entre 0,1 et 0,25 Hz, ± 2 dB entre 0,315 et 0,5 Hz, ± 1 dB entre 0,63 et 63 Hz, ± 2 dB entre 80 et 125 Hz, et de $+2/-\infty$ dB entre 160 et 400 Hz. Le filtre FIR induit une phase linéaire, telle qu'illustrée à la figure 3, qui se traduit par un délai de 2 secondes dans le domaine temporel. Par ailleurs, il a été possible d'implémenter le filtre en temps réel pendant l'acquisition du signal temporel.

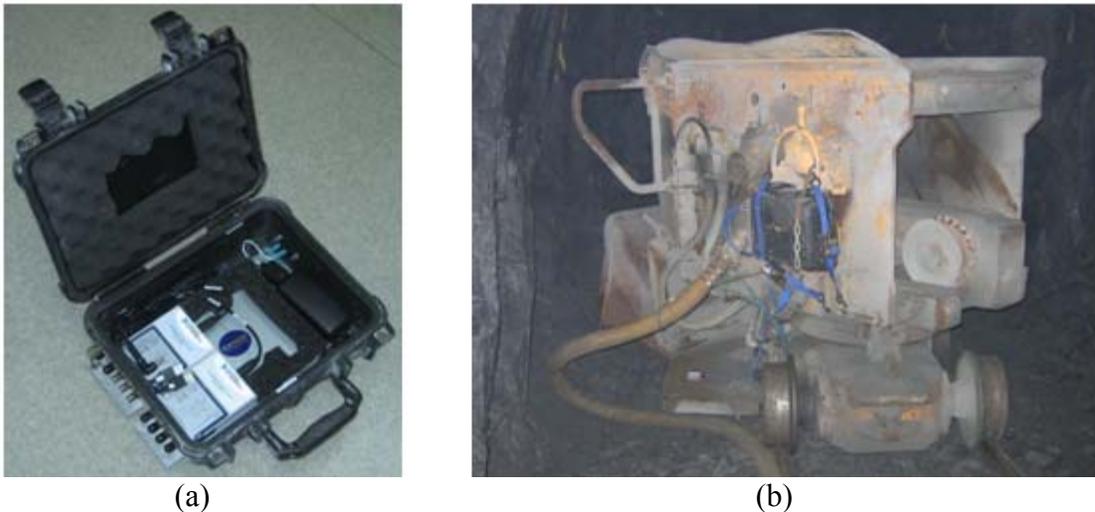


Figure 1. Système d'acquisition : (a) Vue interne sans le mini-portable montrant les composants; (b) installé sur une rétrocaveuse avec accéléromètre

Finally, the acquisition system was validated using a Tektronix AFG3022 function generator producing an electrical signal of type sinusoidal sweep with a peak amplitude of 4,5 V, with a logarithmic sweep between 0,1 and 5000 Hz with a duration of 3 minutes. Table 3 shows the deviations, in dB, for the frequencies of one-third octave between 0,1 and 200 Hz relative to the electrical signal for the 6 first channels of the acquisition system in « full body » mode. The tolerances permitted by the ISO 8041:2005 standard for full body vibrations are also presented in this table. In « full body » mode, the low frequencies are compensated by the FIR filter described previously. The yellow color represents the zone where the tolerance is ± 2 dB, while the orange color represents the zone where the tolerance is ± 1 dB. One notes that the acquisition system meets the standard tolerances. Moreover, table 4 presents the deviations, in dB, for the frequencies of one-third octave between 0,8 and 2000 Hz for the 6 first channels of the acquisition system in « hand-arm » mode. The yellow color represents the zone where the tolerance is ± 2 dB, while the orange color represents the zone where the tolerance is ± 1 dB. One notes, once again, that the acquisition system meets the standard tolerances.

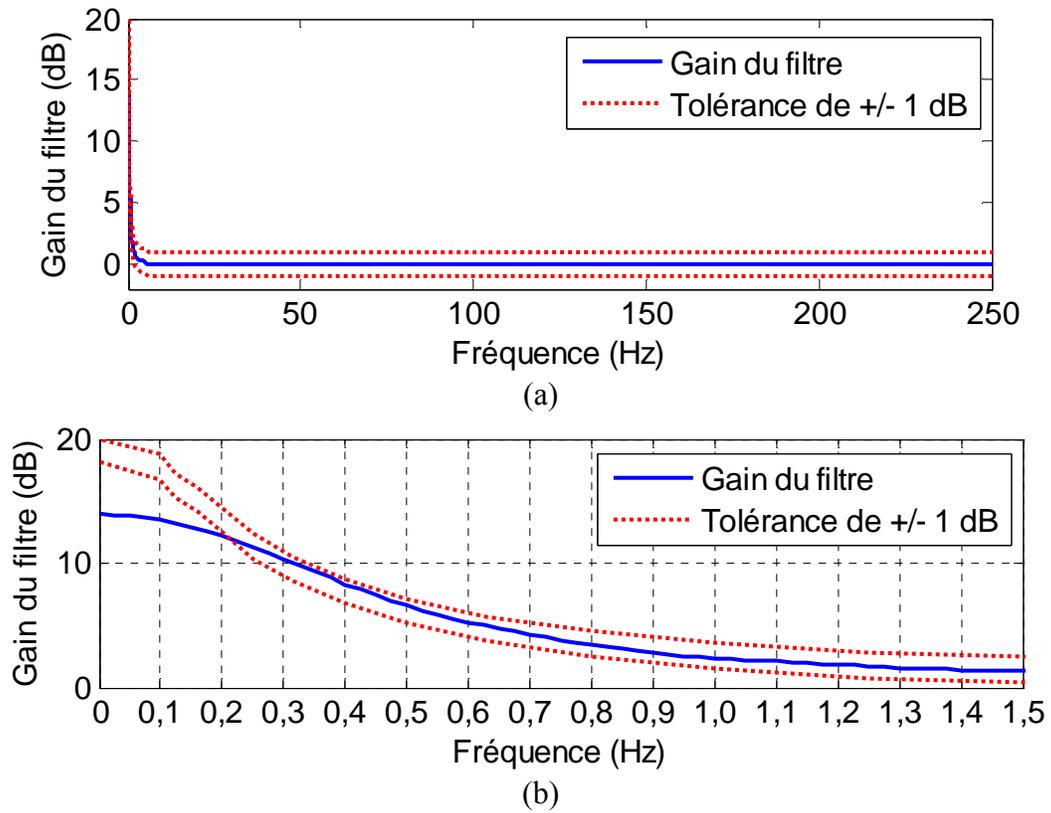


Figure 2. Gain du filtre, montrant aussi la tolérance de ± 1 dB : (a) Réponse 0-250 Hz; (b) Zoom 0-1,5 Hz.

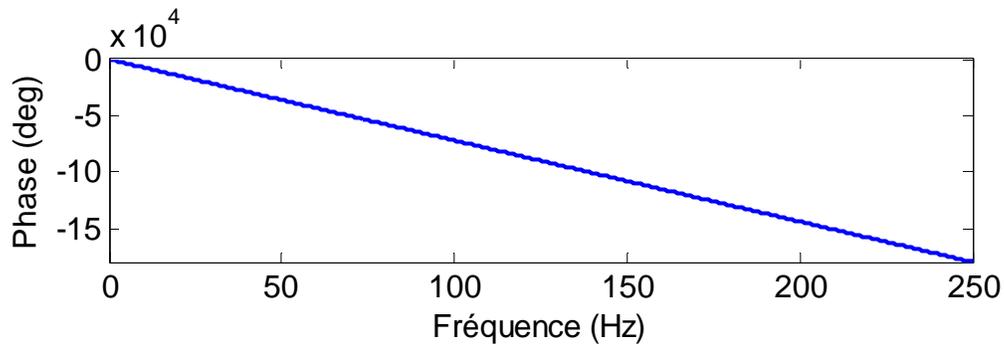


Figure 3. Phase linéaire du filtre FIR.

Tableau 3. Validation en bandes de tiers d'octave du mode « corps entier » du système d'acquisition avec des signaux électriques.

Fréquence (Hz)	Tolérance (ISO 8041)	Écart (dB) par rapport au signal de référence					
		Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6
0,1 Hz	+ 2 - inf dB	-4,0	-6,0	-5,9	-4,6	-5,7	-4,0
0,125 Hz	+ 2 - inf dB	-3,5	-4,4	-4,2	-4,2	-4,1	-2,9
0,16 Hz	+ 2 - inf dB	-2,8	-2,6	-2,5	-3,1	-2,5	-2,2
0,2 Hz	+ 2 - inf dB	-1,0	-0,8	-0,9	-1,0	-1,2	-1,4
0,25 Hz	+ 2 - inf dB	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,1
0,315 Hz	+/- 2 dB	0,7	0,5	0,5	0,6	0,4	0,8
0,4 Hz	+/- 2 dB	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,7
0,5 Hz	+/- 2 dB	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6
0,63 Hz	+/- 2 dB	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3
0,8 Hz	+/- 2 dB	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,0
1 Hz	+/- 2 dB	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2
1,25 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1
1,6 Hz	+/- 1 dB	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	0,0
2 Hz	+/- 1 dB	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0
2,5 Hz	+/- 1 dB	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0
3,15 Hz	+/- 1 dB	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0
4 Hz	+/- 1 dB	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0
5 Hz	+/- 1 dB	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0
6,3 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,1
8 Hz	+/- 1 dB	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	0,0
10 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,1
12,5 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	-0,1
16 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	-0,1
20 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1
25 Hz	+/- 1 dB	0,2	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,1
31,5 Hz	+/- 1 dB	0,2	0,0	-0,1	0,2	-0,1	0,2
40 Hz	+/- 1 dB	0,2	0,0	0,0	0,2	-0,1	0,2
50 Hz	+/- 1 dB	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,1	-0,1
63 Hz	+/- 1 dB	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,1
80 Hz	+/- 2 dB	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,2	-0,1
100 Hz	+/- 2 dB	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,1
125 Hz	+/- 2 dB	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,1
160 Hz	+ 2 - inf dB	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,1
200 Hz	+ 2 - inf dB	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,3	-2,5

Tableau 4. Validation en bandes de tiers d'octave du mode « main-bras » du système d'acquisition avec des signaux électriques

Fréquence (Hz)	Tolérance (ISO 8041)	Écart (dB) par rapport au signal de référence					
		Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6
0,8 Hz	+ 2 - inf dB	-3,5	-3,5	-3,5	-3,6	-3,6	-3,5
1 Hz	+ 2 - inf dB	-2,5	-2,5	-2,5	-2,5	-2,6	-2,5
1,25 Hz	+ 2 - inf dB	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,7
1,6 Hz	+ 2 - inf dB	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3
2 Hz	+ 2 - inf dB	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-0,9
2,5 Hz	+ 2 - inf dB	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6
3,15 Hz	+ 2 - inf dB	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4
4 Hz	+ 2 - inf dB	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3
5 Hz	+/- 2 dB	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2
6,3 Hz	+/- 2 dB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8 Hz	+/- 2 dB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10 Hz	+/- 1 dB	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
12,5 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,4
16 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,4	-0,1	-0,1	-0,4	-0,3
20 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,3	-0,1	-0,1	-0,4	-0,3
25 Hz	+/- 1 dB	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1
31,5 Hz	+/- 1 dB	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1
40 Hz	+/- 1 dB	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1
50 Hz	+/- 1 dB	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1
63 Hz	+/- 1 dB	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1
80 Hz	+/- 1 dB	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,1
100 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,1
125 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,1
160 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,1
200 Hz	+/- 1 dB	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,4	-0,1
250 Hz	+/- 1 dB	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,4	-0,1
315 Hz	+/- 1 dB	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	-0,1
400 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1
500 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,2
630 Hz	+/- 1 dB	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,2
800 Hz	+/- 1 dB	-0,3	-0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0
1 kHz	+/- 2 dB	-0,2	-0,1	0,1	0,2	-0,1	0,1
1,25 kHz	+/- 2 dB	-0,1	0,0	0,3	0,3	0,0	0,2
1,6 kHz	+/- 2 dB	0,3	0,3	0,6	0,5	0,3	0,7
2 kHz	+ 2 - inf dB	0,0	-0,3	-0,4	-0,6	-0,7	0,1

3.2.2 Accéléromètres

Les accéléromètres qui ont été utilisés lors des mesures de vibration sont tous de type triaxial, avec préamplificateur intégré alimenté par une source de courant continu (IEPE). Ils ont une capacité de 500 g ($\pm 5000 \text{ m/s}^2$) pour les mesures de vibrations main-bras et quelques mesures corps entier au plancher, ou une capacité de 50 g ($\pm 500 \text{ m/s}^2$) pour les mesures corps entier et pour l'accéléromètre de siège (« seatpad »). La calibration des accéléromètres a été vérifiée à l'aide d'une source de vibration de référence B&K 4294. Le tableau 5 donne la liste des accéléromètres qui ont été utilisés pour les mesures vibratoires. Par ailleurs, les accéléromètres utilisés pour les mesures sur chacun des équipements sont spécifiés dans les fiches de mesure par équipement.

Tableau 5. Accéléromètres utilisés pour les mesures vibratoires

Modèle	Capacité
Bruël & Kjær # 4520	500 g
PCB Piezotronics # 356A16	500 g
PCB Piezotronics # 356B21	500 g
PCB Piezotronics # 356A22	50 g
Dytran # 5313A (« seatpad »)	50 g

3.2.3 Mesure du bruit

Le bruit a été mesuré à l'aide d'un microphone Knowles BL-21994, ayant des caractéristiques de type 2 selon la norme CEI 61672-3:2006 [17]. Le microphone était apposé près de l'épaule de l'opérateur. L'acquisition du signal temporel du bruit a été effectuée avec un enregistreur numérique portable MicroTrack 24/96, en utilisant une résolution numérique de 16 bits et une fréquence d'échantillonnage de 44,1 kHz. Le signal de bruit a été sauvegardé en format WAVE. Un signal de référence de 114 dB @ 1000 Hz était enregistré avant et après chaque mesure, en utilisant une source de bruit de référence B&K 4231.

3.3 Analyse des signaux et calcul des niveaux vibratoires

Les signaux vibratoires ont été analysés en utilisant le module bruit et vibration (« Sound and Vibration Toolkit ») du logiciel *LabVIEW*TM, tandis que les signaux de bruit ont été analysés avec le logiciel dBFa de 01dB. Pour les vibrations globales du corps (ou corps entier), la pondération fréquentielle w_k a été appliquée sur le signal pour l'axe vertical (z), tandis que la pondération fréquentielle w_d a été appliquée pour les axes horizontaux (x et y). Ces pondérations sont définies dans la norme ISO 2631-1 [18]. Pour les vibrations main-bras, la pondération w_h a été appliquée pour les trois axes de translation, tels que définis par la norme ISO 5349-1 [19]. Les courbes de pondération pour les vibrations globales du corps et main-bras sont illustrées à la figure 4, tandis que les orientations des axes x, y et z pour les vibrations corps entier et main bras sont illustrées à la figure 5. Pour le bruit, la pondération fréquentielle A, telle que définie dans la norme CEI 61672 :2003 [20], a été appliquée sur les signaux. Une fois pondérés, les signaux ont été utilisés pour calculer les valeurs d'exposition globales ainsi que les spectres en bandes de tiers d'octave. Le calcul des valeurs d'exposition est présenté dans les sections suivantes.

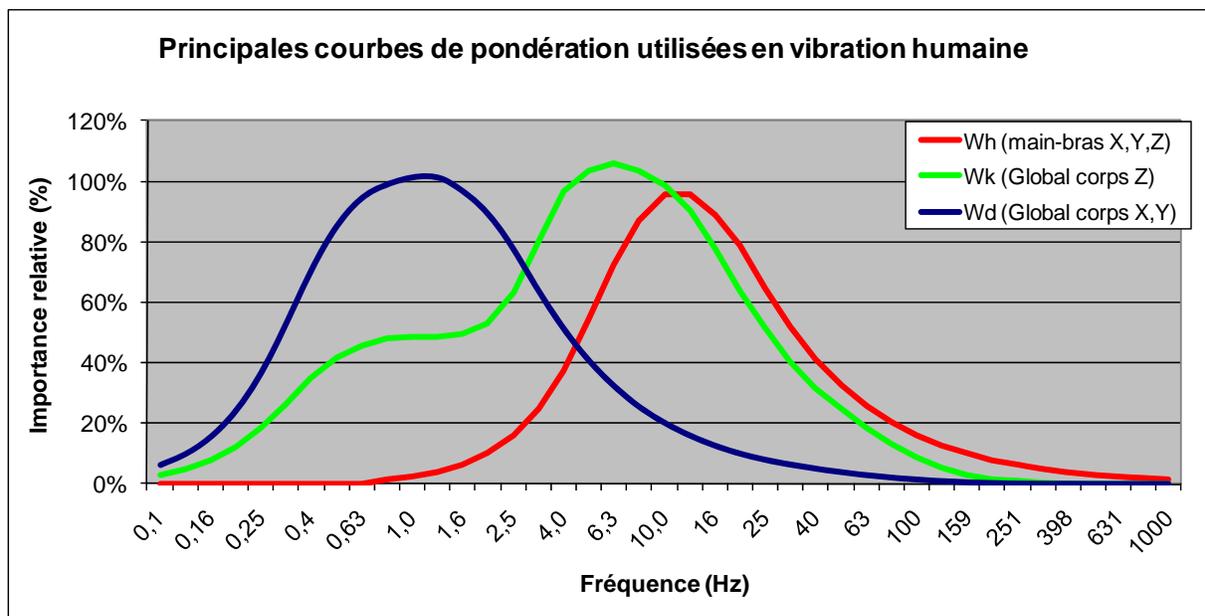


Figure 4. Courbes de pondération pour les vibrations globales du corps et main-bras

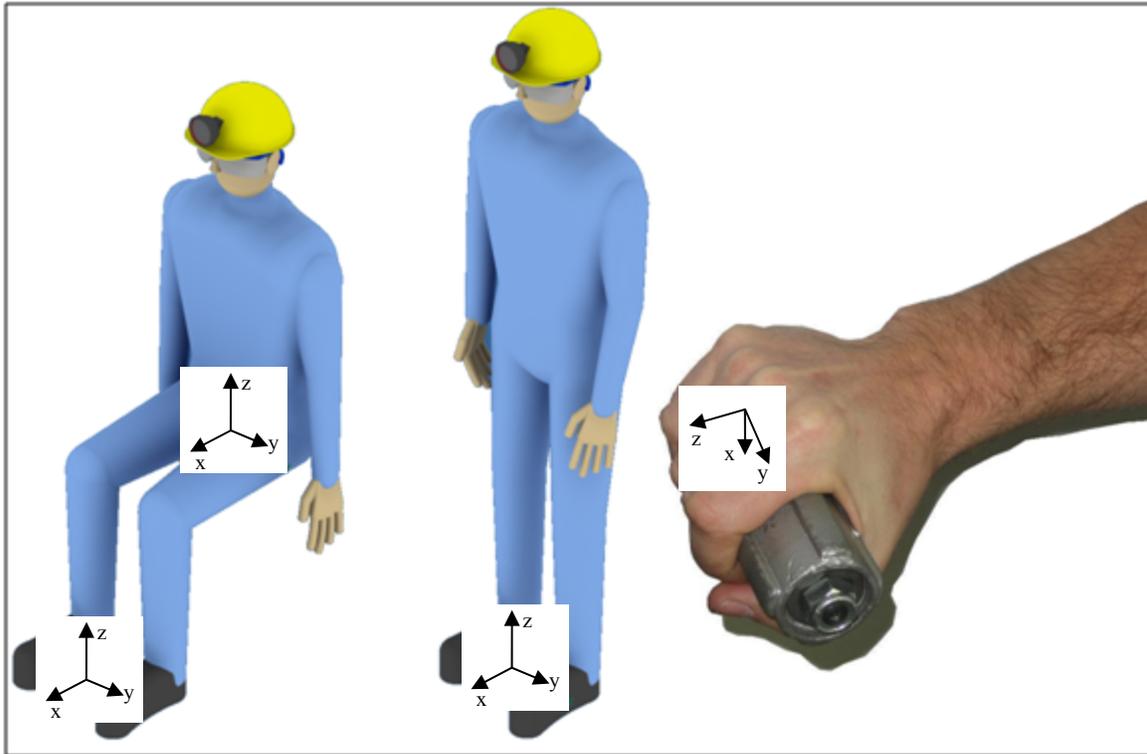


Figure 5. Définition des axes x, y et z pour les vibrations corps entier (postures assise et debout) et pour les vibrations main-bras

3.3.1 Valeur efficace pondérée, corps entier

Soit $a_{w,i}(t)$, le signal temporel de l'accélération pondérée selon l'axe i exprimée en m/s^2 , la valeur efficace de l'accélération pondérée selon l'axe i , en m/s^2 , sur une période de temps T est définie par :

$$a_{w,i} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{w,i}^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Pour l'axe vertical (z), la pondération w_k est utilisée, tandis que pour les axes horizontaux (x, y), la pondération w_d est utilisée. Pour les effets sur la santé, la valeur efficace pondérée d'exposition est donnée par le maximum de la valeur efficace selon chacun des axes, où les valeurs selon les axes x et y ont été multipliées par un facteur de 1,4:

$$a_w = \max[1,4 a_{w_d,x}; 1,4 a_{w_d,y}; a_{w_k,z}] \quad (2)$$

3.3.2 Valeur de dose vibratoire, corps entier

De façon similaire à la valeur efficace pondérée, la valeur de dose vibratoire (VDV) pondérée selon l'axe i , en $m/s^{1,75}$, sur une période de temps T est définie par :

$$VDV_i = \left[\int_0^T a_{w,i}^4(t) dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

Pour les effets sur la santé, la valeur de dose vibratoire d'exposition est définie par :

$$VDV = \max[1,4 VDV_x ; 1,4 VDV_y ; VDV_z] \quad (4)$$

Contrairement à la valeur efficace, la VDV s'accroît avec la durée d'exposition. Aux fins de comparaison, on ramène parfois la VDV sur une période fixe de 8 heures. Soit T (en heures) la période sur laquelle la VDV a été mesurée, la VDV ramenée sur 8 heures est définie par :

$$VDV_8 = \left(\frac{8}{T} \right)^{\frac{1}{4}} VDV \quad (5)$$

3.3.3 Facteur SEAT

Le facteur $SEAT$ d'un siège (« seat effective amplitude transmissibility ») représente la portion de l'accélération efficace pondérée qui est transmise de la base du siège (base) à l'interface coussin/opérateur (siège) et ce, pour chacun des 3 axes de translation. Un facteur inférieur à 1,0 représente une atténuation des vibrations tandis qu'un facteur supérieur à 1,0 représente une amplification des vibrations. Le facteur $SEAT$ peut également être calculé sur la base de la VDV au lieu de l'accélération efficace pondérée. Le facteur $SEAT$, selon l'axe i , calculé à partir des valeurs efficaces pondérées est défini par :

$$SEAT_i = \frac{a_{w,i_{siège}}}{a_{w,i_{base}}} \quad (6)$$

où $a_{w,i_{siège}}$ est l'accélération efficace pondérée selon l'axe i , mesurée à l'interface siège/opérateur et $a_{w,i_{base}}$ est l'accélération efficace pondérée selon l'axe i , mesurée à la base du siège. De façon similaire, le facteur $SEAT$, selon l'axe i , calculé à partir de la VDV est défini par :

$$SEAT_i = \frac{VDV_{i_{siège}}}{VDV_{i_{base}}} \quad (7)$$

où $VDV_{i_{siège}}$ est la VDV selon l'axe i , mesurée à l'interface siège/opérateur et $VDV_{i_{base}}$ est la VDV selon l'axe i , mesurée à la base du siège.

3.3.4 Valeur efficace pondérée, main-bras

Pour les vibrations main-bras, la valeur efficace pondérée (w_h) selon l'axe i , en m/s^2 , est définie par :

$$a_{w,i} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{w,i}^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Pour les vibrations main-bras, la valeur d'exposition pondérée est la somme vectorielle de l'accélération pondérée selon chacun des axes :

$$a_w = \left[a_{w,x}^2 + a_{w,y}^2 + a_{w,z}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

3.3.5 Niveau de bruit pondéré

Soit $p_A(t)$, le signal temporel de la pression acoustique exprimée en pascal (pa). La valeur efficace de la pression acoustique pondérée A , exprimée aussi en pa , sur une période de temps T est définie par :

$$p_A = \left[\frac{1}{T} \int_0^T p_A^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Le niveau de pression acoustique, ou niveau de bruit, exprimé en dBA, est défini par :

$$L_A = 20 \log_{10} \left(\frac{p_A}{p_{REF}} \right) \quad (11)$$

où le niveau de pression de référence p_{REF} est défini par :

$$p_{REF} = 20 \mu pa = 20 * 10^{-6} pa \quad (12)$$

4. RÉSULTATS

Les résultats des mesures vibratoires et sonores dans les mines sont d'abord présentés de façon synthétique, puis une explication quant à l'interprétation des fiches détaillées de mesure par équipement sera présentée.

4.1 Synthèse des résultats

Un total de 28 équipements miniers répartis dans 8 mines souterraines québécoises a été évalué. Les équipements ont été évalués dans les mines Mouska, Laronde, Goldex, Kiena, Persévérance, Casa Berardi, Lapa et Doyon. Dans un premier temps, un résumé des résultats est fourni pour les vibrations globales du corps sous forme de niveaux de vibrations par tâche et équipement, suivi par un résumé des facteurs *SEAT* pour les sièges qui ont été évalués. Par la suite, un résumé des niveaux de vibrations main-bras est présenté pour les équipements qui ont été également évalués pour ce type d'exposition et finalement, un résumé des niveaux de bruit en dBA est présenté par équipement pour ceux dont le niveau de bruit a été évalué.

4.1.1 Vibrations globales du corps

Le tableau 6 résume les niveaux de vibrations globales du corps par équipement et par tâche sous forme d'accélération efficace pondérée (a_w , voir équation 2), ainsi que sous forme de valeur de dose vibratoire sur 8 heures (VDV_8 , voir équation 5). Les niveaux de vibrations globales du corps sont présentés sous forme de moyenne (\bar{x}) et d'écart-type (s_{n-1}). Sont également présentés dans le tableau le nombre d'échantillons n utilisé pour le calcul des niveaux de vibrations moyens ainsi que la durée $t(s)$, ou la plage des durées, en secondes, pour chacune des mesures. Le détail des mesures est présenté sous forme de fiche par équipement à l'annexe D.

Tableau 6. Sommaire des niveaux de vibrations par équipement pour les vibrations corps entier

Équipement	Tâche	n	t (s)	a_w (m/s ²)		VDV_8 (m/s ^{1,75})	
				\bar{x}	s_{n-1}	\bar{x}	s_{n-1}
1 - Rétrocaveuse sur rails	Marinage	13	55-215	3,42	0,56	97,22	21,9
2 - Rétrocaveuse sur roues	Marinage	8	195-240	2,62	0,18	65,79	7,4
3 - Plateforme d'aluminium	Forage	9	11-98	1,48	0,41	26,39	8,7
4 - Chargeuse-navette 8 vg ³ Toro	Cycle complet	4	84-274	1,38	0,10	26,34	1,8
5 - Chargeuse-navette 8 vg ³ LH514	Cycle complet	7	138-162	0,99	0,02	18,88	0,95
6 - Camion à flèche	Conduite	6	150	1,50	0,38	35,16	18,8
7 - Camion à béton (vide)	Conduite	5	150	1,42	0,18	31,48	3,0
8 - Concasseur	Opération	8	60	0,05	0,002	1,20	0,01
9 - Boulonneuse neuve	Forage	4	92-93	0,10	0,01	2,81	0,08
10 - Boulonneuse usée	Forage	4	40-86	0,05	0,02	1,32	0,18
	Boulons à friction	2	11-20	0,40	N/A	16,4	N/A

Tableau 6. Sommaire des niveaux de vibrations par équipement pour les vibrations corps entier (suite)

Équipement	Tâche	n	t (s)	a_w (m/s ²)		VDV_8 (m/s ^{1,75})	
				\bar{x}	s_{n-1}	\bar{x}	s_{n-1}
11 - Foreuse jumbo	Forage	3	180	0,09	0,01	3,39	0,16
12 - Kubota L 5740	Conduite	4	183-206	1,01	0,05	29,00	8,71
13 - Minecat 100 PC	Conduite	4	184	1,60	0,02	34,66	0,50
14 - RTV 900	Conduite	4	138-171	0,72	0,03	13,79	0,76
15 - Chargeuse-navette 3,5 vg ³	Déplacement	9	80-100	0,83	0,09	18,44	3,02
16 - Chargeuse-navette 6 vg ³	Cycle complet	14	55-250	1,45	0,19	28,00	2,59
17 - Camion ciseaux	Forage plafond	5	40-55	0,51	0,22	12,18	7,91
	Forage mur	5	50-71	0,17	0,04	3,66	1,14
18 - Foreuse jumbo	Forage	5	50	0,10	0,03	1,78	0,38
19 - Camion ciseaux	Forage plafond	4	29-46	0,13	0,02	2,69	0,63
	Forage mur	6	30	0,07	0,02	1,66	0,29
20 - Chargeuse-navette 15 vg ³	Cycle complet	9	210-250	1,01	0,06	19,75	1,38
21 - Concasseur	Opération	1	175	0,04	N/A	3,19	N/A
22 - Niveleuse	Opération	4	100	0,83	0,06	17,34	3,49
23 - Concasseur	Opération	4	60	0,28	0,12	8,03	2,77
24 - Niveleuse	Opération	4	300	0,63	0,05	12,91	0,63

Tableau 6. Sommaire des niveaux de vibrations par équipement pour les vibrations corps entier (suite)

Équipement	Tâche	n	t (s)	a_w (m/s ²)		VDV_8 (m/s ^{1,75})	
				\bar{x}	s_{n-1}	\bar{x}	s_{n-1}
25 - Locomotive	Conduite	13	120	0,89	0,16	19,04	3,30
26 - Land Cruiser	Déplacement	12	80	0,75	0,09	14,96	2,15
27 - Chargeuse-navette 9 vg ³	Cycle complet	3	665-1015	0,86	0,12	22,17	7,33
28 - Alimak	Déplacement	3	60	0,71	0,07	12,04	1,06
	Forage vertical	6	600	0,59	0,21	11,81	3,44

Les facteurs *SEAT* moyens (\overline{SEAT}) calculés à partir des valeurs d'accélération efficace pondérée (a_w , voir équation 6) et à partir des valeurs de dose vibratoire (VDV , voir équation 7), sont présentés aux tableaux 7 et 8 respectivement. Les facteurs *SEAT* sont calculés selon chacun des axes de translation x , y et z (voir la figure 5 pour l'orientation des axes). Les niveaux de vibrations associés à ces valeurs (a_w ou VDV), tels que mesurés entre le siège et le travailleur, sont également présentés dans ces tableaux pour les trois axes. Par ailleurs, les facteurs *SEAT*, selon chacun des axes, obtenus selon les deux méthodes (valeurs efficaces pondérées et valeurs de doses vibratoires) sont comparés au tableau 9.

Tableau 7. Facteur SEAT des sièges selon chacun des axes, valeur efficace (a_w)

Équipement	Tâche	Axe x		Axe y		Axe z	
		\bar{a}_w	\overline{SEAT}	\bar{a}_w	\overline{SEAT}	\bar{a}_w	\overline{SEAT}
4 – Chargeuse-navette 8 vg ³ Toro	Cycle complet	0,99	1,47	0,75	1,18	1,06	0,71
5 - Chargeuse-navette 8 vg ³ LH514	Cycle complet	0,70	1,53	0,55	1,30	0,72	0,58
6 - Camion à flèche	Conduite	0,51	1,64	0,55	1,16	1,50	0,89
7 - Camion à béton (vide)	Conduite	0,63	1,58	0,33	1,31	1,46	0,80
8 - Concasseur	Opération	0,01	0,23	0,01	0,21	0,05	0,64
11 - Foreuse jumbo	Forage	0,05	3,52	0,03	2,27	0,09	1,36
12 – Kubota L 5740	Conduite	0,52	1,41	0,68	1,20	0,99	0,68
13 - Minecat 100 PC	Conduite	0,68	2,19	0,58	1,16	1,60	1,71
14 - RTV 900	Conduite	0,31	1,24	0,38	1,57	0,72	0,93
15 - Chargeuse-navette 3,5 vg ³	Déplacement	0,59	1,13	0,36	1,12	0,66	1,04
16 - Chargeuse-navette 6 vg ³	Cycle complet	1,07	2,23	0,57	0,62	1,08	1,27
20 - Chargeuse-navette 15vg ³	Cycle complet	0,71	1,44	0,50	1,28	0,78	1,32
22 - Niveleuse	Opération	0,45	1,27	0,53	1,14	0,83	1,07
23 - Concasseur	Opération	0,09	1,01	0,19	1,56	0,24	0,34
24 - Niveleuse	Opération	0,36	1,20	0,34	1,14	0,63	0,87
25 - Locomotive	Conduite	0,15	0,93	0,34	1,27	0,87	0,95
26 - Land Cruiser	Déplacement	0,21	1,03	0,30	1,24	0,73	0,95
27 - Chargeuse-navette 9 vg ³	Cycle complet	0,85	1,44	0,46	1,21	0,80	1,31

Tableau 8. Facteur SEAT des sièges selon chacun des axes, valeur de dose vibratoire (VDV)

Équipement	Tâche	Axe x		Axe y		Axe z	
		\overline{VDV}_8	\overline{SEAT}	\overline{VDV}_8	\overline{SEAT}	\overline{VDV}_8	\overline{SEAT}
4 – Chargeuse-navette 8 vg ³ Toro	Cycle complet	18,82	1,45	14,74	1,16	21,22	0,60
5 - Chargeuse-navette 8 vg ³ LH514	Cycle complet	13,49	1,47	11,13	1,26	13,52	0,40
6 - Camion à flèche	Conduite	9,95	1,63	11,15	1,16	35,16	0,93
7 - Camion à béton (vide)	Conduite	14,05	1,56	7,29	1,30	31,48	0,82
8 - Concasseur	Opération	0,15	0,10	0,16	0,10	1,20	0,29
11 - Foreuse jumbo	Forage	1,17	3,88	1,06	3,27	3,39	2,14
12 – Kubota L 5740	Conduite	9,88	1,42	14,61	1,25	29,00	0,99
13 - Minecat 100 PC	Conduite	13,82	2,26	12,03	1,19	34,66	1,89
14 - RTV 900	Conduite	7,09	1,24	8,49	1,66	13,79	0,90
15 - Chargeuse-navette 3,5 vg ³	Déplacement	12,05	1,12	7,69	1,09	15,41	0,89
16 - Chargeuse-navette 6 vg ³	Cycle complet	20,52	2,05	11,47	0,55	23,65	1,43
20 - Chargeuse-navette 15 vg ³	Cycle complet	13,84	1,43	10,72	1,24	15,97	1,12
22 - Niveleuse	Opération	8,96	1,24	10,22	1,14	17,34	1,03
23 - Concasseur	Opération	2,35	1,57	4,69	2,12	7,40	0,52
24 - Niveleuse	Opération	8,94	1,20	6,45	1,12	12,54	0,80
25 - Locomotive	Conduite	3,26	0,88	7,05	1,07	19,30	0,94
26 - Land Cruiser	Déplacement	4,22	1,00	5,73	1,24	14,16	0,94
27 - Chargeuse-navette 9 vg ³	Cycle complet	18,45	1,49	10,07	1,18	22,12	1,29

Tableau 9. Comparaison des facteurs *SEAT* selon chacun des axes obtenus avec les valeurs efficaces (a_w) et avec les valeurs de doses vibratoires (*VDV*)

Équipement	Tâche	<i>SEAT_x</i>		<i>SEAT_y</i>		<i>SEAT_z</i>	
		a_w	<i>VDV</i>	a_w	<i>VDV</i>	a_w	<i>VDV</i>
4 – Chargeuse-navette 8 vg^3 Toro	Cycle complet	1,47	1,45	1,18	1,16	0,71	0,60
5 - Chargeuse-navette 8 vg^3 LH514	Cycle complet	1,53	1,47	1,30	1,26	0,58	0,40
6 - Camion à flèche	Conduite	1,64	1,63	1,16	1,16	0,89	0,93
7 - Camion à béton (vide)	Conduite	1,58	1,56	1,31	1,30	0,80	0,82
8 - Concasseur	Opération	0,23	0,10	0,21	0,10	0,64	0,29
11 - Foreuse jumbo	Forage	3,52	3,88	2,27	3,27	1,36	2,14
12 – Kubota L 5740	Conduite	1,41	1,42	1,20	1,25	0,68	0,99
13 - Minecat 100 PC	Conduite	2,19	2,26	1,16	1,19	1,71	1,89
14 - RTV 900	Conduite	1,24	1,24	1,57	1,66	0,93	0,90
15 - Chargeuse-navette 3,5 vg^3	Déplacement	1,13	1,12	1,12	1,09	1,04	0,89
16 - Chargeuse-navette 6 vg^3	Cycle complet	2,23	2,05	0,62	0,55	1,27	1,43
20 - Chargeuse-navette 15 vg^3	Cycle complet	1,44	1,43	1,28	1,24	1,32	1,12
22 - Niveleuse	Opération	1,27	1,24	1,14	1,14	1,07	1,03
23 - Concasseur	Opération	1,01	1,57	1,56	2,12	0,34	0,52
24 - Niveleuse	Opération	1,20	1,20	1,14	1,12	0,87	0,80
25 - Locomotive	Conduite	0,93	0,88	1,27	1,07	0,95	0,94
26 - Land Cruiser	Déplacement	1,03	1,00	1,24	1,24	0,95	0,94
27 - Chargeuse-navette 9 vg^3	Cycle complet	1,44	1,49	1,21	1,18	1,31	1,29

4.1.2 Vibrations main-bras

Le tableau 10 résume les niveaux de vibrations main-bras par équipement et par tâche évalués sous forme d'accélération efficace pondérée (a_w , voir équation 9). Les niveaux de vibrations main-bras sont présentés sous forme de moyenne (\bar{x}) et d'écart-type (s_{n-1}). Sont également présentés dans le tableau, le nombre d'échantillons n utilisé pour le calcul des niveaux de vibrations moyens ainsi que la durée $t(s)$, ou la plage des durées, en secondes, pour chacune des mesures. Le détail des mesures est fourni sous forme de fiche par équipement à l'annexe D.

Tableau 10. Sommaire des niveaux de vibrations par équipement pour les vibrations main-bras

Équipement	Tâche	n	t (s)	a_w (m/s ²)	
				\bar{x}	s_{n-1}
2 - Rétrocaveuse sur roues	Marinage	3	210	2,08	0,03
12 - Kubota L 5740	Conduite	3	175-203	2,63	0,25
13 - Minecat 100 PC	Conduite	2	165	2,58	N/A
14 - RTV 900	Conduite	4	188	3,05	0,40
18 - Foreuse jumbo	Forage	4	50	1,83	0,19
22 - Niveleuse	Opération	5	100	2,11	0,30
23 - Concasseur	Appui-bras	3	60	1,70	0,34
24 - Niveleuse	Opération	4	106-180	2,62	0,13

4.1.3 Bruit

Le tableau 11 résume les niveaux de bruit par équipement et par tâche évalués sous forme de niveau de pression pondérée A (L_A , voir équation 11). Les niveaux de bruit sont présentés sous forme de moyenne (\bar{x}) et d'écart-type (s_{n-1}). Sont également présentés dans le tableau le nombre d'échantillons n utilisé pour le calcul des niveaux de bruit moyens ainsi que la durée $t(s)$, ou la plage des durées, en secondes, pour chacune des mesures. Le détail des mesures est fourni sous forme de fiche par équipement à l'annexe D.

