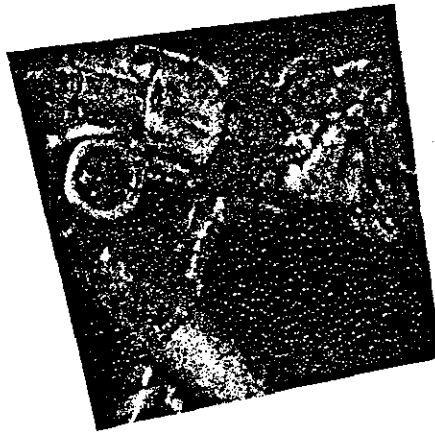


**Les vibrations engendrées
par les foreuses à béquille
à la division Opémiska
de Minnova**

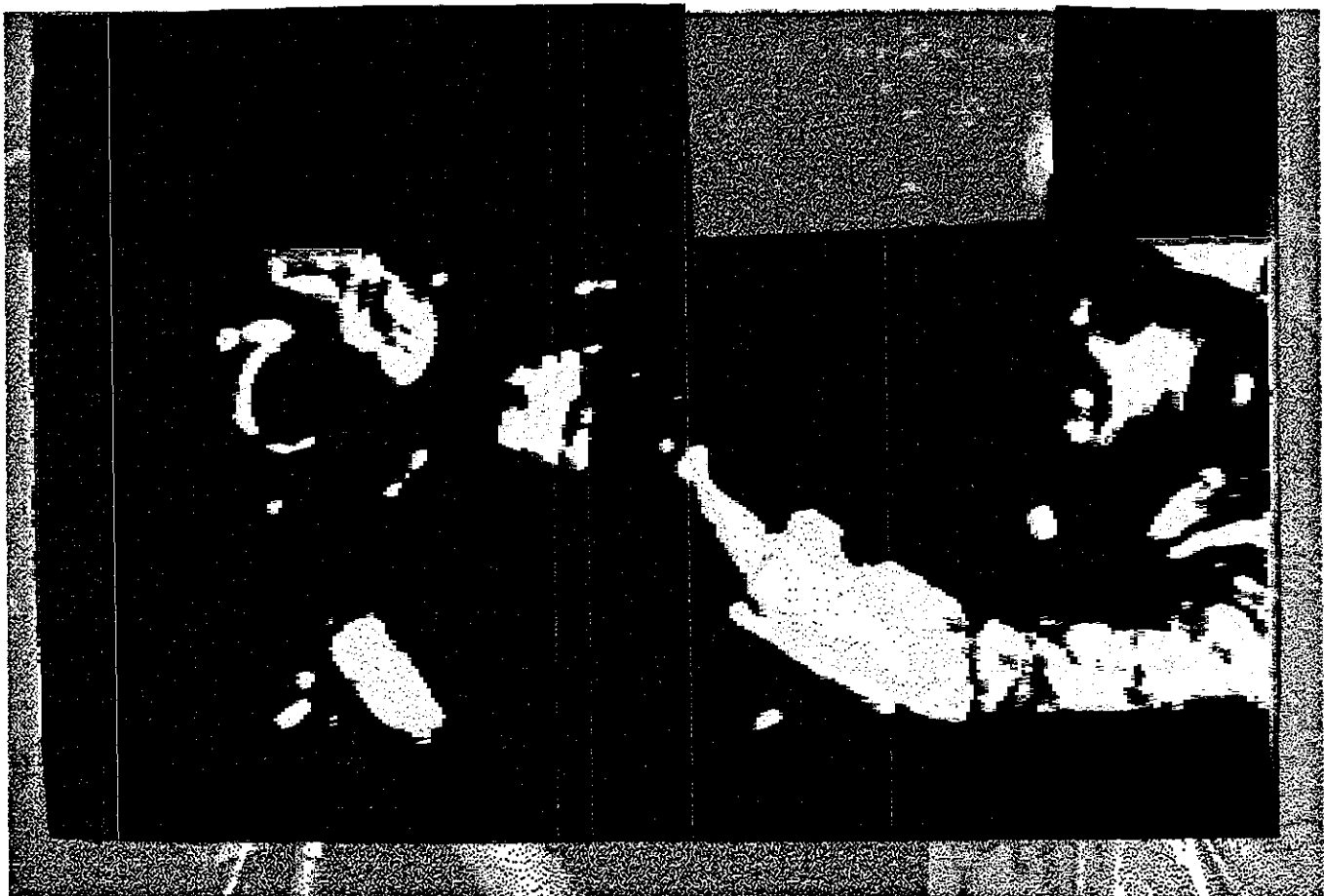
Paul-Émile Boileau



BILANS DE CONNAISSANCES

Décembre 1990 B-027

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Les vibrations engendrées
par les foreuses à béquille
à la division Opémiska
de Minnova**

Paul-Émile Boileau
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

**RELAIS DE
COMMISSAIRES**

RAPPORT

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

© Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, décembre 1990.
4^e trimestre 1990.

**LES VIBRATIONS ENGENDRÉES PAR LES FOREUSES
A BÉQUILLE À LA DIVISION OPÉMISKA
DE MINNOVA**

Préparé pour:

**Les Laboratoires de recherche minière
Énergie, Mines et Ressources Canada
555, rue Booth
Ottawa, Ontario
K1A 0G1**

et

**Le Centre de recherches minérales (CRM)
Ministère de l'Énergie et des Ressources (Québec)
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec
G1R 3W8**

par

Paul-Émile Boileau

**Institut de recherche en santé et en
sécurité du travail du Québec (IRSST)
505, boulevard De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2**

Décembre 1990

AVANT-PROPOS

Le travail présenté dans ce rapport a été effectué dans le cadre de l'entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement minéral. Le projet, initié à la demande des Ministères de l'Énergie, Mines et Ressources Canada et de l'Énergie et des Ressources Québec, a été effectué par l'IRSST sous contrat no. 677-330-000.

Les mesures de vibration rapportées dans cette étude ont été effectuées à la Mine Opémiska de Minnova à Chapais à l'hiver 1990. Aussi tenons nous à remercier la direction de la mine ainsi que les contremaîtres qui ont permis la réalisation de cette étude. De plus, nous désirons transmettre nos remerciements aux délégués scientifiques: messieurs Geoffrey Knight pour CANMET et Jean-Guy Dionne pour le CRM. Nous voulons également souligner le travail de monsieur Raymond Gaétan de CANMET, sans qui cette étude n'aurait pu être réalisée.

Enfin, nous ne saurions passer sous silence la contribution de plusieurs autres personnes : le Dr. J. Elbrond de l'École Polytechnique pour son aide relativement au traitement statistique, le personnel de l'IRSST impliqué dans cette étude, notamment Henri Scory, Jérôme Boutin et Pierre Drouin pour leur travail de prise et de traitement des données, et Micheline Laperle pour la mise en page de ce document.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
AVANT-PROPOS	i
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 OBJECTIF	2
3.0 DESCRIPTION DES FOREUSES ET DES POIGNÉES	2
3.1 Foreuses Joy et Secan	2
3.2 Manche expérimental Télédyne	4
3.3 Manche de fabrication artisanale	4
4.0 MÉTHODOLOGIE	4
4.1 Déroulement des essais	4
4.2 Mesure de l'exposition aux vibrations mains-bras	8
5.0 RÉSULTATS	11
5.1 Mesures de vibrations sur les foreuses	11
5.2 Mesures de vibrations sur les poignets	21
5.2.1 Taux de pénétration	21
5.2.2 Vibrations non-pondérées au poignet	30
6.0 INTERPRÉTATION	31
6.1 Influence de l'opérateur sur les résultats	32
6.2 Différence entre les types de foreuses	35

TABLE DES MATIÈRES

	Page
6.2.1 Comparaison des foreuses Joy et Secan	35
6.2.2 Efficacité des poignées antivibration	35
6.3 Variations liées à la hauteur des trous	38
7.0 CONCLUSIONS	41
8.0 RECOMMANDATIONS	42
BIBLIOGRAPHIE	43

1.0 INTRODUCTION

Les foreuses à béquilles sont généralement destinées au forage par percussion, en roche dure (granit), de trous permettant l'abattage ou le fractionnement de cette roche par introduction de cartouches explosives.

L'outil du marteau perforateur est le fleuret qui creuse le trou dans la roche grâce aux chocs successifs qu'il reçoit du piston frappeur et à un mouvement de rotation qui lui est communiqué par son guidage dans le marteau.

Un poussoir pneumatique (béquille) est employé pour le forage des trous sensiblement horizontaux, à des hauteurs différentes. C'est un vérin à longue course et à simple effet qui permet d'exercer sur le corps du marteau une poussée dans le but de suppléer celle exercée par l'ouvrier.

Le couple nécessaire à la rotation du fleuret parvient à exciter le corps de la machine autour de l'axe de percussion malgré la présence du poussoir. Les vibrations qui en résultent sont importantes et ne sont pas uni-directionnelles, bien que l'axe de percussion comporte les niveaux de vibrations les plus élevés dont les fréquences s'étendent généralement au-delà de 300 Hz [1, 2].

Une étude médicale effectuée auprès de 61 mineurs de cuivre de Chapais [3], confirme les effets néfastes des outils vibrants chez leurs utilisateurs: 98% ont une atteinte neurologique aux mains; 69 % une atteinte vasculaire à une des deux mains et 59% aux deux mains, sans compter les problèmes d'articulation et autres.

Les troubles observés dépendent plus ou moins étroitement d'un certain nombre de facteurs, dont la fréquence dominante des vibrations et leur amplitude, l'effort statique exercé par le sujet sur les poignées de l'outil et le temps d'exposition aux vibrations.

D'autres facteurs intercurrents incluent la stature et l'âge des sujets, les antécédents pathologiques éventuels, parfois la mauvaise posture de l'opérateur, le rythme de travail et aussi les conditions d'environnement de travail, notamment le froid et l'humidité [4].

Deux principaux types de foreuses pneumatiques sont utilisées à la Division Opémiska de Minnova, soit les modèles Secan et Joy. De l'avis de certains utilisateurs, l'un ou l'autre des modèles pourrait comporter des niveaux de vibration de plus faible intensité. L'étude proposée vise à vérifier cette hypothèse.

Enfin, un prototype d'un manche expérimental vient d'être mis au point par Télédyné Canada (sous contrat de MIROC : Mining Industry Research Organization of Canada) qui pourrait être utilisé en conjonction avec la foreuse à béquille Joy pour réduire la transmission des vibrations aux mains de l'opérateur. L'étude vise également à obtenir des données de base sur l'efficacité d'absorption des vibrations par ce manche, en plus d'un autre manche conçu par un travailleur, consistant en une poignée recouverte de matériau viscoélastique.