Tableau 11. Sommaire des niveaux de bruit par équipement

Équipement	Tâche	n	$t (s)$	L_A (dBA)	
				\bar{x}	s_{n-1}
1 - Rétrocaveuse sur rails	Marinage	13	55-215	117	0,7
2 - Rétrocaveuse sur roues	Marinage	3	209-231	114	0,3
3 - Plateforme d'aluminium	Forage	6	56-105	121	0,8
4 - Chargeuse-navette 8 vg ³ Toro	Cycle complet (sans radio)	3	10-11	87	1,2
5 - Chargeuse-navette 8 vg ³ LH514	Cycle complet	5	34-60	83	0,2
6 - Camion à flèche	Conduite	8	120-177	89	1,7
7 - Camion béton (vide)	Conduite	7	96-121	101	1,0
8 - Concasseur	Opération	5	60-64	78	0,1
9 - Boulonneuse neuve	Forage	3	37-90	105	0,2
10 - Boulonneuse usée	Forage	3	14-20	97	0,8
	Boulon à friction	1	14	106	N/A

Tableau 11. Sommaire des niveaux de bruit par équipement (suite)

Équipement	Tâche	<i>n</i>	<i>t</i> (s)	<i>L_A</i> (dBA)	
				\bar{x}	<i>s_{n-1}</i>
11 - Foreuse jumbo	Forage (Portes fermées)	4	60-70	77	0,7
	Forage (1 porte ouverte)	5	77-90	93	2,0
	Forage (2 portes ouvertes)	3	16-20	98	0,2
12 – Kubota L 5740	Conduite	3	60	101	0,2
13 - Minecat 100 PC	Conduite	6	60-87	104	1,8
15 - Chargeuse-navette 3,5 vg ³	Déplacement	3	20-21	104	0,2
16 - Chargeuse-navette 6 vg ³	Cycle complet	4	30-36	99	1,3
18 - Foreuse jumbo	Forage	3	28-35	105	0,7
20 - Chargeuse-navette 15 vg ³	Cycle complet	4	43-60	99	0,6
	Cycle complet (sans radio)	1	60	92	N/A
23 - Concasseur	Opération	6	44-60	107	1,6
24 - Niveleuse	Opération	7	36-60	101	0,7
25 - Locomotive	Conduite	6	59-60	92	1,5
27 - Chargeuse-navette 9 vg ³	Cycle complet	10	61	85	1,3
	Cycle complet, porte ouverte	2	61	98	N/A

4.2 Fiches de mesure détaillées

Les fiches de mesures détaillées sont présentées à l'annexe D.

5. DISCUSSION

5.1 Vibrations globales du corps

Les niveaux de vibrations globales du corps peuvent être classés en utilisant les recommandations de la directive européenne 2002/44/EC, qui sont explicitées dans le *Guide des bonnes pratiques en matière de vibrations globales du corps* [21]. Ce guide recommande une valeur d'action d'exposition journalière de $0,5 \text{ m/s}^2$ pondérée (valeur efficace sur 8 heures) ou d'une valeur de dose de vibration (VDV) de $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$. Ce guide recommande également une valeur limite d'exposition journalière de $1,15 \text{ m/s}^2$ pondérée (valeur efficace sur 8 heures) ou d'une valeur de dose de vibration (VDV) de $21 \text{ m/s}^{1,75}$. La valeur d'action est une valeur au-delà de laquelle l'employeur doit prendre des mesures de prévention, tandis que la valeur limite est une valeur qui ne doit pas être dépassée sur une journée de travail. On peut donc classer les équipements miniers pour les vibrations globales du corps selon qu'ils soient à faible risque (sous la valeur d'action), à risque moyen (entre la valeur d'action et la valeur limite) ou à risque élevé (au-dessus de la valeur limite). Les valeurs du tableau 6 correspondent à des expositions quotidiennes de 8 heures, il faut donc réduire ces valeurs lorsque les expositions sont de moins de 8 heures.

Pour la valeur efficace, on utilise la formule suivante pour calculer la valeur de l'exposition à partir de la valeur efficace pondérée (T étant la période d'exposition en heures) :

$$a_{w,exp} = \left(\frac{T}{8}\right)^{\frac{1}{2}} a_w \quad (13)$$

Pour la valeur de dose vibratoire (VDV), on utilise la formule suivante pour calculer la VDV à partir de la VDV sur 8 heures (T étant la période d'exposition en heures) :

$$VDV = \left(\frac{T}{8}\right)^{\frac{1}{4}} VDV_8 \quad (14)$$

En se basant uniquement sur les valeurs a_w et VDV_8 , telles que présentées au tableau 6 et permettant de comparer les équipements entre eux (sur une base de temps commune), les équipements miniers évalués ont été classés au tableau 12, selon le niveau de risque qu'ils représentent en matière de vibrations globales du corps, lorsqu'opérés sur une période quotidienne de 8 heures.

Tableau 12. Niveau de risque, pour les vibrations globales du corps, des différents équipements miniers opérés sur 8 heures.

<p>Risque élevé ($a_w > 1,15 \text{ m/s}^2$ ou $VDV_8 > 21 \text{ m/s}^{1,75}$)</p>	<p>Rétrocaveuses¹ (sur roues et sur rails), Plateforme d'aluminium, Chargeuse-navette 8 vg³ (Toro), Camion à flèche, Camion à béton, Kubota L 5740, Minecat 100 PC, Chargeuse-navette 6 vg³, Chargeuse-navette 9 vg³</p>
<p>Risque moyen ($0,5 < a_w < 1,15 \text{ m/s}^2$ et/ou $9,1 < VDV_8 < 21 \text{ m/s}^{1,75}$)</p>	<p>Chargeuse-navette 8 vg³ (LH514), RTV 900, Chargeuse- navette 3,5 vg³, Camion ciseaux (forage plafond), Chargeuse-navette 15 vg³, Niveleuse, Locomotive, LandCruiser, Alimak, Boulonneuse (installation de boulons à friction fendus).</p>
<p>Risque faible ($a_w < 0,5 \text{ m/s}^2$ et $VDV_8 < 9,1 \text{ m/s}^{1,75}$)</p>	<p>Concasseur, Boulonneuse, Foreuse jumbo, Camion ciseaux.</p>

¹ Les rétrocaveuses sont associées à des niveaux de vibrations globales du corps très élevés ($a_w > 2,5 \text{ m/s}^2$).

5.2 Facteurs SEAT des sièges évalués

Dans un premier temps, on note que les facteurs *SEAT* obtenus avec les deux méthodes de calcul (a_w et *VDV*, voir le tableau 9) donnent des résultats similaires dans la majorité des cas. Un facteur *SEAT* plus élevé avec la méthode *VDV* (par rapport à la méthode a_w) pourrait indiquer une amplification des chocs ou impacts, tandis qu'un facteur *SEAT* moins élevé avec la méthode *VDV* indiquerait plutôt le contraire (atténuation des impacts). Afin d'identifier les sièges potentiellement problématiques, les facteurs *SEAT* moyens obtenus avec la valeur efficace (tableau 7) pour l'axe z seulement (direction dans laquelle la très grande majorité des sièges à suspension sont conçus pour atténuer les vibrations) ont été analysés en tenant compte du niveau de l'accélération efficace pondérée (a_w) selon l'axe z. En effet, il serait souhaitable d'améliorer les sièges à suspension dont le facteur *SEAT* selon l'axe z est supérieur à 1 (amplifiant les vibrations verticales), et dont l'accélération efficace pondérée selon l'axe z est supérieure à $0,5 \text{ m/s}^2$ (supérieure à la valeur d'action). Les sièges qui remplissent ces deux conditions et qui sont donc potentiellement problématiques sont ceux du Minecat 100PC et des chargeuses-navettes de $3,5 \text{ vg}^3$, 6 vg^3 , 9 vg^3 et 15 vg^3 .

5.3 Vibrations main-bras

Les niveaux de vibrations main-bras peuvent être classés en utilisant les recommandations de la directive européenne 2002/44/EC, qui sont explicitées dans le *Guide des bonnes pratiques en matière de vibrations main-bras* [22]. Ce guide recommande une valeur d'action d'exposition journalière de $2,5 \text{ m/s}^2$ pondérée (valeur efficace sur 8 heures) et une valeur limite d'exposition journalière de 5 m/s^2 pondérée (valeur efficace sur 8 heures). Comme pour les vibrations globales du corps, la valeur d'action est une valeur au-delà de laquelle l'employeur doit prendre des mesures de prévention, tandis que la valeur limite est une valeur qui ne doit pas être dépassée sur une journée de travail. On peut donc classer les équipements miniers pour les vibrations main-bras selon qu'ils soient à faible risque (sous la valeur d'action), à risque moyen (entre la valeur d'action et la valeur limite) ou à risque élevé (au-dessus de la valeur limite). Les valeurs du tableau 6 correspondent à des expositions quotidiennes de 8 heures, il faut donc réduire ces valeurs lorsque les expositions sont de moins de 8 heures en utilisant l'équation 13.

En se basant uniquement sur les valeurs a_w telles que présentées au tableau 10 et permettant de comparer les équipements entre eux (sur une base de temps commune), les équipements miniers évalués pour les vibrations main-bras ont été classés au tableau 13, selon le niveau de risque qu'ils représentent en matière de vibrations main-bras, lorsqu'opérés sur une période quotidienne de 8 heures. On remarque qu'aucun des équipements évalués pour les vibrations main-bras dans le cadre de ce projet ne se retrouve dans la catégorie à risque élevé.

Tableau 13. Niveau de risque, pour les vibrations main-bras, des différents équipements miniers opérés sur 8 heures.

Risque élevé $(a_w > 5 \text{ m/s}^2)$	
Risque moyen $(2,5 < a_w < 5 \text{ m/s}^2)$	Kubota L 5740, Minecat 100PC, RTV 900, Niveleuse
Risque faible $(a_w < 2,5 \text{ m/s}^2)$	Rétrocaveuse sur roues, Foreuse jumbo, Niveleuse, Concasseur

5.4 Bruit

Afin de prioriser d'éventuels travaux pour la réduction du bruit en milieu minier, les niveaux de bruit des équipements miniers ont été classés selon trois catégories : très bruyant ($L_A > 110$ dBA), bruyant ($90 < L_A < 110$ dBA) et moins bruyant ($L_A < 90$ dBA). Cette classification a été établie en utilisant les résultats du tableau 11. Elle concerne seulement les équipements miniers dont le bruit a été mesuré dans le cadre de ce projet.

Tableau 14. Classification des équipements miniers évalués selon leurs niveaux de bruit

Très bruyant ($L_A > 110$ dBA)	Rétrocaveuse, Plateforme d'aluminium (opération d'une foreuse à béquille)
Bruyant ($90 < L_A < 110$ dBA)	Camion à béton, Boulonneuse, Foreuse jumbo (1 ou 2 portes ouvertes), Kubota L 5740, Minecat 100PC, Foreuse jumbo, Concasseur, Chargeuse-navette 15 vg ³ , Locomotive, Niveleuse, Chargeuse-navette 3,5 vg ³ et 6 vg ³ , Chargeuse-navette 9 vg ³ (porte ouverte)
Moins bruyant ($L_A < 90$ dBA)	Foreuse jumbo (portes fermées), Chargeuse-navette 9 vg ³ (porte fermée), Concasseur, Camion à flèche, Chargeuse-navette 8 vg ³

On note que les équipements dans la catégorie « très bruyant » sont tous des équipements de type pneumatique (rétrocaveuse sur rails et sur roues ; opération d'une foreuse à béquille sur plateforme d'aluminium).

6. CONCLUSION

6.1 Sommaire des travaux

L'objectif principal de ce projet était d'identifier les différentes sources vibratoires et sonores parmi une gamme d'équipements miniers pouvant potentiellement avoir un effet néfaste sur la santé des opérateurs et d'en mesurer l'amplitude.

Un total de 28 équipements miniers répartis dans 8 mines souterraines québécoises a été évalué. Les équipements ont été évalués dans les mines Mouska, Laronde, Goldex, Kiena, Persévérance, Casa Berardi, Lapa et Doyon. En ce qui concerne les vibrations globales du corps, les équipements à risque élevé ($a_w > 1,15 \text{ m/s}^2$ ou $VDV_8 > 21 \text{ m/s}^{1,75}$), pour une exposition quotidienne de 8 heures, sont les rétrocaveuses (sur rails et sur roues), l'opération d'une foreuse à béquille sur une plateforme d'aluminium, les chargeuses-navettes de 6, 8 et 9 vg^3 et certains véhicules de services ou de transport (camion à flèche, camion à béton, Kubota et Minecat). On note que les rétrocaveuses sont associées à des niveaux de vibrations globales du corps très élevés ($a_w > 2,5 \text{ m/s}^2$). Afin d'identifier les sièges potentiellement problématiques, les facteurs *SEAT* moyens obtenus avec les valeurs efficaces pondérées pour l'axe z seulement ont été analysés en tenant compte du niveau de l'accélération efficace pondérée (a_w) selon l'axe z. Les sièges qui ont été identifiés comme étant potentiellement problématiques sont ceux dont le facteur *SEAT* selon l'axe z est supérieur à 1 (amplifiant les vibrations verticales), et dont l'accélération efficace pondérée selon l'axe z est supérieure à $0,5 \text{ m/s}^2$ (supérieure à la valeur d'action). Les sièges qui remplissent ces deux conditions et qui sont donc potentiellement problématiques sont ceux du Minecat 100PC et des chargeuses-navettes de 3,5 vg^3 , 6 vg^3 , 9 vg^3 et 15 vg^3 . Pour les vibrations main-bras, aucun des équipements évalués ne se situait dans la zone de risque élevé ($a_w > 5 \text{ m/s}^2$). Finalement, en ce qui concerne le niveau de bruit, trois équipements se situaient dans la catégorie très bruyant ($L_A > 110 \text{ dBA}$). Il s'agit des rétrocaveuses sur rails et sur roues ainsi que de l'opération d'une foreuse à béquille sur une plateforme d'aluminium. Ces trois équipements sont à alimentation pneumatique (air comprimé).

6.2 Recommandations

En se basant sur les résultats obtenus dans les mines souterraines, plusieurs recommandations visant à réduire l'exposition des travailleurs miniers au bruit et aux vibrations, ainsi qu'à orienter de futurs travaux de recherche et développement peuvent être formulées :

- 1) Afin de réduire l'exposition au bruit des travailleurs, mettre au point un silencieux pour l'échappement en air comprimé pour les rétrocaveuses (sur rails et sur roues) ainsi que pour les foreuses à béquille.
- 2) Sensibiliser les travailleurs à l'importance de porter leurs protecteurs auditifs. Leur fournir de l'information vulgarisée sur le port adéquat des protecteurs. Étudier la possibilité d'utiliser la double protection (bouchon + coquille) lorsque les niveaux de bruit sont très élevés ($L_A > 110 \text{ dBA}$).

- 3) Pour les rétrocaveuses (sur rails et sur roues), limiter leurs utilisations quotidiennes par les travailleurs en favorisant des rotations sur les postes de travail. Utiliser le plus possible ces équipements en mode télécommandé pour limiter l'exposition des travailleurs aux vibrations globales du corps.
- 4) Installer des sièges à suspension adaptés à la dynamique du véhicule dans les chargeuses-navettes et les véhicules de service et de transport. Évaluer l'efficacité des sièges à suspension dans les véhicules qui en sont munis. Au besoin les remplacer.
- 5) Améliorer la conception de la plateforme d'aluminium afin de minimiser l'exposition aux vibrations globales du corps lors de l'opération de foreuses à béquille sur ce type de plateforme.

Par ailleurs, en se basant sur les observations effectuées lors des visites dans les mines souterraines, les recommandations suivantes peuvent être formulées :

- 1) Favoriser l'utilisation de pneus avec chambre à air plutôt que de pneus pleins pour diminuer l'exposition aux vibrations globales du corps.
- 2) Bien entretenir les rampes et les galeries afin de conserver une surface de roulement lisse.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] L. Laverdure, J.M. Fecteau, Définition d'un plan d'action en recherche et développement, essai et expérimentation, favorisant la compétitivité et la sécurité des opérations minières souterraines, LMSM-CANMET Rapport 04-037 (RC), 2004.
- [2] Présentation de l'APSM à l'AMQ (source CSST, 2005).
- [3] P. Duguay, P. Massicotte, Lésions professionnelles reliées aux vibrations mains-bras au Québec, 1993 à 2002 : Partie I - portrait général à partir des données informatiques de la CSST, Rapport R-446, IRSST, 2006.
- [4] Réunion du Conseil d'administration de SOREDEM tenue le 11 décembre 2006.
- [5] Répartition des lésions professionnelles acceptées survenues de 1998 à 2003 selon le genre de la lésion et l'année de l'événement pour la nature des lésions 12610 : surdité, perte ou déficience auditive. Rapport D04-137, CSST, DCGI, Service de la statistique, 2004.
- [6] M. Bovenzi, C.T.J. Hulshof, An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997), *Int. Arch. Occup. Environ. Health* (1999) 72 : 351-365.
- [7] P.-E. Boileau, J. Boutin, L. Milette, Exposition au bruit et aux vibrations mains-bras liée à l'opération de foreuses à béquille pneumatique et hydraulique, Rapport R-046, Montréal, IRSST, 1990, 22 pages.
- [8] P.-E. Boileau, Les vibrations engendrées par les foreuses à béquille à la division Opémiska de Minnova, Rapport B-027, Montréal, IRSST, 1990, 43 pages.
- [9] P. Marcotte, S. Ouellette, J. Boutin, P.-É. Boileau, G. LeBlanc, R. Oddo, Foreuses à béquille - Mise au point d'un banc d'essai pour caractériser les valeurs d'émission vibratoire, Rapport R-499, Montréal, IRSST, 2007, 49 pages.
- [10] A. Salmoni, T. Eger, Exposure to whole body vibration in mining, transportation, and construction. Final Report, WSIB Grant #00-031, 2008.
- [11] T. Eger, A. Salmoni, A. Cann, R. Jack, Whole-body vibration exposure experienced by mining equipment operators. *Occupational Ergonomics*, 6:121-127, 2006.
- [12] 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.

- [13] 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.
- [14] B. McPhee, G. Foster, A. Long, A handbook on whole body vibration exposure in mining. The joint coal board health and safety trust, Australia, 2001.
- [15] J. Village, J.B. Morrison, D.K.N. Leong, Whole-body vibration in underground load-haul-dump vehicles. *Ergonomics*, 32(10):1167-1183, 1989.
- [16] ISO 8041 – Réponse des individus aux vibrations – Appareillage de mesure. Organisation internationale de normalisation, 2005.
- [17] CEI 61672-3 – Électroacoustique – Sonomètre – Partie 3: Essais périodiques. Commission électrotechnique internationale, 2006.
- [18] ISO 2631-1 – Vibrations et chocs mécaniques – Évaluation de l'expositions des individus à des vibrations globales du corps – Partie 1: Spécifications générales. Organisation internationale de normalisation, 1997.
- [19] ISO 5349-1 – Vibrations mécaniques – Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main – Partie 1: Exigences générales. Organisation internationale de normalisation, 2001.
- [20] CEI 61672 – Électroacoustique – Sonomètre. Commission électrotechnique internationale, 2003.
- [21] Guide des bonnes pratiques en matière de vibrations globales du corps. INRS, 65 p., 2006.
- [22] Guide des bonnes pratiques en matière de vibrations main-bras. INRS, 62 p., 2006.

ANNEXE A : QUESTIONNAIRE À L'INTENTION DES MINES

Exposition des travailleurs miniers aux vibrations et au bruit

Un projet mené conjointement par les LMSM-CANMET, l'IRSST et SOREDEM a été lancé afin d'identifier et documenter les différentes sources vibratoires et sonores pouvant affecter la santé des opérateurs. Le projet touche tant les vibrations mains-bras que les vibrations globales du corps qui peuvent être transmises à l'opérateur par le siège ou le plancher. Ce projet aidera SOREDEM à définir une liste de projets prioritaires visant l'amélioration des conditions de travail sous terre. Il permettra aussi de sensibiliser les opérateurs aux problématiques du bruit et des vibrations.

Au cours de ce projet, de nombreux équipements et tâches seront évalués en détail. Le présent questionnaire vise à fournir les renseignements nécessaires pour établir une liste d'équipements/tâches qui feront par la suite l'objet de prises de mesures vibratoires et sonores.

Nous vous demandons de remplir ce formulaire de façon électronique puis de le retourner à l'adresse suivante: syouelle@nrca.gc.ca. Si vous avez des questions, n'hésitez pas à contacter **Sylvain Ouellette au (819) 736-4331 poste 235 ou par courriel.**

Insérez vos réponses directement dans le document en ajoutant autant de lignes que nécessaire. Si vous disposez d'information supplémentaire pertinente, n'hésitez pas à l'ajouter même si aucune question ne le demande explicitement. Votre participation est essentielle au succès de cette initiative.

SECTION 1 : Coordonnées de l'entreprise et de la personne-ressource

Les coordonnées de l'entreprise et de la personne-ressource doivent être entrées dans cette section. Cette personne sera contactée si des détails supplémentaires sont requis.
--

Entreprise :

Adresse :

Nom de la personne-ressource :

Titre de la personne-ressource :

Téléphone de la personne-ressource :

Courriel de la personne-ressource :

Date :

SECTION 4 : Équipements à évaluer

Veillez fournir des détails supplémentaires sur les équipements/tâches pour lesquels vous croyez qu'il serait pertinent d'évaluer l'exposition des travailleurs aux vibrations et/ou au bruit. Ne pas inclure les foreuses et boulonneuses pneumatiques manuelles (Secan S250) en utilisation normale car nous possédons déjà des données complètes à ce sujet.

EXEMPLE

Équipement utilisé	Type	Plateforme élévatrice
	Modèle	Getman A64
	Quantité	2

Tâche	Installation de soutènement à partir de la plateforme	
Problématique	Vibrations inconfortables transmises par le plancher lors du forage	
Exposition	Niveau vibratoire significatif	oui
	Niveau sonore significatif	oui
	Quarts par semaine	5
	Nombre de travailleurs par quart	2
	Heures d'exposition par travailleur par quart	4
Gravité	Plaintes	oui
	Réaffectations	oui
	Indemnisations	non
Solutions potentielles	-bottes isolant mieux les vibrations -recouvrement de plate forme amortissant mieux les vibrations	
Commentaires	Certains mineurs se demandent si les problèmes de dos et de genoux qu'ils ont développés ont été aggravés par ces vibrations	

Tâche	Déplacement entre deux endroits de travail	
Problématique	Fortes vibrations transmises par le siège et le plancher lors du déplacement	
Exposition	Niveau vibratoire significatif	oui
	Niveau sonore significatif	oui
	Quarts par semaine	5
	Nombre de travailleurs par quart	1
	Heures d'exposition par travailleur par quart	1
Gravité	Plaintes	non
	Réaffectations	non
	Indemnisations	non
Solutions potentielles	- développer siège mieux adapté.	
Commentaires	Camion sans suspension, siège en mauvais état.	

Équipement utilisé	Type	
	Modèle	
	Quantité	

Tâche		
Problématique		
Exposition	Niveau vibratoire significatif	
	Niveau sonore significatif	
	Quarts par semaine	
	Nombre de travailleurs par quart	
	Heures d'exposition par travailleur par quart	
Gravité	Plaintes	
	Réaffectations	
	Indemnisations	
Solutions potentielles		
Commentaires		

*Copier cette section si plus d'une tâche à analyser pour l'équipement

ANNEXE B : INVENTAIRE DES ÉQUIPEMENTS

Mines ayant répondu au questionnaire : A, B,
C, D, E, F, G et H

Transport de minerai										
Description	TOTAL	A	B	C	D	E	F	G	H	Commentaires
Camion - Wagner MT-426 / 26 tonnes	1				1					
Camion - 16 tonnes	1	1								
Camion - Caterpillar AD45B	4						4			
Camion - Dux + D40	1							1		
Camion - Jarus-clark JDT 413	1							1		
Camion - John Clark JCI1304 / 13 tonnes	1				1					
Camion - Tamrock EUC 430D	3					3				
Camion - Tamrock JDT 426	4			2		2				
Camion - Tamrock TORD 50D	6					6				
Camion - Toro 35 D	8							8		
Camion - Toro 40 D	2							2		
Camion - Wagner MTT 426	4							4		
Camion - Wagner MTT-422-30 / 30 tonnes	2				2					
Locomotive - Balco 5 tons	3	3								
Locomotive - Clayton 3,5 tons	5		5							cogne aux joints de track
Locomotive - Clayton 5 tons	5	5								
Locomotive - Clayton diesel	2				2					
Locomotive - Goodman 3,5 t	7		5	2						cogne aux joints de track
Locomotive - Goodman 7 tonnes	2			2						
Locomotive - Goodman batteries	8				8					
Locomotive - Mancha 8 tonnes	1			1						
Locomotive - Trojan 3 ½ tons	6	6								
Locomotive - Mancha 1.5 Tonnes	3								3	
Locomotive - Atlas Q 4 tonnes	15								15	
Locomotive - Clayton 5.5 Tonnes	0									

Équipement d'excavation										
Description	Total	A	B	C	D	E	F	G	H	Commentaires
? - US 350	1					1				
Chargeuse - 1 ½ verges EJC-60 électrique	4	4								
Chargeuse - 3 ½ verges EJC-100 diesel	2	2								
Chargeuse - Caterpillar 936	2	1						1		
Chargeuse - Caterpillar 966 F	2	1						1		
Chargeuse - Caterpillar R2900G	4						4			

Chargeuse - Caterpillar R2900G XTRA 15 verges à cabine fermée	3			3						
Chargeuse - Copco ST 700	2	1						1		
Chargeuse - Copco St 710	4	2						2		
Chargeuse - Copco ST 1030	2	1						1		
Chargeuse - Copco ST1010	3						3			
Chargeuse - Copco ST-1020 / 6 verges	1			1						
Chargeuse - Copco ST-1030 / 6 verges	1			1						
Chargeuse - EJC 130	18	9						9		
Chargeuse - EJC 210	1							1		
Chargeuse - EJC 60	1							1		
Chargeuse - France Loader CTX-5	1			1						
Chargeuse - Jarvis Clark - JS-285	1			1						
Chargeuse - Jarvis Clark JS-220	1			1						
Chargeuse - Jarvis Clark JS-500	1			1						
Chargeuse - JCI 300M	10	5						5		
Chargeuse - JS600 6 verges	1			1						
Chargeuse - Tamrock EJC 210	6					6				
Chargeuse - Tamrock EJC 210 6 verges	1			1						
Chargeuse - Tamrock EJC-130 DTZ	1			1						
Chargeuse - Tamrock EJC-210	1			1						
Chargeuse - Tamrock EJC-210 / 6 verges	3			3						
Chargeuse - Toro 1400	14					14				
Chargeuse - Toro 400 électrique	2	1						1		
Chargeuse - Toro 450 D	6	3						3		
Chargeuse - Toro 500 D	6	3						3		
Chargeuse - Wagner ST2	1					1				
Chargeuse - Wagner ST3	3					3				
Chargeuse - Wargner ST 210	1							1		
Chargeuse 450D Toro 8 verges	1			1						
Chargeuse Jarvis-Clark JS 200	2	1						1		
Chargeuse -Tamrock EJC-130 DTZ	1			1						
Ra cloirs - 15 hp air	7	6	1	x						
Ra cloirs - 30 hp air	8	7	1	x						
Ra cloirs - électrique	2	2								
Rétrocaveuse à air comprimé sur rails - LM 56	31	13	2	6					10	
Rétrocaveuse sur pneumatique - Cavo 310	13	9	2	2						
Rétrocaveuse sur pneumatique - Cavo 320	57	8	26	2					21	
Ra cloir - K5M	12									12

Équipement de forage/boulonnage										
Description	Total	A	B	C	D	E	F	G	H	Commentaires
Aléseuse - Copco Gold série 6, V30	1				1					
Aléseuse - N/A	2					2				
Boulonneuse - Copco H-350 / 35PL	1				1					
Boulonneuse - Maclean BH3	1						1			
Boulonneuse - Maclean MEM 928	2						2			
Compresseur - Cubex	4			4						Associer aux foreuses
Compresseur - Garder Denver	1				1					
Compresseur - Le Roy (Cubex R-55), ITH	1				1					

Jumbo - Atlas Copco un boom Boomer H104 avec foreuse 12-38	1	1								
Jumbo - CMS CJ 120	2						2			
Jumbo - 3 booms sur rails	1				1					
Jumbo - Axera 75-260	4					4				
Jumbo - Copco Boomer H231, 1 boom	1				1					
Jumbo - Copco Rocket boomer 281	1							1		
Jumbo - Copco Rocket boomer 282	3							3		
Jumbo - Copco, Boomer 104, 1 Boom	2				2					
Jumbo - Copco, Boomer 322, 2 Booms	1				1					
Jumbo - Copco, Promec MH-652, 1 Boom	1				1					
Jumbo - Montabert	1				1					
Jumbo - Sandvik Tamrock, Axera 7-260	1						1			
Jumbo - Tamrock DATAMINI 206-60	1			1						Tapis de caoutchouc
Jumbo - Tamrock MINIMATIC H205D	1			1						Tapis de caoutchouc
Jumbo - TELEDYNE M60-D27SC, téléguidé	1				1					
Long tom	1					1				
Long tom - 2 mats sur pneu	1								1	
Long tom -3 mats sur rails	5								5	
Long trou - BBC120	1	1								
Long trou - CMAC S36, Secan S36 IR	1				1					
Long trou - CMS, Carrier John Deer	2				2					
Long trou - Cubex 6200 HH avec compresseur	4			4						Évaluation du bruit débuté
Long trou - MTI, CDJ-2SHBE	1						1			
Long trou - Rig ST2	1					1				
Long trou - Simba Atlas CpcO H1357	2					2				
Long trou - Solo 1020	3					3				
Long trou - Solo Tamrock H1006	4					4				
Long trou, Sandvik Tamrock, Solo DL410	1						1			
Long-trou - S36	3	3								

Véhicules de service et transport de personnel										
Description	Total	A	B	C	D	E	F	G	H	Commentaires
? Marcotte - M60-A	1						1			
?flotte de gear-truck	0				x					
?Getman 46443	1					1				
?Normet SL 4035	1					1				
?Vallée	1					1				
Applicateur à béton projeté - Driftech , MSV 2100 E	1						1			
Applicateur à béton projeté - ENG	1					1				
Camion à béton - 13T1 Sct6	4					4				
Camion à béton - NORMET NT 100	1			1						
Camion à émulsion -DUX TD 20	2			2						
Camion à explosif - Getman A-64	1			1						
Camion à flèche - Getman A-64	1			1						
Camion à flèche - Jarvis clarck JDT 413	1							1		
Camion à flèche - Maclean	1					1				
Camion à flèche - Maclean BT3	4						4			
Camion à flèche - Maclean Mem 966	1					1				

Camion à flèche - TELEDYNE M40-PS	1				1					
Camion à flèche -Merlo 4519	1					1				
Camion à lubrification - GETMAN A-64	1			1						
Camionnette - Toyota Accès industriel HZJ79	10						10			
Chargeuse - Wagner ST2 B	2			2						
Chargeuse à fourche - Wagner ST2B	4							4		
Chargeuse compacte - Volvo L-20B	2			2						
Chargeuse pelleteuse - Caterpillar 420 EIT	1						1			
Chariot élévateur - HYSTER	1			1						
Élévateur à fourche - 520 Tracteur - Kubota	2					2				
Élévateur à fourche - Caterpillar SP 25	2					2				
Élévateur à fourche - R410 Kubota	1					1				
Jeep - BEJING BJ2020SK	3				3					
Jeep - Genco	3							3		
Jeep - Landcruiser Toyota	3					2		1		
Mini chargeur - Bobcat 553	1					1				
Mini excavatrice - Caterpillar 302.5	2			2						
Mule - RTV 900 6K	16					14		2		
Multifonction - Miller 4CE	8					8				
Multifonction - MINECAT 100	5				1	4				
Niveleuse - Champion-cabine fermée	1			1						
Niveleuse -Caterpillar 12M	1						1			
Tracteur - Agco Allis 5680	5							5		
Tracteur - Kubota	1	1								
Tracteur - Kubota 5400 / Mine	3				3					
Tracteur - Kubota – M59	1						1			
Tracteur - Kubota 2850 / Mécanique	1				1					
Tracteur - Kubota 3300 DT	1					1				
Tracteur - Kubota 5030 / Géologie (Naselle)	1				1					
Tracteur - Kubota 5400 / Contremaîtres	1				1					
Tracteur - Kubota 8200	6					6				
Tracteur - Kubota 8540	17			13		4				
Tracteur - Kubota L 3010	1							1		
Tracteur - Kubota L3410 DT	2					2				
Tracteur - Kubota L4850 DTMS / Électrique	2				2					
Tracteur - Kubota L5740	9					9				
Tracteur - Kubota L5740HST	4				4					
Tracteur - Kubota M 9000	2					2				
Tracteur - Kubota M5030	10			1	3	5		1		
Tracteur - Kubota M6800	12				1	11				
Tracteur - Kubota M8540DT / Mécanique	1				1					
Tracteur - Massey MF 253	2							2		
Tracteur - TR Agroplus 67	1					1				
Wagon de transport de personnel - 10 pers	4								4	

Plateformes de travail										
Description	Total	A	B	C	D	E	F	G	H	Commentaires
Alimak STH 5L	2	2								
Boulonneuse MACLEAN 928	1			1						Tapis de caoutchouc
Boulonneuse MACLEAN 946	1			1						Tapis de caoutchouc
Ciseaux - Dux SI 6000	4							4		

Ciseaux - Maclean SL3	4					4		
Ciseaux MINEJACK M-40	1				1			
Ciseaux TELEDYNE - ECM-40	1				1			
Ciseaux TELEDYNE - JUT-41SL	1				1			
Ciseaux TELEDYNE - M-40 PS	3				3			
Ciseaux A-64 Getman	4					4		
Ciseaux DUX	1					1		
Ciseaux élévateur GETMAN A-64	7			4				3
Ciseaux Normet	1					1		
Ciseaux Télédyne JUT 41	4					4		
Ciseaux - Marcotte	1							1
Ciseaux - minejack M40	1							1
Ciseaux - Normet PIC 1000	1							1
Ciseaux - Paus	2							2
Plateforme d'aluminium	9			2				7

avoir rubber sous les planches pour absorber les vibrations

Autres endroits de travail où le travailleur est soumis à des niveaux vibratoires significatifs								
Description	A	B	C	D	E	F	G	H
Blow pipe aluminium commentaire selon modification apportée plus léger, meilleure position ergonomique pour le travailleur reste le bruit à améliorer		x						
compresseurs	x							
Concasseur Niveau 14							x	
marteau casse pierre	x			x				
Salle du concasseur			x	x				
treuil	x							
Usine en général				x				
Ventilateur installer silencieux		x						

Autres endroits de travail où le travailleur est soumis à des niveaux sonores significatifs								
Description	A	B	C	D	E	F	G	H
Concasseur Niveau 14							x	
Marteau casse pierre								x
Points de chargement niveau 9, 11, 13, 16.							x	
Près concasseurs S/T					x			
Près des broyeurs au concentrateur					x			
Près filtre à disque au remblai					x			
Près ventilateurs					x			

ANNEXE C : PLANIFICATION PRÉLIMINAIRE DES ESSAIS

C.1 Heures allouées

Dans la proposition de projet, les heures suivantes ont été allouées aux LMSM-CANMET pour la campagne de mesures:

- Visites préliminaires 37,5 heures
- Protocoles d'essais 37,5 heures
- Mesures sur le terrain 300 heures

C.2 Catégories à évaluer

Les travaux du comité technique ont permis d'établir la liste des catégories à évaluer :

1. Chargeuses-navettes
2. Rétrocaveuses sur roues
3. Rétrocaveuses sur rails
4. Plateformes (Alimak, camion ciseaux, plateforme d'aluminium)
5. Niveleuses
6. Transport de personnel sur roues
7. Concasseur
8. Jumbos de forage
9. Boulonneuses*

La catégorie boulonneuse a été ajoutée à la demande de certaines mines de SOREDEM qui sont prêtes à défrayer les coûts supplémentaires pour l'évaluation de cette catégorie.

C.3 Stratégies

Travaux préliminaires

L'IRSST fournira la majeure partie de l'instrumentation. Un certain nombre d'heures est prévu pour faire l'essai de l'instrumentation dans des conditions réelles à la mine laboratoire. Ceci permettra de tester les protocoles d'essais et d'être plus efficace lors des séances de mesure dans les mines en opération. Une chargeuse-navette ainsi qu'un véhicule de transport de personnel seront testés à la mine laboratoire. Les stratégies suivantes seront appliquées pour chaque catégorie d'équipement:

1. Chargeuses-navettes

Trois dimensions de chargeuses-navettes seront évaluées (exemple $2vg^3$, $4vg^3$ et $8vg^3$). Les chargeuses seront instrumentées puis suivies pendant la réalisation des tâches typiques. Si des conditions que l'on retrouve communément ne sont pas rencontrées, il sera demandé à l'opérateur de les simuler (exemple, se promener dans la rampe en montant et en descendant avec le godet plein).

Tâches à couvrir :

- remplissage du godet
- déplacement sur un niveau chargé
- déplacement sur un niveau à vide
- déplacement dans rampe chargé (montée / descente)
- déplacement dans rampe à vide (montée / descente)

Si le temps le permet, il serait intéressant de tester deux modèles différents de même dimension et de comparer les résultats.

2. Rétrocaveuses sur roues

Il existe deux modèles de rétrocaveuses sur roues, les CAVO310 et les CAVO320. La principale différence est que le CAVO310 comporte une benne basculante tandis que le CAVO320 pellette directement dans un wagon externe (comme les rétrocaveuses sur rails).

Ces deux modèles seront évalués en fonctionnement réel dans un point de soutirage. Les rétrocaveuses seront instrumentées au niveau de la plateforme de support et des commandes. Une visite de reconnaissance sera nécessaire afin d'observer comment le mineur opère les commandes et de choisir la meilleure méthode de montage des accéléromètres et le positionnement de l'instrumentation.



Figure 6. Rétrocaveuse sur roues CAVO310

3. Rétrocaveuses sur rails

Un seul modèle de rétrocaveuse sur rails est présent dans l'industrie, le LM56. Celle-ci sera évaluée lors de l'opération typique dans un point de soutirage. Le protocole d'essais sera similaire à celui des rétrocaveuses sur roues.

4. Plateformes (Alimak, camion ciseaux, plateforme d'aluminium)

Cet exercice vise à évaluer les vibrations transmises par le plancher lors du forage et boulonnage manuel sur diverses plateformes. Le plancher des plateformes sera instrumenté. L'évaluation sera effectuée sur un modèle d'Alimak, sur une plateforme d'aluminium type et sur 2 modèles de camion ciseaux (Getman A64 et TeledyneJUT41).

Nous en profiterons pour évaluer l'efficacité de la béquille anti-vibratile pour boulonneuses développée par Black Swan Consulting.

5. Niveleuses

Deux modèles de niveleuses seront évalués lors de l'opération sous terre. La niveleuse sera instrumentée. En plus d'un capteur de vibration au siège et au plancher, la niveleuse sera équipée d'un capteur de vitesse. L'idéal serait de précéder la niveleuse dans son parcours afin de prendre des notes sur son cycle de travail et les conditions de terrain.

6. Transport de personnel sur roues

Au moins 5 véhicules de transport de personnel sur roues seront évalués et ce, dans une même mine. Les 5 véhicules seront testés sur le même parcours. Au moins deux cycles seront effectués pour chaque véhicule. Un cycle afin de déterminer l'exposition du chauffeur et un cycle afin de déterminer l'exposition des passagers. Dépendant du type de véhicule, il serait intéressant d'effectuer un cycle à vide et un cycle à pleine capacité.

7. Concasseur

Deux sites seront évalués. Des relevés vibratoires seront effectués à différents endroits de travail. Si des niveaux significatifs sont mesurés, une étude de temps et mouvement sera effectuée afin d'estimer l'exposition de l'opérateur.

8. Jumbos de forage

Deux jumbos de forage seront évalués dans le cadre du projet.

9. Boulonneuses

Deux boulonneuses seront évaluées dans le cadre du projet. Tel que déterminé lors de la réunion de SOREDEM, les frais de cette évaluation seront couverts par les mines intéressées.