2.0 OBJECTIF

L'objectif de l'étude consiste à comparer les niveaux d'exposition aux vibrations résultant de l'opération de quatre types de foreuses pneumatiques (Secan, Joy, Joy munie du manche Télédyné, Joy munie d'une poignée antivibrante artisanale), dans des conditions d'opération contrôlées, avec différents opérateurs ayant des caractéristiques anthropométriques différentes.

3.0 DESCRIPTION DES FOREUSES ET DES POIGNÉES

3.1 Foreuses Joy et Secan

Ce sont deux modèles de foreuses pneumatiques de poids et de capacité similaires (Joy AL60 et Secan S250). La pression d'air est fixée à 0.69 MPa lors du fonctionnement. La poignée des foreuses est rigide et comporte, à une des extrémités, un manche amovible permettant de contrôler le volume d'air comprimé à l'entrée. Chacune des foreuses comporte une béquille rétractable servant au support et au positionnement de la foreuse. Lors des mesures, les accéléromètres sont fixés sur la partie rigide centrale de la poignée tel qu'illustré dans la figure 1.

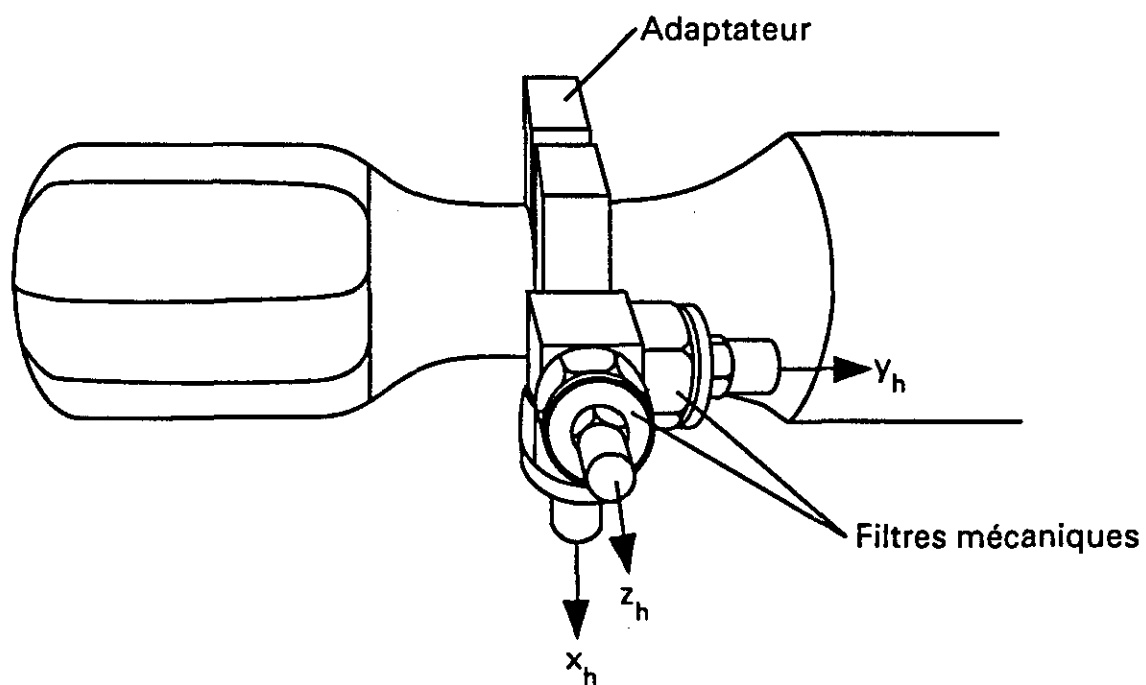


Figure 1 : Emplacement des accéléromètres sur la poignée des foreuses Joy et Secan.

3.2 Manche expérimental Télédyne

Ce manche a été développé par Télédyne Canada (sous contrat de MIROC) pour utilisation avec la foreuse Joy. La poignée servant à contrôler le débit d'air comprimé est recouverte de matériau viscoélastique. Le mode de fixation de ce manche est conçu spécifiquement pour la foreuse Joy. Ce manche, ainsi que l'orientation des accéléromètres à proximité de celui-ci, est illustré dans la figure 2.

3.3 Manche de fabrication artisanale

Ce manche, conçu par un travailleur, consiste en une poignée recouverte d'une couche de caoutchouc poreux. Il y a également isolation entre la poignée et la machine. Ce manche, illustré dans la figure 3, est fixé à la poignée de la foreuse Joy.

4.0 MÉTHODOLOGIE

4.1 Dérroulement des essais

Les essais sont effectués sur le site de l'opération minière, soit dans une galerie souterraine à Chapais à environ 200 m de profondeur. Ce site comporte un mur dont la surface permet le forage de plusieurs trous horizontaux.

Trois contremaîtres de la mine procèdent successivement au forage de quatre trous horizontaux à des hauteurs différentes, chaque fois avec 4 types de foreuses: Joy, Secan, Joy munie du manche Télédyne et Joy munie du manche artisanal. Les caractéristiques anthropométriques des opérateurs apparaissent dans le tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques anthropométriques des opérateurs

Opérateur	Poids (kg)	Taille (m)
A	63.6	1.55
B	94.5	1.83
C	115.9	1.82

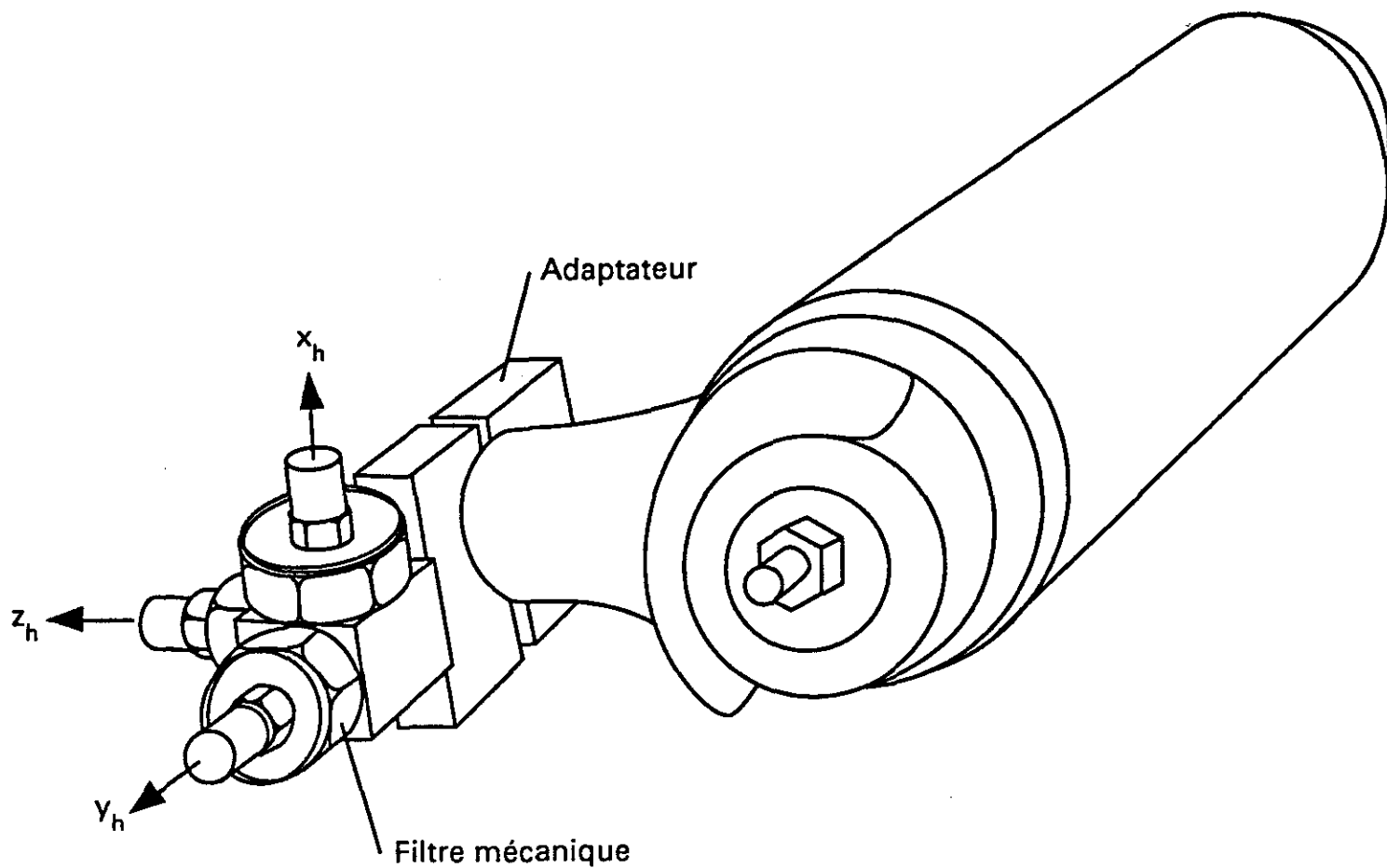


Figure 2 : Manche Télédyne et emplacement des accéléromètres sur la foreuse Joy.

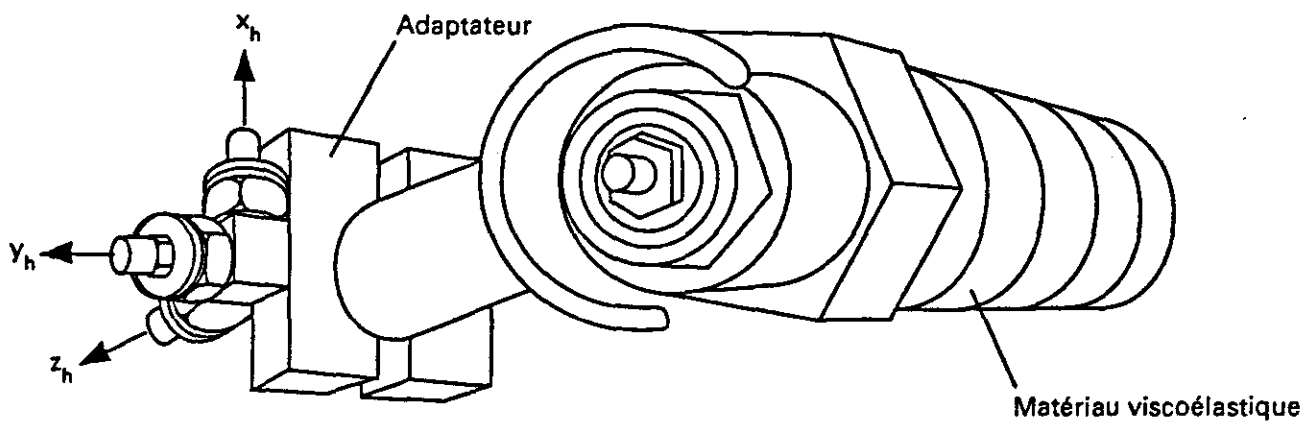


Figure 3 : Manche de fabrication artisanale et emplacement des accéléromètres sur la foreuse Joy.

Pour chacune des foreuses, les trous sont effectués à des hauteurs successives de 0.61, 1.22, 1.83 et 2.44 m. Au total, 20 trous sont forés pour chacun des opérateurs puisqu'une série de quatre trous est répétée avec une des quatre foreuses.

Chaque essai consiste en un trou dont le diamètre est de 31.75 mm à une profondeur d'environ 1.2 m. Le taux de pénétration est obtenu en mesurant le temps de traverse de marques espacées de 20 cm sur le fleuret.

La pression d'air comprimé est fixée à 0.69 MPa sur le manomètre d'entrée à la galerie et ce, pour l'ensemble des essais.

Pour faciliter le forage, la base de la béquille est appuyée contre la barre d'une échelle fixée au sol. Une "patte d'extension" (0.75 m) est mise à la disposition des mineurs pour faciliter le forage des trous supérieurs, particulièrement lorsque l'opérateur est de faible taille.

4.2 Mesure de l'exposition aux vibrations mains-bras

Les mesures de l'exposition aux vibrations mains-bras sont effectuées conformément à la norme internationale ISO 5349 (version 1986) [5] présentement en vigueur. Une méthode expérimentale est également mise à l'essai pour mesurer les vibrations au niveau du poignet. Des accéléromètres miniatures de type B & K 4393 sont utilisés pour mesurer les vibrations (accélérations en ms^{-2}) sur la poignée principale servant à orienter la foreuse et sur le poignet des opérateurs. Dans le cas des foreuses munies d'un manche antivibration, les accéléromètres sont fixés sur une partie rigide de la foreuse, près de ces manches. Des filtres mécaniques sont utilisés en conjonction avec les accéléromètres fixés à la poignée, principalement celui orienté selon l'axe de percussion. Les accéléromètres sont fixés sur la poignée des foreuses au moyen d'adaptateurs spécialement conçus pour orienter les capteurs selon le système bascentrique défini dans la norme ISO 5349 (ie: axe z_1 parallèle à l'axe de percussion, y_1 parallèle à l'axe de la poignée, x_1 perpendiculaire à l'axe de percussion). Trois accéléromètres additionnels sont fixés au poignet au moyen d'un bracelet qui permet un contact direct des capteurs avec l'os du

poignet. Ces capteurs sont orientés pour mesurer les vibrations selon l'axe du troisième métacarpien (axe de l'avant-bras) et selon deux directions perpendiculaires à l'axe du poignet.

À partir des accéléromètres reliés à des amplificateurs de charge, les signaux vibratoires sont enregistrés directement sur ruban magnétique en signaux analogiques, représentant l'évolution de l'accélération en fonction du temps. Le système de mesure, représenté figure 4, permet d'enregistrer simultanément un total de six canaux, trois pour mesurer les vibrations de la poignée et trois pour mesurer les vibrations du poignet.

L'analyse consiste ensuite à générer le spectre en fréquences des vibrations en bandes de fréquences de tiers d'octave entre 6.3 Hz et 10 kHz pour chacun des axes de mesure. L'application de la norme ISO 5349 requiert seulement que les vibrations soient mesurées entre 6.3 et 1 250 Hz. Compte tenu des niveaux importants de vibrations générés à plus hautes fréquences, il est apparu opportun de les mesurer. Les spectres sont obtenus en utilisant le signal temporel évoluant sur une durée d'une minute.

Pour les vibrations enregistrées sur la poignée, les valeurs suivantes sont obtenues à partir du spectre en fréquence mesuré:

- i) a_h entre 6.3 Hz et 1.25 kHz: niveau global d'accélération enregistré entre 6.3 Hz et 1.25 kHz;
- ii) a_h entre 6.3 Hz et 10 kHz: niveau global d'accélération enregistré entre 6.3 Hz et 10 kHz;
- iii) fréquence dominante du spectre non pondéré entre 6.3 Hz et 10 kHz;
- iv) $a_{h,w}$ entre 6.3 Hz et 1.25 kHz: niveau global pondéré d'accélération enregistré entre 6.3 Hz et 1.25 kHz (selon la norme ISO 5349);
- v) $a_{h,w}(4h)$: niveau global pondéré d'accélération équivalant à 4 heures d'exposition quotidienne (selon la norme ISO 5349);

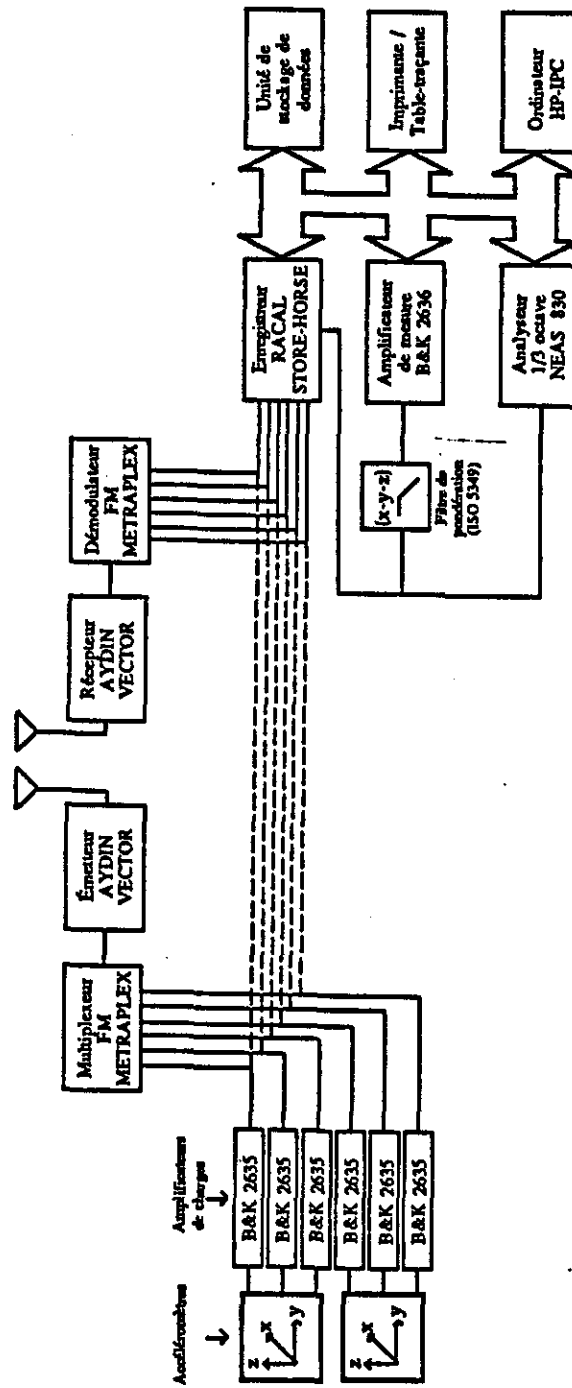


Figure 4 : Chaîne d'instrumentation pour mesurer l'exposition aux vibrations mains-bras (le système de télémesure n'est pas employé dans cette étude).

- vi) facteur de crête: rapport de l'accélération pondérée crête à l'accélération pondérée efficace;
- vii) fréquence dominante du spectre pondéré entre 6.3 et 1 250 Hz;
- viii) nombre d'années d'exposition requises pour que 10 % de la population soit atteinte par le blanchissement des doigts;
- ix) nombre d'années d'exposition requises pour que 50 % de la population soit atteinte par le blanchissement des doigts.

Pour les vibrations enregistrées au poignet, seuls les paramètres suivants sont d'intérêt:

- i) a_g entre 6.3 Hz et 1.25 kHz: niveau global d'accélération enregistré entre 6.3 Hz et 1.25 kHz;
- ii) a_g entre 6.3 Hz et 10 kHz: niveau global d'accélération enregistré entre 6.3 Hz et 10 kHz;
- iii) fréquence dominante du spectre non pondéré entre 6.3 Hz et 10 kHz.

5.0 RÉSULTATS

5.1 Mesures de vibration sur les foreuses

Les spectres en fréquence et autres données brutes sont présentés dans l'annexe technique [6] pour chacun des axes mesurés sur la poignée ou le corps de la foreuse et sur le poignet. L'identification de chacun des trous est effectuée à partir de la notation suivante: $x_{1,ij}$ où x représente l'opérateur (A, B ou C); 1 représente la première série d'essai (toujours 1 puisqu'une seule série d'essai a été effectuée par chaque opérateur), i sert à identifier la foreuse (1 pour Joy, 2 pour Secan, 3 pour Joy avec manche Télédyne,

5 pour Joy avec manche artisanal et 4 pour la répétition d'une des quatre foreuses, dépendant de l'opérateur), j identifie la hauteur du trou (1 pour le trou à 0.61m, 2 pour le trou à 1.22m, 3 pour le trou à 1.83m et 4 pour le trou à 2.44m).

Pour les vibrations enregistrées sur les foreuses, l'axe z_b correspond à l'axe de percussion, y_b est parallèle à l'axe de la poignée et x_b est perpendiculaire à l'axe de la poignée.

Les figures 5a, b et c présentent des spectres typiques des vibrations enregistrées sur la poignée d'une foreuse pour chacun des axes de mesure. Le niveau d'accélération globale pondérée enregistré selon chacun des axes entre 6.3 et 1 250 Hz, la fréquence dominante du spectre pondéré ainsi que le facteur de crête selon l'axe de percussion apparaissent dans les tableaux 2 a, b et c, pour chacune des mesures effectuées au niveau des foreuses par chaque opérateur. Les observations suivantes peuvent être faites à partir de ces données:

- i) L'axe dominant des vibrations correspond généralement à l'axe de percussion (z_b) des foreuses.
- ii) Les niveaux de vibration dans les directions transversales (x_b et y_b) ne sont pas négligeables puisque dans la majorité des cas, leur intensité atteint au moins la moitié de l'intensité selon l'axe de percussion. Leur contribution à la somme vectorielle des vibrations est donc importante.
- iii) La fréquence dominante dans le spectre pondéré des vibrations entre 6.3 et 1250 Hz apparaît dans la bande de tiers d'octave centrée sur 40 Hz pour la foreuse Joy. Quant à la foreuse Secan, la fréquence dominante semble être légèrement inférieure, se situant dans la bande de fréquence de tiers d'octave centrée sur 31.5 Hz. La foreuse Secan aurait donc tendance à avoir une fréquence de frappe légèrement inférieure à la foreuse Joy.
- iv) Le facteur de crête, lui-même évalué sur une période d'une minute, est dans la plupart des cas inférieur à 6 selon l'axe de percussion. Bien que ceci suggérerait un caractère peu ou pas impulsif, la nature même du processus lié à la percussion

suggérerait un caractère impulsionnel beaucoup plus élevé. Le facteur de crête représente ainsi peut être, un pauvre indicateur du caractère impulsionnel de ces vibrations.