PLANIFICATION DES ESSAIS

Paramètres

Durée moyenne des déplacements par visite (route + sous-terre, aller-retour)

3 Heures

Heures par jour travaillées dans les mine lors des visites (sur le site d'essais)

4 Heures

Contingence

15%

Type	Visite préliminaire				Évaluation			Déplacements	Contingence	Total
	Eq	Pers	Durée/Eq	Hrs	Pers	Durée/Eq	Hrs	Hrs	Hrs	Hrs
Travaux préliminaires							65	0	9,8	75
Chargeuses-navettes	4	1	1	4	2	4	32	27	9,5	72
Rétrocaveuses sur roues	2	1	2	4	2	3	12	12	4,2	32
Rétrocaveuses sur rails	1	1	2	2	2	3	6	6	2,1	16
Plateformes	4	1	1	4	2	2	16	15	5,3	40
Niveleuses	2	1	1	2	2	3	12	11	3,7	28
Transport de personnel sur roues	5	1	1	5	2	3	30	26	9,2	70
Concasseur	2	1	1	2	1	2	4	5	1,6	12
Jumbos de forage	2	1	1	2	2	3	12	11	3,7	28
TOTAL	22	8	10	25	15	23	124	112	39,1	375

*Boulonneuses	2	1	1	2	2	3	12	11	3,7	28
----------------------	---	---	---	---	---	---	----	----	-----	----

Selon le budget du projet, les LMSM-CANMET disposent de 375 heures pour effectuer la campagne de mesures sur le terrain. Le nombre d'équipements à évaluer par catégorie a été estimé en fonction du nombre d'heures disponibles.

Les heures réelles seront comptabilisées au fur et à mesure que les essais vont progresser. Ces heures seront présentées à SOREDEM lors de la réunion prévue en mars afin de décider si des catégories d'équipement doivent être ajoutées ou enlevées de la liste en fonction des heures restantes.

Les heures requises pour l'évaluation des boulonneuses seront ré-évaluées en fonction des heures réelles requises pour l'évaluation des autres équipements et seront transmises à SOREDEM lors de cette même réunion.

ANNEXE D : FICHES DE MESURES DÉTAILLÉES DES ÉQUIPEMENTS MINIERS

Explication des fiches détaillées

Chaque fiche est constituée d'une brève description de l'équipement, de la mine ainsi que du travailleur opérant l'équipement. Des photos sont également incluses pour faciliter l'identification de l'équipement. La ou les tâches de travail évaluées sont par la suite expliquées, suivies de la liste des accéléromètres qui ont été utilisés pour la prise des mesures.

La section résultats présente les résultats détaillés des mesures de vibrations globales du corps, vibrations main-bras et bruit. Lorsque plusieurs tâches ont été évaluées, les résultats sont présentés de façon séquentielle. Les niveaux de vibrations globales du corps sont présentés sous forme de valeurs efficaces pondérées (« RMS », voir équation 2) et de valeur de dose vibratoire sur 8 heures (« VDV_8h », voir équation 5), et ce, pour chacun des essais avec la moyenne et l'écart-type. Un spectre typique en bandes de tiers d'octave de l'accélération pondérée, selon chacun des axes, est également présenté. Pour les vibrations main-bras, lorsque celles-ci ont été évaluées pour l'équipement considéré, les niveaux de vibrations sont présentés sous forme de valeurs efficaces pondérées (« RMS », voir équation 9), et ce, pour chacun des essais avec la moyenne et l'écart-type. Un spectre typique en bandes de tiers d'octave de l'accélération pondérée, selon chacun des axes, est également présenté. Finalement, les niveaux de bruit, lorsque ceux-ci ont été évalués pour l'équipement considéré, sont présentés sous forme de niveau de bruit pondéré A (L_A , en dBA, voir équation 11), et ce, pour chacun des essais avec la moyenne et l'écart-type. Un spectre typique en bandes de tiers d'octave du niveau de bruit pondéré A est également présenté.

1- Rétrocaveuse sur rails

Modèle : Atlas-Copco

Condition : Véhicule un peu rouillé

Opérateur : 33 ans, 235 lbs, 2 ans d'expérience

Date des mesures: 12 mars 2009

Type de mine : Non-mécanisé (filonienne)



Tâche de travail

Marinage du minerai dans un wagon externe. Opérateur debout sur une plateforme et mesure des vibrations au niveau des pieds.

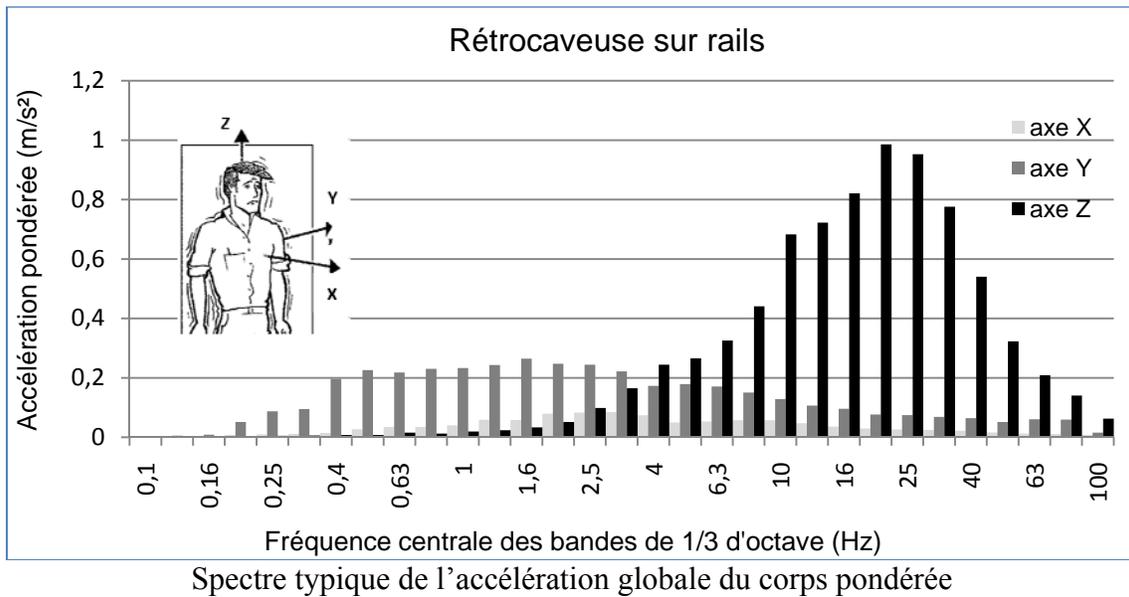
Accéléromètre

Accéléromètre PCB 356A16 (50 g) vissé au plancher.

Résultats

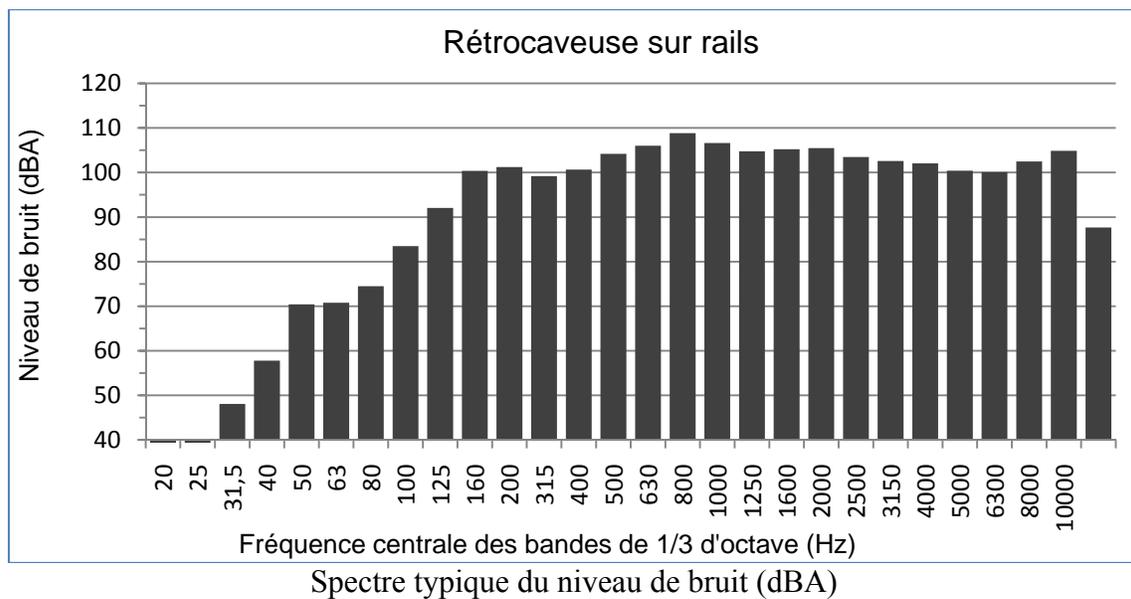
Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Essai	RMS	VDV_8h
1	2,27	71,52
2	2,99	77,92
3	3,23	77,00
4	3,14	77,06
5	2,92	65,72
6	4,00	115,31
7	4,34	130,10
8	3,78	109,92
9	4,05	123,03
10	3,49	113,63
11	3,61	113,96
12	3,12	86,91
13	3,45	101,79
Moyenne	3,42	97,22
Écart-type	0,56	21,90



Bruit (L_A, dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	114,0
2	116,7
3	118,1
4	117,4
5	117,2
6	117,4
7	117,3
8	116,9
9	117,5
10	116,8
11	118,0
12	117,4
13	116,5
Moyenne	117,0
Écart-type	1,02



2 – Rétrocaveuse sur roues

Modèle : Cavo Atlas-Copco 320 (reconditionné par Warren Equipment)

Condition : Véhicule un peu rouillé; pneus en bon état et gonflés

Opérateur : 33 ans, 235 lbs, 2 ans d'expérience

Date des mesures: 20 mars 2009

Type de mine : Non-mécanisée (filonienne)



Tâche de travail

Marinage, aller-retour dans galerie adjacente, remplissage séquentiel de trois wagons (sol accidenté). Opérateur debout sur une plateforme.

Accéléromètres

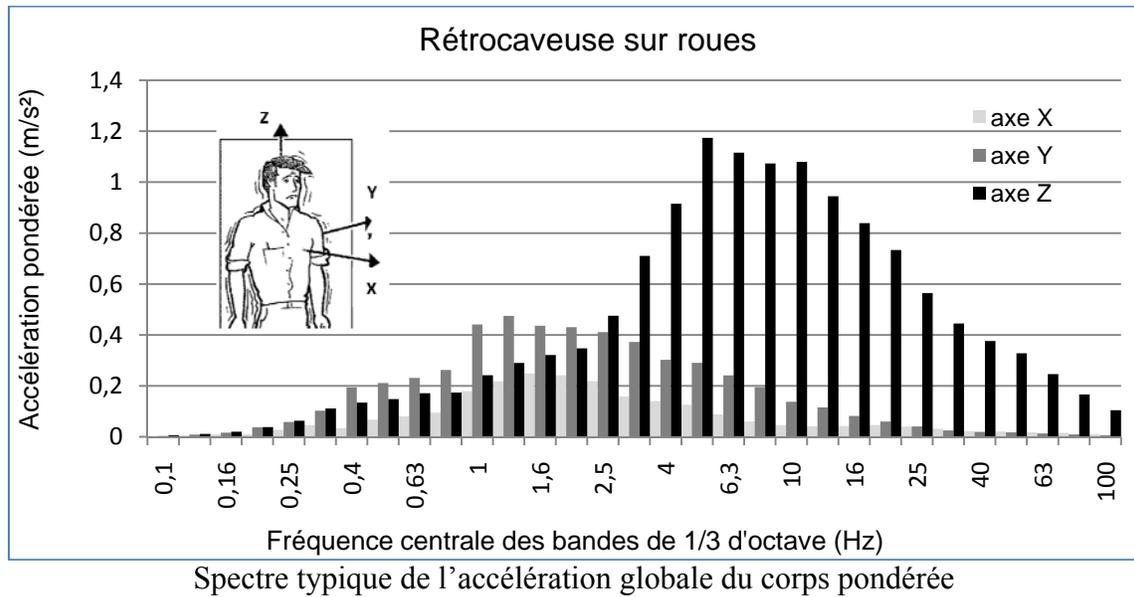
Accéléromètre de plancher : PCB 356A22 (50 g) vissé sur la plateforme.

Accéléromètre sur poignée droite : B&K 4520 (500 g) attaché avec un collet.

Résultats

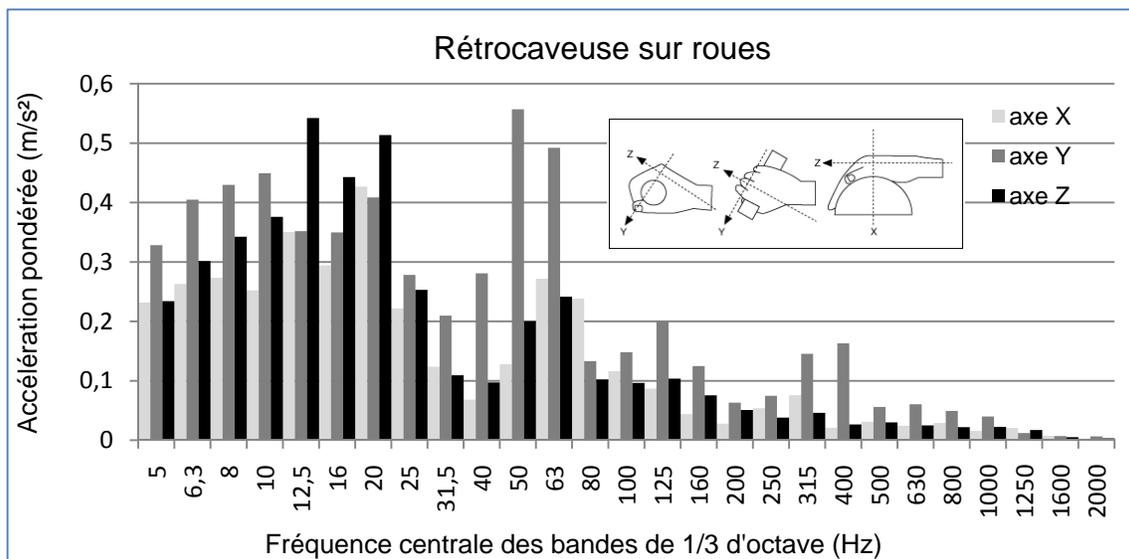
Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Essai	RMS	VDV_8h
1	2,42	56,59
2	2,88	71,67
3	2,75	70,20
4	2,57	70,62
5	2,81	74,56
6	2,57	61,56
7	2,53	66,74
8	2,40	54,41
Moyenne	2,62	65,79
Écart-type	0,18	7,44



Vibrations main-bras (accélération globale pondérée)

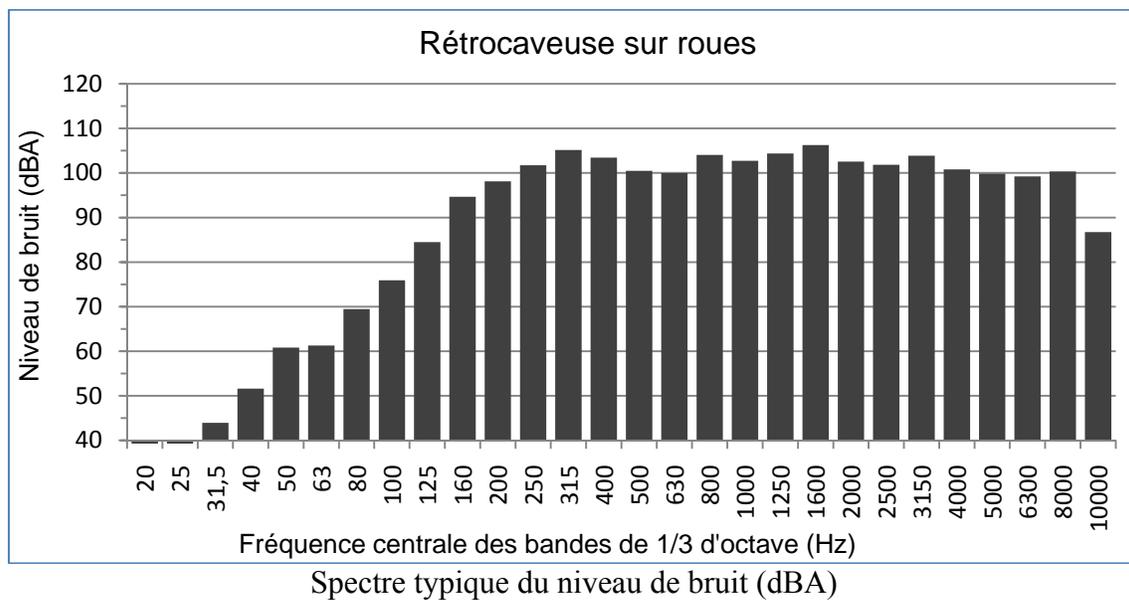
Essai	RMS
1	2,11
2	2,07
3	2,05
Moyenne	2,08
Écart-type	0,03



Spectre typique de l'accélération main-bras pondérée

Bruit (L_A , dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	115,1
2	114,4
3	114,0
Moyenne	114,5
Écart-type	0,56



3 – Plateforme d'aluminium

Modèle : Plateforme d'aluminium fabriquée par Soudure Cossette

Condition : Bon état

Opérateur : 25 ans, 180 lbs, 4 1/2 ans d'expérience

Date des mesures: 23 mars 2009

Type de mine : Non-mécanisée (filonienne)



Tâche de travail

Opération d'une foreuse à béquille et d'une foreuse à béquille verticale sur la plateforme d'aluminium. Détails de chaque tâche dans la section résultats ci-dessous.

Accéléromètres

Accéléromètre de plancher : PCB 356B21 (500 g) vissé à la poutre béquille (sur laquelle la béquille est appuyée)

Accéléromètre de plancher : PCB 356A16 (50 g) vissé à la poutre adjacente (sur laquelle repose le pied du mineur)

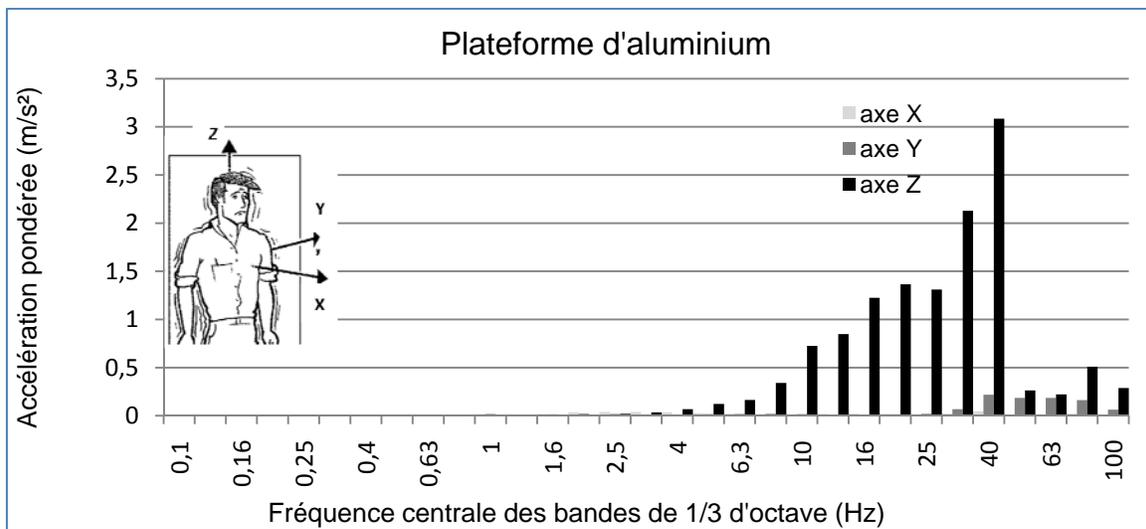
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

- 1) Opération d'une foreuse à béquille Secan S-250, béquille 5'6'' (tiges de forage de 4' et 8')

 - a. Mesures sur la poutre où la béquille est appuyée

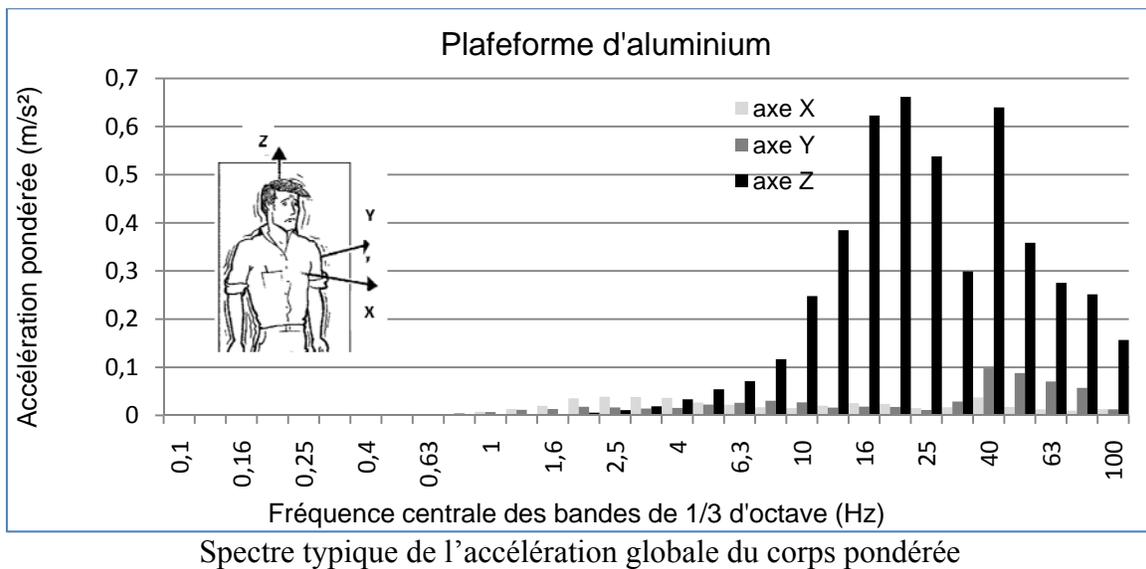
Essai	RMS	VDV_8h
1	4,68	79,02
2	4,55	71,94
3	5,21	106,10
4	4,33	72,04
5	4,33	87,29
Moyenne	4,62	83,28
Écart-type	0,36	14,23



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

b. Mesures sur la poutre adjacente où repose le pied de l'opérateur (pas de béquille)

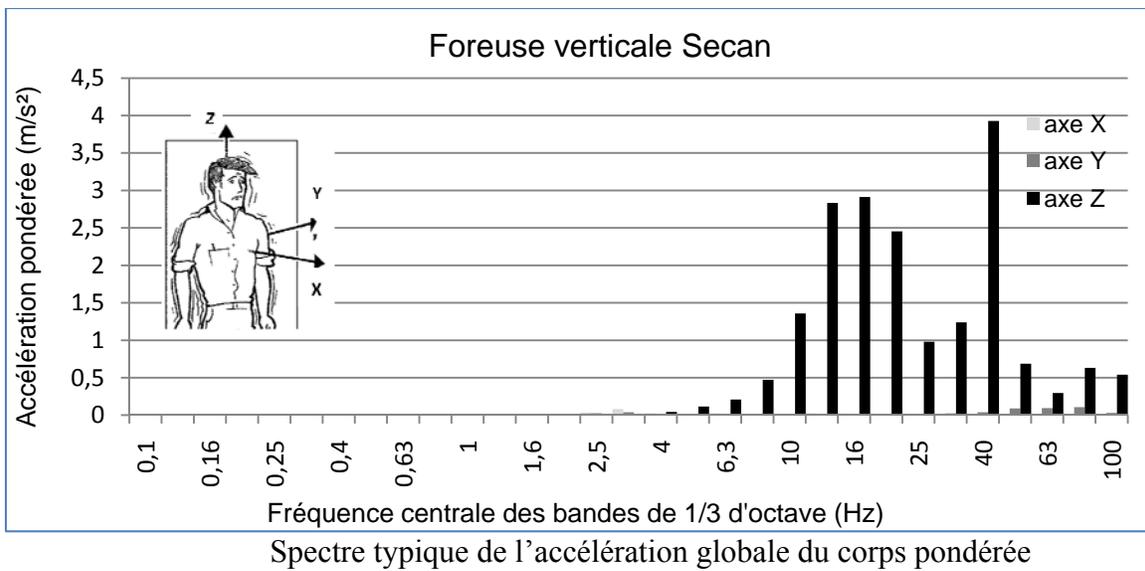
Essai	RMS	VDV_8h
1	1,48	28,87
2	1,24	22,96
3	1,28	22,56
4	1,21	26,76
Moyenne	1,30	25,29
Écart-type	0,12	3,05



2) Opération d'une foreuse verticale Secan S-250 de 7' (tiges de forage de 2', 4', 6' et 8')

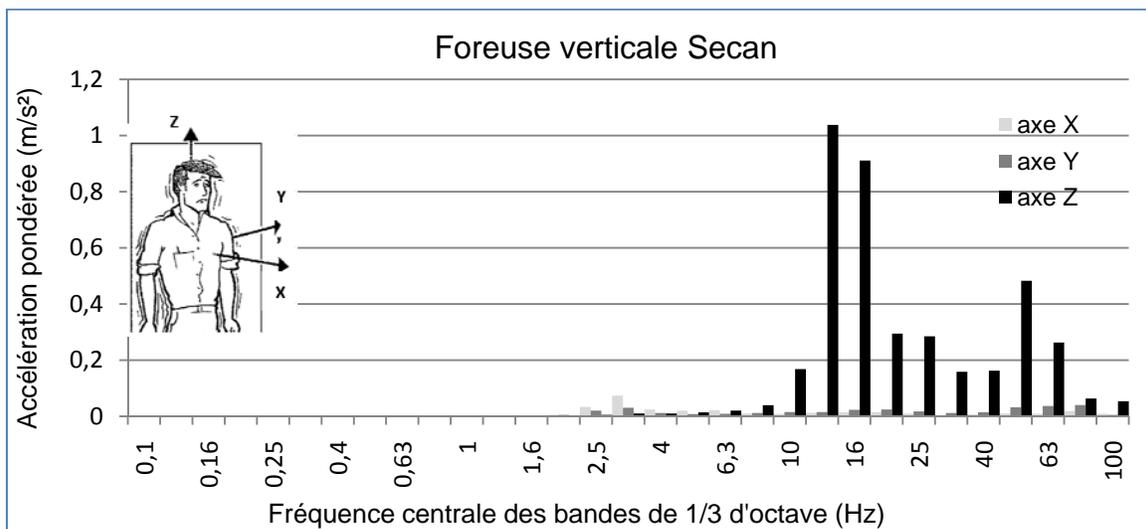
a. Mesures sur la poutre où la béquille est appuyée

Essai	RMS	VDV_8h
1	4,81	47,91
2	6,71	177,83
3	5,21	106,10
4	6,43	86,74
5	13,75	205,07
Moyenne	7,38	124,73
Écart-type	3,65	65,13



b. Mesures sur la poutre adjacente (pas de béquille, où le pied de l'opérateur est appuyé)

Essai	RMS	VDV_8h
1	1,35	13,82
2	1,61	40,49
3	1,24	22,96
4	1,39	20,05
5	2,50	39,01
Moyenne	1,62	27,27
Écart-type	0,51	11,87

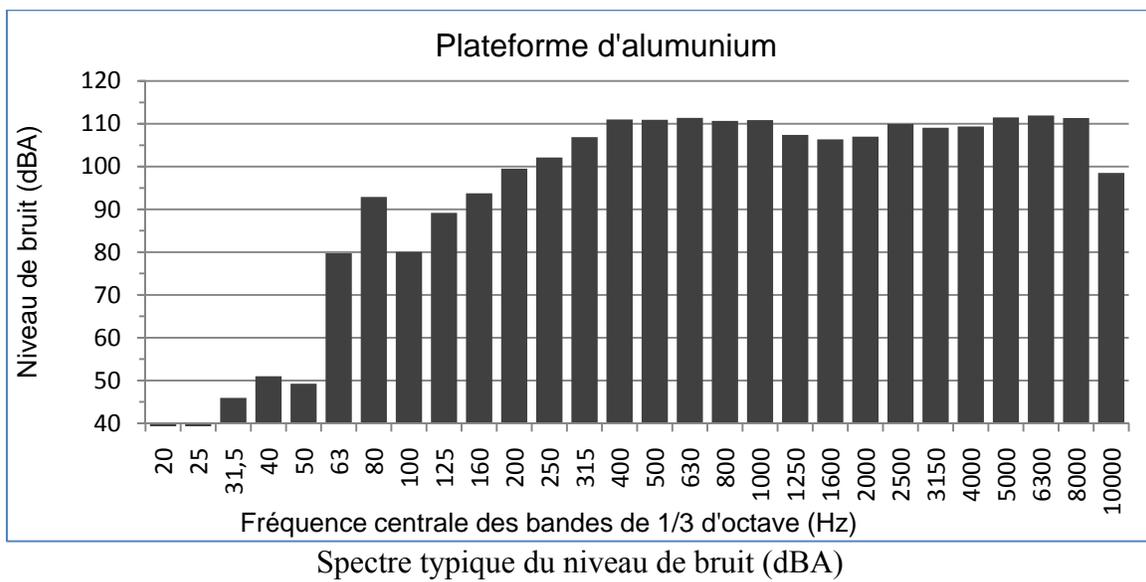


Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Bruit (L_A , dBA)

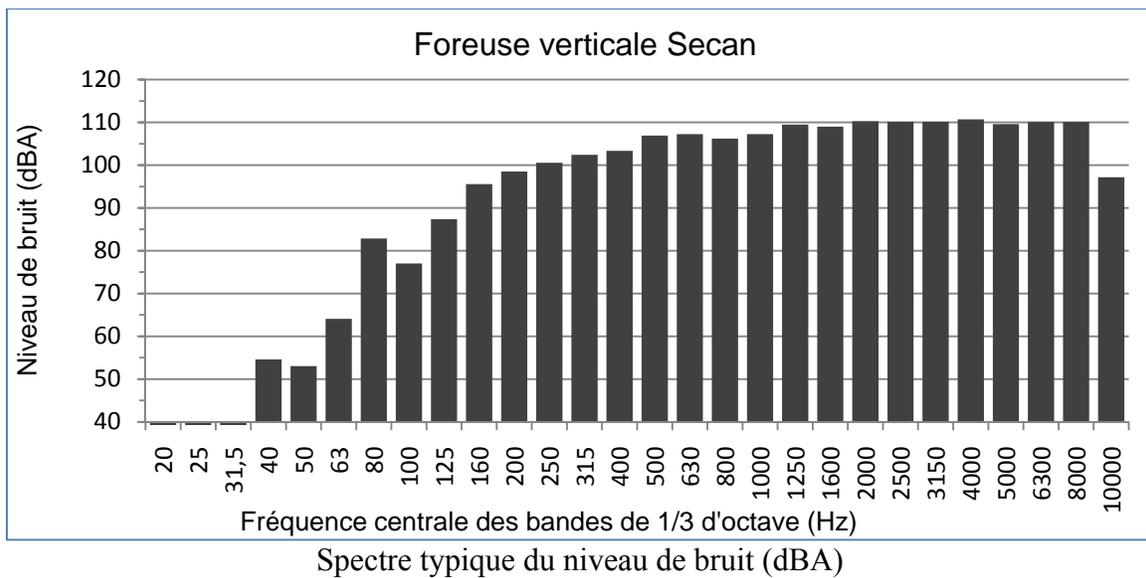
- 1) Opération d'une foreuse à béquille Secan S-250, béquille 5'6'' (tiges de forage de 4' et 8')

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	121,9
2	121,4
3	121,5
Moyenne	121,6
Écart-type	0,26



2) Opération d'une foreuse verticale Secan S-250 de 7' (tiges de forage de 2', 4' 6' et 8')

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	119,7
2	120,7
3	121,4
Moyenne	120,6
Écart-type	0,85



4 – Chargeuse-navette 8 vg³

Modèle : Sanvick TORO 1400 environ 3 ans

Condition : très bonne condition

Opérateur : 4 ans expérience sur cet équipement (dans la quarantaine)

Date des mesures: 15 septembre 2009

Type de mine : Mécanisée

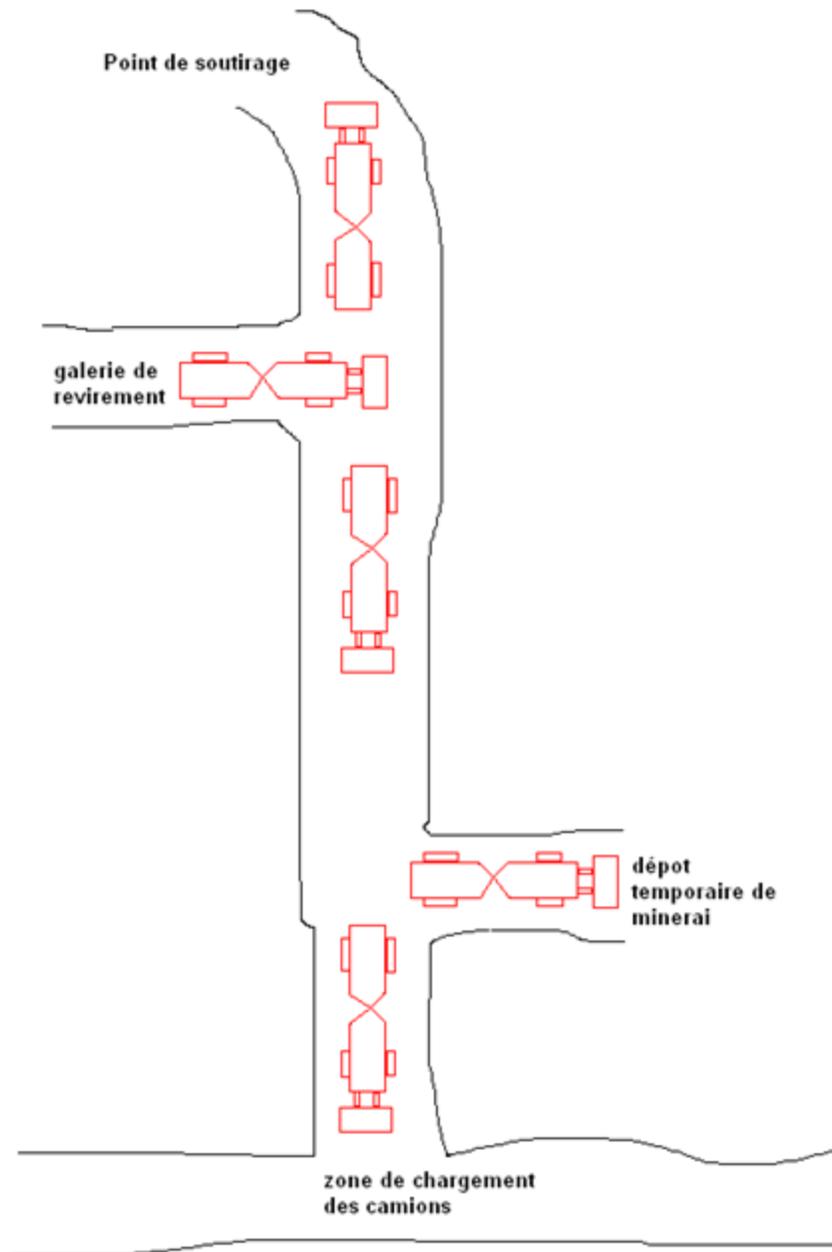


Tâche de travail

La chargeuse évaluée effectuait le chargement de camions 50 tonnes à partir d'un point de soutirage. Lorsqu'il n'y avait pas de camions disponibles, la chargeuse était utilisée pour déposer le minerai dans un dépôt temporaire à proximité de la zone de chargement des camions.

Le temps total de cycle, entre le point de soutirage et la zone de chargement des camions ou le dépôt temporaire, était de l'ordre de 3 minutes. Le chargement du godet était effectué de façon télécommandée, par conséquent, les vibrations mesurées pendant la période de chargement n'ont pas été considérées.

Il est à noter que la condition de la surface de roulement entre le point de soutirage et la zone de chargement était dans la moyenne.



Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

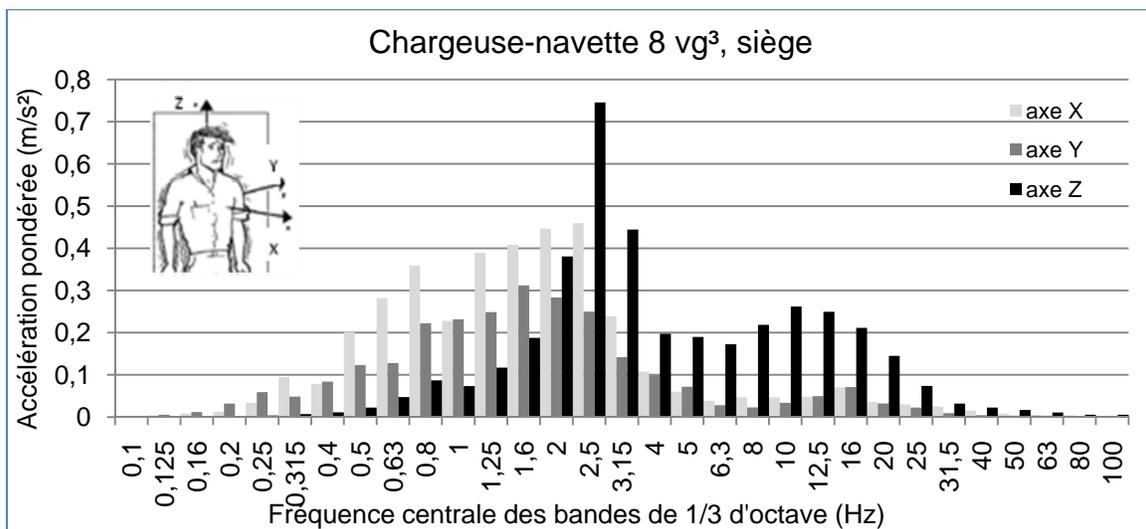
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

Résultats

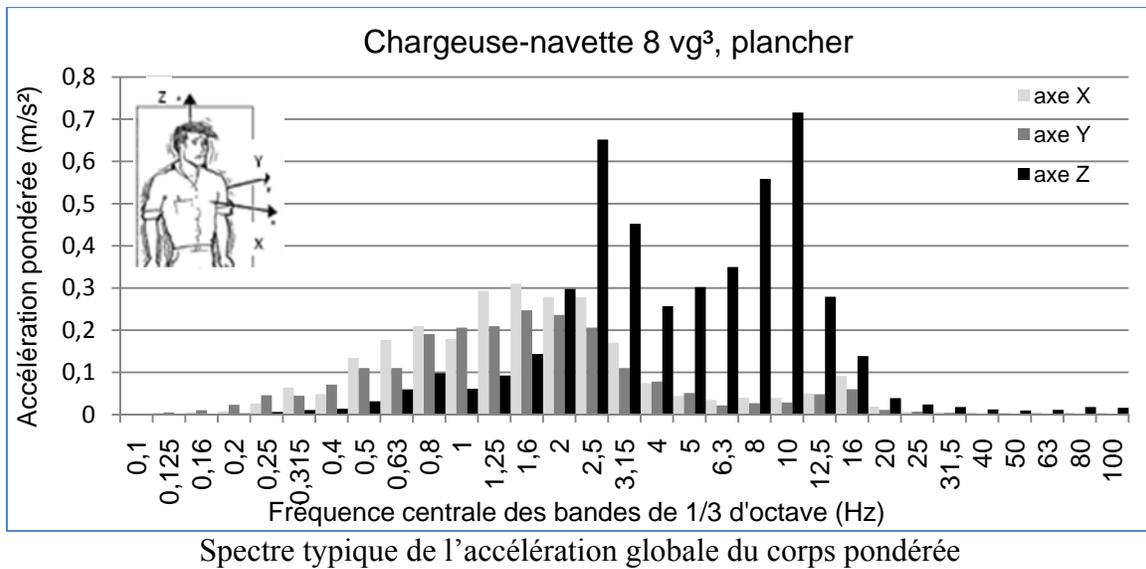
Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

CYCLES COMPLETS

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	1,51	29,00	1	1,41	30,10
2	1,36	25,12	2	1,23	27,58
3	1,28	25,75	3	1,68	39,81
4	1,38	25,50	4	1,69	43,35
Moyenne	1,38	26,34	Moyenne	1,50	35,21
Écart-type	0,10	1,79	Écart-type	0,22	7,57

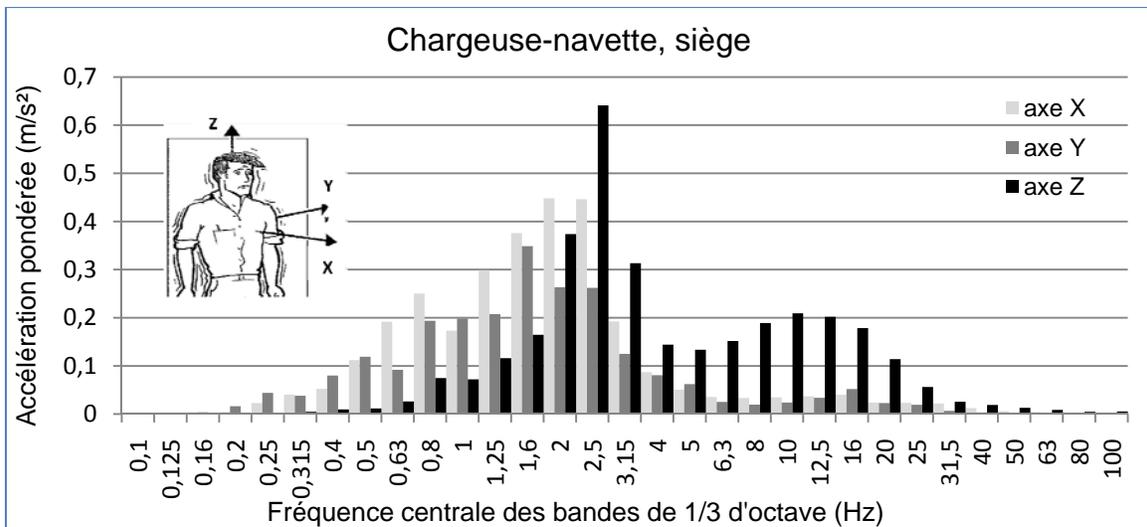


Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

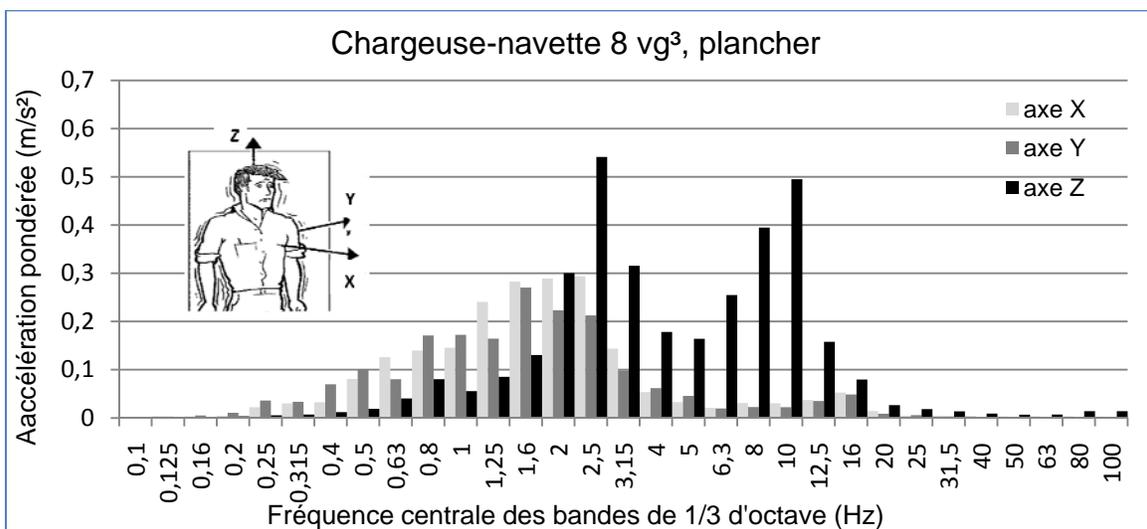


DÉPLACEMENT PLEIN

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	1,43	27,16	1	1,09	22,12
2	1,58	27,94	2	1,10	20,36
3	1,16	23,75	3	0,84	20,00
4	1,51	26,27	4	1,11	20,56
Moyenne	1,42	26,28	Moyenne	1,03	20,76
Écart-type	0,19	1,82	Écart-type	0,13	0,94



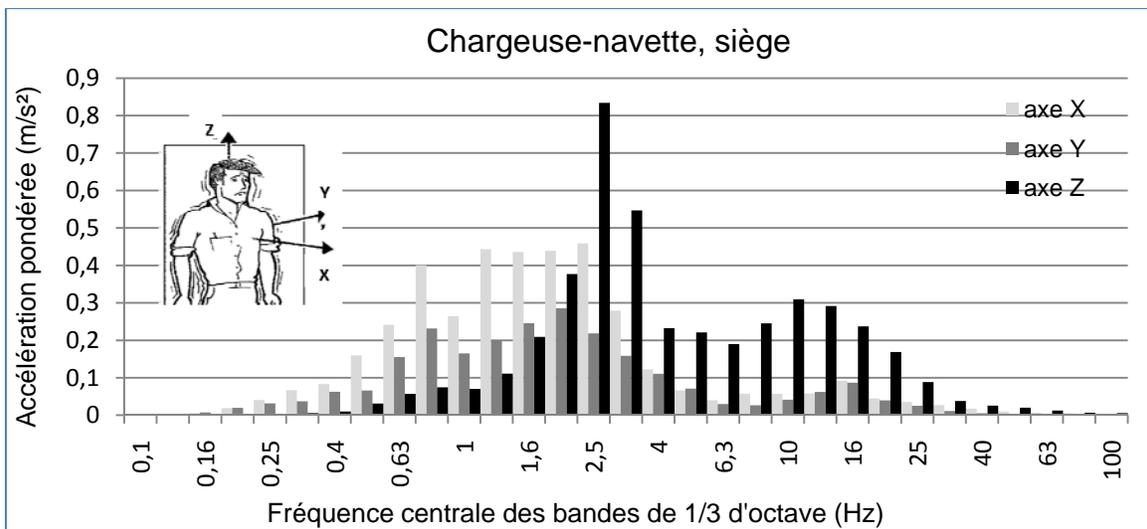
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



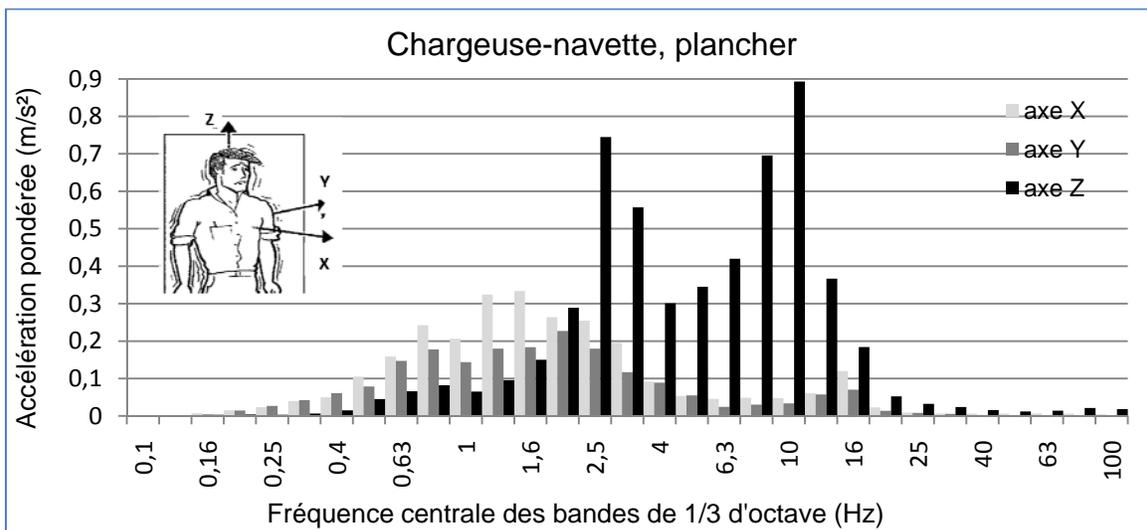
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

DÉPLACEMENT VIDE

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	1,60	30,69	1	1,69	34,77
2	1,16	22,39	2	1,10	24,17
3	1,53	28,00	3	1,85	35,94
4	1,57	28,61	4	1,75	33,94
Moyenne	1,47	27,42	Moyenne	1,60	32,21
Écart-type	0,21	3,54	Écart-type	0,34	5,42



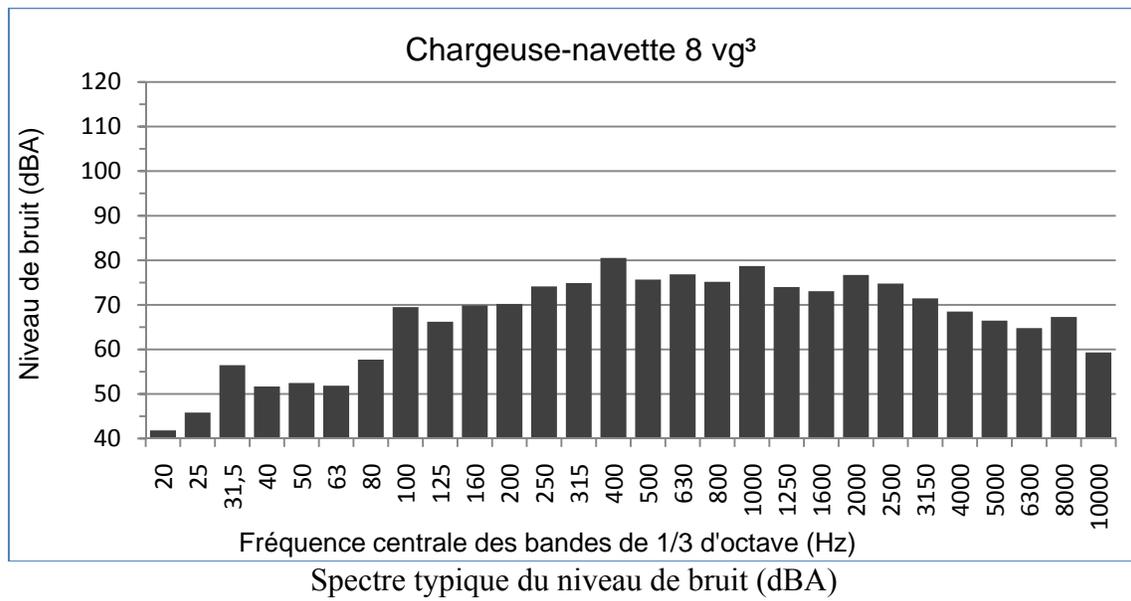
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Bruit sans radio (L_A, dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	85,4
2	87,6
3	87,4
Moyenne	86,8
Écart-type	1,22



5 – Chargeuse-navette 8 vg³

Modèle : Sanvick LH514 moins d'un an
Condition : comme neuve
Opérateur : Dans la quarantaine, grande expérience
Date des mesures: 15 septembre 2009
Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

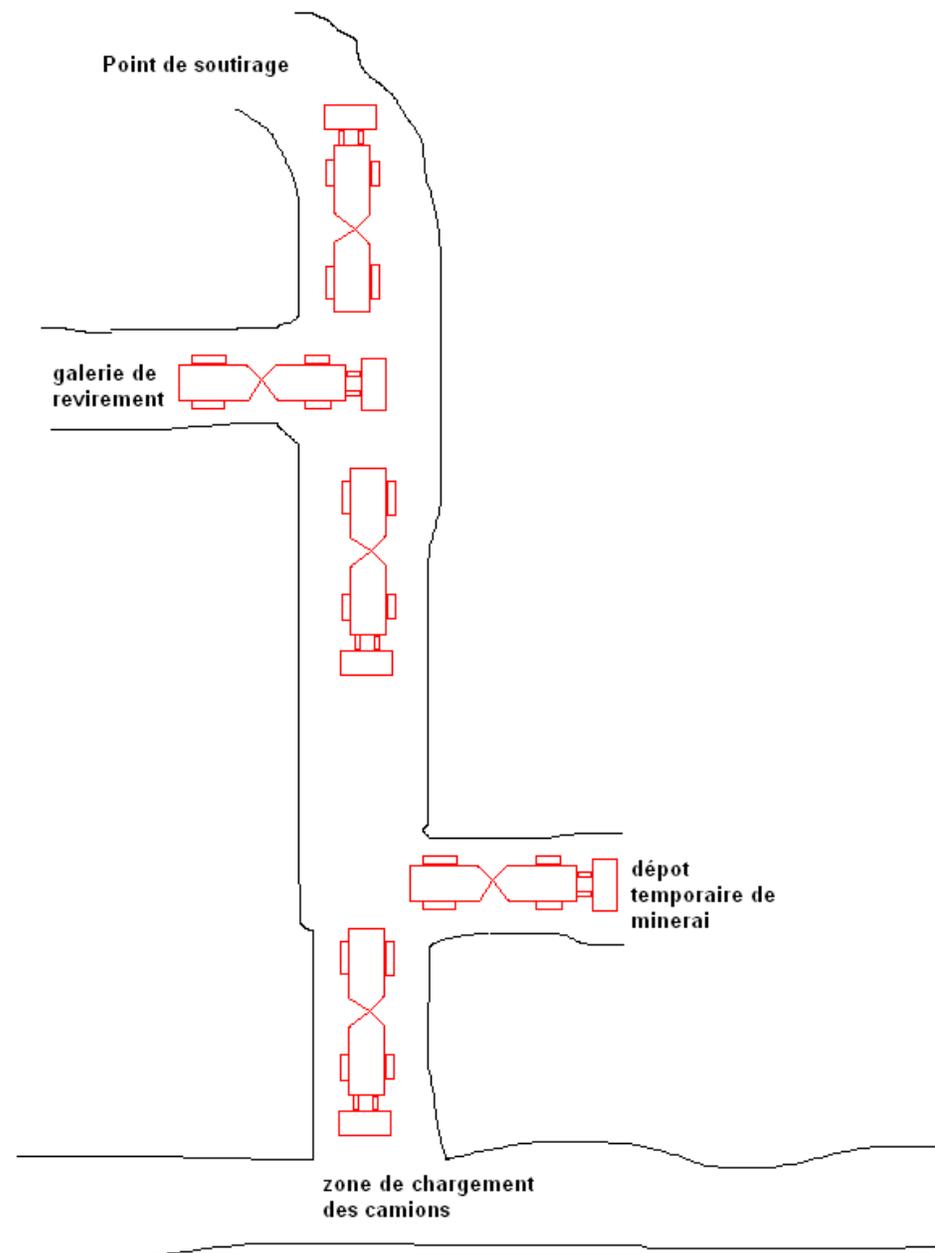
La chargeuse évaluée effectuait le chargement de camions 50 tonnes à partir d'un point de soutirage. Lorsqu'il n'y avait pas de camions disponibles, la chargeuse était utilisée pour déposer le minerai dans un dépôt temporaire à proximité de la zone de chargement des camions.

Le temps total de cycle, entre le point de soutirage et la zone de chargement des camions ou le dépôt temporaire, était de l'ordre de 2 minutes 30 secondes. L'opérateur restait aux commandes de la chargeuse lors du chargement du godet.

Il est à noter que la surface de roulement entre le point de soutirage et la zone de chargement était très bien entretenue, ce qui a contribué à produire un niveau vibratoire plus bas que la moyenne.

Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

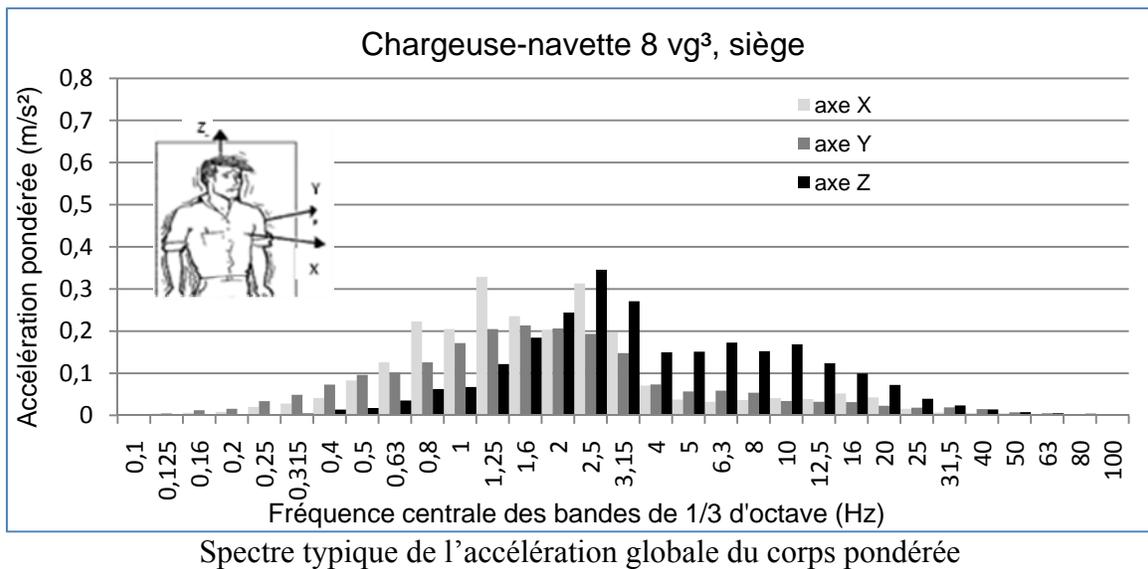


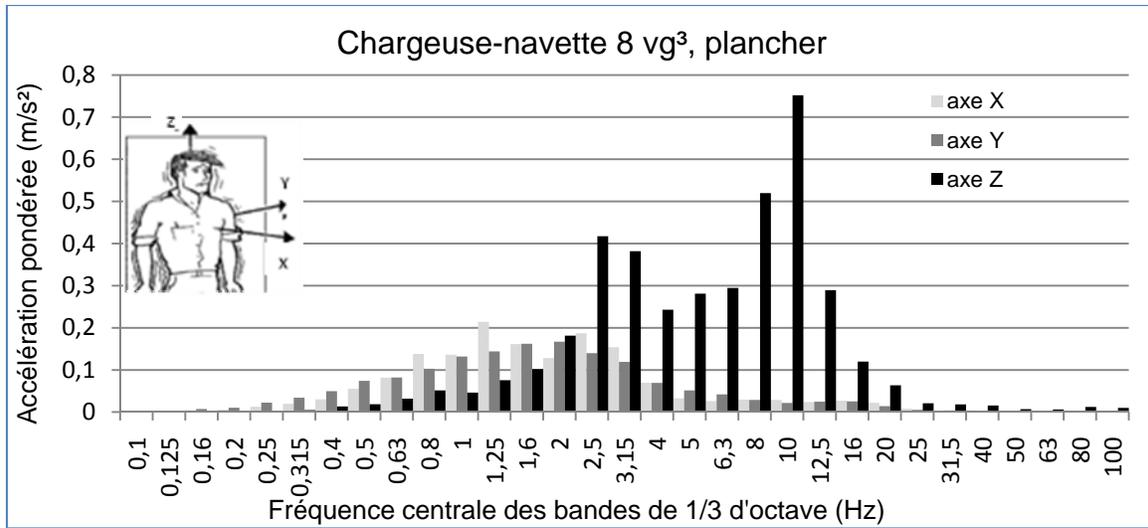
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

CYCLES COMPLETS

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,97	18,71	1	1,25	39,57
2	1,00	18,75	2	1,33	35,37
3	0,95	18,81	3	1,19	27,26
4	1,02	20,48	4	1,44	38,45
5	1,01	19,72	5	1,28	33,06
6	0,97	17,84	6	1,17	30,63
7	0,98	17,88	7	1,15	30,08
Moyenne	0,99	18,88	Moyenne	1,26	33,49
Écart-type	0,02	0,95	Écart-type	0,10	4,54

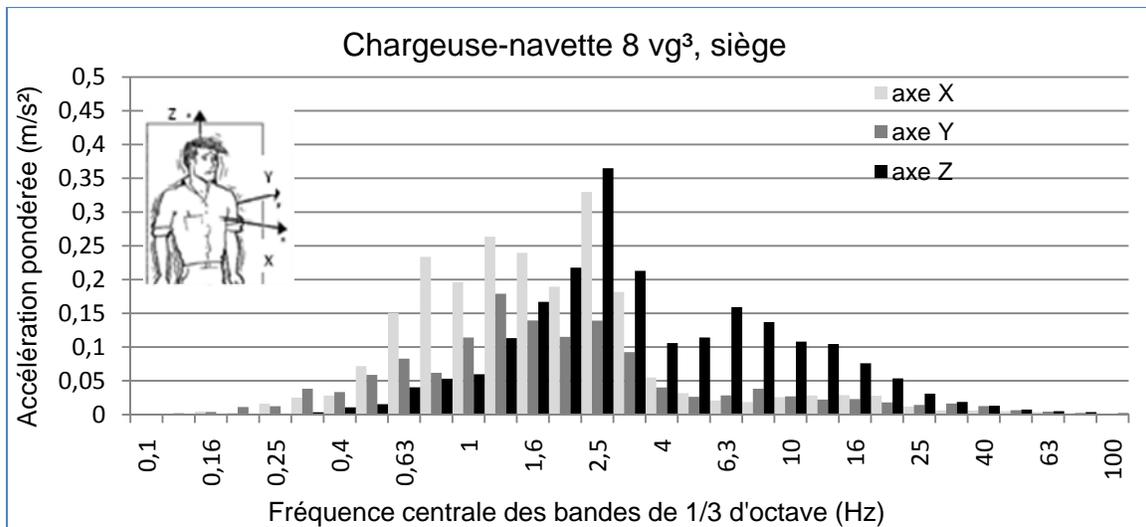




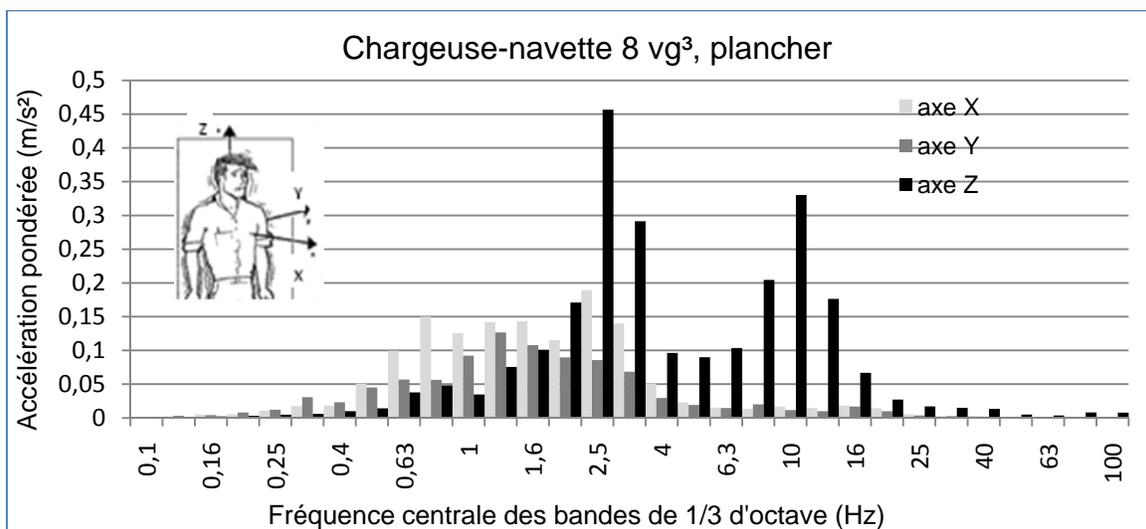
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

DÉPLACEMENT PLEIN

Essai	Siège		Essai	Plancher	
	RMS	VDV_8h		RMS	VDV_8h
1	0,99	19,88	1	0,77	15,97
2	0,90	17,23	2	1,06	29,31
3	0,96	18,48	3	1,00	24,50
4	1,05	22,31	4	1,01	25,70
5	1,02	19,12	5	0,94	24,92
6	0,94	17,09	6	0,79	14,77
7	0,95	17,18	7	0,75	15,85
Moyenne	0,97	18,76	Moyenne	0,90	21,58
Écart-type	0,05	1,90	Écart-type	0,13	5,87



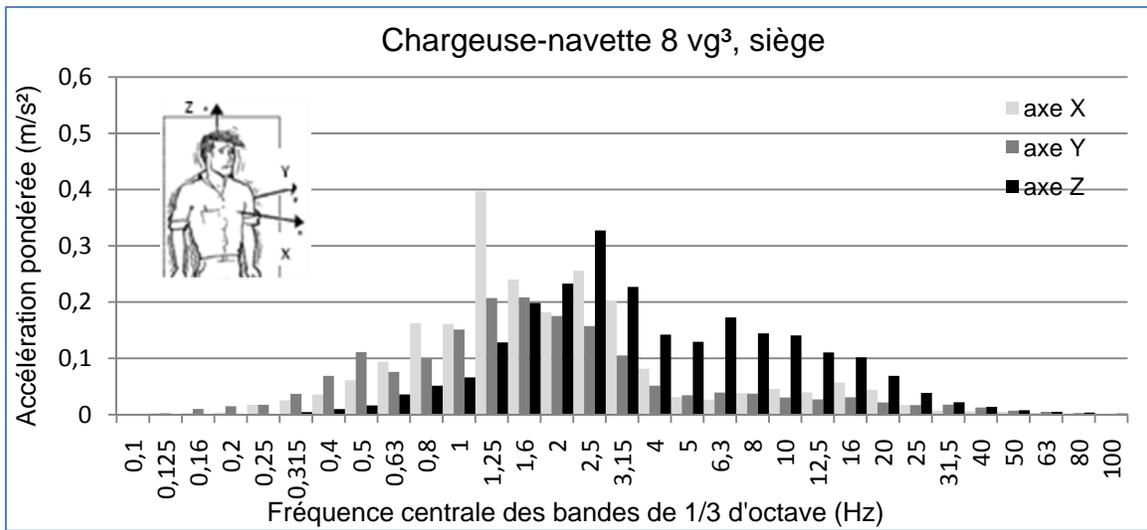
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



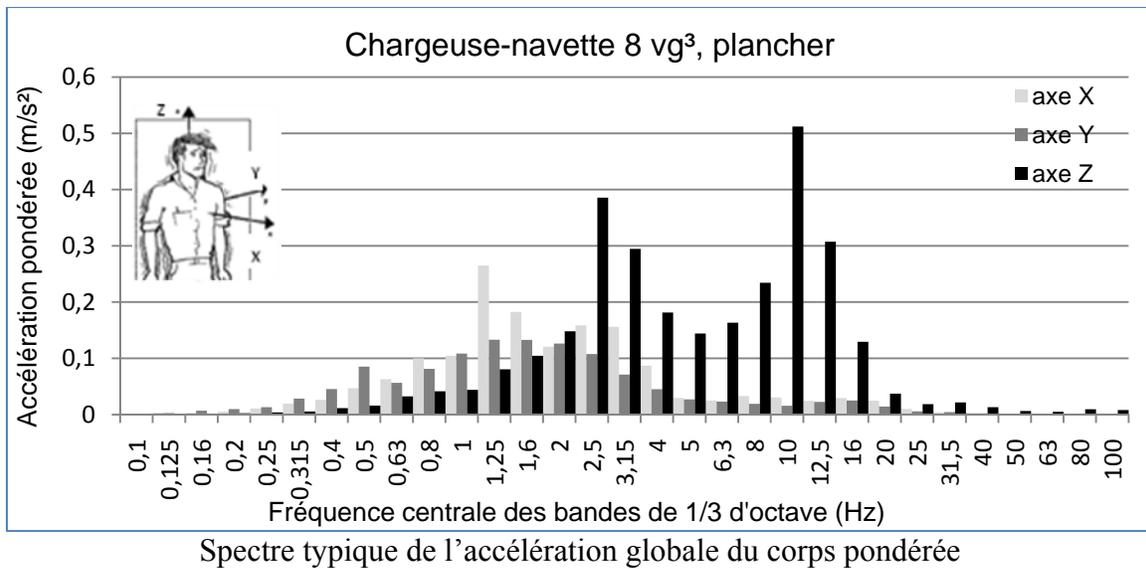
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

DÉPLACEMENT VIDE

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,98	17,77	1	0,91	20,28
2	1,11	19,37	2	0,95	19,61
3	1,03	19,79	3	1,10	26,10
4	1,01	18,97	4	1,38	31,36
5	1,04	19,71	5	1,17	29,05
6	1,08	19,46	6	1,00	23,65
7	1,03	18,56	7	1,11	27,79
Moyenne	1,04	19,09	Moyenne	1,09	25,41
Écart-type	0,04	0,72	Écart-type	0,16	4,43

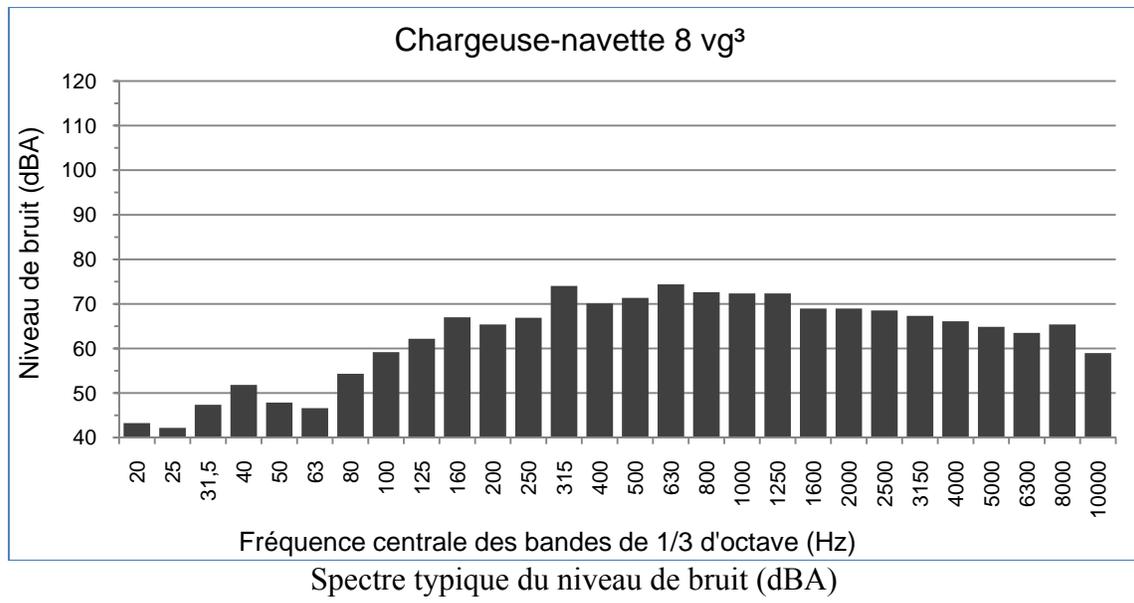


Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Bruit sans radio (L_A, dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	82,5
2	82,8
3	82,6
4	82,9
5	83,0
Moyenne	82,8
Écart-type	0,21



6 - Camion à flèche

Modèle : MacLean environ 4 ans

Condition : usagé

Opérateur : Dans la vingtaine, 70 kg

Date des mesures: 15 septembre 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Ce véhicule était équipé d'un siège pneumatique de marque Grammer. Il était aussi équipé de pneus pleins qui, selon l'opérateur rendent la conduite moins confortable.

Le véhicule a été évalué en déplacement dans des galeries, dont la condition était représentative de la moyenne. L'opérateur limitait la vitesse du véhicule de façon à maintenir un niveau de confort acceptable. Selon l'opérateur, le véhicule peut être conduit plus rapidement, lorsque le véhicule est équipé de pneus gonflables pour le même niveau de confort.

Il est à noter que le véhicule est équipé d'une cabine fermée, ce qui maintient le niveau sonore à un niveau acceptable.

Accéléromètres

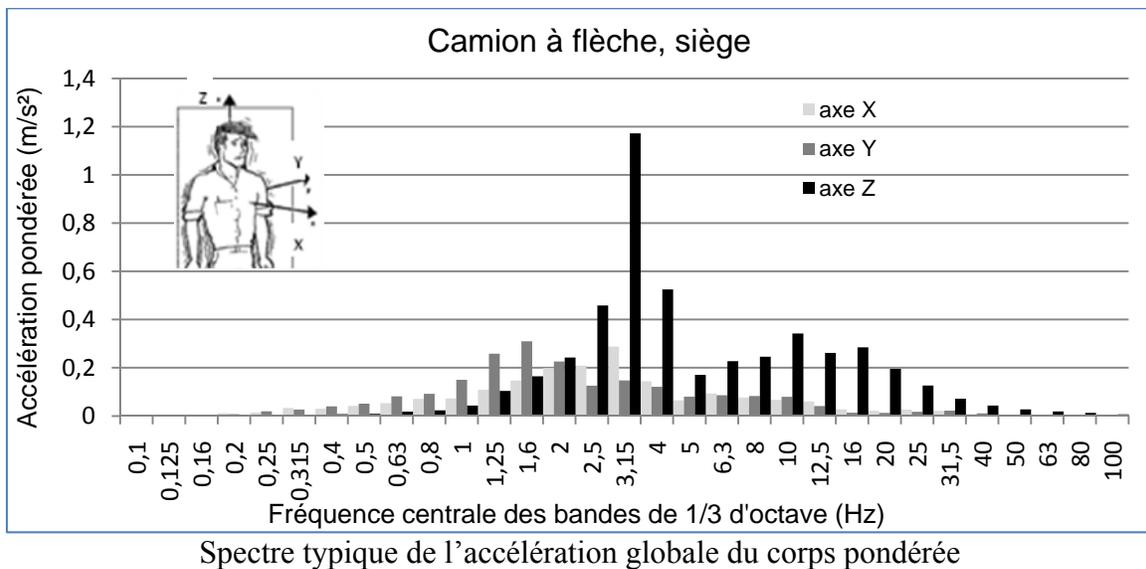
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

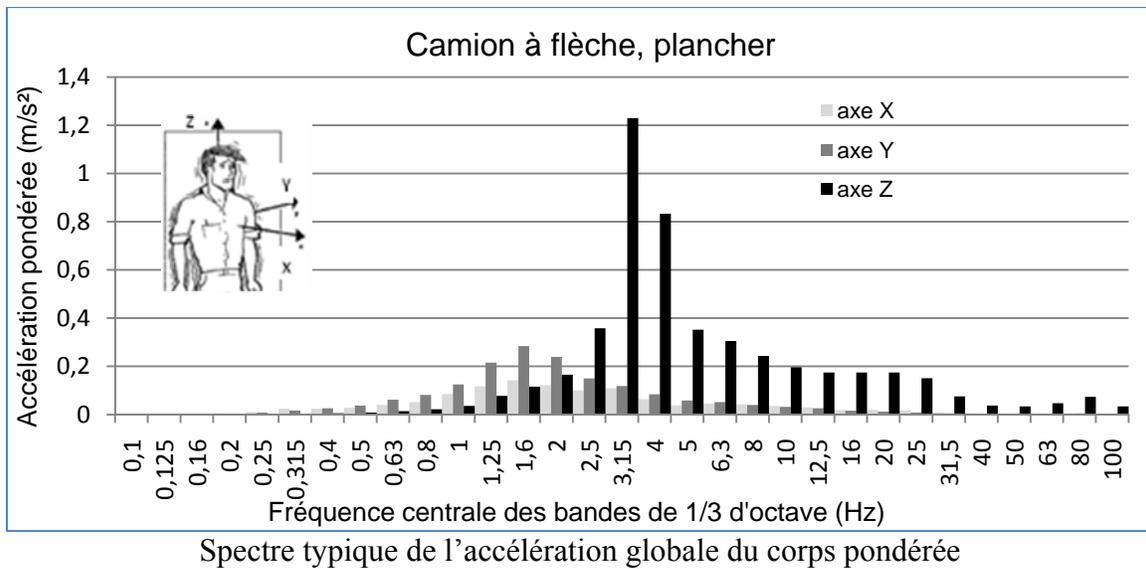
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

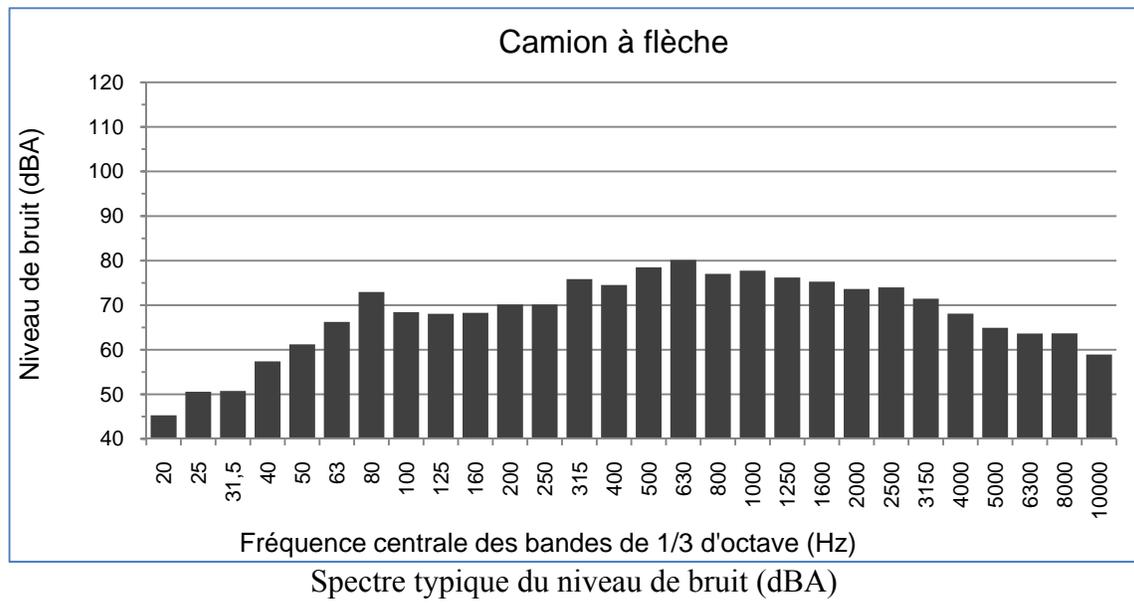
Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	1,56	30,10	1	1,69	35,85
2	1,38	26,31	2	1,53	31,68
3	1,60	31,87	3	1,85	43,67
4	0,92	18,43	4	0,84	16,03
5	1,44	32,09	5	1,83	41,13
6	2,11	72,19	6	2,43	59,51
Moyenne	1,50	35,16	Moyenne	1,70	37,98
Écart-type	0,38	18,84	Écart-type	0,52	14,37





Bruit (L_A , dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	91,1
2	88,8
3	87,1
4	88,8
5	90,4
6	91,2
7	87,2
8	90,4
Moyenne	89,4
Écart-type	1,65



7 - Camion à béton

Modèle : BTI

Condition : usagé

Opérateur : dans la cinquantaine, expérimenté

Date des mesures: 15 septembre 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Ce véhicule était équipé d'un siège pneumatique de marque Grammer. Il était aussi équipé de pneus pleins.

Le véhicule a été évalué en déplacement dans des galeries, dont la condition était représentative de la moyenne.

Il est à noter que le véhicule n'est pas équipé d'une cabine fermée, ce qui explique le niveau sonore élevé.