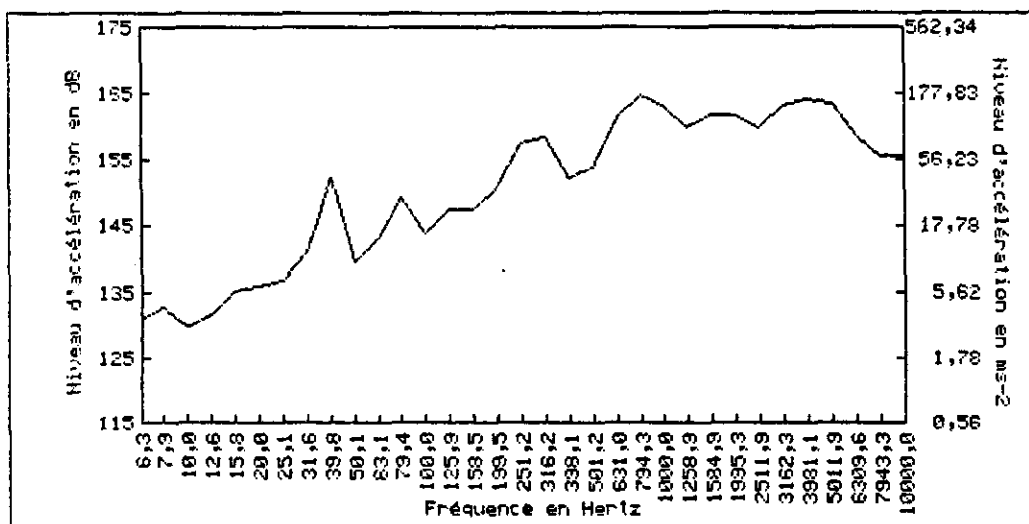
- v) En théorie, les niveaux de vibration mesurés sur les foreuses Joy, Joy avec manche Télédyne et Joy avec manche artisanal devraient être similaires pour un mode opératoire identique.

Le fait qu'ils diffèrent suggère que le mode opératoire pourrait varier au cours des essais pour un même opérateur et que le point d'attache des accéléromètres sur les foreuses pourrait avoir une influence déterminante sur les niveaux mesurés (ie. accéléromètres montés sur la poignée de la foreuse Joy comparativement à un endroit près de la poignée pour les foreuses munies de manche antivibration). La variation du mode opératoire peut très bien s'expliquer par la variation du taux de pénétration tel que rapporté à la section 4.2.1.

- vi) Plusieurs données n'ont pu être obtenues au niveau des foreuses pour des raisons d'ordre technique: accéléromètres et/ou adaptateurs se dévissant au cours des essais, "décalage du zéro" rendu évident par des niveaux élevés de vibration aux basses fréquences. Ces données sont indiquées par un astérisque dans les tableaux 2a, b et c, mais leur validité demeure douteuse.
- vii) La comparaison des foreuses Joy et Secan est difficile à effectuer en utilisant les données recueillies sur les foreuses et ce, pour les raisons évoquées aux points v et vi. De plus, ces données ne permettent pas d'évaluer l'efficacité des poignées antivibration puisque les mesures sont effectuées sur la foreuse elle-même. C'est pourquoi, il est proposé de ne retenir que les données enregistrées au niveau du poignet pour effectuer ce genre de comparaison.

En plus des données apparaissant dans les tableaux 2a, b et c, les spectres en fréquence des figures 5a, b et c indiquent des niveaux de vibration non négligeables à des fréquences excédant 1.25 kHz. Dépendant de l'axe mesuré, le niveau global d'accélération non pondéré entre 6.3 Hz et 10 kHz peut être deux fois supérieur au niveau global non pondéré entre 6.3 Hz et 1.25 kHz, indiquant l'importance des vibrations de hautes fréquences. On note vraisemblablement une augmentation des niveaux vibratoires avec la fréquence ainsi qu'une tendance à produire une crête entre 4 et 10 kHz, dépendant de l'orientation des capteurs.

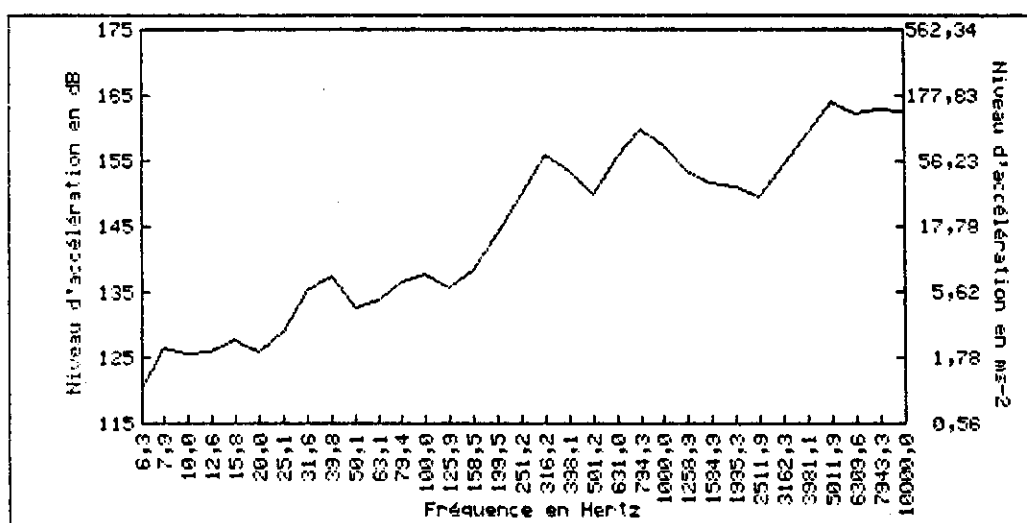
Objet: FOREUSE
 Type: JOY
 Nom de la filière et date: C1-13 90-02-28
 Durée de la mesure: 50 s
 Durée d'exposition quotidienne: 90 min
 Canal, axe, position et numéro du ruban ..: 1 Z POIGNEE CHAPAIS 1



ah entre 6,3 Hz et 1,25 KHz: 169,8 dB ou 310,65 ms⁻²
 ah entre 6,3 et 10 KHz: 173,4 dB ou 468,06 ms⁻²
 Fréquence de la bande du niveau maximum entre 6,3 Hz et 10 KHz ..: 794,3 Hz
 ah,w entre 6,3 et 1,25 KHz: 147,8 dB ou 24,52 ms⁻²
 ah,w (4h) entre 6,3 et 1,25 KHz: 143,5 dB ou 15,02 ms⁻²
 Facteur de crête: 18,3 dB ou 8,2
 Fréquence de la bande du niveau max. pondéré entre 6,3 Hz et 1,25 KHz : 39,8 Hz
 Durée d'exposition (Tf-10% de la population) ...: 2,0 année(s)
 Durée d'exposition (Tf-50% de la population) ...: 4,5 année(s)

Figure 5a : Spectre en fréquence des vibrations enregistrées sur la poignée de la foreuse Joy selon l'axe de percussion (z_p).

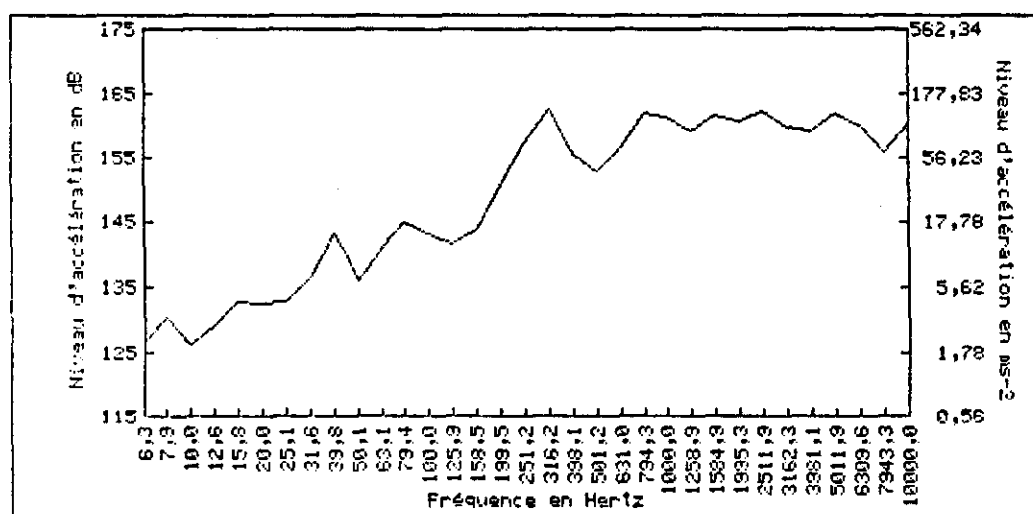
Objet : FOREUSE
 Type : JOY
 Nom de la filière et date : C1-13 90-02-28
 Durée de la mesure : 50 s
 Durée d'exposition quotidienne : 90 min
 Canal, axe, position et numéro du ruban ... : Z Y POIGNEE CHAPAIS 1



ah entre 6,3 Hz et 1,25 KHz : 164,8 dB ou 173,99 ms⁻²
 ah entre 6,3 et 10 KHz : 171,0 dB ou 354,42 ms⁻²
 Fréquence de la bande du niveau maximum entre 6,3 Hz et 10 KHz ... : 5011,9 Hz
 ah,w entre 6,3 et 1,25 KHz : 139,0 dB ou 8,87 ms⁻²
 ah,w (4h) entre 6,3 et 1,25 KHz : 134,7 dB ou 5,43 ms⁻²
 Facteur de crête : 17,1 dB ou 7,2
 Fréquence de la bande du niveau max. pondéré entre 6,3 Hz et 1,25 KHz : 316,2 Hz
 Durée d'exposition (Tf-10% de la population) ... : 5,5 année(s)
 Durée d'exposition (Tf-50% de la population) ... : 12,4 année(s)

Figure 5b : Spectre en fréquence des vibrations enregistrées sur la poignée de la foreuse Joy en direction parallèle à l'axe de la poignée (y_v).