Accéléromètres

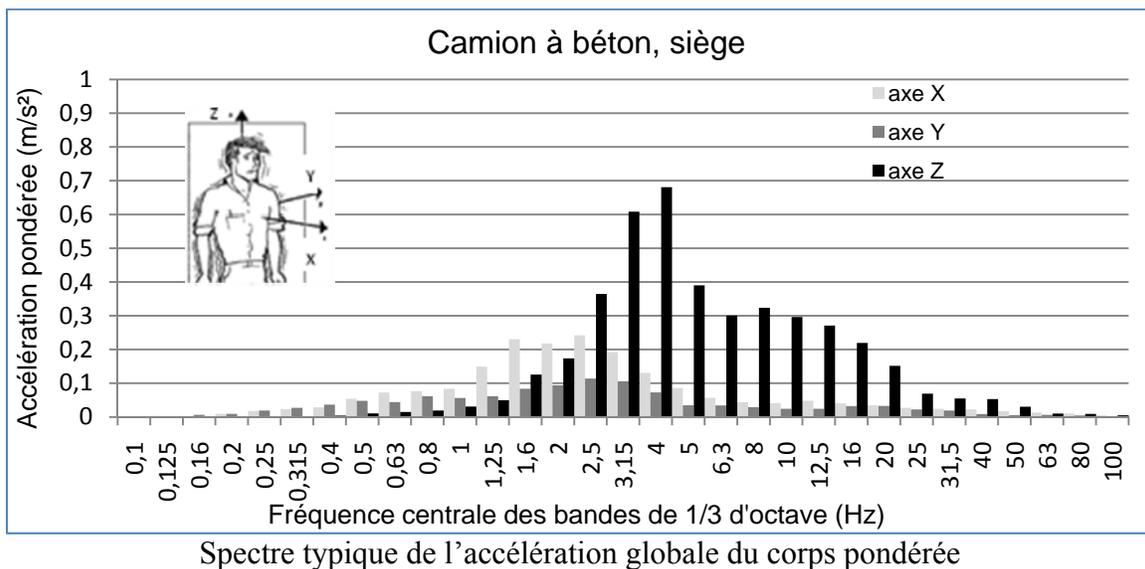
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

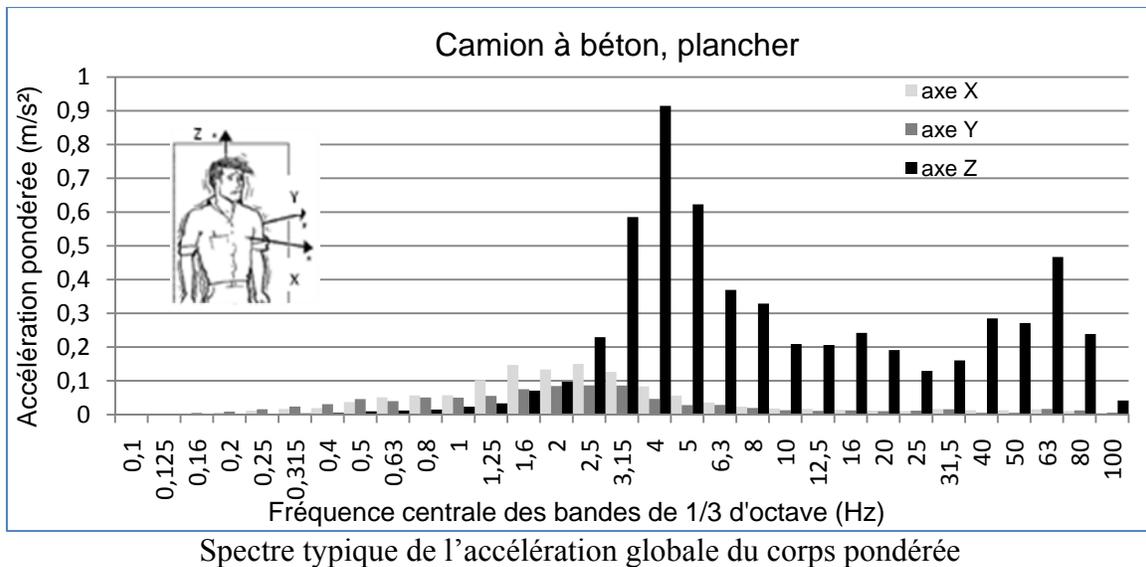
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

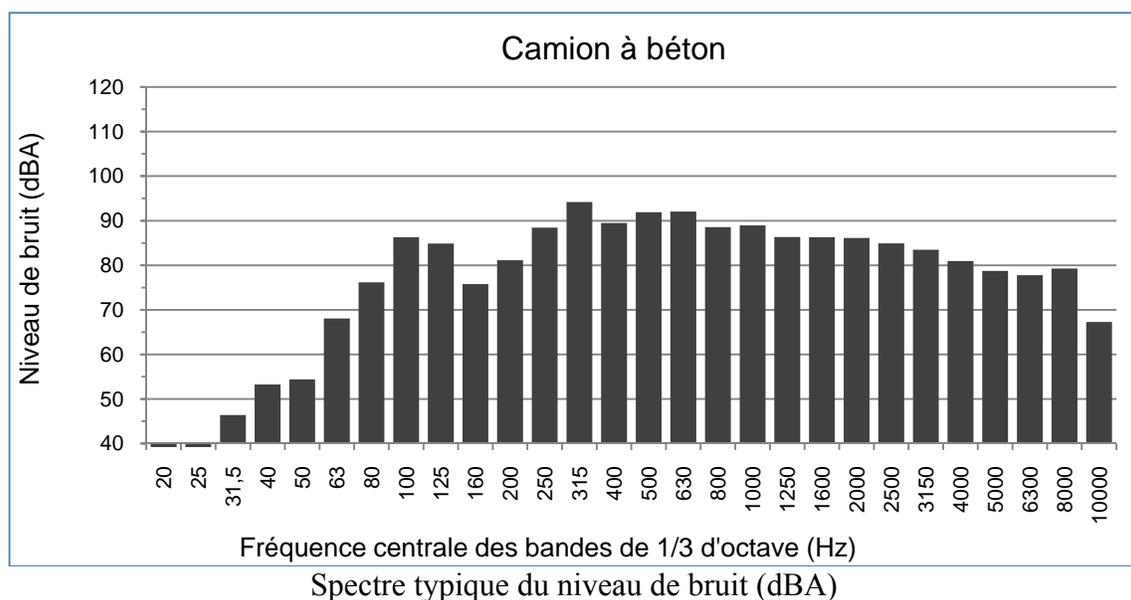
Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	1,27	33,22	1	1,60	38,29
2	1,55	31,21	2	1,87	40,05
3	1,49	32,52	3	1,99	41,36
4	1,19	26,41	4	1,41	30,15
5	1,59	34,05	5	1,98	42,26
Moyenne	1,42	31,48	Moyenne	1,77	38,42
Écart-type	0,18	3,02	Écart-type	0,26	4,86





Niveau de bruit (L_A , dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	100,8
2	100,8
3	100,8
4	102,0
5	99,5
6	101,8
7	102,4
Moyenne	101,2
Écart-type	0,98

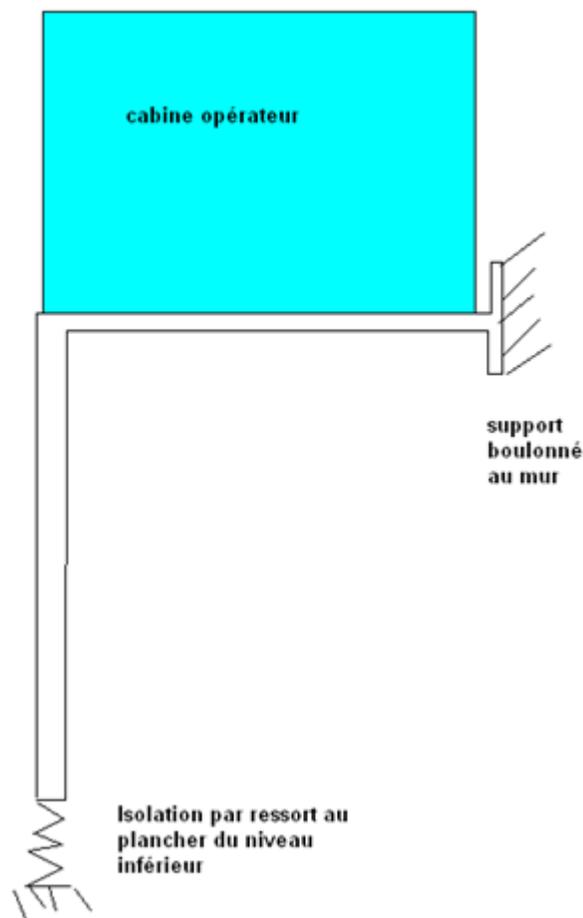


8 – Concasseur

Description de l'équipement et tâche de travail

L'opérateur opère le concasseur à partir d'une cabine insonorisée et isolée. Il occupe ce poste plus de 95% du temps lors de l'opération du concasseur. La cabine est montée sur un support en L dont la partie horizontale est boulonnée au roc et dont la partie verticale repose sur des ressorts pour l'isoler de la structure qui supporte le concasseur. L'opérateur utilise une simple chaise d'ordinateur.

Des données de vibration ont été prises à l'intérieur de la cabine de contrôle et à l'extérieur de la cabine de contrôle afin d'évaluer la performance de l'isolation de la cabine.





Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

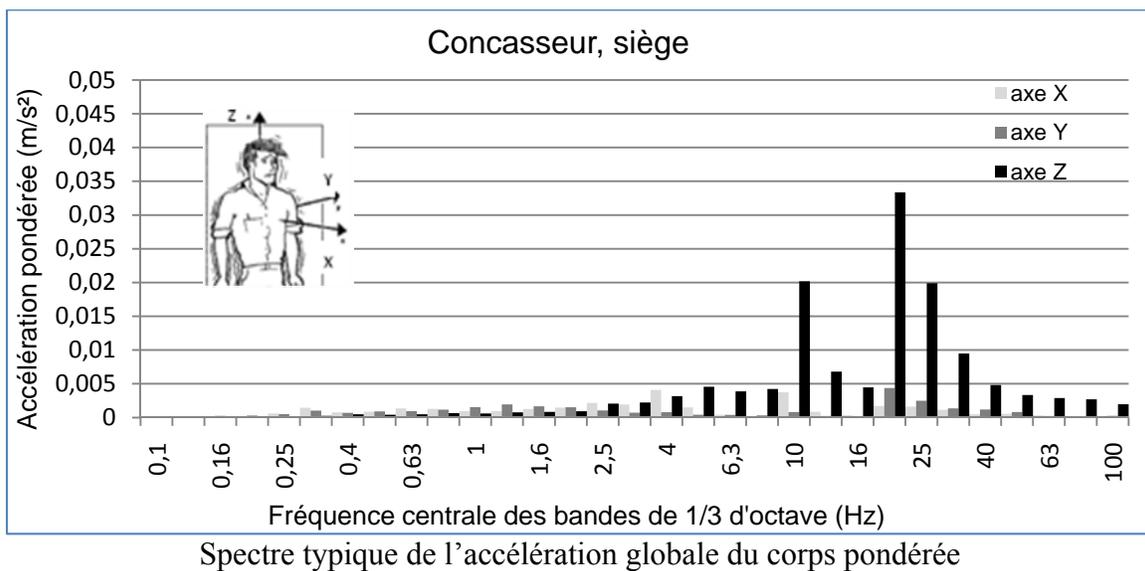
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège et à l'extérieur de la cabine.

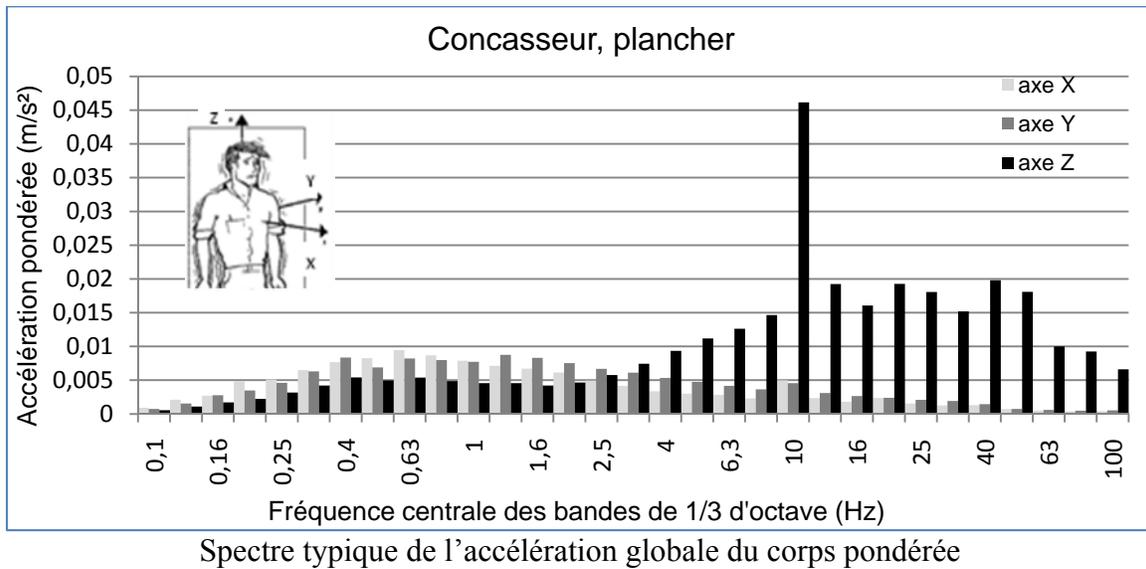
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

DANS LA CABINE

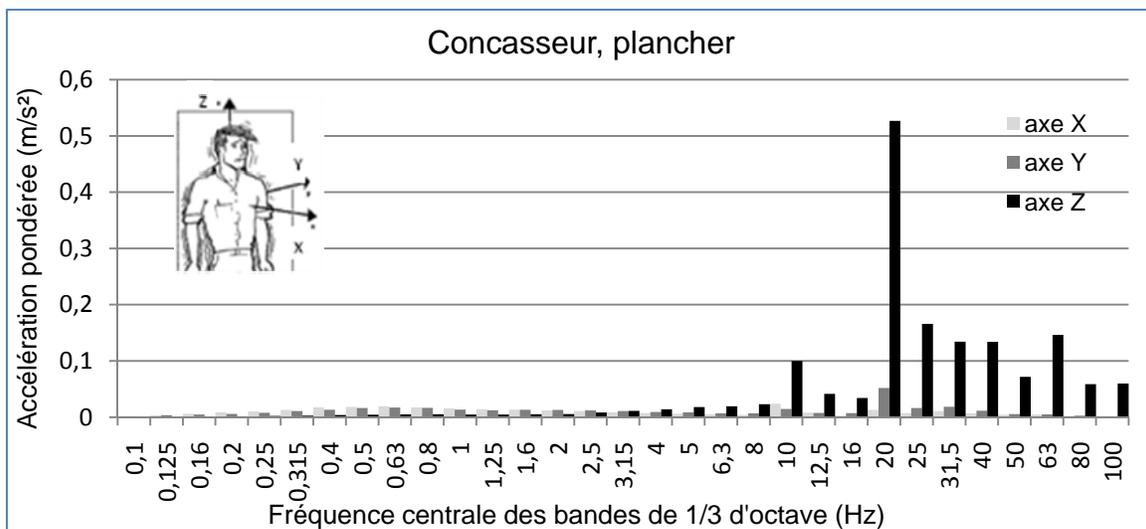
Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,05	1,20	1	0,07	4,16
2	0,05	1,20	2	0,07	4,16
3	0,05	1,19	3	0,07	4,16
4	0,05	1,20	4	0,08	4,16
5	0,05	1,21	5	0,07	4,16
6	0,05	1,22	6	0,07	4,16
7	0,05	1,21	7	0,07	4,16
8	0,05	1,23	8	0,07	4,16
Moyenne	0,05	1,20	Moyenne	0,07	4,16
Écart-type	0,002	0,01	Écart-type	0,001	0,001





HORS CABINE

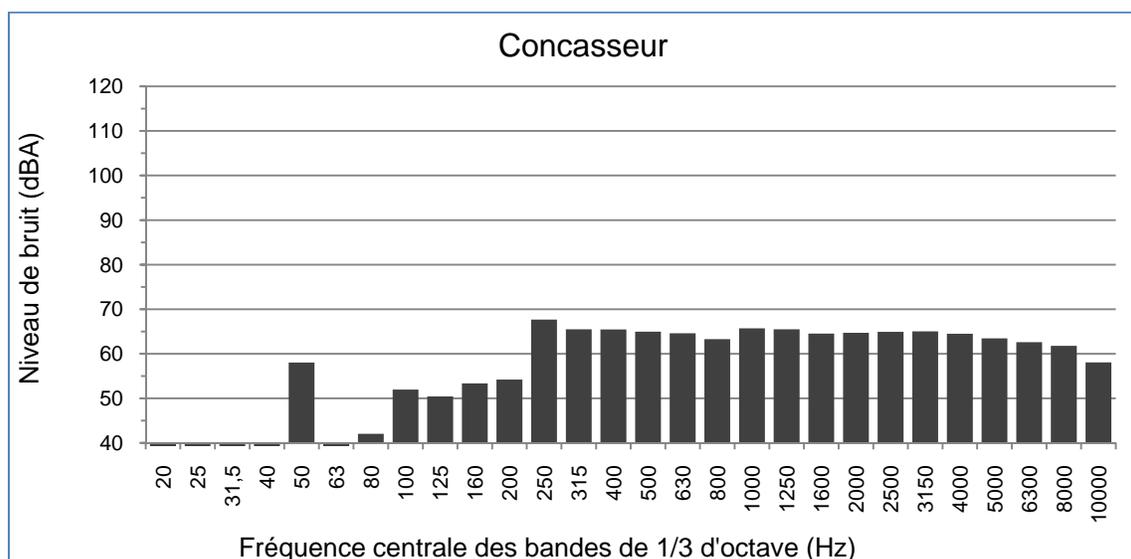
Essai	Plancher	
	RMS	VDV_8h
1	0,64	10,40
2	0,68	11,06
3	0,62	9,99
4	0,62	9,86
Moyenne	0,64	10,33
Écart-type	0,03	0,54



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Bruit à l'intérieur de la cabine (L_A, dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	78,1
2	78,3
3	78,2
4	78
5	78
Moyenne	78,1
Écart-type	0,13



Spectre typique du niveau de bruit (dBA)

9 - Boulonneuse McLean série 900

Modèle : MacLean série 900 - 2008

Condition : comme neuve

Opérateur : environ 25 ans, 180 lbs,

Date des mesures: 7 mai 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Le terrain était en excellente condition. La boulonneuse était utilisée pour l'installation de boulons à friction gonflables. Le cycle de travail était régulier. Les mesures correspondent au forage des trous, d'une durée de 90 secondes pour chacun. La pose des boulons à friction gonflables proprement dit n'a pas été prise en compte dans les mesures vibratoires, étant donné que le niveau vibratoire qui y est associé est très faible.

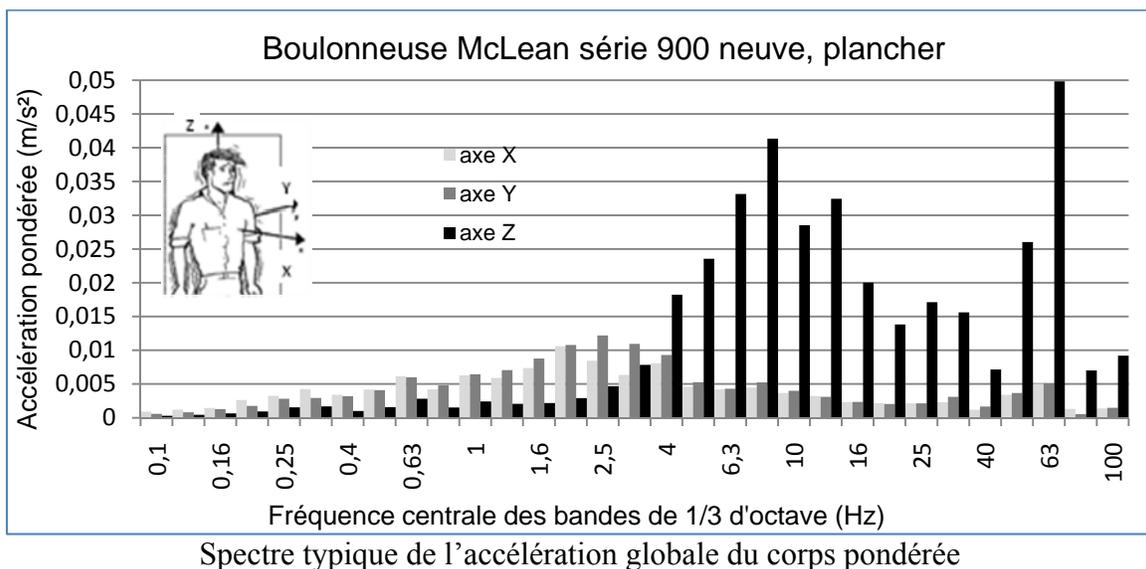
Accéléromètre

La plateforme a été instrumentée à l'aide d'un accéléromètre monté sur une base aimantée (PCB # 356B21).

Résultats

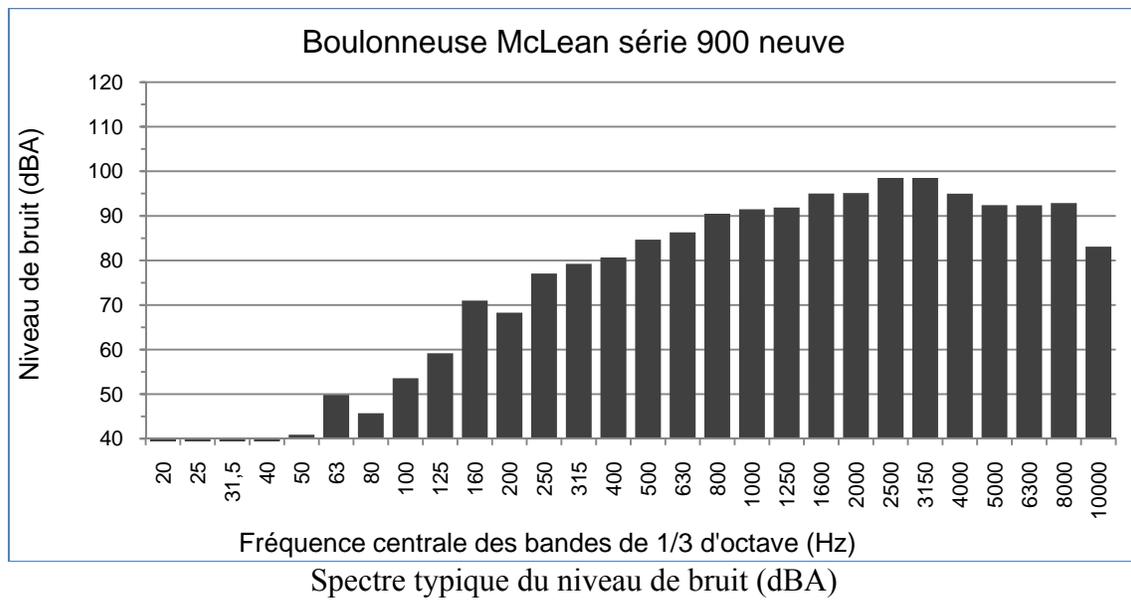
Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Forage des trous		
Essai	RMS	VDV_8h
1	0,10	2,88
2	0,08	2,70
3	0,11	2,80
4	0,12	2,86
Moyenne	0,10	2,81
Écart-type	0,01	0,08



Bruit, forage de trous (dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	105,2
2	105,0
3	104,9
Moyenne	105,0
Écart-type	0,15



10 - Boulonneuse McLean

Modèle : McLean 946 - 1997

Condition : Vieille et très usée

Opérateur : environ 40 ans, 180 lbs, grande expérience (+10)

Date des mesures: 7 mai 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

La boulonneuse est un vieux modèle de 1997 où la plateforme est dotée d'une extension qui est déployée pour aller installer le support de terrain (dans le cas étudié, des boulons à friction fendus).

Le terrain était très fracturé. Le foreur était obligé de retirer la foreuse à plusieurs reprises pour éviter de coincer l'acier dans le trou. La pose des supports était extrêmement difficile, car les trous avaient tendance à se refermer.

Les boulons à friction fendus sont installés par percussion, donc leur installation génère des vibrations significatives. Un tapis de caoutchouc était installé sur le plancher. L'opérateur se promenait principalement entre deux locations, soit les commandes hydrauliques situées au centre de la plateforme lors du forage et un autre poste de commande situé sur la partie extensible de la plateforme, lors de la pose des boulons à friction.

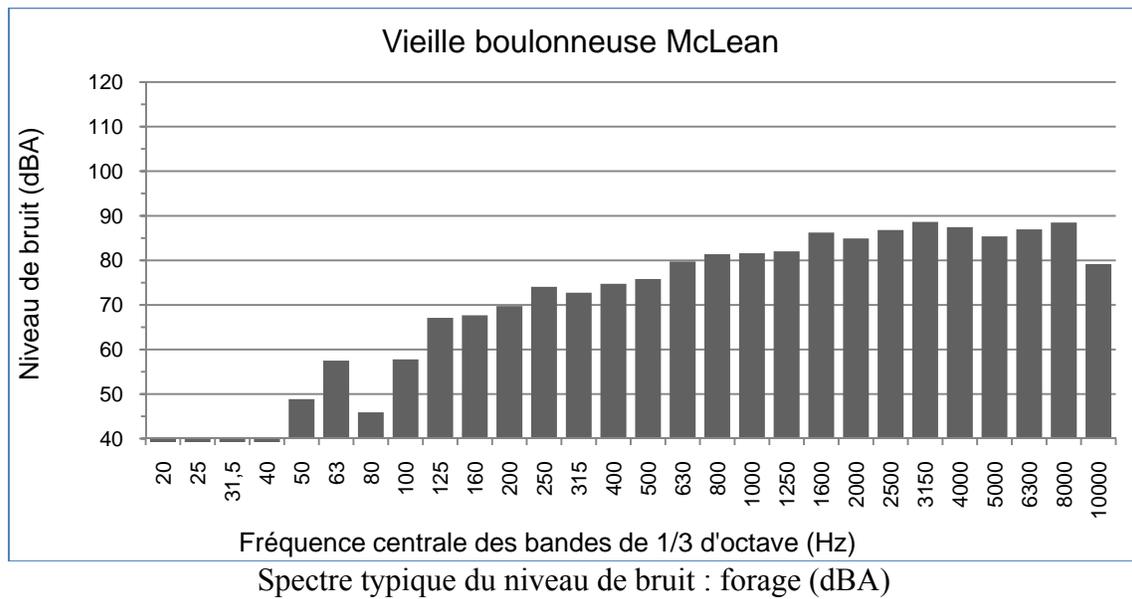
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Voir fiche précédente (#9)

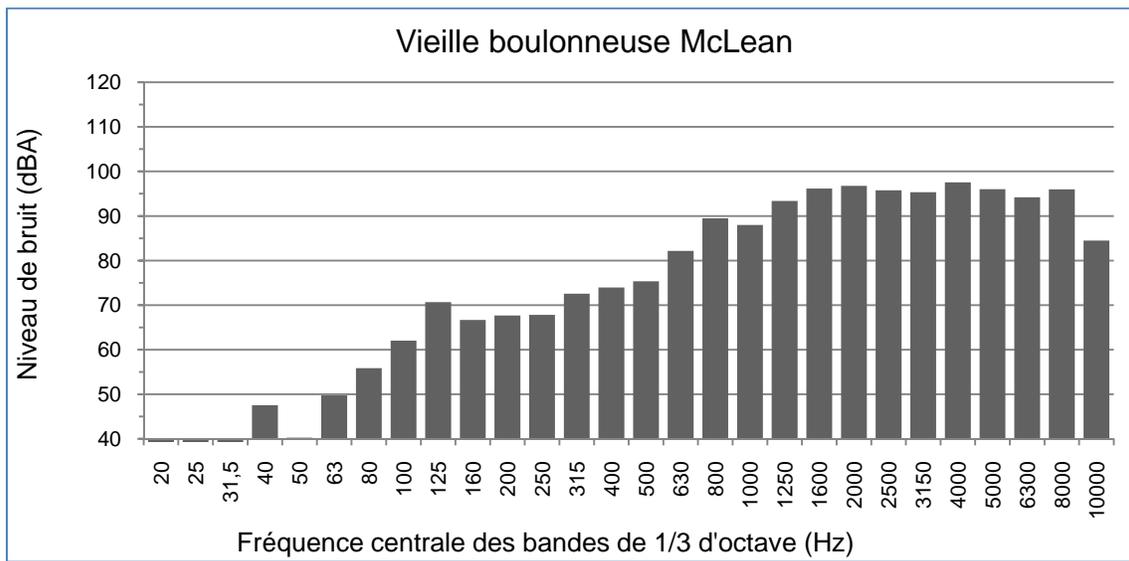
Bruit, forage de trous (dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	98
2	96,7
3	96,4
Moyenne	97,0
Écart-type	0,85



Bruit, pose des boulons à friction (dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	105,5



Spctre typique du niveau de bruit : Pose de boulons à friction fendus (dBA)

11 - Foreuse JUMBO 2 mats

Modèle : Tamrock DD420-60C 2007

Condition : Très peu d'usure, comme une neuve

Opérateur : 41 ans, 185 lbs, 3 ans expérience

Date des mesures: 7 mai 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Cet équipement était pourvu d'une cabine fermée isolée via des supports amortissant.

Les données vibratoires et sonores ont été recueillies lors du forage de trous latéraux d'une hauteur variant de 0 à 12 pieds. Bien que l'opérateur soit généralement debout durant la phase de forage, nous avons aussi recueilli les données au siège, afin de vérifier le facteur SEAT lors du forage.

Aucune donnée n'a été recueillie lors du déplacement de l'équipement.

Accéléromètres

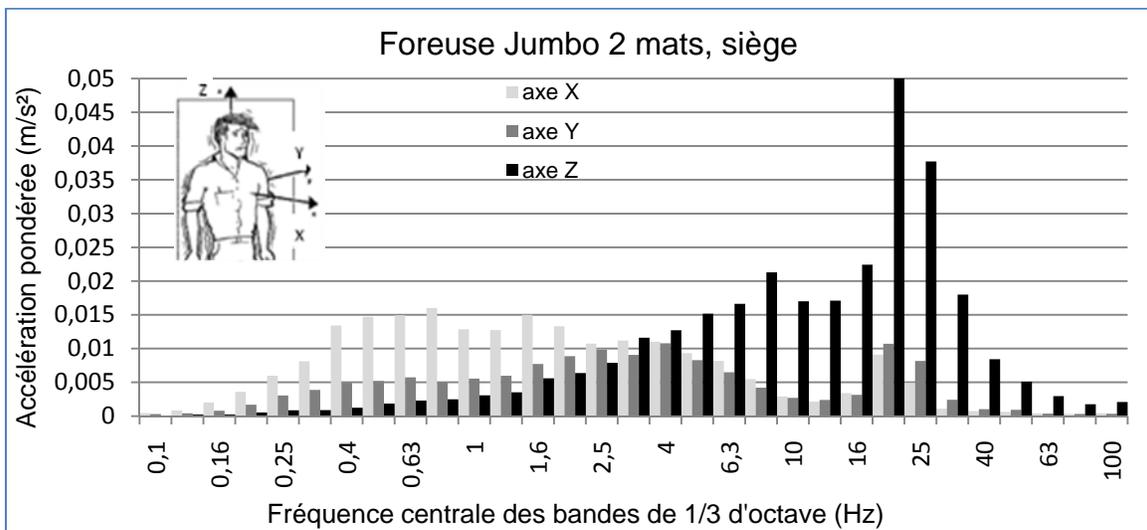
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

Accéléromètre PCB 356A16 (500 g) au plancher à la base du siège.

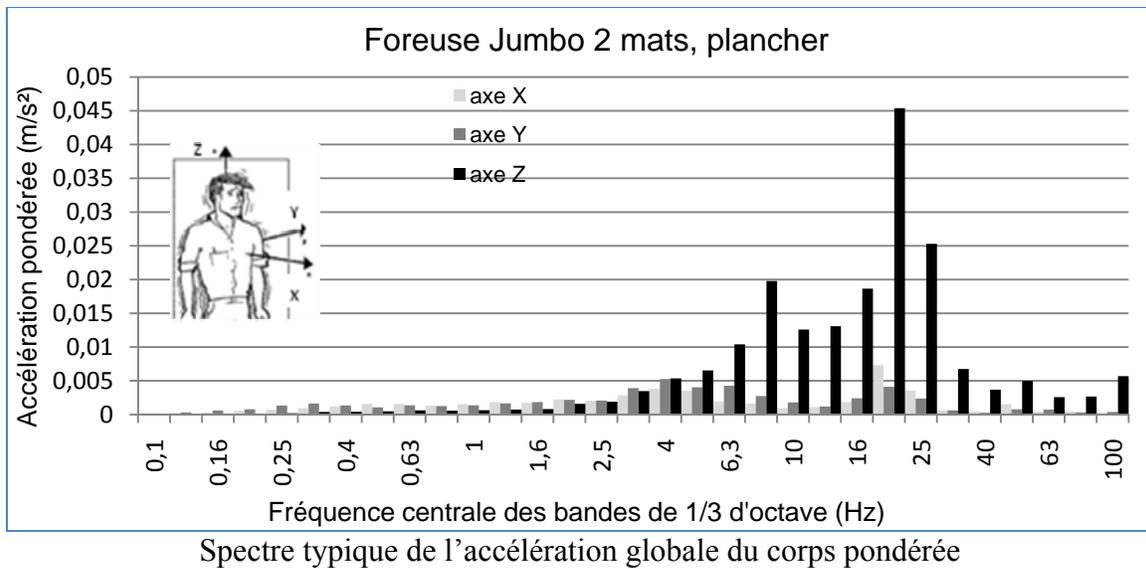
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,08	3,57	1	0,06	1,55
2	0,10	3,34	2	0,08	1,96
3	0,09	3,26	3	0,06	1,24
Moyenne	0,09	3,39	Moyenne	0,07	1,58
Écart-type	0,01	0,16	Écart-type	0,01	0,36

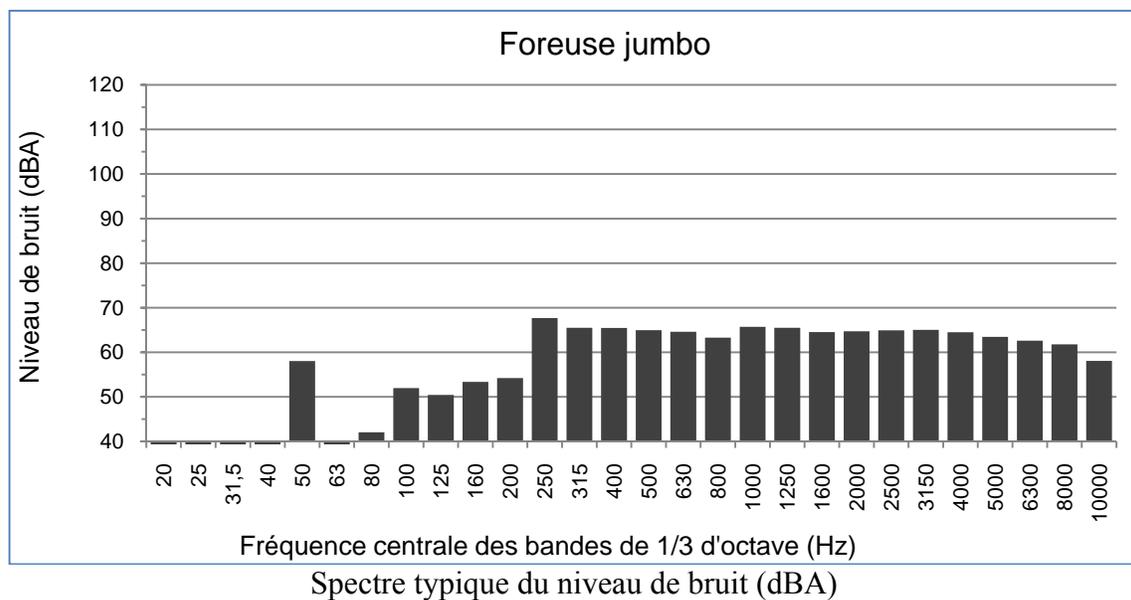


Spéctre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Bruit (L_A , dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	76,9
2	76,8
3	77,0
4	75,6
Moyenne	76,6
Écart-type	0,66



12 – KUBOTA L 5740

Modèle : Kubota L 5740 modifié pour mines

Condition : Bonne condition bien entretenu, conducteur 180 lb + passager 180 lb

Opérateur : environ 40 ans, plus de 10 ans d'expérience

Date des mesures: 8 mai 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Le véhicule a été évalué en déplacement dans des galeries dont la condition était représentative de la moyenne.

Ce véhicule est doté d'une seule place assise. Le siège original du conducteur a été remplacé par un siège de marque Grammer (modèle inconnu).

Des mesures ont été effectuées au niveau du siège du conducteur et du volant.

Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

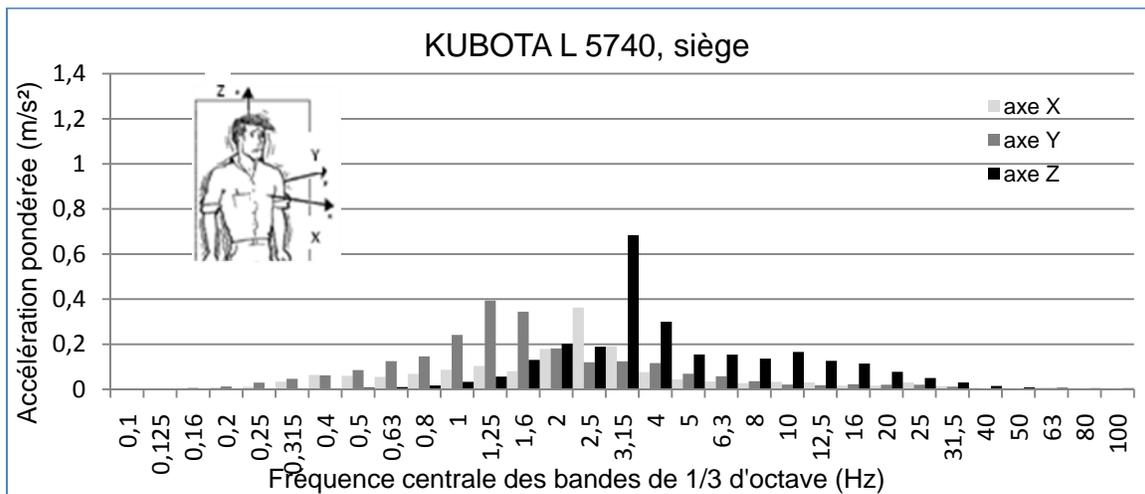
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

Accéléromètre B&K 4520 (500g) sur le volant

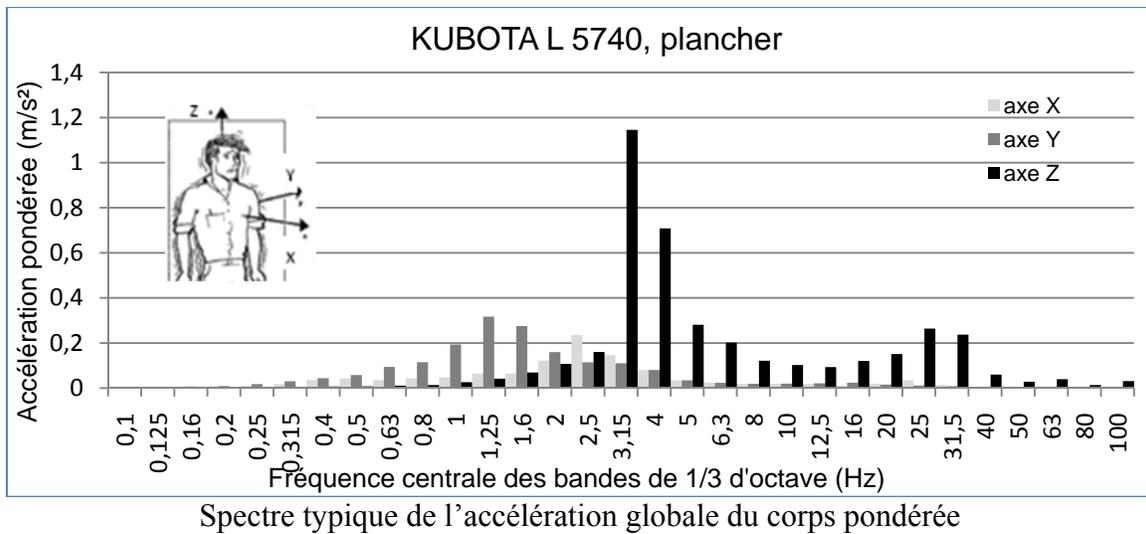
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,97	19,89	1	1,48	28,81
2	1,07	39,89	2	1,44	30,18
3	0,97	24,60	3	1,46	29,80
4	1,03	31,63	4	1,48	28,21
Moyenne	1,01	29,00	Moyenne	1,46	29,25
Écart-type	0,05	8,71	Écart-type	0,02	0,90

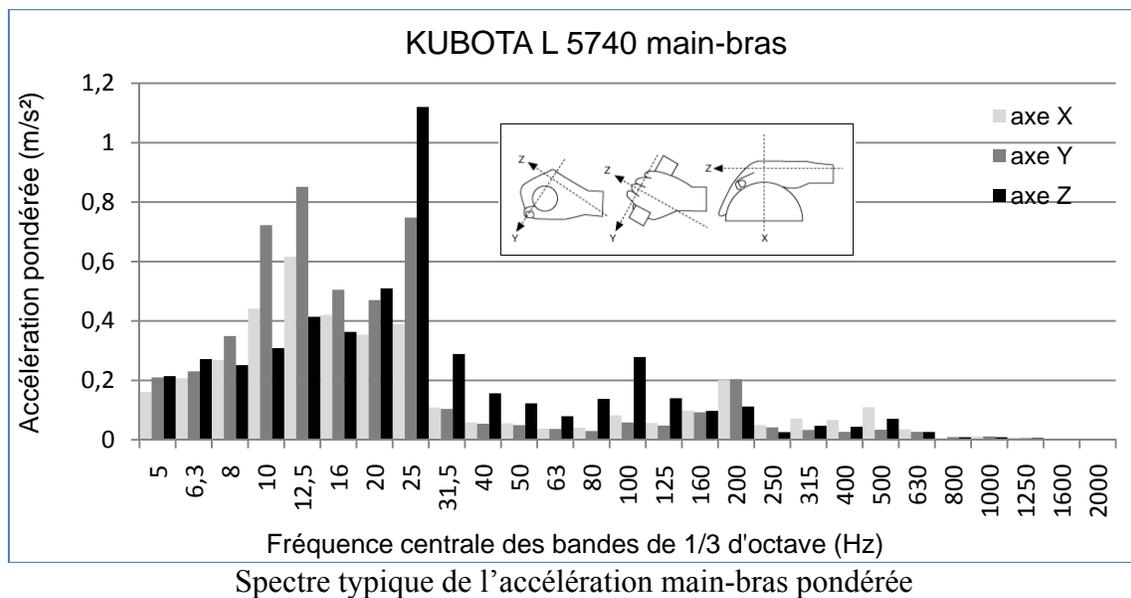


Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



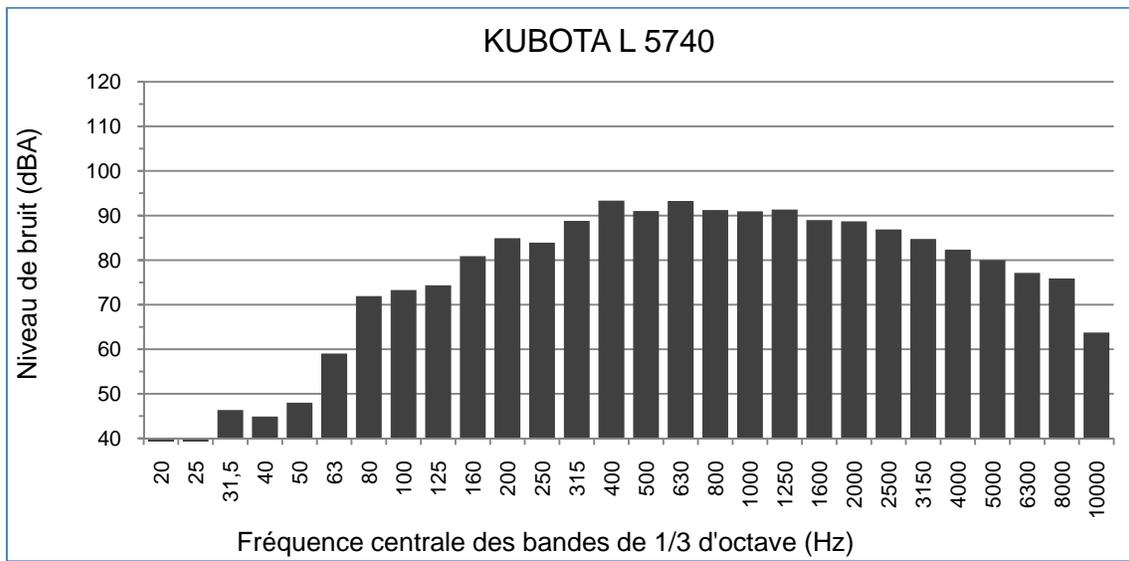
Vibrations main-bras (accélération globale pondérée)

Essai	RMS
1	2,90
2	2,42
3	2,57
Moyenne	2,63
Écart-type	0,25



Bruit (dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	101,2
2	101,4
3	101,0
Moyenne	101,2
Écart-type	0,20



Fréquence centrale des bandes de 1/3 d'octave (Hz)
 Spectre typique du niveau de bruit (dBA)

13 - MINECAT100PC

Modèle : MINECAT100PC de Industrial Fabrication avec banquettes à l'arrière

Condition : Récent, bonne condition bien entretenu, conducteur 180 lb + passager 180 lb

Opérateur : environ 40 ans, plus de 10 ans d'expérience

Date des mesures: 8 mai 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Le véhicule a été évalué en déplacement dans des galeries dont la condition était représentative de la moyenne.

Ce véhicule était doté d'un sièges à suspension pour le conducteur, de 2 places assises avant et d'une banquette pour les places arrière. Le siège original du conducteur a été remplacé par un siège de marque Grammer (modèle inconnu).

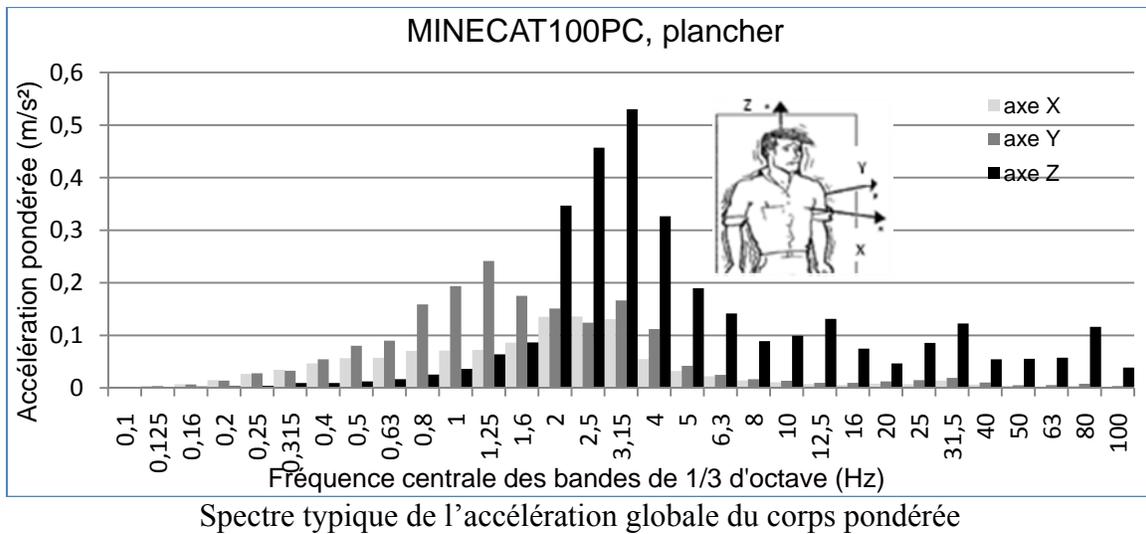
Des mesures ont été effectuées au siège du conducteur, sur le volant ainsi que sur les banquettes arrière.

Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

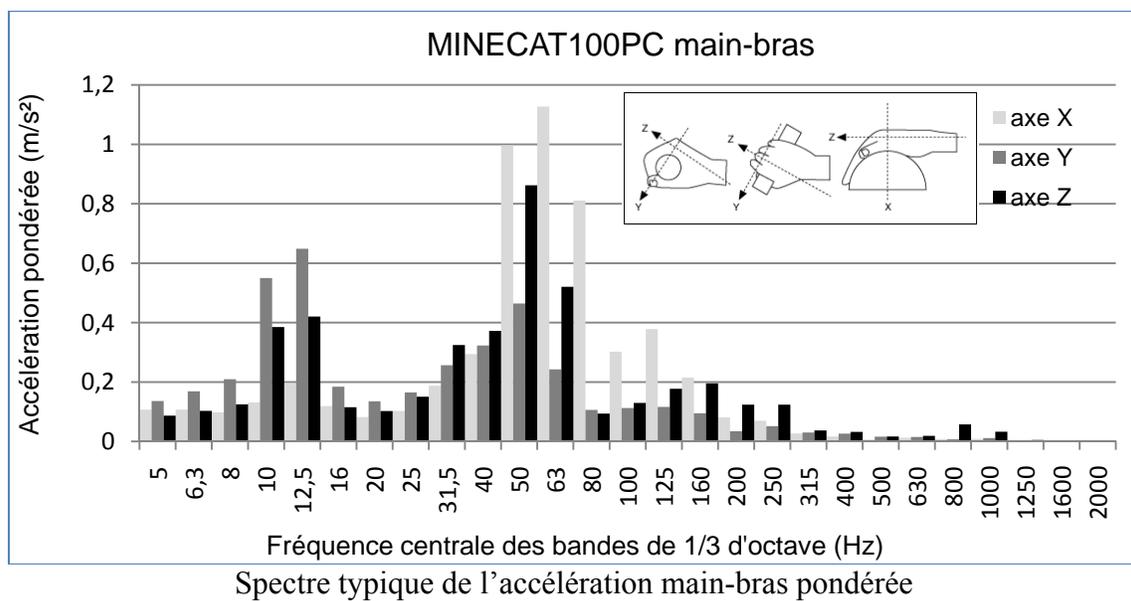
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

Accéléromètre B&K 4520 (500g) sur le volant



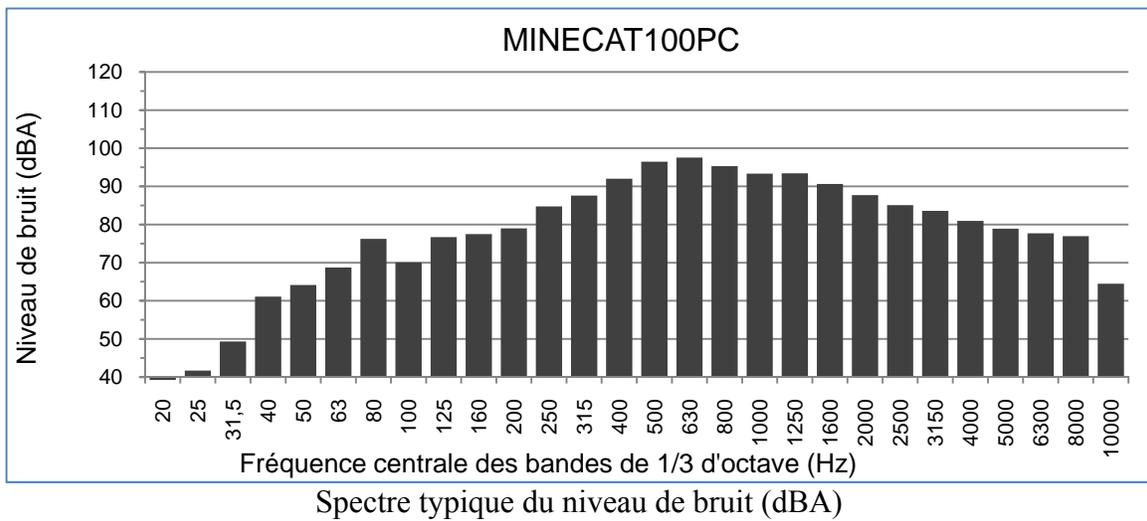
Vibrations main-bras (accélération globale pondérée), volant

Essai	RMS
1	2,61
2	2,55
Moyenne	2,58



Bruit (dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	105,7
2	104,4
3	102,6
4	100,5
5	103,7
6	104,7
Moyenne	103,6
Écart-type	1,84



14 - RTV900

Modèle : RTV900 modifié pour mines

Condition : Très peu d'usure, moins de 2 ans, conducteur 180 lb + passager 180 lb

Opérateur : environ 40 ans, plus de 10 ans d'expérience

Date des mesures: 8 mai 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Le véhicule a été évalué en déplacement dans des galeries dont la condition était représentative de la moyenne.

Ce véhicule était doté d'une banquette deux places et d'un panier arrière. Des mesures ont été prises sur la banquette.

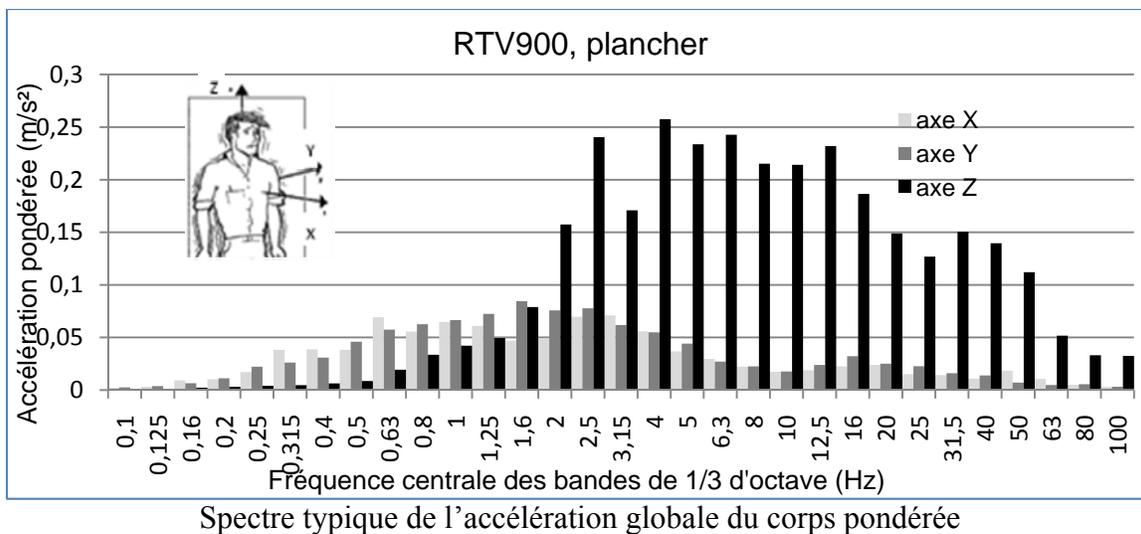
Des mesures ont été effectuées au siège du conducteur ainsi que sur le volant.

Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

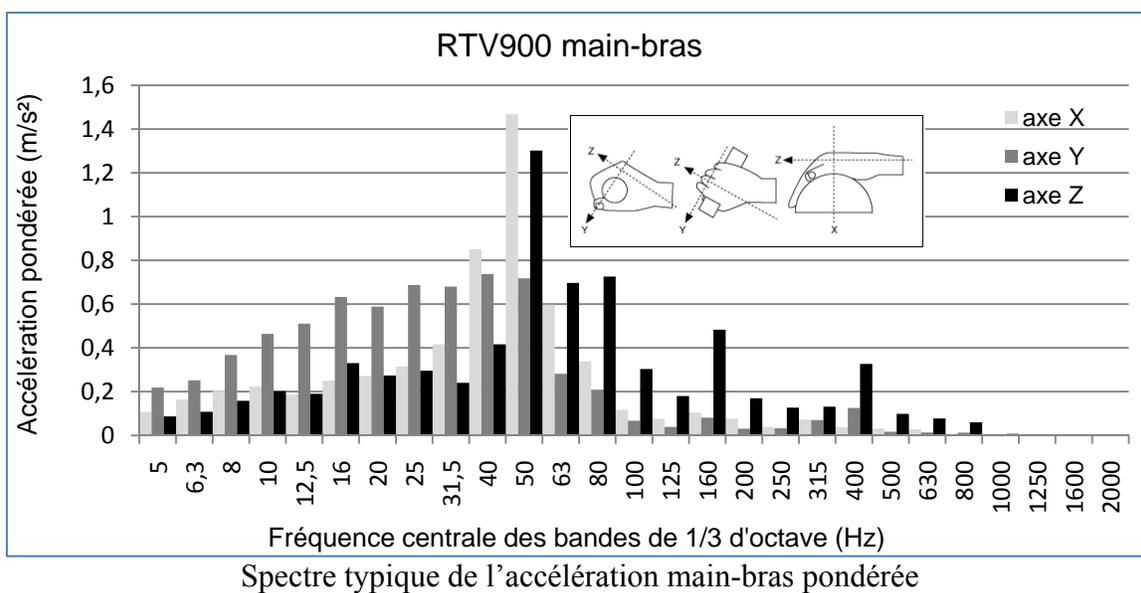
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

Accéléromètre B&K 4520 (500g) sur le volant



Vibrations main-bras (accélération globale pondérée), volant

Essai	RMS
1	3,40
2	3,31
3	2,50
4	3,00
Moyenne	3,05
Écart-type	0,41



15 – Chargeuse-navette 3,5 vg³

Modèle : Atlas Copco ST 710

Condition : Presque neuve

Opérateur :

Date des mesures: 14 octobre 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Cette chargeuse avait pour tâche de remplir son godet de façon télécommandée et d'aller porter le minerai sur la grille d'un marteau hydraulique. Les vibrations mesurées pendant le remplissage du godet n'ont pas été considérées.

Le temps de déplacement entre le point de soutirage et le marteau était d'environ 90 s. La condition de la surface de roulement entre le point de soutirage et le marteau était dans la moyenne de ce qui a été observé ailleurs. La cabine ne possédait pas de vitres.

Accéléromètres

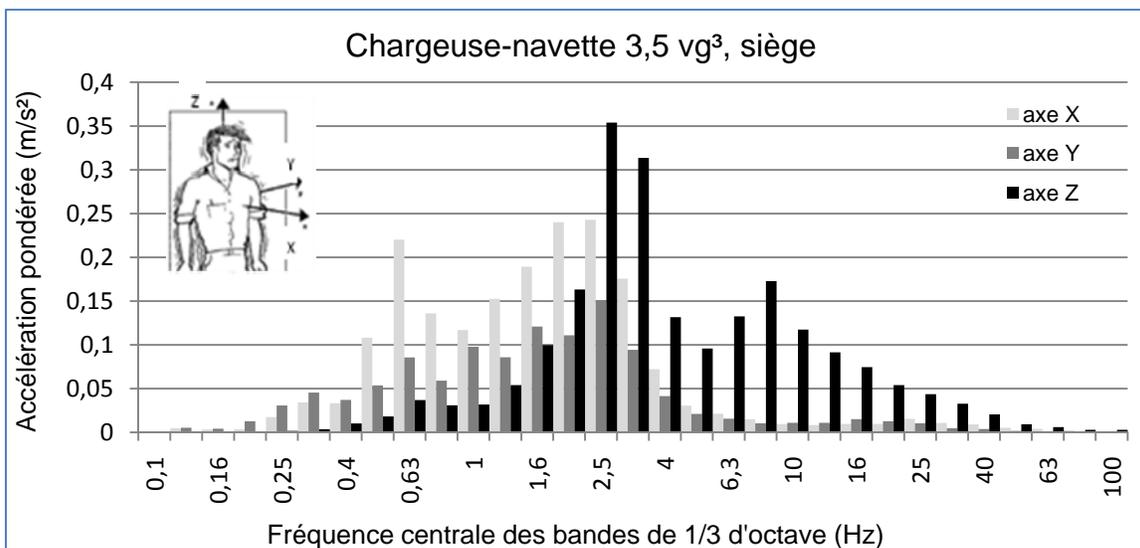
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

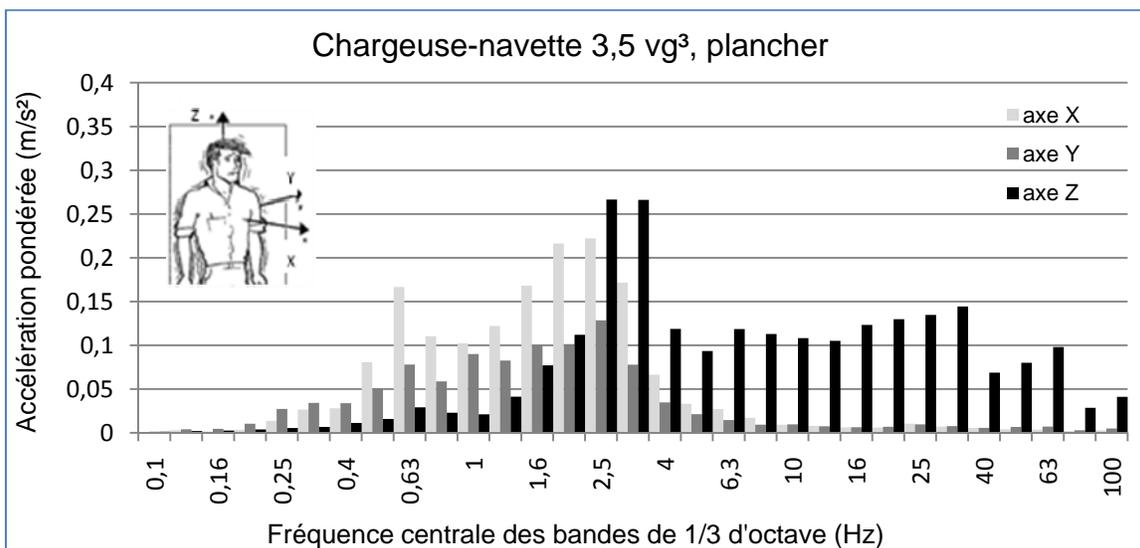
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,80	15,88	1	0,70	17,91
2	0,86	16,95	2	0,75	20,21
3	0,78	16,82	3	0,69	14,98
4	0,71	24,73	4	0,64	14,85
5	0,76	15,45	5	0,68	14,17
6	1,00	20,51	6	0,88	22,88
7	0,84	16,86	7	0,74	22,99
8	0,84	17,86	8	0,77	19,91
9	0,91	20,89	9	0,82	18,88
Moyenne	0,83	18,44	Moyenne	0,74	18,53
Écart-type	0,09	3,02	Écart-type	0,08	3,34



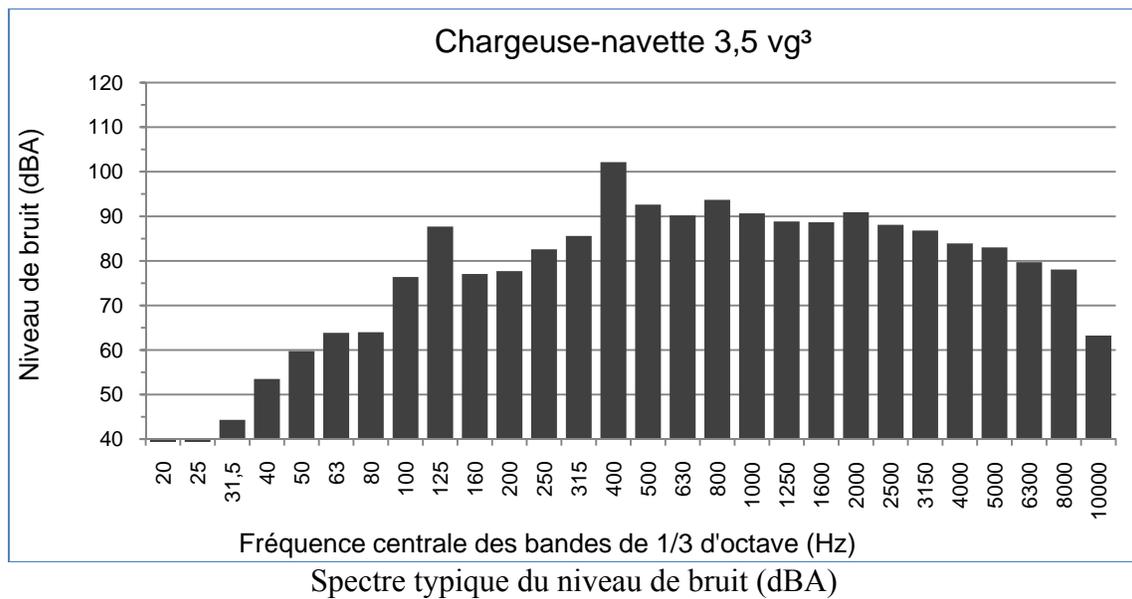
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Bruit (L_A , dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	104,5
2	104,5
3	104,2
Moyenne	104,4
Écart-type	0,17



16 – Chargeuse-navette 6 vg³

Modèle : Atlas Copco ST 1030

Condition : Presque neuve 2008

Opérateur :

Date des mesures: 14 octobre 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Cette chargeuse avait pour tâche de remplir son godet de façon télécommandée dans un point de soutirage et d'aller porter le minerai dans un camion ou une zone tampon (en l'absence de camion). Les vibrations mesurées pendant le remplissage du godet n'ont pas été considérées.

Le temps de déplacement entre le point de soutirage et le point de déversement était d'environ 1 minute.

La condition de la surface de roulement entre le point de soutirage et le marteau était dans la moyenne de ce qui a été observé ailleurs. La cabine ne possédait pas de vitres.

Accéléromètres

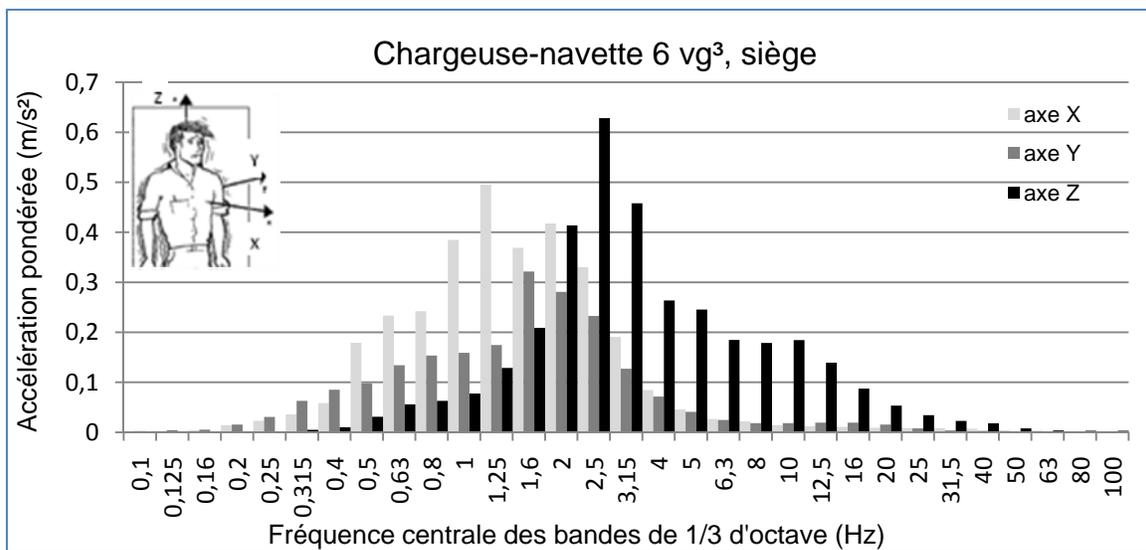
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

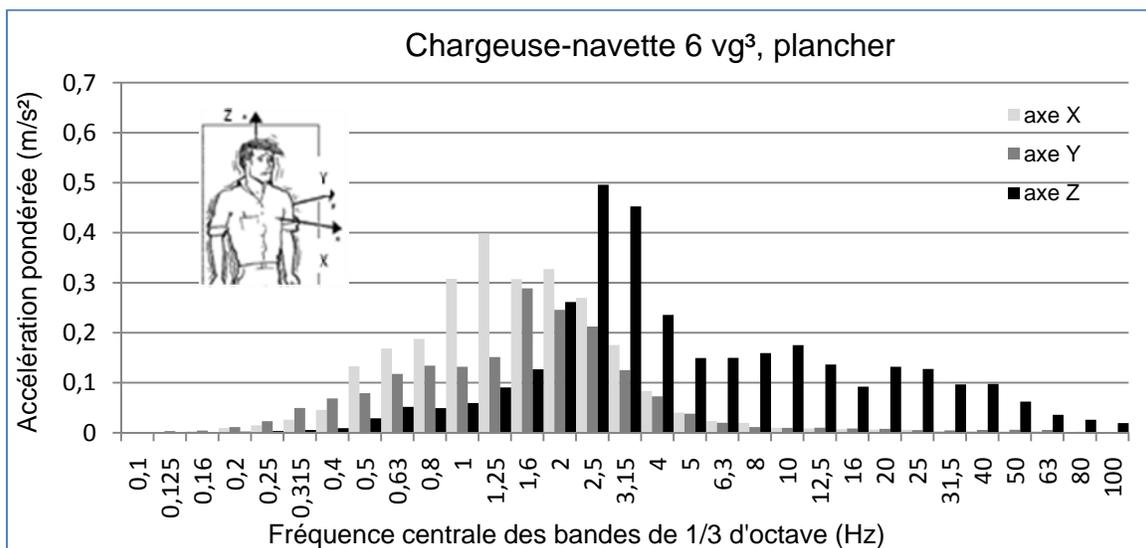
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	1,43	27,66	1	1,15	22,42
2	1,59	30,07	2	1,30	26,55
3	1,73	29,95	3	1,36	23,80
4	1,22	26,29	4	0,97	20,99
5	1,29	24,75	5	1,08	21,62
6	1,77	33,67	6	1,34	25,77
7	1,50	28,69	7	1,20	23,11
8	1,32	25,48	8	1,07	20,70
9	1,38	24,47	9	1,13	20,40
10	1,60	29,40	10	1,29	0,00
11	1,41	27,70	11	1,13	22,09
12	1,14	25,82	12	1,03	34,52
13	1,40	27,47	13	1,15	23,33
14	1,58	30,67	14	1,20	23,53
Moyenne	1,45	28,00	Moyenne	1,17	22,06
Écart-type	0,19	2,59	Écart-type	0,12	7,28



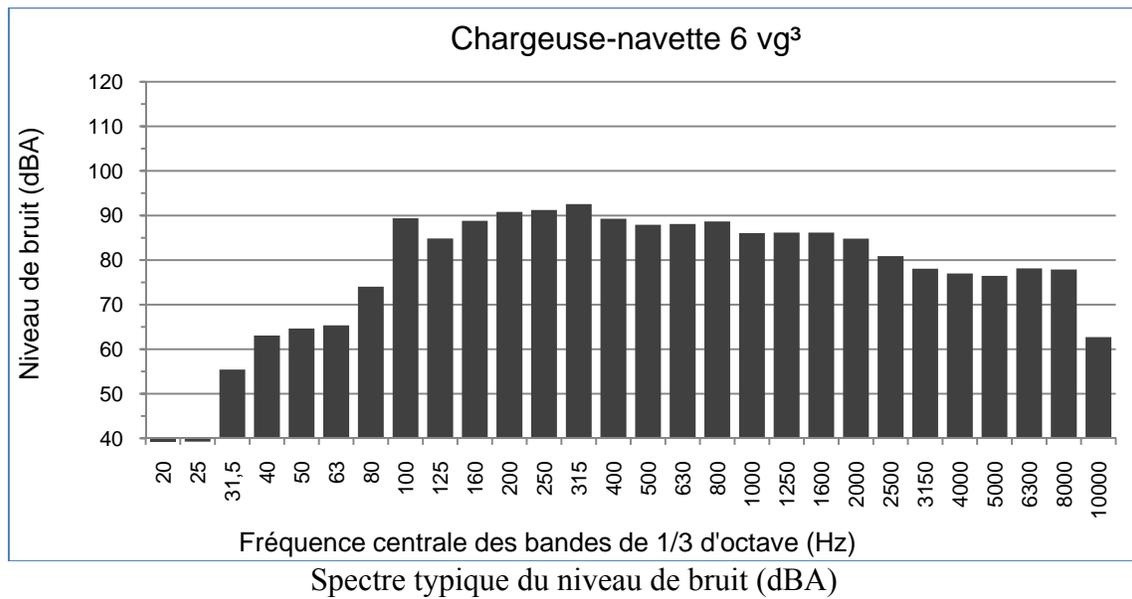
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Bruit (L_A , dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	100,4
2	97,6
3	98,5
4	100,1
Moyenne	99,2
Écart-type	1,33



17 - Camion Ciseaux Teledyne

Modèle : Ciseaux Teledyne M-40

Condition : Usure moyenne, année inconnue

Date des mesures: 29 juillet 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Les vibrations ont été mesurées sur le plancher du ciseau pendant le forage de trous dans les murs à l'aide de foreuses pneumatiques et pendant le forage de trous verticaux à l'aide d'une foreuse pneumatique verticale.

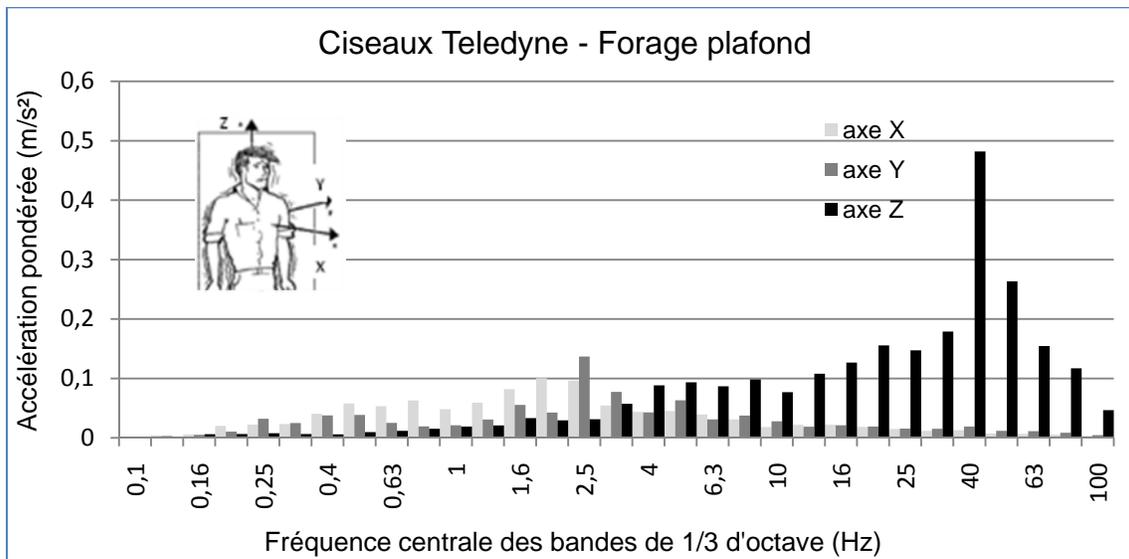
Accéléromètre

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le plancher (plateforme).

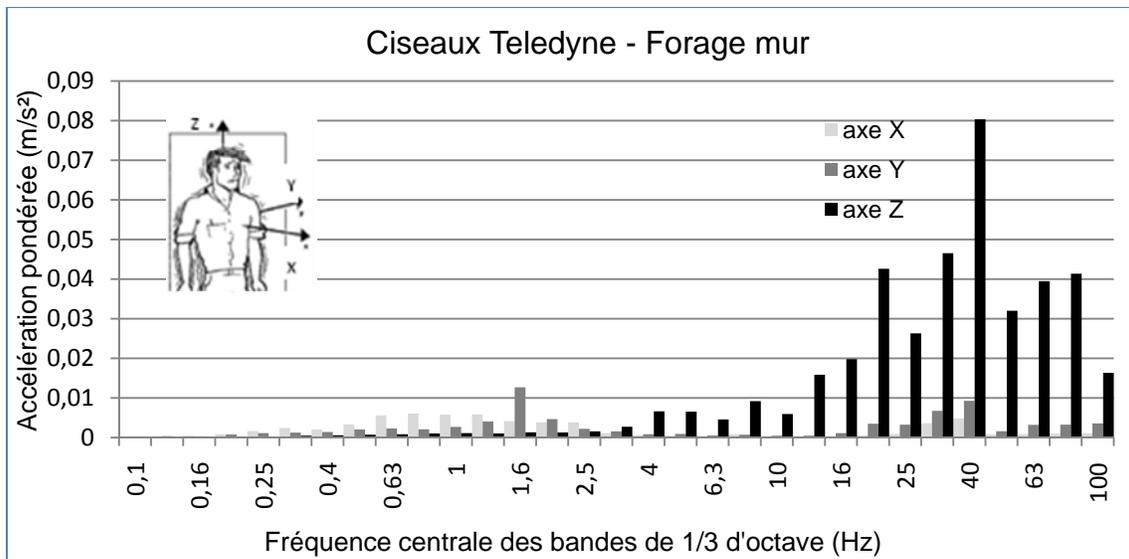
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Forage plafond			Forage mur		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,70	24,13	1	0,22	5,17
2	0,62	12,78	2	0,20	4,59
3	0,65	13,83	3	0,15	2,80
4	0,17	3,75	4	0,13	2,86
5	0,38	6,38	5	0,13	2,87
Moyenne	0,51	12,18	Moyenne	0,17	3,66
Écart-type	0,22	7,91	Écart-type	0,04	1,14



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

18 - Jumbo de forage

Modèle : Atlas Copco Boomer 104 (2007) avec drill Atlas Copco 1638

Condition : Presque neuf

Opérateur : 42 ans, 190 lbs, >10

Date des mesures: 29 juillet 2009

Type de mine : Mécanisée

Photo manufacturier



Photos prises à la mine





Tâche de travail

Ce jumbo de forage ne possède pas de cabine. Les mesures au plancher et à la barre de support près de la console de contrôle ont été recueillies lors du forage de trous latéraux.

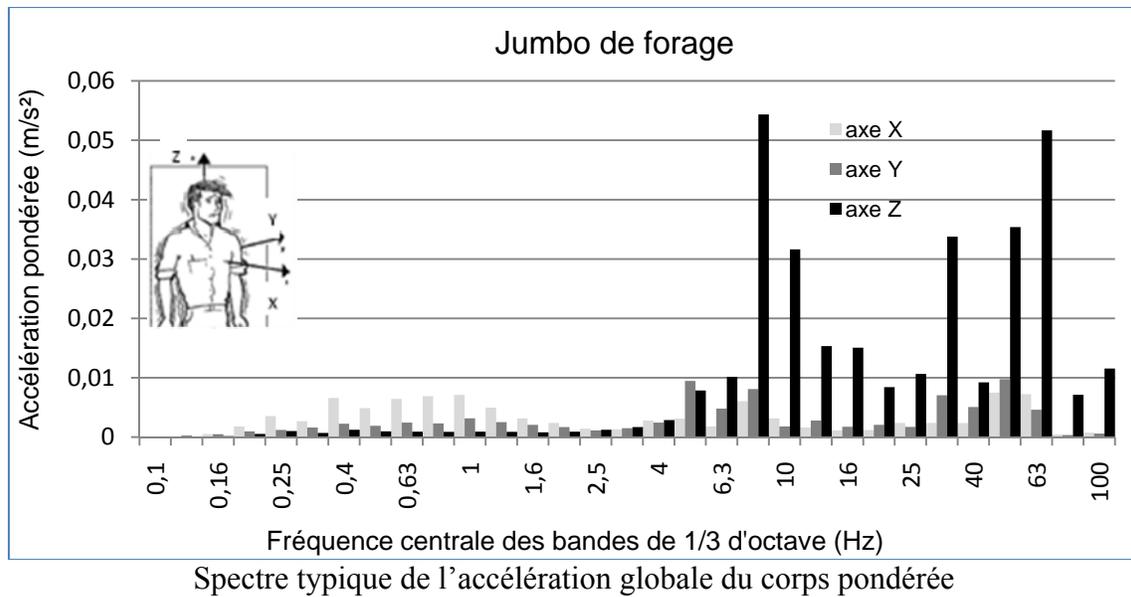
Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le plancher.
Accéléromètre B&K 4520 (500 g) vissé à la poignée (main-bras).