Objet : FOREUSE
 Type : JOY
 Nom de la filière et date : C1-13 90-02-28
 Durée de la mesure : 50 s
 Durée d'exposition quotidienne : 90 min
 Canal, axe, position et numéro du ruban .. : 3 X POIGNEE CHAPAIS 1



ah entre 6,3 Hz et 1,25 KHz : 168,7 dB ou 272,88 ms⁻²
 ah entre 6,3 et 10 KHz : 172,5 dB ou 422,70 ms⁻²
 Fréquence de la bande du niveau maximum entre 6,3 Hz et 10 KHz ... : 316,2 Hz
 ah,w entre 6,3 et 1,25 KHz : 143,9 dB ou 15,68 ms⁻²
 ah,w (4h) entre 6,3 et 1,25 KHz : 139,6 dB ou 9,60 ms⁻²
 Facteur de crête : 17,5 dB ou 7,5
 Fréquence de la bande du niveau max. pondéré entre 6,3 Hz et 1,25 KHz : 316,2 Hz
 Durée d'exposition (Tf-10% de la population) ... : 3,1 année(s)
 Durée d'exposition (Tf-50% de la population) ... : 7,0 année(s)

Figure 5c : Spectre en fréquence des vibrations enregistrées sur la poignée de la foreuse Joy en direction perpendiculaire à la paume de la main (x_h)

Tableau 2a: Caractéristiques des vibrations enregistrées sur la poignée des foreuses opérées par l'opérateur A

Foreuse	Trou foré	Niveau pondéré (6.3 -1250 Hz)			Fréquence dominante Z_0 (Hz)	Facteur de crête Z_1	Vecteur somme (ms^{-2})
		Z_2	Y_1	X_1			
Joy	A1,41	*	*	*	*	-	-
	A1,42	**	8.3	13.0	40	3.9	27.0
	A1,43	**	9.0	15.4	40	4.4	26.6
	A1,44	**	10.5	16.0	40	6.8	29.2
Secan	A1,21	*	11.7	13.1	--	--	--
	A1,22	*	4.3	11.8	--	--	--
	A1,23		13.9	16.5	31.5	7.1	31.8
	A1,24		28.0	17.6	31.5	5.7	--
Joy avec manche Télédyne	A1,31	20.5	11.0	14.1	40	5.2	27.2
	A1,32	21.2	10.8	11.4	40	4.5	26.4
	A1,33	17.5	8.7	12.7	40	4.9	23.3
	A1,34	16.0	10.8	9.7	40	4.1	21.6
Joy avec manche artisanal	A1,51	26.5	9.5	11.9	40	3.9	30.6
	A1,52	21.5	9.7	9.1	40	4.3	25.3
	A1,53	15.6	8.1	10.2	40	4.6	20.3
	A1,54	20.0	10.2	8.6	40	10.5	24.0

** Erreur de gamme corrigée en diminuant de 10 dB

* Problème de mesure soupçonné

Tableau 2b: Caractéristiques des vibrations enregistrées sur la poignée des foreuses opérées par l'opérateur B

Foreuse	Trou foré	Niveau pondéré (6.3 -1250 Hz)			Fréquence dominante z_1 (Hz)	Facteur de crête z_1	Vecteur somme (ms^{-2})
		z_1	y_1	x_1			
Joy	B1,11	22.3	10.4	5.3	40	5.5	25.2
	B1,12	27.8	9.8	5.2	40	8.8	29.9
	B1,13	28.4	19.6*	11.7	40	7.0	---
	B1,14	24.7	11.0	6.5	40	7.6	27.8
Secan	B1,21	28.8	18.9*	32.4*	40	10.9	---
	B1,22	21.7	17.3*	40.8*	40	4.8	---
	B1,23	30.2	13.2	32.1*	31.5	5.2	---
	B1,24	22.3	12.2	32.0*	31.5	5.9	---
Joy avec manche Télédyne	B1,31	20.6	11.1	17.2	40	3.8	29.0
	B1,32	17.9	9.9	14.4	40	5.6	25.0
	B1,33	17.0	10.0	17.5	40	5.4	26.4
	B1,34	20.0	9.5	14.6	40	4.8	26.5
Joy avec manche artisanal	B1,51	28.2	10.0	12.0*	40	4.6	32.2
	B1,52	19.8	10.1	10.3	40	5.2	24.5
	B1,53	16.4	9.6	10.1	40	4.6	21.5
	B1,54	21.5	9.9	10.8	40	6.0	26.0

* Problème de mesure soupçonné

Tableau 2c: Caractéristiques des vibrations enregistrées sur la poignée des foreuses opérées par l'opérateur C

Foreuse	Trou foré	Niveau pondéré (6.3 -1250 Hz) (ms^{-2})			Fréquence dominante Z_h (Hz)	Facteur de crête z_h	Vecteur somme (ms^{-2})
		z_h	y_h	x_h			
Joy	C1,11	30.1	8.3	16.2	40	5.0	35.2
	C1,12	30.2	9.6	16.7	40	4.5	35.8
	C1,13	24.5	8.9	15.7	40	8.2	30.4
	C1,14	25.8	9.3	16.8	40	5.8	32.2
Secan	C1,21	27.7	14.2	17.0*	31.5	5.8	---
	C1,22	22.9	9.3	10.3	40	---	26.8
	C1,23	20.3	10.6	13.1*	40	5.9	---
	C1,24	*	*	*	---	---	---
Joy avec manche Télédyne	C1,31	25.1	---	18.1	40	4.3	---
	C1,32	22.2	7.8	20.1	40	3.9	30.9
	C1,33	17.8	7.5	15.6	40	4.6	24.8
	C1,34	15.5	7.7	13.4	40	4.4	21.9
Joy avec manche artisanal	C1,51	24.1	12.6	15.6	40	4.3	31.4
	C1,52	19.4	12.2	14.9	40	4.8	27.3
	C1,53	17.5	11.5	12.9	40	6.2	24.6
	C1,54	14.7	10.8	11.4	40	4.4	21.5

5.2 Mesures de vibration sur les poignets

Les spectres en fréquence des vibrations enregistrées au niveau du poignet des opérateurs apparaissent dans l'annexe technique [6]. Cependant, les figures 6a, b et c illustrent des spectres typiques. Ces spectres indiquent, pour chacun des axes, une concentration d'énergie vibratoire transmise au poignet autour de la bande de fréquences centrée sur 40 Hz. Très peu d'énergie vibratoire en deçà de 1250 Hz est présente, ce qui explique que le niveau global non pondéré entre 6.3 et 1250 Hz soit presque identique au niveau global non pondéré entre 6.3 Hz et 10kHz.

La technique de mesure de vibration au niveau du poignet en est une pour laquelle très peu de données existent actuellement. C'est une technique développée en Finlande [7] dont le but est d'estimer les vibrations transmises au poignet de l'opérateur d'outil vibrant. Dans la présente étude, cette mesure est effectuée en utilisant un bracelet ayant une partie métallique épousant parfaitement un côté du poignet. Cette partie rigide comporte trois accéléromètres miniatures B & K 4393 orientés selon les trois axes x, y et z. La partie métallique est maintenue fermement en contact avec l'os du poignet par l'intermédiaire d'un bracelet extensible. La figure 7 illustre ce bracelet ainsi que l'orientation des capteurs, basée sur le système de coordonnées biodynamiques. Ce système n'est pas fixe dans l'espace, son orientation variant selon la position de l'avant-bras. Ainsi l'axe z est orienté selon l'axe de l'avant-bras, l'axe x est perpendiculaire à la surface formée par la paume de la main et l'axe y est orienté latéralement.

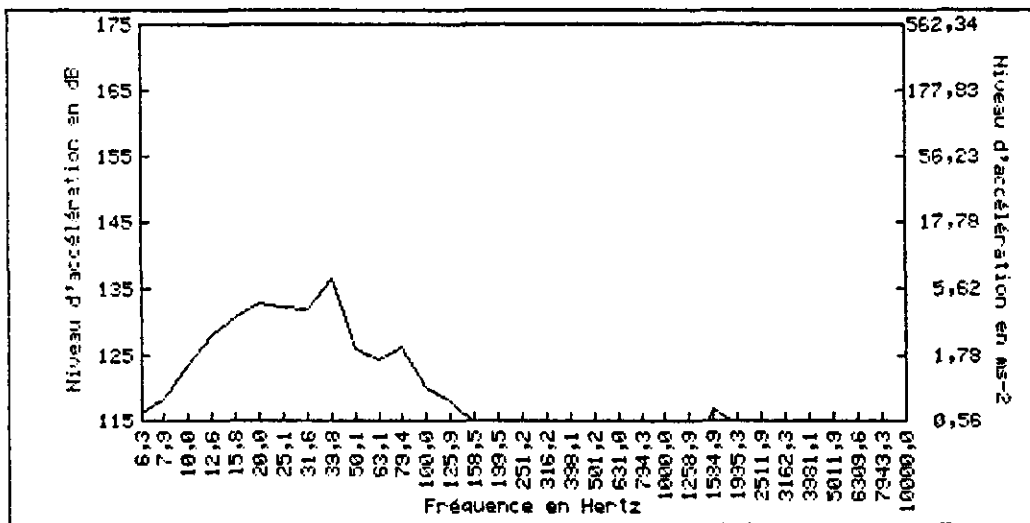
Un sommaire des niveaux de vibration non pondérés, du vecteur somme et du taux de pénétration mesurés pour chacune des foreuses et chacun des trous forés est présenté dans les tableaux 3a, b et c, se rapportant respectivement aux opérateurs A, B et C.

5.2.1 Taux de pénétration

Même si les trous étaient forés à proximité les uns des autres, le taux de pénétration pouvait varier de façon importante pour le même opérateur, le même type de foreuse et à hauteur équivalente. Ceci est particulièrement évident pour la foreuse Joy (Joy, Joy

avec manche Télédyne, Joy avec manche artisanal), telles que le démontrent les données des tableaux 3a, b et c. Cette variation du taux de pénétration peut être attribuable à des variations de la dureté du roc ou à un mode opératoire (pression, volume d'air) différent ou à combinaison de ces facteurs. La variation de la dureté du roc était particulièrement identifiable pour les trous B1,33 et B1, 34 pour lesquels le taux de pénétration était significativement inférieur.

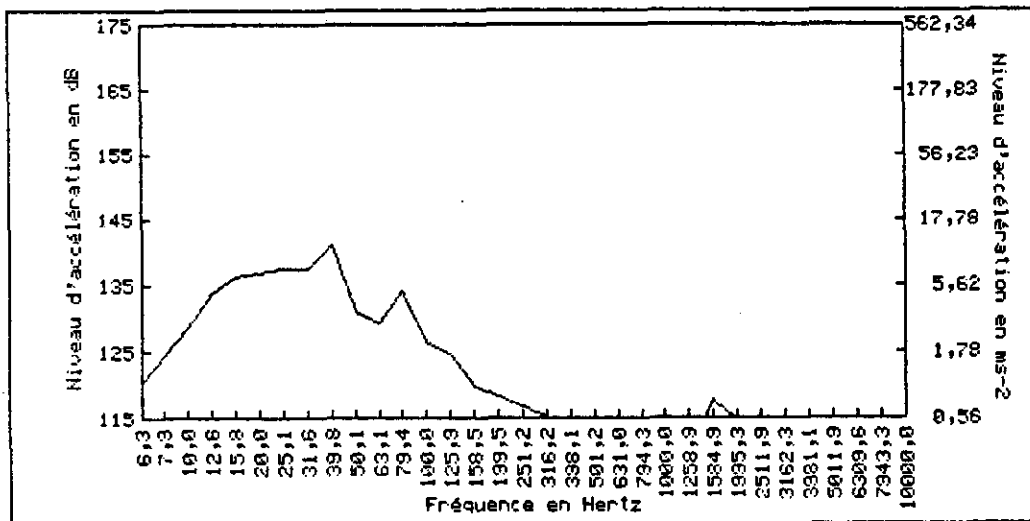
Objet : FOREUSE
 Type : JOY
 Nom de la filière et date : C1-13 90-02-28
 Durée de la mesure : 50 s
 Durée d'exposition quotidienne : 90 min
 Canal, axe, position et numéro du ruban ... : 5 Z POIGNET CHAPAIS 1



ah entre 6,3 Hz et 1,25 KHz : 141,3 dB ou 11,62 ms-2
 ah entre 6,3 et 10 KHz : 141,3 dB ou 11,67 ms-2
 Fréquence de la bande du niveau maximum entre 6,3 Hz et 10 KHz ... : 39,8 Hz

Figure 6a : Spectre en fréquence des vibrations enregistrées sur le poignet de l'opérateur C lors de l'opération de la foreuse Joy - axe z pour le trou à la hauteur 3.