Résultats

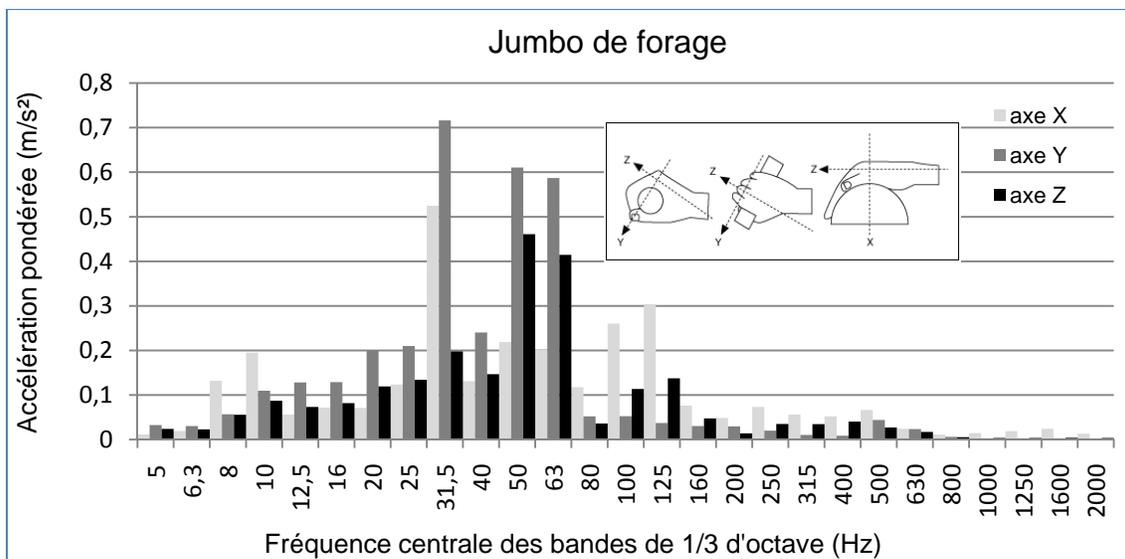
Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

	Plancher	
Essai	RMS	VDV_8h
1	0,10	2,06
2	0,07	1,38
3	0,14	2,28
4	0,08	1,56
5	0,09	1,60
Moyenne	0,10	1,78
Écart-type	0,03	0,38



Vibrations main-bras (accélération globale pondérée)

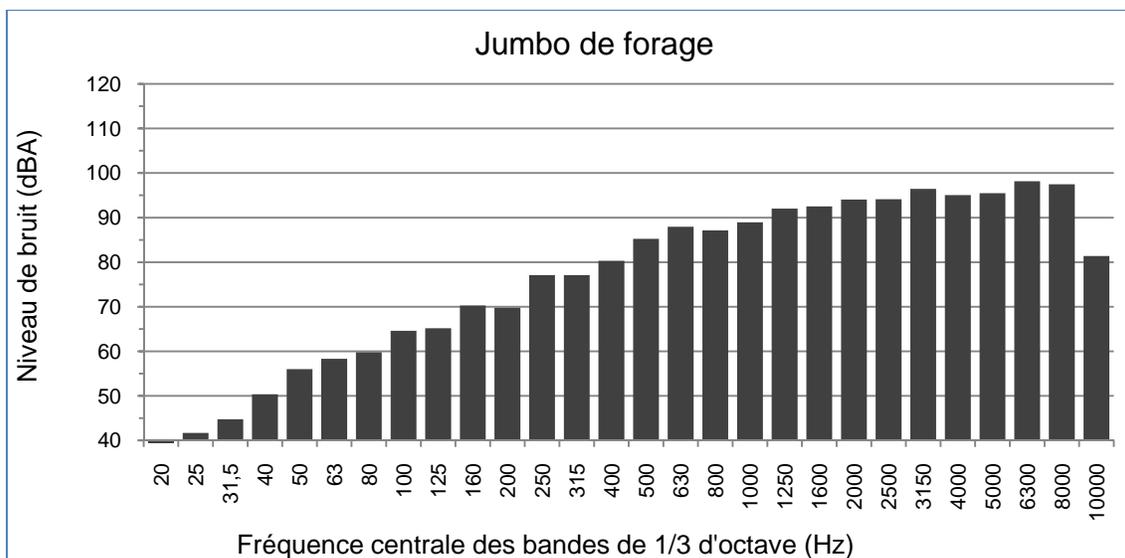
Essai	RMS
1	1,98
2	1,72
3	2,00
4	1,63
Moyenne	1,83
Écart-type	0,19



Spectre typique de l'accélération main-bras pondérée

Bruit (L_A , dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	104,8
2	105,4
3	104,1
Moyenne	104,8
Écart-type	0,65



Spectre typique du niveau de bruit (dBA)

19 - Camion ciseaux

Modèle : Getman A64

Condition : Récent, bonne condition

Opérateur : 3 personnes sur la plateforme

Date des mesures: 15 juillet 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Les vibrations ont été mesurées sur le plancher du ciseau pendant le forage de trous dans les murs à l'aide d'une foreuse pneumatique à béquille et pendant le forage de trous verticaux à l'aide d'une foreuse pneumatique verticale.

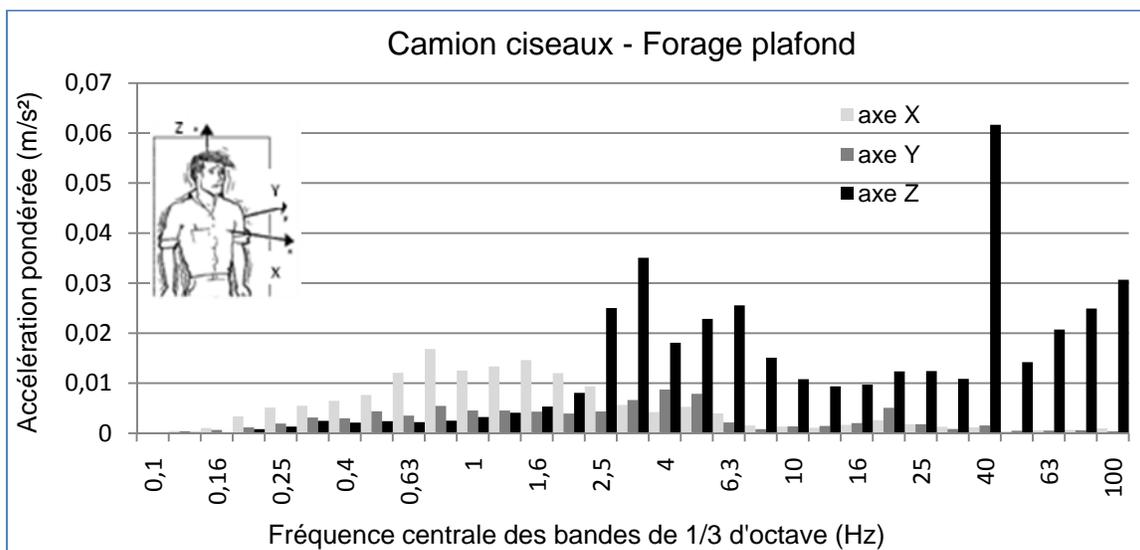
Accéléromètre

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le plancher (plateforme).

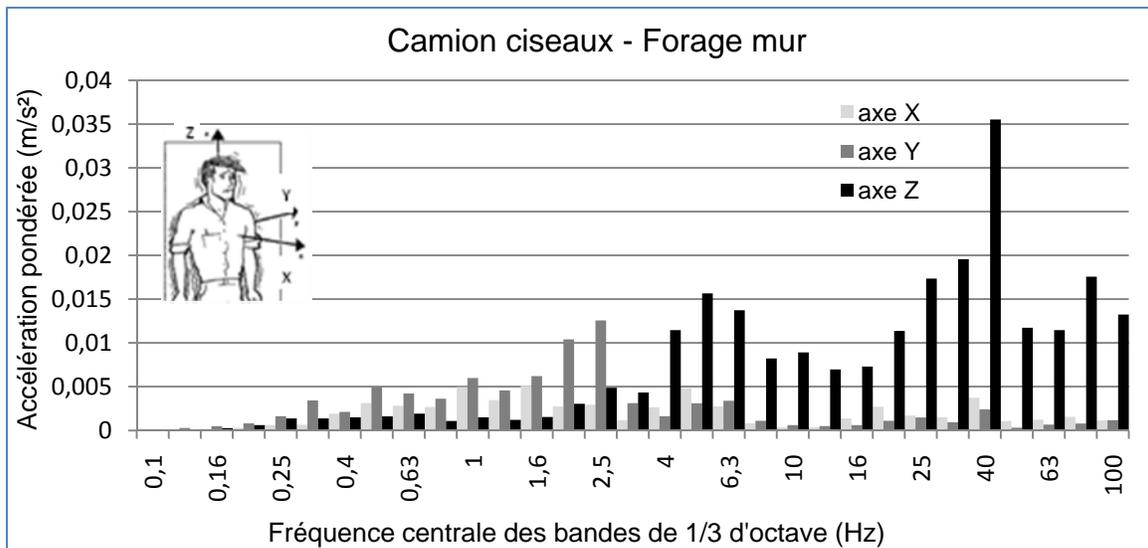
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Essai	Forage plafond		Forage mur		
	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,10	2,23	1	0,06	1,55
2	0,15	3,36	2	0,07	1,58
3	0,14	3,09	3	0,06	1,44
4	0,11	2,08	4	0,05	1,41
Moyenne	0,13	2,69	5	0,07	1,80
Écart-type	0,02	0,63	6	0,11	2,19
			Moyenne	0,07	1,66
			Écart-type	0,02	0,29



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Spctre typique de l'accélération globale du corps pondérée

20 – Chargeuse-navette 15 vg³

Modèle : Caterpillar 15 vg³ 12 CNA 12 2008

Condition : Presque neuve

Opérateur : environ 50 ans, 180 lbs, grande expérience (+10)

Date des mesures: 15 juillet 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Les chargeuses évaluées avaient pour tâche de remplir leur godet dans un point de soutirage et de déverser le contenu dans une chute à minerai. Le temps de cycle était d'environ 4 minutes. Le soutirage de minerai provenant de deux points de soutirage présentant du minerai de caractéristiques différentes a été évalué. Le minerai provenant du point de soutirage 1 était relativement fin et homogène tandis que le minerai provenant du second point de soutirage contenait de nombreux blocs.

La condition de la surface de roulement entre les points de soutirage et la chute à minerai était dans la moyenne de ce qui a été observé ailleurs. Cette chargeuse était pourvue d'une cabine fermée.

Accéléromètres

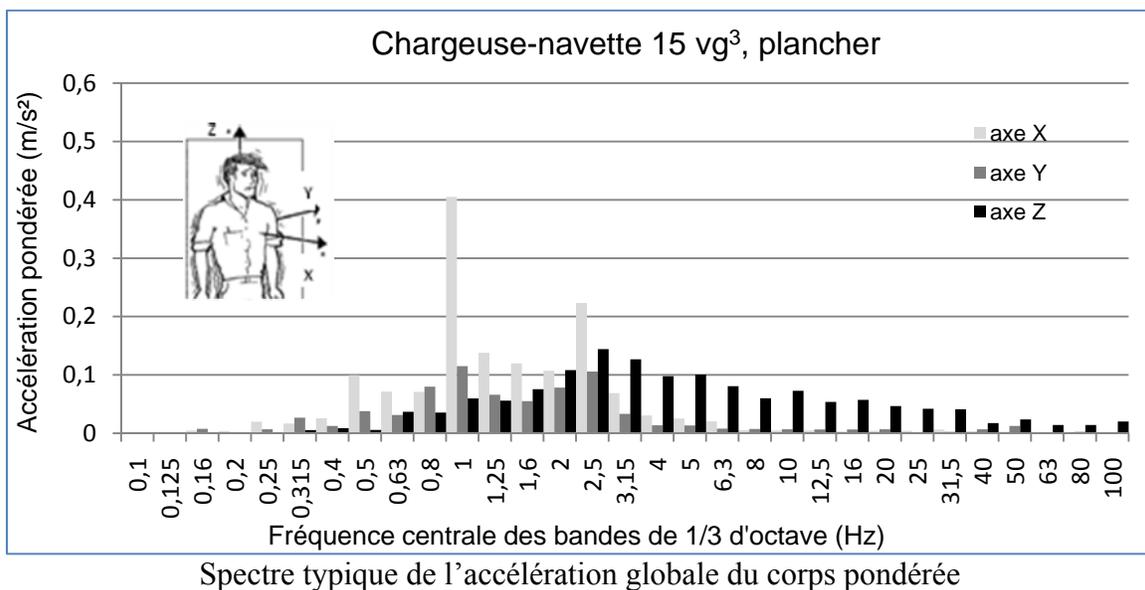
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

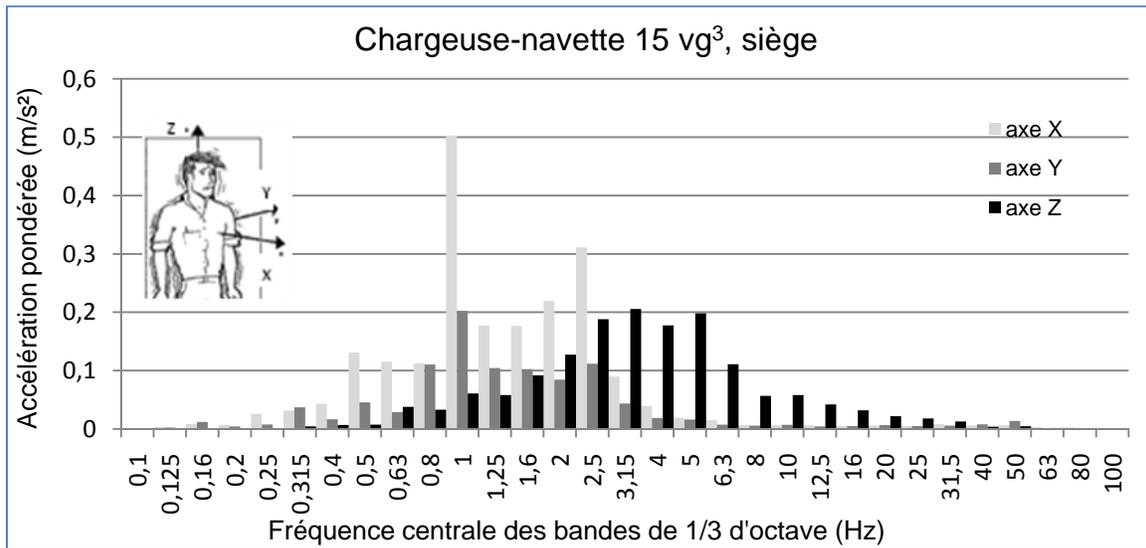
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Plancher			Siège		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,70	14,25	1	0,99	19,72
2	0,72	14,80	2	1,03	19,94
3	0,75	14,55	3	1,09	21,26
4	0,63	14,03	4	0,92	17,73
5	0,67	15,07	5	0,98	19,87
6	0,65	14,52	6	0,92	17,84
7	0,70	14,87	7	0,99	19,29
8	0,74	21,83	8	1,06	21,91
9	0,72	15,19	9	1,06	20,20
Moyenne	0,70	15,46	Moyenne	1,01	19,75
Écart-type	0,04	2,42	Écart-type	0,06	1,38

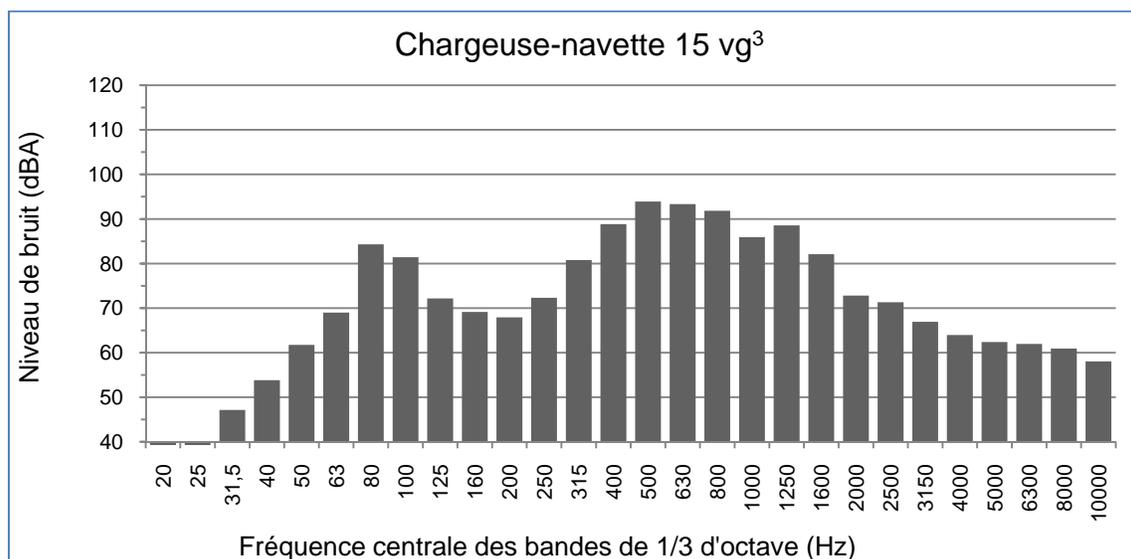




Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

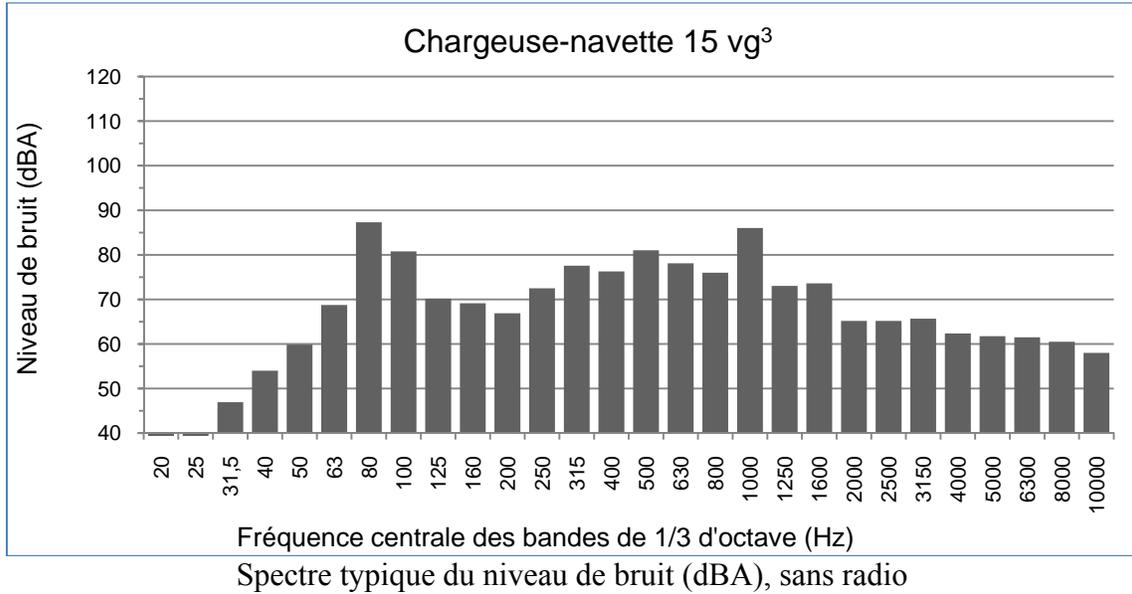
Bruit (L_A, dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	98,6
2	100
3	99,4
4	99,1
Moyenne	99,3
Écart-type	0,59



Spectre typique du niveau de bruit (dBA)

Essai **Niveau de bruit (dBA), sans radio**
 1 91,7



21 - Marteaux et Concasseur



Tâche de travail

Tout le minerai passe par les marteaux (2) avant d'arriver au concasseur. La salle de contrôle pour les marteaux est isolée, climatisée et insonorisée. Elle est si confortable qu'elle sert d'aire de repos pour d'autres travailleurs. On n'y ressent aucune vibration et on entend à peine les marteaux (ce qui est nécessaire à l'opération correcte des marteaux). Elle surplombe la salle des marteaux et permet aux opérateurs de bien les voir. Des écrans permettent aussi de voir la grille en gros plan sous un angle différent.

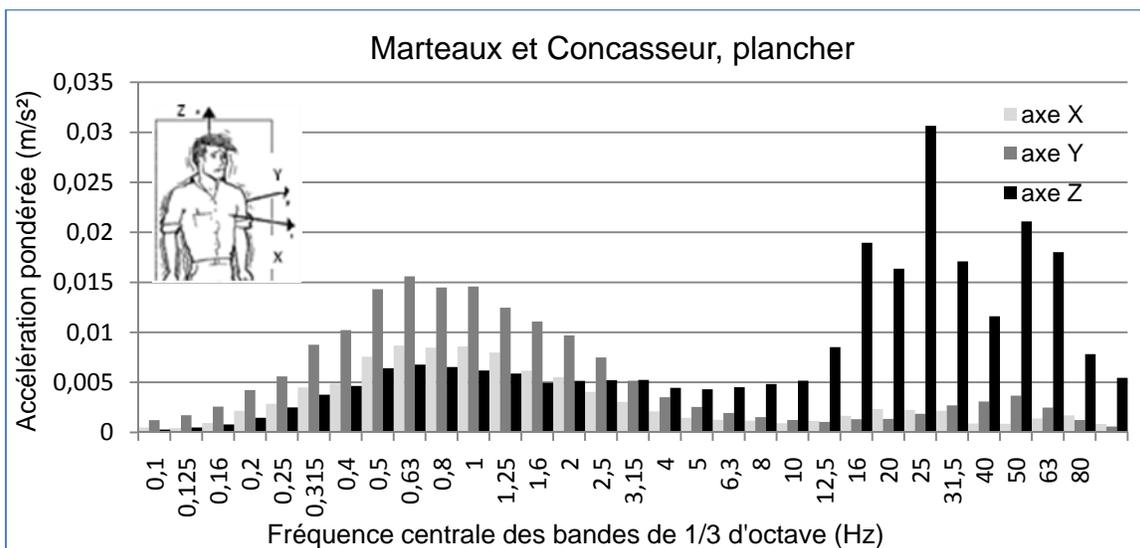
Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

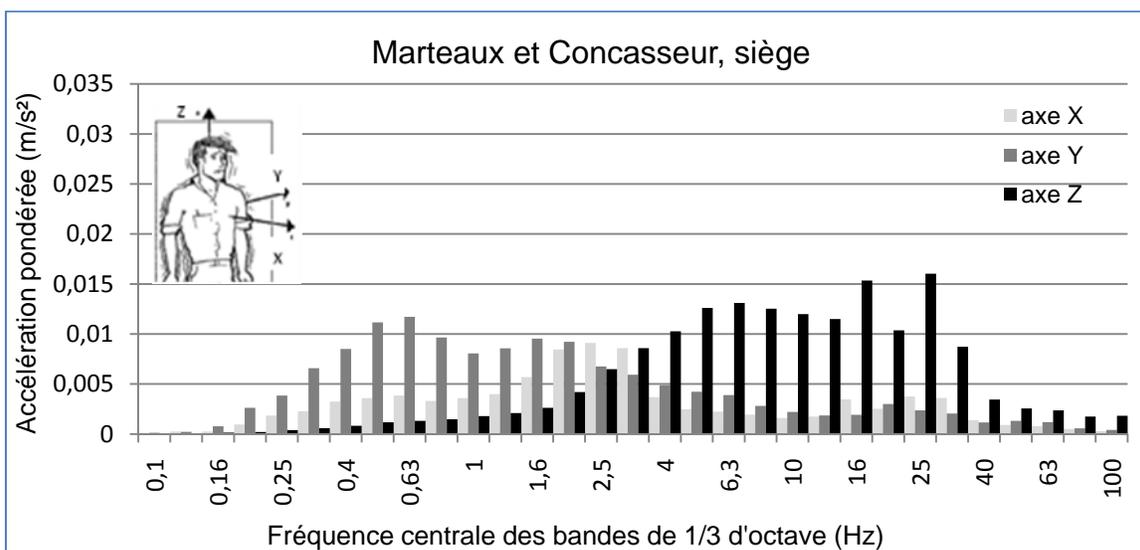
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Essai	Plancher		Essai	Siège	
	RMS	VDV_8h		RMS	VDV_8h
1	0,06	2,41	1	0,04	3,19



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

22 - Niveleuse

Modèle : Champion 720A modifié petites roues année inconnue

Condition : bonne condition

Opérateur : Expérimenté environ 180 lbs

Date des mesures: 15 juillet 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Cette niveleuse a été modifiée afin de pouvoir utiliser de plus petits pneus et ainsi réduire sa hauteur et permettre son utilisation sous terre. Les données vibratoires ont été recueillies lors des activités de nivelage typique dans une galerie souterraine.

Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

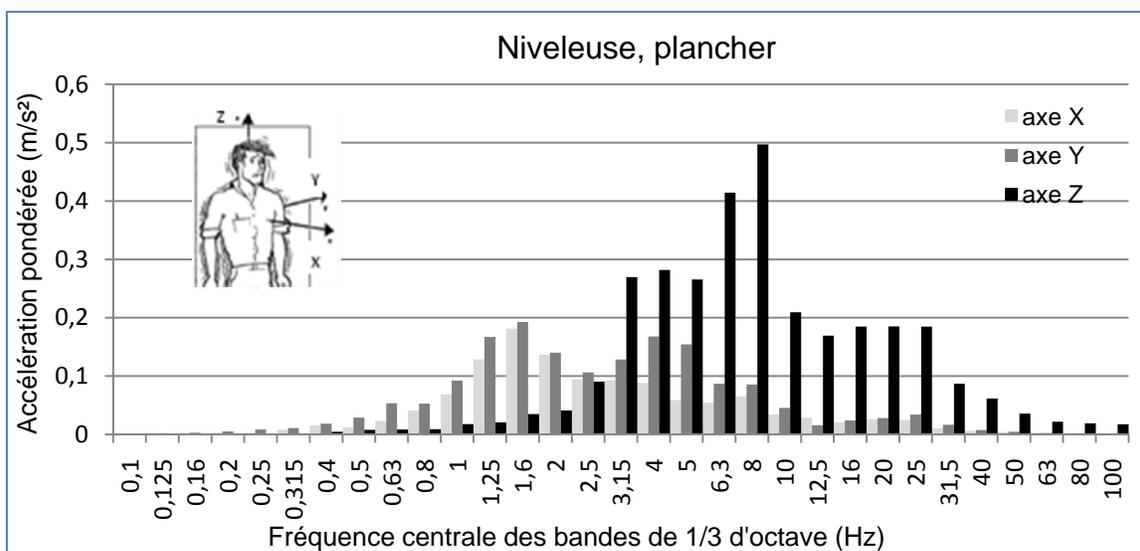
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

Accéléromètre B&K 4520 (500g) sur le volant

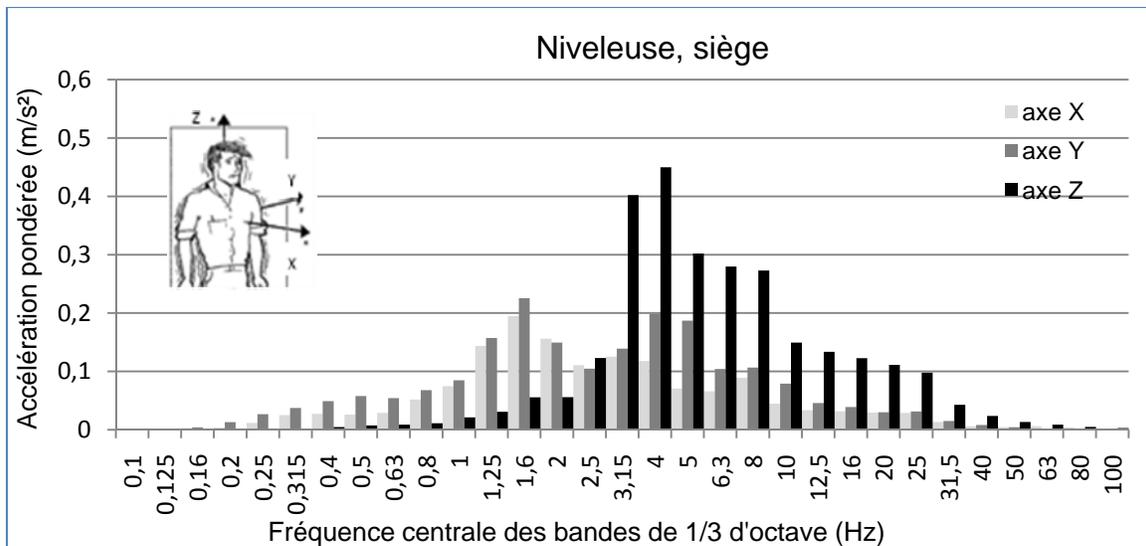
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Plancher			Siège		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,92	18,15	1	0,85	15,64
2	0,70	14,07	2	0,84	16,91
3	0,73	20,14	3	0,87	22,35
4	0,73	14,88	4	0,74	14,45
Moyenne	0,77	16,81	Moyenne	0,83	17,34
Écart-type	0,10	2,83	Écart-type	0,06	3,49



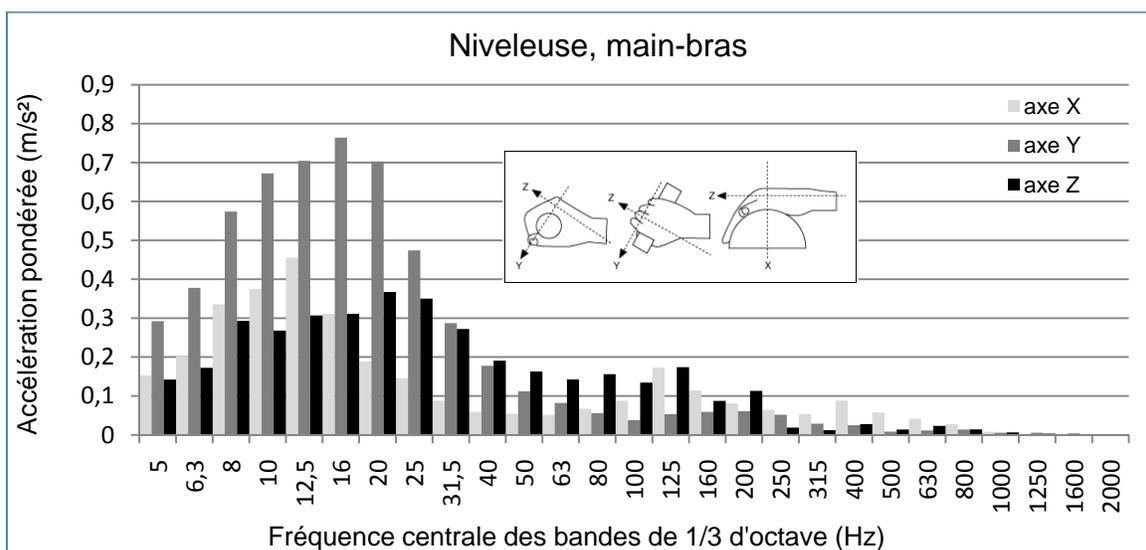
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Vibrations main-bras (accélération globale pondérée)

Essai	RMS
1	1,88
2	2,17
3	1,86
4	2,51
Moyenne	2,11
Écart-type	0,30



Spectre typique de l'accélération main-bras pondérée

23 - Concasseur à mâchoire 150 hp

Modèle : concasseur à mâchoire 150 hp

Condition : vieille installation

Opérateur : environ 35 ans, 160 lbs,

Date des mesures: 18 juin 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Cette installation de concasseur ne présente aucun des dispositifs visant à réduire l'exposition des travailleurs aux vibrations et au bruit présents dans les autres installations visitées. Le travailleur est assis sur une chaise directement positionnée aux abords de la table vibrante et doit effectuer une rotation du dos afin de regarder le minerai entrant dans le concasseur. Il est souvent appuyé sur le rebord de la structure du concasseur et doit se déplacer à l'occasion autour du concasseur pour effectuer diverses tâches.

Accéléromètres

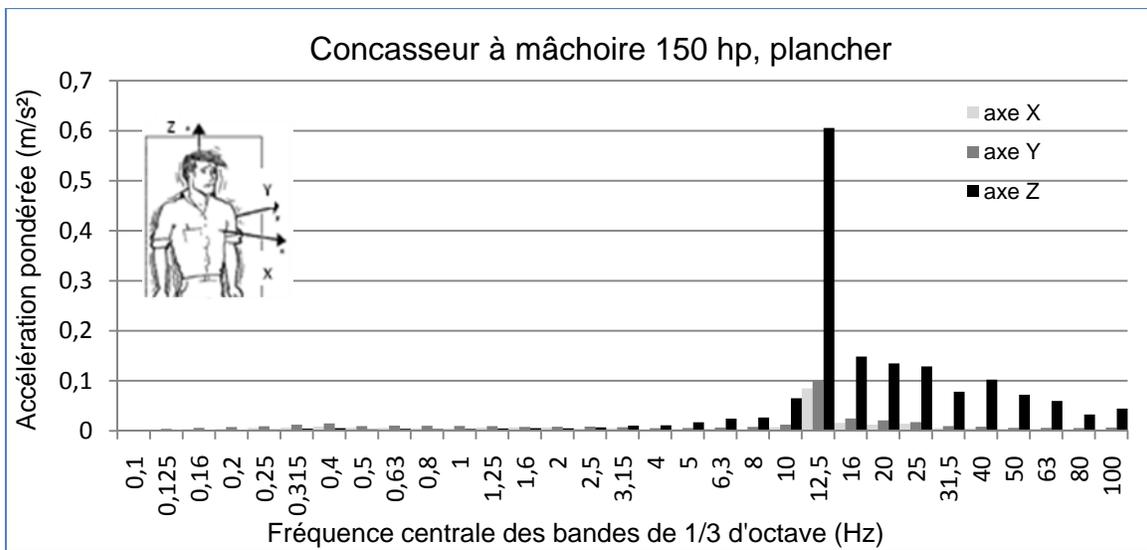
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège et main-bras sur l'appui-bras.

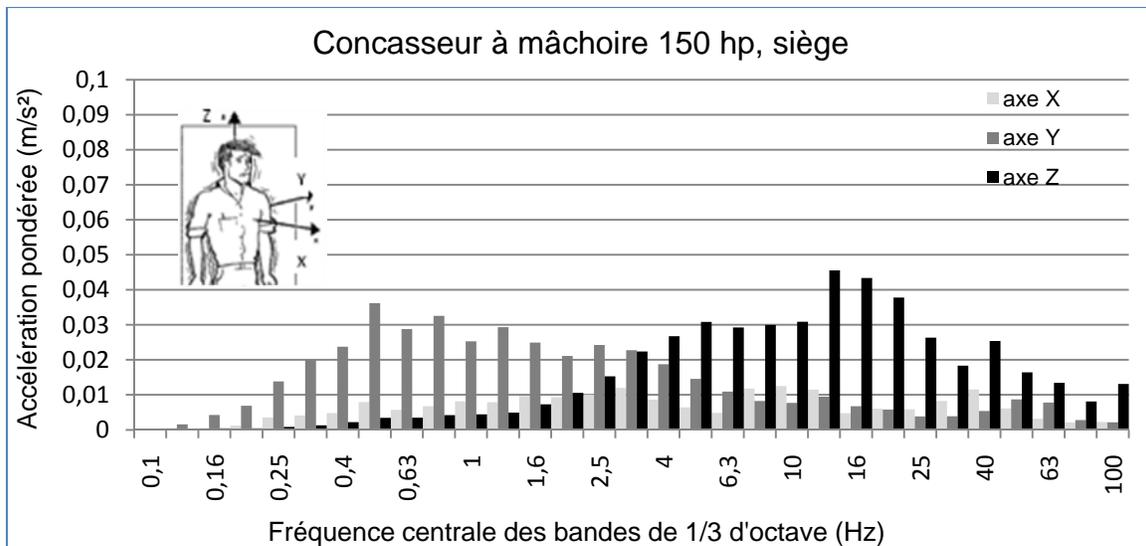
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Essai	Base		Siège	
	RMS	VDV	RMS	VDV
1	0,68	11,01	0,14	4,26
2	0,76	23,05	0,24	10,04
3	0,73	12,43	0,32	7,64
4	0,62	10,31	0,43	10,18
Moyenne	0,70	14,20	0,28	8,03
Écart-type	0,06	5,97	0,12	2,77



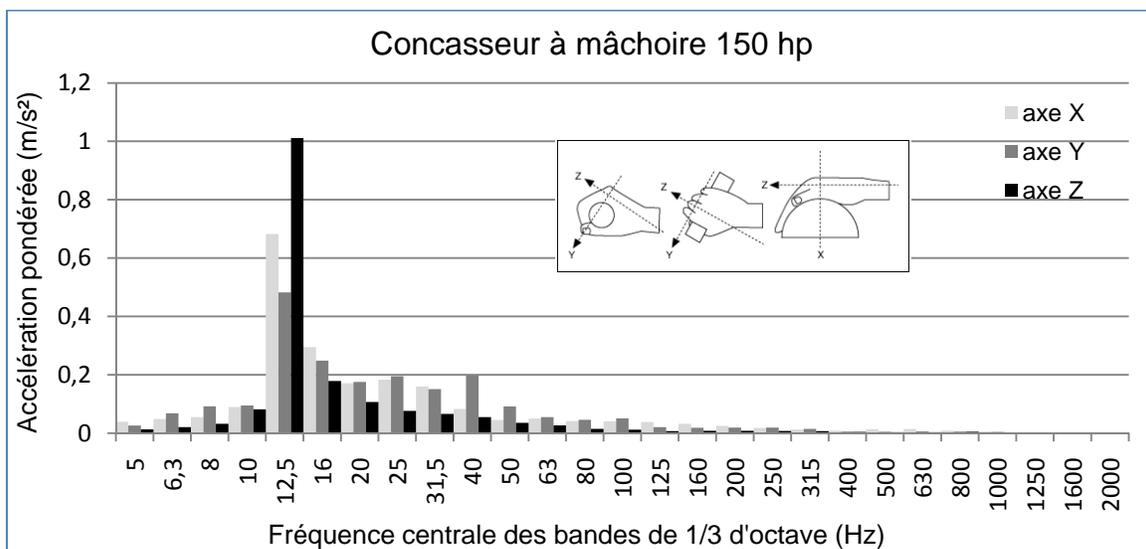
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Spéctre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Vibrations main-bras (accélération globale pondérée)

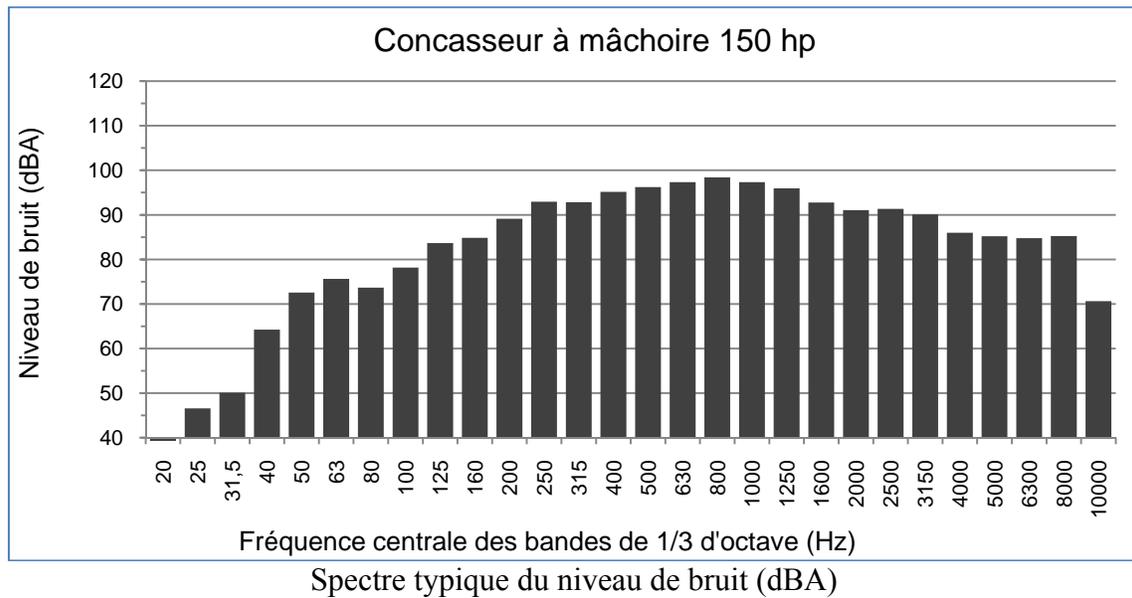
Essai	RMS
1	1,51
2	2,09
3	1,49
Moyenne	1,70
Écart-type	0,34



Spéctre typique de l'accélération main-bras pondérée

Bruit (L_A , dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	107,9
2	107,7
3	106,2
4	107,1
5	103,5
6	107,1
Moyenne	106,6
Écart-type	1,62



24 - Niveleuse

Modèle : Caterpillar, modèle à déterminer

Condition : vieille

Opérateur : environ 55 ans, 220 lbs,

Date des mesures: 18 juin 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Vieille niveleuse Caterpillar, sans cabine, de modèle indéterminé. Le siège a été remplacé par un siège à ressort Kubota. Les mesures vibratoires ont été prises au siège ainsi qu'au volant pendant les activités de nivellement typiques. Il est à noter que la condition de la surface de roulement avant le nivellement était déjà supérieure à la moyenne observée.