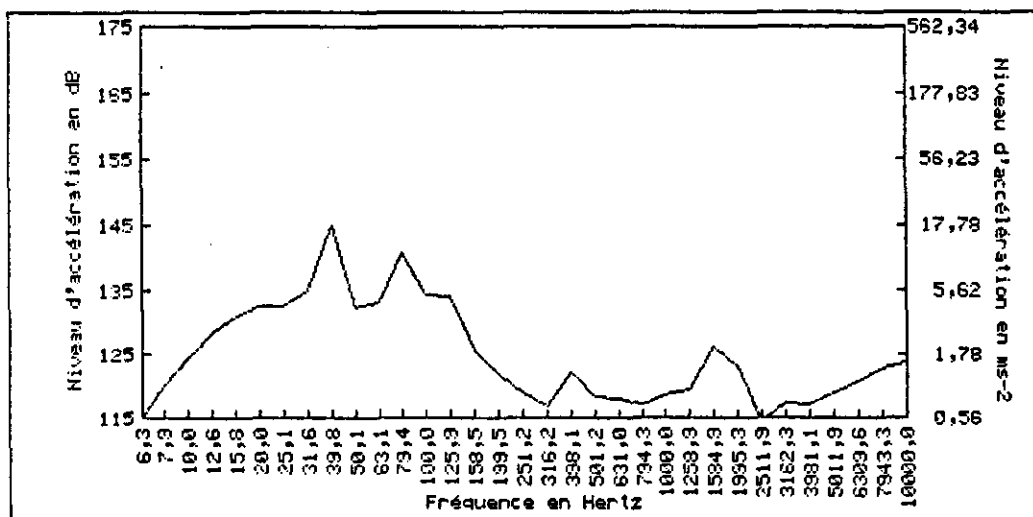
Objet: FOREUSE
 Type: JOY
 Nom de la filière et date: C1-13 90-02-28
 Durée de la mesure: 50 s
 Durée d'exposition quotidienne: 90 min
 Canal, axe, position et numéro du ruban ...: 6 Y POIGNET CHAPAS 1



ah entre 6,3 Hz et 1,25 KHz: 146,3 dB ou 20,74 ms⁻²
 ah entre 6,3 et 10 KHz: 146,4 dB ou 20,78 ms⁻²
 Fréquence de la bande du niveau maximum entre 6,3 Hz et 10 KHz ...: 39,8 Hz

Figure 6b : Spectre en fréquence des vibrations enregistrées sur le poignet de l'opérateur C lors de l'opération de la foreuse Joy - axe y pour le trou à la hauteur 3.

Objet: FOREUSE
 Type: JOY
 Nom de la filière et date: C1-13 90-02-28
 Durée de la mesure: 50 s
 Durée d'exposition quotidienne: 90 min
 Canal, axe, position et numéro du ruban ..: 4 X POIGNET CHAPAIS 1



ah entre 6,3 Hz et 1,25 KHz: 148,0 dB ou 25,22 ms⁻²
 ah entre 6,3 et 10 KHz: 148,1 dB ou 25,50 ms⁻²
 Fréquence de la bande du niveau maximum entre 6,3 Hz et 10 KHz ..: 39,8 Hz

Figure 6c : Spectre en fréquence des vibrations enregistrées sur le poignet de l'opérateur C lors de l'opération de la foreuse Joy - axe x pour le trou à la hauteur 3.

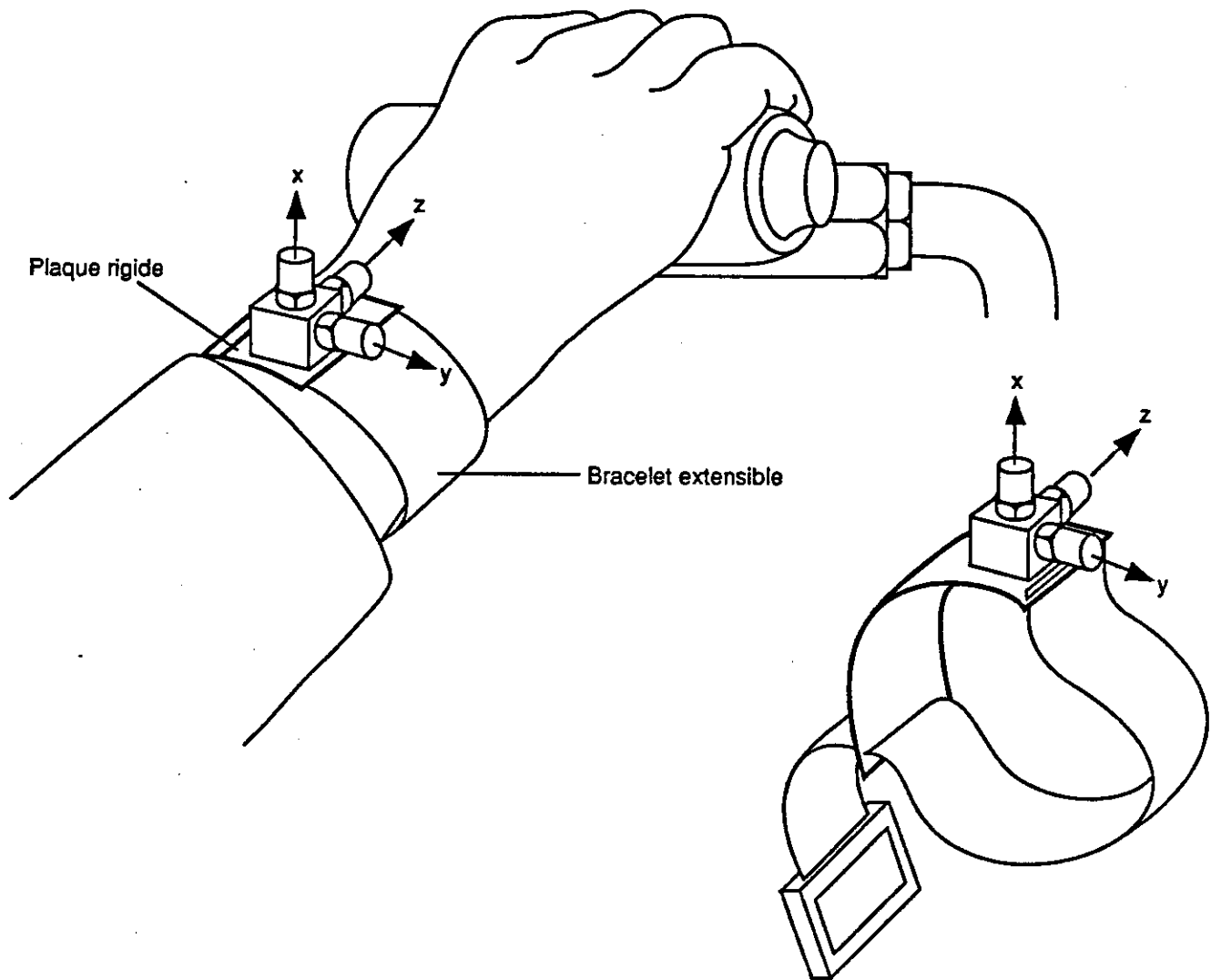


Figure 7 : Bracelet pour mesurer les vibrations transmises au poignet et orientation des accéléromètres.

Tableau 3a: Performance des foreuses et niveaux de vibrations mesurés au poignet de l'opérateur A pour chacun des trous

Foreuse	Trou foré	Taux de pénétration (cm/s)	Niveau non pondéré (ms ²) (6.3 - 1250 Hz)			Vecteur somme (ms ²)
			z	y	x	
Joy	A1,41	1.29	11.5	20.8	37.9	44.7
	A1,42	1.25	31.9	19.8	25.5	45.4
	A1,43	1.12	21.6	24.0	24.8	40.7
	A1,44	1.12	20.3	19.9	28.1	40.0
Secan	A1,21	1.26	11.2	18.8	27.6	35.2
	A1,22	1.19	17.8	18.6	19.0	32.0
	A1,23	1.00	14.0	27.2	18.8	35.9
	A1,24	1.16	20.2	35.9	30.3	51.1
Joy avec manche Télédyne	A1,31	1.28	13.4	17.0	31.3	38.0
	A1,32	1.44	17.5	19.3	20.6	33.2
	A1,33	1.47	15.0	17.3	23.9	33.1
	A1,34	1.29	29.7	23.3	24.0	44.7
Joy avec manche artisanal	A1,51	1.33	14.9	26.5	34.9	46.3
	A1,52	1.21	15.2	21.7	18.8	32.5
	A1,53	1.25	13.3	19.3	19.5	30.5
	A1,54	1.00	14.3	15.1	24.7	32.5

Tableau 3b: Performance des foreuses et niveaux de vibrations mesurés au poignet de l'opérateur B pour chacun des trous

Foreuse	Trou foré	Taux de pénétration (cm/s)	Niveau non pondéré (ms ⁻²) (6.3 - 1250 Hz)			Vecteur somme (ms ⁻²)
			z	y	x	
Joy	B1,11	1.14	14.6	24.6	36.3	46.2
	B1,12	1.01	16.6	39.6	28.9	51.8
	B1,13	0.82	12.1	49.8	33.5	61.2
	B1,14	0.95	10.6	30.3	23.8	40.0
Secan	B1,21	1.40	11.9	26.5	29.5	41.4
	B1,22	1.30	13.4	32.0	28.5	44.9
	B1,23	0.90	14.9	58.1	30.2	67.2
	B1,24	1.18	12.6	20.4	16.2	28.9
Joy avec manche Télédyne	B1,31	1.35	15.9	33.0	40.5	54.6
	B1,32	1.18	15.1	47.3	24.3	55.3
	B1,33	0.71	11.6	32.8	22.3	41.3
	B1,34	0.83	12.2	26.9	24.9	38.6
Joy avec manche artisanal	B1,51	1.54	15.4	24.5	27.8	40.1
	B1,52	1.45	12.6	37.0	18.6	43.3
	B1,53	1.20	12.7	48.7	23.1	55.4
	B1,54	1.28	11.4	27.2	29.3	41.6

Tableau 3c: Performance des foreuses et niveaux de vibrations mesurés au poignet de l'opérateur C pour chacun des trous

Foreuse	Trou foré	Taux de pénétration (cm/s)	Niveau non pondéré (ms ⁻²) (6.3 - 1250 Hz)			Vecteur somme (ms ⁻²)
			z	y	x	
Joy	C1,11	1.75	14.3	17.3	49.2	54.1
	C1,12	1.45	17.5	33.3	33.5	50.4
	C1,13	1.36	11.6	20.7	25.2	34.6
	C1,14	1.33	11.5	16.2	26.3	33.0
Secan	C1,21	1.40	6.9	26.7	13.2	30.6
	C1,22	1.41	21.8	22.6	17.6	36.0
	C1,23	1.28	10.7	22.0	16.1	29.3
	C1,24	1.24	-	-	-	-
Joy avec manche Télédyne	C1,31	1.36	11.7	18.8	28.3	35.9
	C1,32	1.29	21.8	40.2	28.9	54.1
	C1,33	1.31	10.2	18.2	21.1	29.7
	C1,34	1.29	8.6	16.3	18.0	25.8
Joy avec manche artisanal	C1,51	1.56	9.6	22.6	27.1	36.6
	C1,52	1.44	10.7	26.6	16.1	32.9
	C1,53	1.29	13.7	21.7	18.4	31.6
	C1,54	1.33	6.5	15.4	13.9	21.7

Généralement, à quelques exceptions près, le taux de pénétration est le plus élevé pour les deux trous inférieurs comparativement aux trous supérieurs. Ceci s'explique par le fait que la force de poussée est plus directe pour les deux trous inférieurs puisque, à des hauteurs plus accessibles pour l'opérateur.

Malgré le nombre limité de données (c'est-à-dire le nombre limité de répétitions de trous forés avec le même type de foreuse à hauteur égale), il semble se dégager des résultats des tableaux 3a, b et c, des variations inter-individuelles. Par exemple, le taux de pénétration obtenu par l'opérateur C est, à quelques exceptions près, supérieur à celui obtenu par les deux autres opérateurs.

Ainsi, la façon de manipuler et de contrôler la foreuse, la force de poussée exercée ou encore les aspects physiologiques (ie. corpulence) pourraient avoir une influence importante sur la performance des foreuses.

5.2.2 Vibrations non pondérées au poignet

Les tableaux 3a, b et c présentent les niveaux de vibration non pondérés enregistrés selon chacun des axes au niveau du poignet des opérateurs, ainsi que la somme vectorielle (vecteur somme) de ces vibrations. Compte tenu de l'orientation de la main des opérateurs, l'axe x correspond à l'axe de percussion pour le trou le plus bas et le trou le plus haut, tandis que l'axe de percussion est une combinaison des axes x et z pour les deux trous intermédiaires. Il est intéressant de constater que la somme vectorielle des niveaux de vibrations non pondérés au niveau du poignet est constamment supérieure à la somme vectorielle des niveaux pondérés enregistrés sur la poignée. Pour quelques trous, particulièrement pour l'opérateur C, les deux niveaux (ie. non pondéré poignet vs pondéré poignée) sont très similaires tandis que des différences atteignant le double peuvent être notés pour certains essais. Les résultats obtenus par les Finlandais [7] démontrent que ces niveaux devraient être à toutes fins identiques si la pondération appliquée aux mesures effectuées sur la poignée est adéquate, mais ce, seulement selon l'axe dominant des vibrations lorsque la position du poignet est bien contrôlée.

Dans la présente étude, la position du poignet ne pouvait pas être rigoureusement contrôlée et maintenue de façon à faire coïncider exactement les axes au poignet avec ceux de la poignée. C'est pourquoi le vecteur somme a dû être calculé, les résultats suggérant que le niveau d'accélération pondéré enregistré sur la poignée aurait tendance à sous-estimer l'énergie vibratoire transmise au système main-bras, elle-même dépendant des facteurs reliés au travail, tels le poids de l'outil, les forces statiques et dynamiques exercées pendant le travail, la surface de contact entre la main et la source, la position de la main et l'effort musculaire exercé. Si tel est le cas, le concept d'une courbe de pondération universelle ne pourrait s'appliquer à l'ensemble des outils et des conditions de travail. Seules les mesures effectuées au poignet seraient représentatives de l'énergie vibratoire réellement absorbée. Cette hypothèse resterait à être confirmée.

6.0 INTERPRÉTATION

Les résultats présentés dans les tableaux 3a, b et c comportent beaucoup de variations qui rendent difficile l'établissement de différences entre les foreuses. Ceci est d'autant plus compliqué par le fait que l'on ait des essais comportant 48 conditions différentes (ie. 3 opérateurs, 4 hauteurs de trous et 4 types de foreuses). Aucun résultat ayant trait à la répétition d'un trou particulier n'apparaît dans ces tableaux, donc, chaque trou présente des conditions uniques. Aussi doit-on utiliser d'un traitement statistique si l'on veut tirer des informations significatives de ces résultats.

La distinction entre les différents types de foreuses peut être faite en utilisant deux paramètres : la somme vectorielle (vecteur somme) des vibrations transmises au poignet et le taux de pénétration. Comme l'orientation du poignet de l'opérateur varie selon la hauteur du trou et qu'à certaines hauteurs, il soit difficile de faire correspondre les axes de mesure à des axes spécifiques de la foreuse, il apparaît que le vecteur somme soit le paramètre de choix pour caractériser l'énergie vibratoire transmise. Ceci contraste avec la norme ISO 5349 qui identifie la composante directionnelle dominante sur la poignée comme indicateur de l'exposition aux vibrations. Le taux de pénétration quant à lui, procure une indication du degré de performance des foreuses.

Dans les sections qui suivent, les données des tableaux 3a, b et c sont groupées de façon à évaluer l'influence de l'opérateur sur les vibrations et sur le taux de pénétration ainsi que la différence entre les types de foreuses et entre les hauteurs de trous. La moyenne \bar{x} , l'écart-type s_x et la variance σ_x sont calculés pour chaque échantillon. Le test de comparaison t de Student [8] est par la suite appliqué afin de juger si les différences observées sont significatives, compte tenu de l'écart-type mesuré. Généralement, la différence est jugée significative lorsque le seuil de signification α est inférieur à 5 %.

6.1 Influence de l'opérateur sur les résultats

Les caractéristiques physiques des trois opérateurs de foreuses étant relativement différentes (voir Tableau 1), il était justifié de supposer au départ, que la façon d'opérer les foreuses pourrait varier d'un opérateur à l'autre, voire même influencer sur les niveaux de vibration mesurés au poignet et sur le taux de pénétration. Afin de vérifier cette hypothèse, la moyenne du vecteur somme vibratoire et du taux de pénétration est calculée pour chaque opérateur en utilisant tous les trous forés par ces derniers (les trous à des hauteurs pour lesquelles il n'existe pas de données pour un opérateur sont éliminés). L'écart-type s et la variance σ sont également calculés. Ces résultats apparaissent dans les tableaux 4a et 5a, respectivement pour la somme vectorielle des vibrations au niveau du poignet et pour le taux de pénétration mesurés pour chacun des opérateurs. Ces tableaux indiquent qu'en ce qui concerne les vibrations, l'opérateur B semble exposé à un niveau beaucoup plus élevé que les deux autres (ie. de l'ordre de 20 à 30 % supérieur). De plus, le tableau 4b indique que la différence observée est significative à un seuil de signification de 0.5 %. Les opérateurs A et C, quant à eux, seraient exposés à des niveaux de vibration à toutes fins identiques.

Ces résultats corroborent bien les observations faites lors des essais : l'opérateur B semblait exercer une force de préhension sur la poignée beaucoup plus grande que les deux autres opérateurs et requérir plus d'effort pour opérer les foreuses. Ceci pouvait donc favoriser le transfert des vibrations à son poignet. De plus, le tableau 3b démontre que c'est l'opérateur B qui est le moins constant dans l'opération des foreuses.

Tableau 4a : Influence de l'opérateur sur la somme vectorielle des vibrations au niveau du poignet

Opérateur	\bar{x}^*	s_x	σ_x
A	38.5	6.4	41
B	47.0	9.8	96
C	35.8	9.7	94

* Moyenne calculée en utilisant tous les trous forés par chaque opérateur.

Tableau 4b : Test t appliqué aux résultats du tableau 4a

Combinaison	t_c	λ	α (%)
A-B	-2.91	30	0.5**
B-C	3.15	28	0.5**
A-C	0.91	28	20

** Différence est significative à un seuil de signification égal ou inférieur à 5 %.

Tableau 5a : Influence de l'opérateur sur le taux de pénétration

Opérateur	\bar{x}_i * (cm/s)	s_x	σ_x
A	1.23	0.13	0.0169
B	1.14	0.25	0.0625
C	1.38	0.13	0.0169

* Moyenne calculée en utilisant tous les trous forés par chaque opérateur.

Tableau 5b : Test t appliqué aux résultats du tableau 5a

Combinaison	t_c	λ	α (%)
A-B	1.28	30	15
B-C	-3.41	30	0.5**
A-C	-3.26	30	0.5**

** Différence est significative à un seuil de signification égal ou inférieur à 5 %.

Quant au taux de pénétration, l'opérateur C se démarque des deux autres en réalisant un taux de pénétration significativement plus élevée (ie. atteignant 20 %) que les deux autres (seuil de signification de 0.5 %). C'est aussi l'opérateur pour lequel la somme vectorielle des vibrations mesurées au poignet est la moins élevée. Cet opérateur semblait requérir le moins d'effort pour opérer les foreuses et semblait pouvoir les opérer le plus efficacement.

6.2 Différence entre les types de foreuses

Afin d'éliminer les variations liées à l'opérateur, les résultats obtenus par l'opérateur B sont omis dans le traitement qui suit, compte tenu des différences observées par rapport aux deux autres opérateurs. La moyenne de la somme vectorielle des vibrations au niveau du poignet et du taux de pénétration sont obtenus en utilisant tous les trous forés par les opérateurs A et C. Ces résultats apparaissent dans les tableaux 6a et 7a en plus de l'écart-type et de la variance.

6.2.1 Comparaison des foreuses Joy et Secan

Selon les données du tableau 6a, la foreuse Secan transmet près de 17 % moins de vibration que la foreuse Joy. La différence de la somme vectorielle des vibrations entre les deux foreuses est significative au seuil de signification de 5 %. Quant au taux de pénétration, bien qu'il semble être légèrement supérieur pour la foreuse Joy, la différence avec la Secan n'est pas jugée significative. Donc, à taux de pénétration similaire, la foreuse Secan transmet moins de vibration que la foreuse Joy.