Accéléromètres

Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège

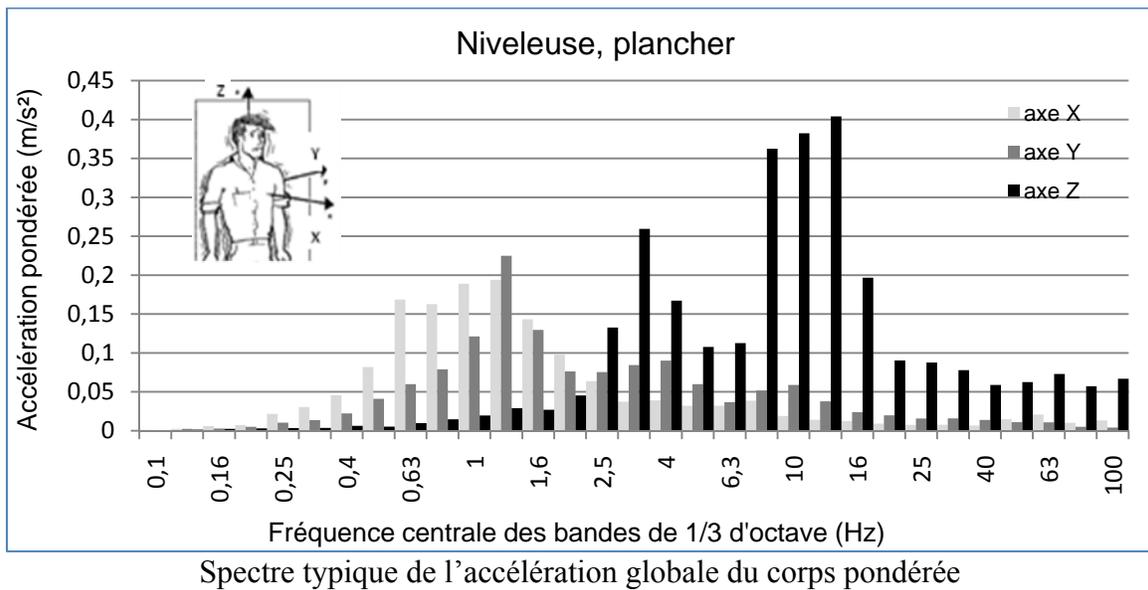
Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège

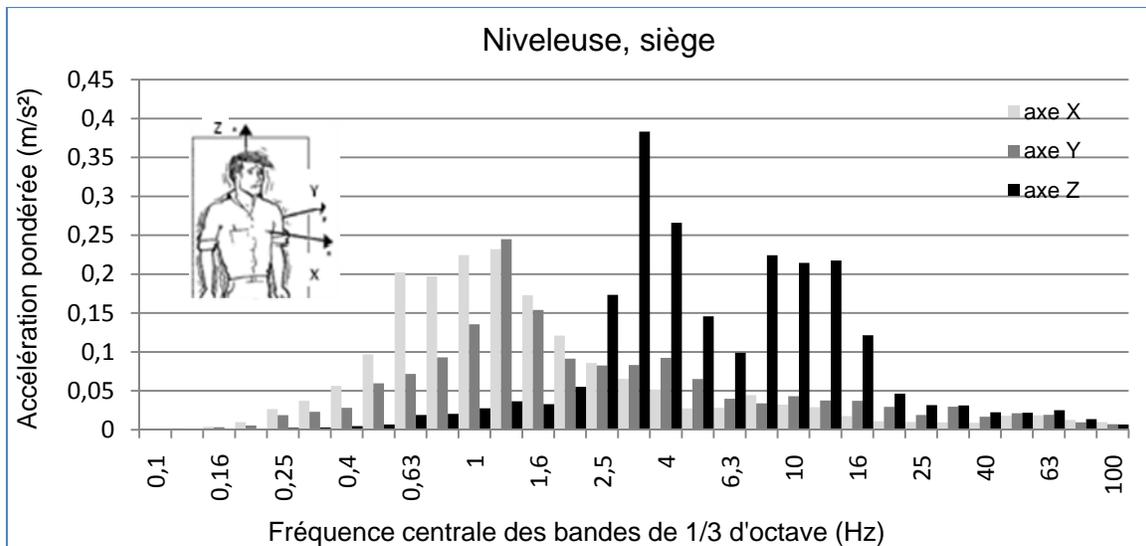
Accéléromètre B&K 4520 (500g) sur le volant

Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Plancher			Siège		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,92	19,20	1	0,71	13,59
2	0,70	15,66	2	0,61	13,27
3	0,62	13,67	3	0,60	12,60
4	0,68	14,55	4	0,62	12,20
5	0,75	18,43	Moyenne	0,63	12,91
6	0,62	13,47	Écart-type	0,05	0,63
7	0,71	15,28			
8	0,92	21,34			
Moyenne	0,74	16,45			
Écart-type	0,12	2,87			

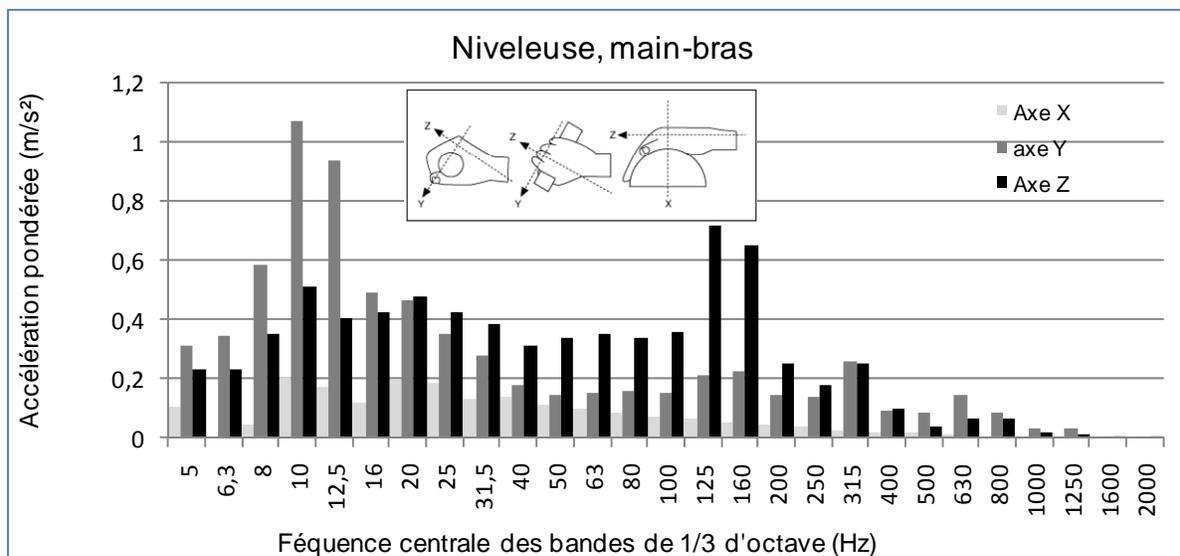




Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Vibrations main-bras (accélération globale pondérée)

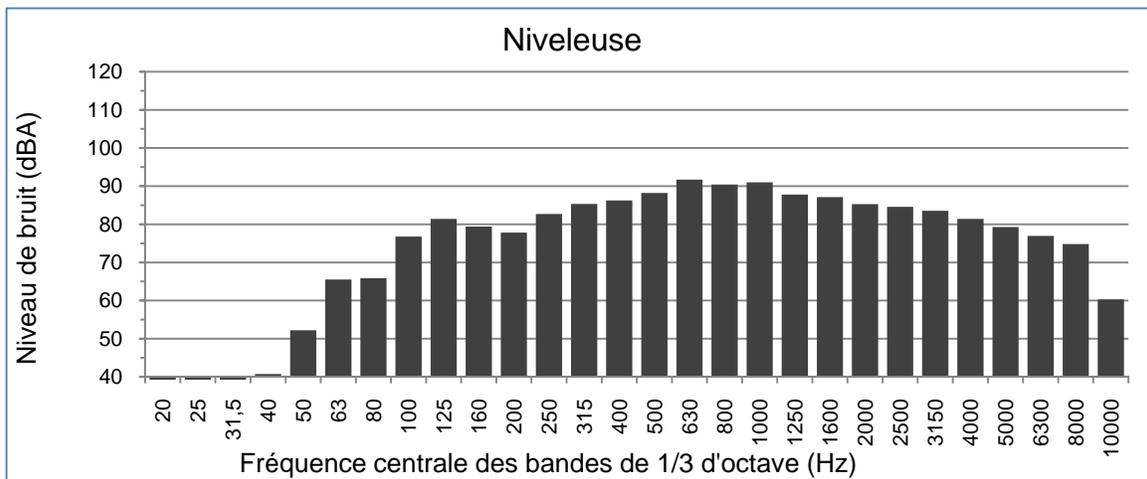
Essai	RMS
1	2,73
2	2,48
3	2,55
4	2,73
Moyenne	2,62
Écart-type	0,13



Spectre typique de l'accélération main-bras pondérée

Bruit (L_A, dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	99,1
2	99,7
3	101,2
4	101,5
5	101,4
6	100,4
7	100,4
Moyenne	100,5
Écart-type	0,91



Spectre typique du niveau de bruit (dBA)

25 - Locomotive

Date : 6 octobre 2009

Modèle : Clayton 5,5 Tonnes

Année : inconnu

Condition : assez âgée mais semble en bonne condition

Condition de la voie ferrée : pas de comparatif, seul équipement sur rails évalué.



Tâche de travail

Locomotive 5,5 tonnes, dont les roues étaient montées sur des blocs de caoutchouc. La locomotive était équipée d'un banc à penture sans suspension. L'opérateur estimait à 50% le temps qu'il passait en station assise comparativement à la station debout. Au cours de cet essai, les tâches suivantes ont été réalisées :

1. pousser un wagon de passagers vide
2. pousser trois wagons de passagers vides
3. tirer deux wagons de passagers pleins
4. tirer 6 chars de transport de minerai pleins

Accéléromètres

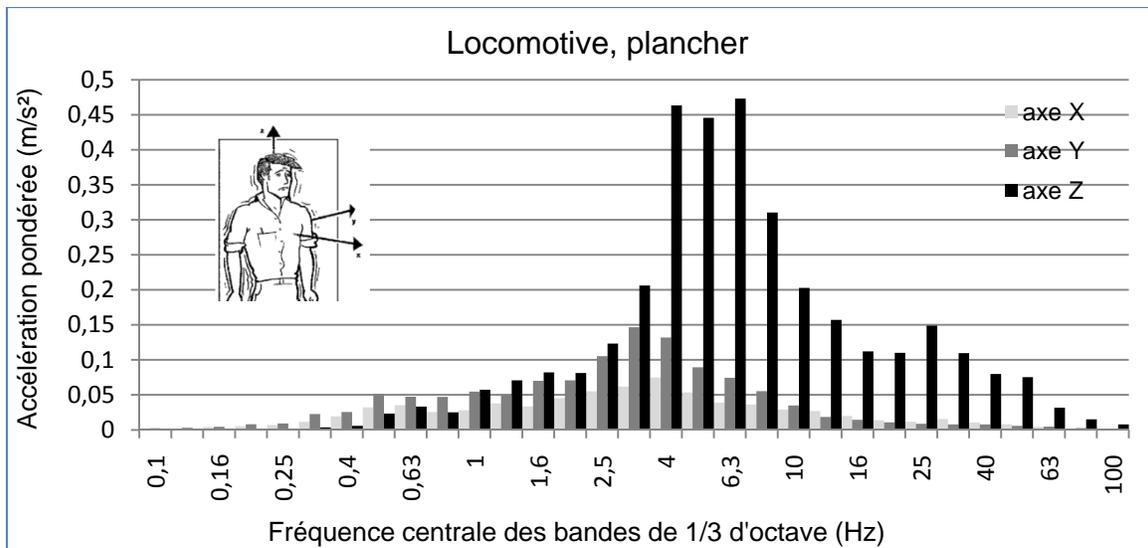
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

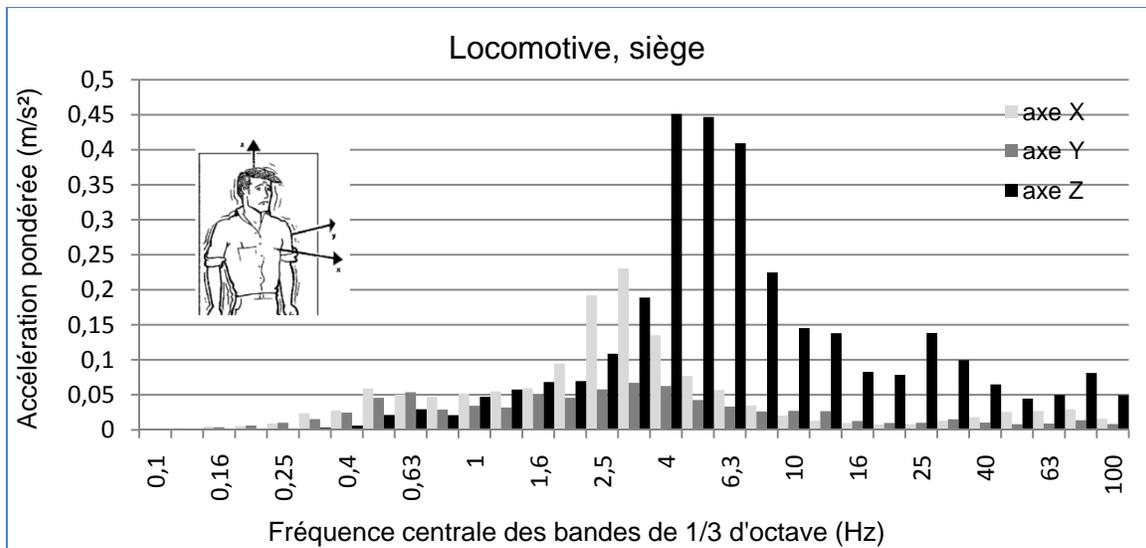
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Plancher			Siège		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,98	23,94	1	0,89	21,27
2	1,25	26,08	2	1,12	23,25
3	0,78	17,40	3	0,72	16,11
4	0,72	17,33	4	0,69	16,91
5	0,97	19,46	5	0,95	18,78
6	0,94	21,64	6	0,92	21,60
7	0,77	17,79	7	0,78	17,20
8	1,17	23,67	8	1,21	24,45
9	0,97	22,39	9	0,97	21,82
10	0,88	18,72	10	0,78	16,87
11	0,85	16,21	11	0,75	14,56
12	1,08	21,19	12	1,01	20,29
13	0,83	16,24	13	0,73	14,40
Moyenne	0,94	20,16	Moyenne	0,89	19,04
Écart-type	0,16	3,22	Écart-type	0,16	3,30



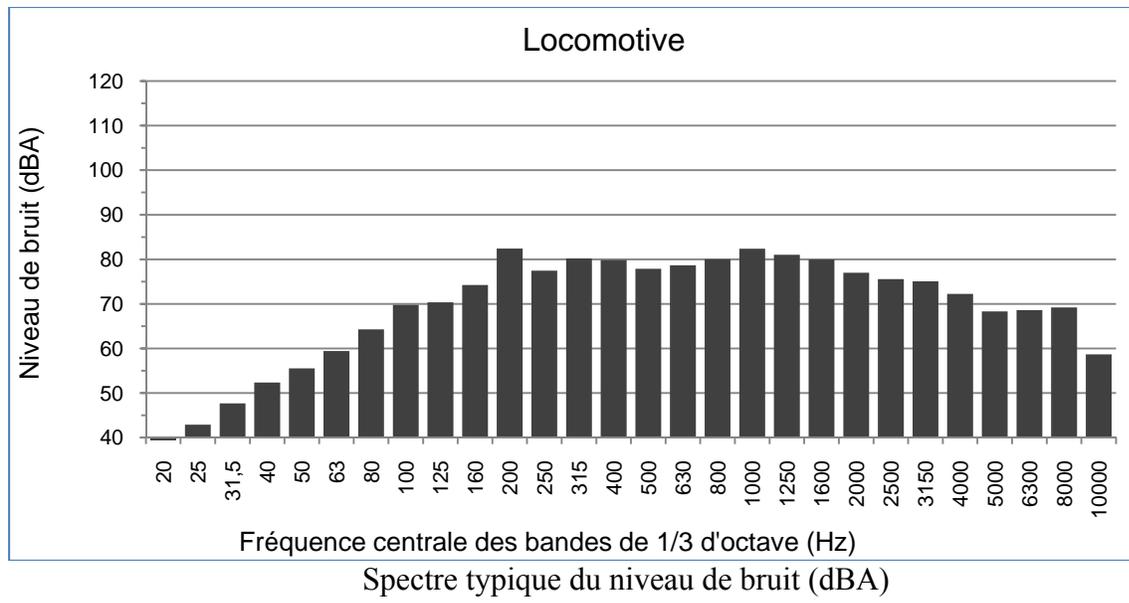
Spéctre typique de l'accélération globale du corps pondérée



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Bruit (L_A, dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)
1	89,9
2	90,4
3	91
4	92,4
5	91,1
6	94
Moyenne	91,5
Écart-type	1,50



26 - Toyota LandCruiser

Modèle : Accès industriel HZ J79 (Toyota HZJ 79 modifié)

<http://www.acces-industriel.ca/>

Condition : Environ 2 ans, 3117 heures au compteur

Date des mesures: 10 octobre 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

Ce véhicule est principalement utilisé pour le transport de personnel et par les mécaniciens et les contremaîtres. Les essais ont été effectués dans la rampe de la mine et ce, pour les places avant et dans la cabine arrière. La condition de la rampe dans la section empruntée lors des tests est légèrement supérieure à la moyenne observée dans les mines. Nous avons demandé à l'opérateur de maintenir la vitesse à la valeur fixe de 20 km/h tout au long des essais. Cette vitesse est la vitesse maximale permise dans la rampe. Les sièges avant sont les sièges capitaines originaux du véhicule (sièges de camionnette réguliers). La cabine arrière est équipée de banquettes rembourrées couvrant toute la longueur de la cabine (pas de suspension).

Accéléromètres

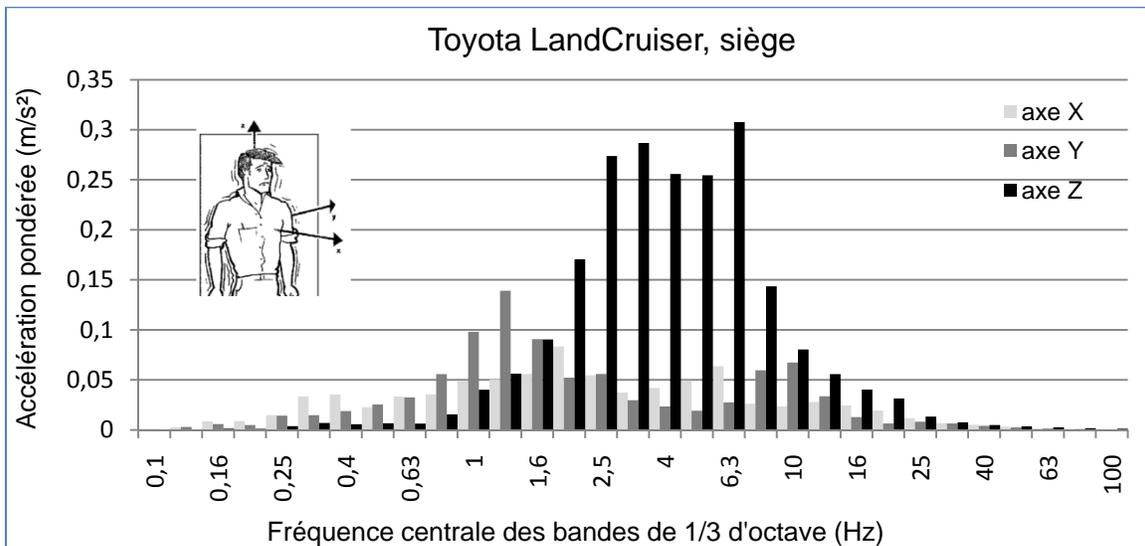
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

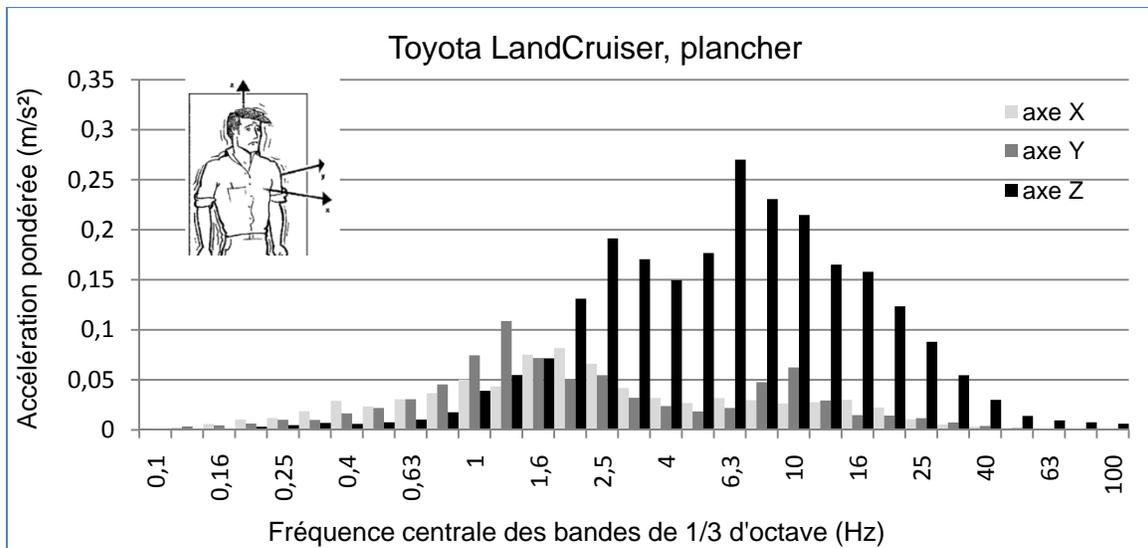
Résultats

Vibrations globales du corps, cabine avant (accélération globale pondérée)

Siège			Plancher		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,68	13,98	1	0,63	13,34
2	0,70	12,66	2	0,79	14,62
3	0,81	14,98	3	0,86	16,64
4	0,81	15,09	4	0,83	15,47
5	0,72	13,28	5	0,82	15,44
6	0,69	14,95	6	0,68	14,93
Moyenne	0,73	14,16	Moyenne	0,77	15,07
Écart-type	0,06	1,02	Écart-type	0,09	1,09



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée, cabine avant



Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée, cabine avant

27 – Chargeuse-navette 9 vg³

Modèle : Caterpillar R2900G

Condition : Presque neuve (moins de deux ans)

Date des mesures: 10 octobre 2009

Type de mine : Mécanisée



Tâche de travail

La mine visitée possède 4 chargeuses de ce modèle pour la production. Les 4 chargeuses ont été achetées en même temps et sont dans un état comparable. Les mesures suivantes ont été effectuées sur deux chargeuses effectuant une tâche similaire. Le remplissage du godet était effectué de façon manuelle. La chargeuse devait ensuite circuler dans la rampe pour atteindre le point de déversement situé sur un autre niveau. Le déversement du godet dans le haut d'un chantier était effectué de façon télécommandée. Les données vibratoires recueillies lors du déversement n'ont pas été considérées. Le temps de déplacement entre le point de chargement et le point de déversement est d'environ 7 minutes.

La rampe entre le point de soutirage et le point de déversement était en très bonne condition (meilleure que la moyenne observée). Les conditions au point de soutirage sont moins bonnes, légèrement inférieures à la moyenne observée.



**Rugosité du plancher au point de soutirage légèrement plus raboteux que la moyenne.
Minerai assez fin (pas de gros blocs).**



**État de la rampe entre le point de chargement et de déchargement de rugosité inférieure à
la moyenne. Très bonne condition.**



**État de la rampe entre le point de chargement et de déchargement de rugosité inférieure à
la moyenne. Très bonne condition.**



État de la rampe entre le point de chargement et de déchargement de rugosité inférieure à la moyenne. Très bonne condition.

Accéléromètres

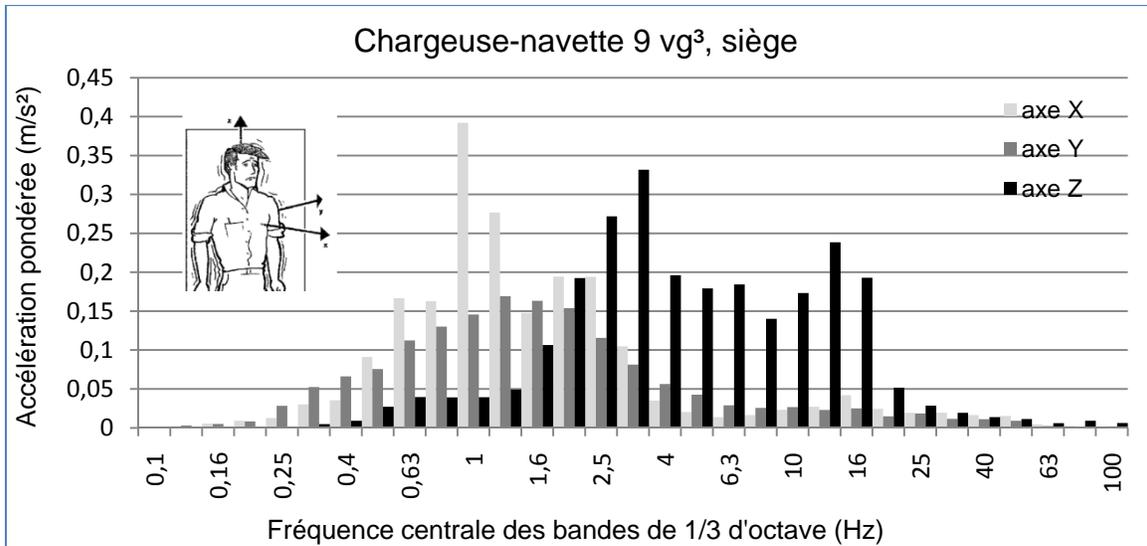
Accéléromètre de siège DYTRAN 5313A (50 g) sur le siège.

Accéléromètre PCB 356B21 (500 g) au plancher à la base du siège.

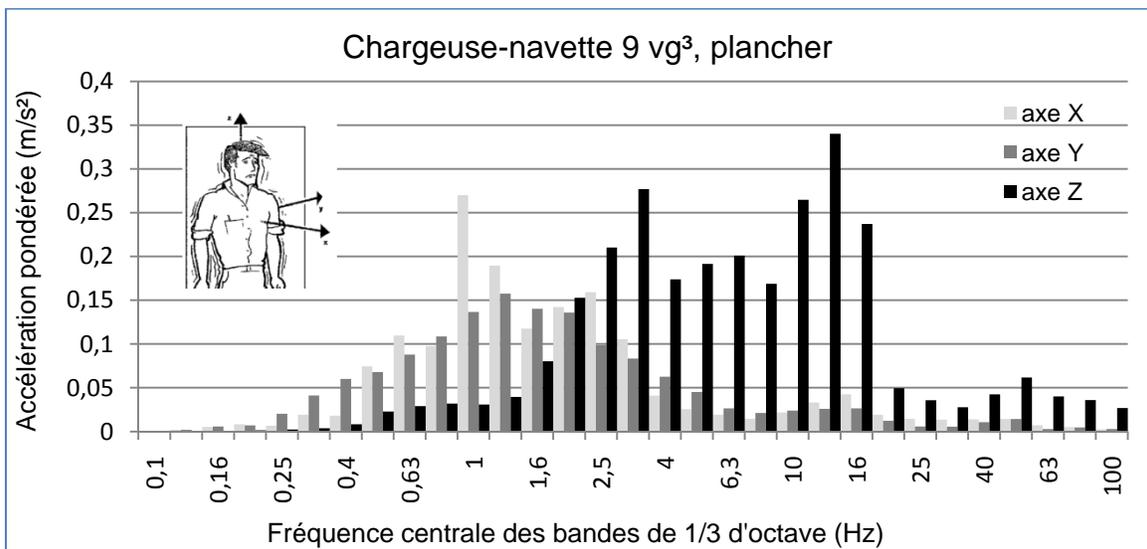
Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Cycle	Plancher		Siège	
	RMS	VDV 8	RMS	VDV 8
1	0,55	13,35	0,72	14,70
2	0,68	22,10	0,93	29,35
3	0,60	15,96	0,93	22,46
Moyenne	0,61	17,14	0,86	22,17
Écart-type	0,06	4,49	0,12	7,33



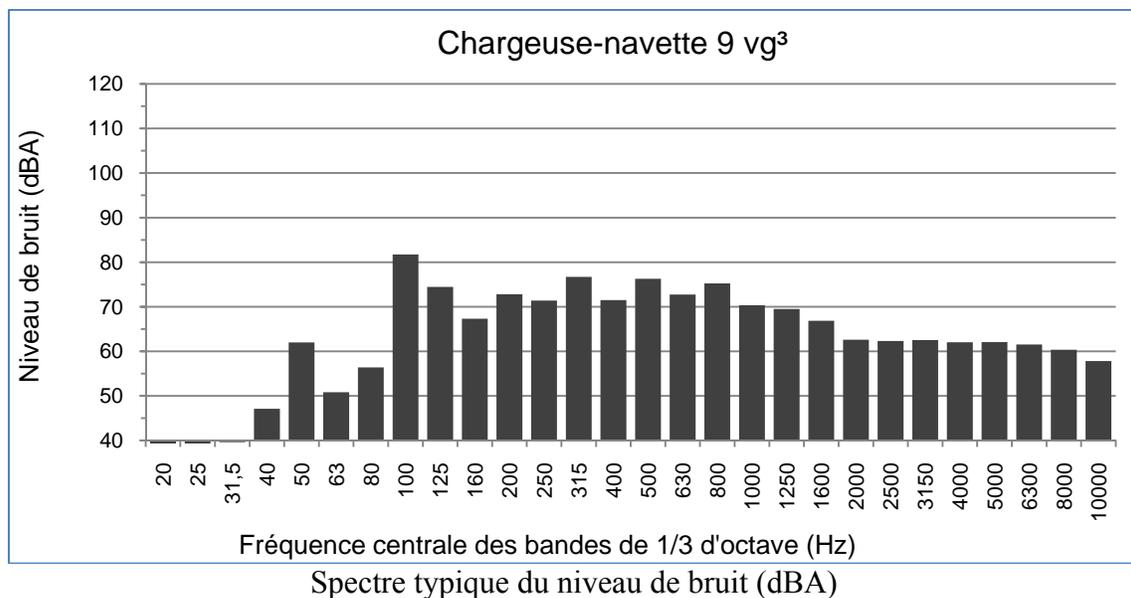
Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

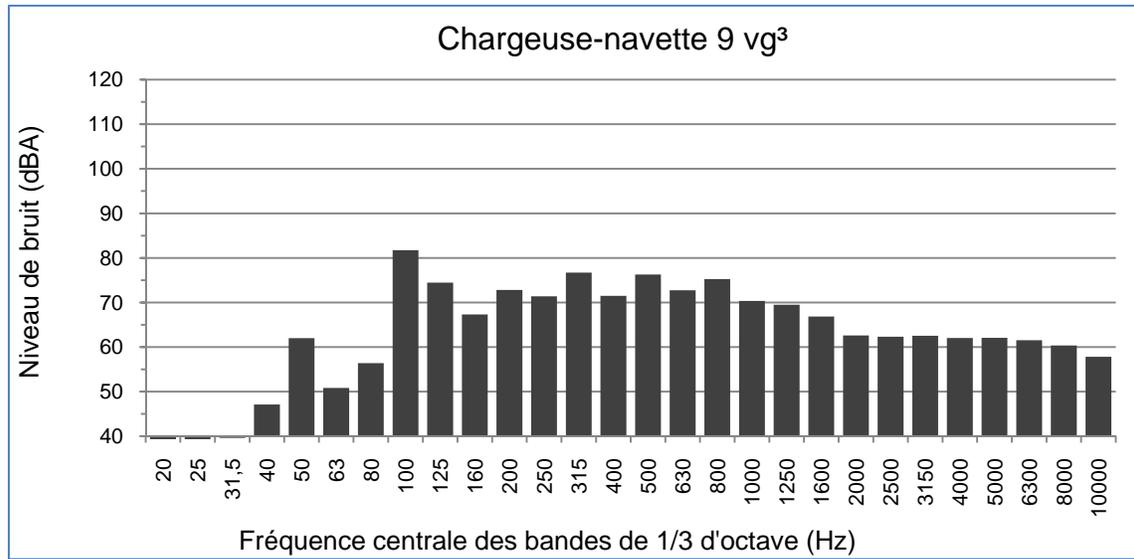


Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée

Bruit (L_A, dBA)

Essai	Niveau de bruit (dBA)	
1	82,5	
2	84,4	
3	84,7	
4	83,1	
5	89,5	
6	98,5	porte ouverte
7	98,4	porte ouverte
8	83,3	
9	85,1	
10	85,6	
11	85,5	
12	86,1	
13	86,1	
Moyenne	87,1	
Écart-type	5,31	





Spectre typique du niveau de bruit (dBA), porte ouverte

28 - Plateforme Alimak



Tâche de travail

Les données ont été prises au cours d'un quart de travail typique de développement en monerie Alimak. Des mesures vibratoires ont été effectuées pendant le déplacement de la plateforme ainsi que pendant le forage de trous à l'aide de foreuses verticales. Lors du forage des trous horizontaux nécessaires pour l'installation du soutènement, la béquille des foreuses était accotée directement sur le roc et ne transmettait, par conséquent, pas de vibrations à la structure.

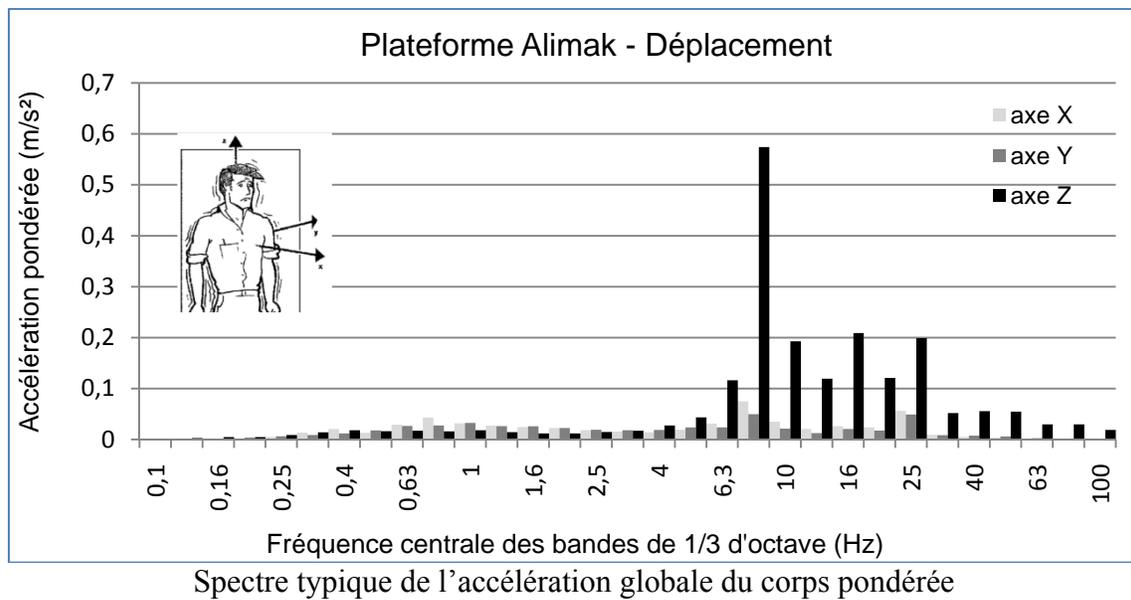
Accéléromètre

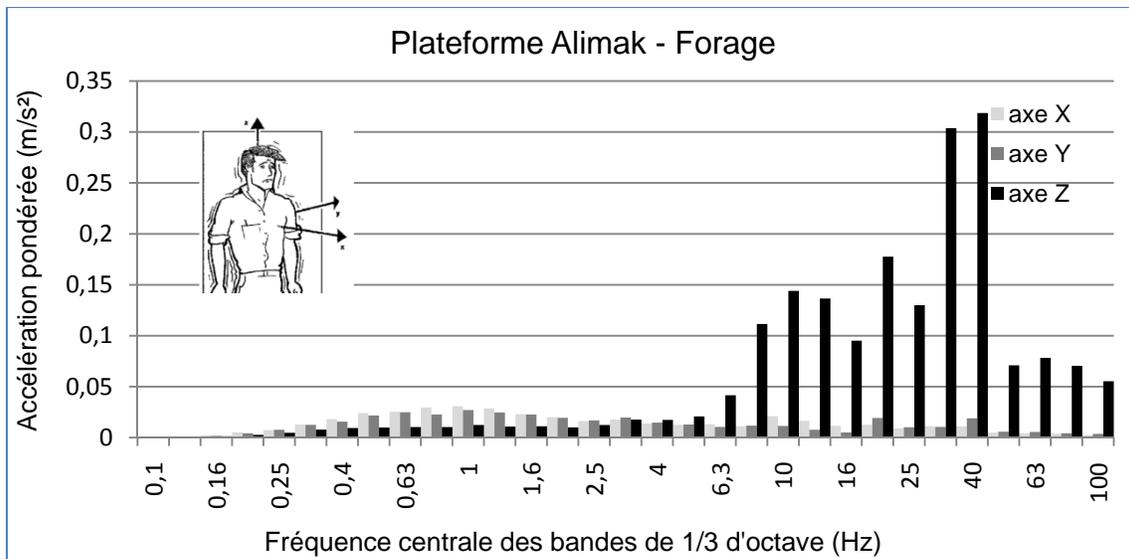
Accéléromètre B&K 4520 (500 g) fixé à la plateforme

Résultats

Vibrations globales du corps (accélération globale pondérée)

Déplacement			Forage		
Essai	RMS	VDV_8h	Essai	RMS	VDV_8h
1	0,71	12,57	1	0,92	16,31
2	0,79	12,73	2	0,78	15,73
3	0,64	10,81	3	0,41	8,59
Moyenne	0,71	12,04	4	0,39	8,52
Écart-type	0,07	1,06	5	0,51	10,29
			6	0,56	11,43
			Moyenne	0,59	11,81
			Écart-type	0,21	3,44





Spectre typique de l'accélération globale du corps pondérée