6.2.2 Efficacité des poignées antivibration

L'utilisation d'un manche antivibration avec la foreuse Joy procure, selon le tableau 6a, un niveau de vibration inférieur à celui de la foreuse Joy conventionnelle. Cependant, la différence de la somme vectorielle des vibrations au poignet de l'opérateur n'est significative que lorsque le manche artisanal est utilisé (seuil de signification de 1 % pour une atténuation de 23 %).

Tableau 6a : Somme vectorielle pour les différents types de foreuses

Foreuse	\bar{x}^* (ms^{-2})	s_x	σ_x
Joy	42.9	7.3	53.3
Secan	35.7	7.3	53.3
Joy + manche Télédyne	36.8	9.0	81.0
Joy + manche artisanal	33.1	6.8	46.2

* Moyenne obtenue en utilisant tous les trous forés par les opérateurs A et C.

Tableau 6b : Test t appliqué aux résultats du tableau 6a

Combinaison	t_c	ν	α (%)
Joy - Secan	1.89	13	5**
Joy - Joy + Télédyne	1.48	14	10
Joy - Joy + manche artisanal	2.77	14	1.0**
Secan - Joy + Télédyne	-0.25	13	45
Secan - Joy + manche artisanal	0.73	13	25
Joy + Télédyne - Joy + manche artisanal	0.94	14	20

** Différence est significative à un seuil de signification égal ou inférieur à 5 %.

Tableau 7a : Taux de pénétration mesuré pour les différents types de foreuses

Foreuse	\bar{x}_i * (cm/s)	s_x	σ_x
Joy	1.33	0.20	0.04
Secan	1.24	0.13	0.0169
Joy + manche Télédyne	1.34	0.07	0.0049
Joy + manche artisanal	1.30	0.16	0.0256

* Moyenne obtenue en utilisant tous les trous forés par les opérateurs A et C.

Tableau 7b : Test t appliqué aux résultats du tableau 7a

Combinaison	t_c	ν	α (%)
Joy - Secan	1.06	14	20
Joy - Joy + Télédyne	-0.13	14	-
Joy - Joy + manche artisanal	0.33	14	40
Secan - Joy + Télédyne	-2.0	14	5**
Secan - Joy + manche artisanal	-0.86	14	25
Joy + Télédyne - Joy + manche artisanal	0.67	14	30

** Différence est significative à un seuil de signification égal ou inférieur à 5 %.

L'utilisation d'un manche antivibration n'a pas d'effet notable sur le taux de pénétration. Le tableau 7a suggère un taux de pénétration sensiblement inférieur pour la foreuse Secan comparativement à la Joy, bien que la différence ne soit significative qu'avec la foreuse Joy munie du manche Télédyne.

Les résultats obtenus suggèrent que dans les conditions pour lesquelles les essais ont été effectués, l'utilisation du manche Télédyne n'apporte pas d'atténuation significative des vibrations.

6.3 Variations liées à la hauteur des trous

Dans cette section, les variations liées à l'opérateur et au type de foreuse sont éliminées en négligeant les résultats obtenus avec l'opérateur B et avec la Joy. Ceci découle des tableaux 4b et 6b qui démontrent une différence significative entre l'opérateur B et les deux autres ainsi qu'une différence significative entre la foreuse Joy et les foreuses Secan et Joy avec manche artisanal.

La moyenne de la somme vectorielle des vibrations au niveau du poignet et du taux de pénétration apparaissent dans les tableaux 8a et 9a pour chaque hauteur de trou. Cette moyenne est calculée en utilisant tous les trous forés par les opérateurs A et C avec les foreuses Secan, Joy avec manche Télédyne et Joy avec manche artisanal.

Le tableau 8a démontre que le niveau de vibration mesuré au poignet est le plus élevé pour les deux trous inférieurs, tandis que le plus faible niveau est obtenu à une hauteur de 1.83 m (hauteur 3). C'est d'ailleurs à proximité de cette hauteur que la béquille de la foreuse est à un angle tel que la foreuse est supportée avec le minimum de force de la part de l'opérateur. La différence la plus significative dans les niveaux de vibration s'établit entre le trou le plus bas (hauteur 1) et le trou à la hauteur 3 (seuil de signification de 2.5 %).

Tableau 8a : Somme vectorielle des vibrations au niveau du poignet pour chaque hauteur de trou

Hauteur	\bar{x}^* (ms ²)	s _x	σ _x
1	37.1	5.2	27.04
2	36.8	8.6	73.96
3	31.7	2.5	6.25
4	35.2	12.5	156.25

* Moyenne obtenue en utilisant tous les trous forés par les opérateurs A et C avec les foreuses Secan, Joy + Télédyne, Joy + manche artisanal.

Tableau 8b : Test t appliqué aux résultats du tableau 8a

Combinaison	t _c	ν	α (%)
1 - 2	0.08	10	-
1 - 3	2.32	10	2.5**
1 - 4	0.35	9	40
2 - 3	1.40	10	10
2 - 4	0.26	9	45
3 - 4	-0.68	9	30

** Différence est significative à un seuil de signification égal ou inférieur à 5 %.

Tableau 9a : Taux de pénétration mesuré à chaque hauteur de trou

Hauteur	\bar{x}_i * (cm/s)	s_x	σ_x
1	1.43	0.19	0.0361
2	1.35	0.11	0.0121
3	1.30	0.12	0.0144
4	1.23	0.14	0.0196

* Moyenne obtenue en utilisant tous les trous forés par les opérateurs A et C avec les foreuses Joy, Joy + Télédyne, Joy + manche artisanal.

Tableau 9b : Test t appliqué aux résultats du tableau 9a

Combinaison	t_c	ν	α (%)
1 - 2	0.87	10	25
1 - 3	1.41	10	10
1 - 4	2.04	10	5**
2 - 3	0.72	10	25
2 - 4	1.73	10	10
3 - 4	0.93	10	20

** Différence est significative à un seuil de signification égal ou inférieur à 5 %.

Le tableau 9a indique quant à lui que le taux de pénétration diminue avec la hauteur du trou tel que l'on devrait s'y attendre. La différence la plus significative (seuil de signification de 5 %) est obtenue entre les trous inférieur et supérieur entre lesquels le taux de pénétration est diminué de 14 %.

7.0 CONCLUSION

La technique de mesure impliquant l'évaluation des vibrations transmises au poignet des opérateurs de foreuses à béquille s'est avérée prometteuse pour évaluer l'exposition aux vibrations en milieu de travail et pour comparer les différents types de foreuses. Bien que cette technique resterait à être validée, les résultats obtenus dans cette étude ont permis de démontrer, qu'en plus d'éliminer plusieurs problèmes d'ordre technique rencontrés avec la mesure des vibrations directement sur la poignée, cette méthode permet de prendre en compte les facteurs liés à l'opération même de l'outil et de faire ressortir les différences individuelles entre foreurs. En effet, l'étude a démontré qu'un foreur pouvait être exposé à des niveaux de vibration significativement différents (20 à 30 % supérieurs) selon sa façon d'opérer les foreuses. Il en va de même du taux de pénétration qui peut être modifié selon l'opérateur (pouvant atteindre un taux 20 % supérieur).

Une fois l'effet de l'opérateur éliminé, les résultats ont démontré que la foreuse Secan menait à un niveau de vibration près de 17 % inférieur à celui de la foreuse Joy, tout en ayant un taux de pénétration légèrement inférieur. Il serait donc intéressant d'étudier comment les deux types de foreuses diffèrent, de façon à comprendre les mécanismes de transfert des vibrations qui expliqueraient la différence observée.

L'efficacité des manches antivibration de Télédyne et de fabrication artisanale a été évaluée, démontrant que le manche de fabrication artisanale peut réduire de 23 % les niveaux de vibration transmis par une foreuse conventionnelle. Cependant, le manche de Télédyne n'apporte pas de différence significative des niveaux de vibration. Le taux de pénétration demeure in affecté par l'introduction d'un manche antivibration. Enfin, les résultats démontrent qu'il existe une hauteur optimale (angle de la béquille) à laquelle

les niveaux de vibration transmis sont moindres. Ce niveau apparaît à 1.83 m dans cette étude, où le niveau de vibration est environ 14 % moindre qu'à une hauteur de 0.61 m. Ce résultat suggère qu'il existe un angle de la béquille auquel la transmission des vibrations aux mains serait défavorisée. Par contre, le taux de pénétration serait moindre comparativement aux trous inférieurs.

8.0 RECOMMANDATIONS

Les résultats obtenus dans cette étude suggèrent des pistes intéressantes de recherche qui pourraient faire l'objet de phases subséquentes de travail. Entre autres, il est proposé que des travaux soient poursuivis afin :

- i) de valider expérimentalement la technique de mesure de vibrations au niveau du poignet;
- ii) d'étudier les caractéristiques de la foreuse Secan et du manche de fabrication artisanale afin de mieux comprendre les mécanismes qui font que le transfert des vibrations est moindre que la foreuse Joy;
- iii) d'évaluer en détail le concept de base du manche Télédyne en vue de suggérer des améliorations possibles;
- iv) d'exploiter plus en détail les données déjà obtenues, afin d'évaluer la différence entre foreuses sur une base fréquentielle et directionnelle, en utilisant les mesures effectuées sur les poignées en plus du poignet;
- v) de répéter, dans la mesure du possible, une série de mesures qui incluerait une répétition de trous forés sous les mêmes conditions, en nombre suffisant pour que les résultats soient jugés statistiquement valables.

BIBLIOGRAPHIE

1. Reynolds, D.D. Hand Tool Vibration Associated with Jack Leg Drills, Jack Hammers and Slushers. Final Report. NIOSH Contract No. 210-79-0032. 1980. 115 pp.
2. Wasserman, D., et al. Vibration White Finger Disease in U.S. Workers Using Pneumatic Chipping and Grinding Hand Tools. II: Engineering Testing. NIOSH Technical Report no. 82-101. 1982. 89 pp.
3. King, N., Mainville, C., et al. Le syndrome vibratoire chez les mineurs de Chapais. Rapport du Service de génie industriel de la CSN, Montréal, Qc. 1989. 18 pp.
4. Robert, J., Mereau, P., et al. Troubles angioneurotiques professionnels provoqués par les vibrations d'outils manuels. Arch. des mal. prof., 1977, 38, 4-5, 437-455.
5. Norme internationale ISO 5349. Vibrations mécaniques. Principes directeurs pour le mesurage et l'évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main, Première édition. 1986-05-15.
6. Boileau, P.-E. Annexe technique : Les vibrations engendrées par les foreuses à béquille à la Division Opémiska de Minnova. IRSST, 1990. 272 pp.
7. Pekkarinen, J., Starck, J., Pyykkö, I. High-speed digital method to measure impulsive hand-arm vibration. Actes du colloque. "Les vibrations aux postes de travail", Comité international recherche, AISS, 19-21 avril, 1989. Vienne. 47-50.
8. Scherrer, B. Biostatistique. Gaëtan Morin, Éditeur - Chicoutimi, Québec. 1984. 850 pp.