

**Exposition au bruit
et aux vibrations mains-bras
liée à l'opération de foreuses
à béquille pneumatique
et hydraulique**



**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Paul-Émile Boileau
Jérôme Boutin

Novembre 1990 #046

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,

**Exposition au bruit
et aux vibrations mains-bras
liée à l'opération de foreuses
à béquille pneumatique
et hydraulique**

Paul-Émile Boileau et Jérôme Boutin
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

Luc Milette
Groupe d'acoustique de l'Université de Sherbrooke

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

Exposition au bruit et aux vibrations mains-bras liée à l'opération de foreuses à béquille pneumatique et hydraulique

TABLE DES MATIÈRES

1.0 INTRODUCTION	2
2.0 DESCRIPTION DES FOREUSES	2
2.1 <i>Foreuse à béquille pneumatique</i>	<i>2</i>
2.2 <i>Foreuse à béquille hydraulique</i>	<i>2</i>
3.0 MÉTHODOLOGIE	3
3.1 <i>Déroulement des essais</i>	<i>3</i>
3.2 <i>Mesures de l'exposition au bruit</i>	<i>3</i>
3.3 <i>Mesures de l'exposition aux vibrations mains-bras</i>	<i>3</i>
4.0 RÉSULTATS	4
4.1 <i>L'exposition au bruit</i>	<i>4</i>
4.2 <i>L'exposition aux vibrations mains-bras</i>	<i>5</i>
4.3 <i>Caractéristiques des vibrations - le facteur de crête</i>	<i>5</i>
4.4 <i>Susceptibilité d'atteinte du phénomène de Raynaud</i>	<i>6</i>
5.0 CONCLUSION	6
RÉFÉRENCES	7

1.0 INTRODUCTION

La foreuse à béquille pneumatique est un outil fort utilisé dans les mines du Québec à cause de sa flexibilité et de son coût relativement faible. C'est un outil à percussion auquel un mouvement de rotation a été combiné pour le forage. La percussion est assurée par les chocs d'un piston à l'intérieur du corps de l'appareil.

La foreuse à béquille pneumatique est, de l'avis de beaucoup d'intervenants en milieu minier, une source importante de risques pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique du mineur. Ces risques sont: i) le bruit élevé, en grande partie causé par l'échappement de l'air; ii) les vibrations intenses transmises aux mains du travailleur; et iii) l'effort que doit fournir le mineur pour supporter l'outil, particulièrement lors de l'amorçage et du désengagement des trous.

Il est bien connu que l'exposition prolongée au bruit mène à des problèmes de surdité, tandis que l'exposition aux vibrations mains-bras est susceptible de faire apparaître, à plus ou moins long terme, le phénomène de Raynaud caractérisé par le blanchissement des doigts¹.

En matière de réduction du bruit et des vibrations, de nombreuses tentatives ont été faites sur les foreuses pneumatiques, mais elles se sont avérées infructueuses. Récemment, une foreuse à béquille hydraulique (émulsion d'huile et d'eau) a été identifiée, dont le taux de pénétration pourrait être plus élevé que celui de la foreuse pneumatique, tout en produisant un niveau de bruit moins élevé, puisque le bruit émis par l'air est éliminé. Très peu de données sont disponibles cependant sur les niveaux de vibrations mains-bras générés par la foreuse hydraulique, comparativement à la foreuse pneumatique.

Face aux bénéfices potentiels que pourrait apporter la foreuse hydraulique en matière de réduction du bruit et des vibrations, il apparaît important de comparer, de façon quantitative, les niveaux de bruit et de vibrations émis par les deux types de foreuses (pneumatique et hydraulique) dans des conditions identiques d'opération. Cette étude présente les résultats des mesures de bruit et de vibrations, tandis qu'une autre étude², conduite parallèlement, élabore sur le taux de pénétration des deux types de foreuses afin d'estimer leur productivité respective.

2.0 DESCRIPTION DES FOREUSES

2.1 Foreuse à béquille pneumatique

La foreuse à béquille pneumatique présentée schématiquement figure 1a (JR 300) a une masse d'environ 32 kilogrammes, à laquelle vient s'ajouter une masse additionnelle de 20 kg pour la béquille télescopique. La fréquence de frappe du marteau sur la tige varie entre 28 et 35 Hz (1 680 et 2 100 frappes par minute), la fréquence de révolution de la tige étant d'environ 6 Hz. Deux contrôles sont utilisés durant l'opération: l'un contrôlant l'entrée d'air pour le forage, l'autre contrôlant l'entrée d'air dans la béquille. Une valve automatique permet à l'eau d'être utilisée pour laver les résidus de roche produits lors du forage.

Un fleuret d'acier, dont la longueur de tige est de 1,47 mètre et le diamètre de 2,2 centimètres est utilisé. À son extrémité, un foret de 3,8 cm de diamètre sert au forage des trous dans le roc.

2.2 Foreuse à béquille hydraulique

La foreuse à béquille hydraulique (WF-035) présentée schématiquement figure 1b utilise une émulsion d'huile et d'eau (proportion 5/95) pressurisée entre 12 et 16 MPa comme source d'énergie. Cette foreuse est également connue sous le nom de foreuse à émulsion. La masse de la foreuse est de 33 kg, tandis que celle de la béquille est de 21 kg. La fréquence de frappe du marteau sur la tige varie entre 56 et 71 Hz (3 360 et 4 260 frappes par minute), dépendant de la pression d'utilisation. Cette foreuse nécessite un raccordement à cinq boyaux, comparativement à deux pour la foreuse pneumatique. Le fleuret et le foret utilisés sont du même type que ceux de la foreuse pneumatique.

La foreuse hydraulique possède deux poignées symétriques faites d'un tube de métal de 22 millimètres de diamètre et recouvertes de 7 mm de caoutchouc rigide. Chacune des poignées a une longueur de 110 mm. Ceci contraste avec la foreuse pneumatique qui ne comporte qu'un endroit bien limité sur le corps de la foreuse et sur laquelle une seule main peut être maintenue en contact avec la machine.

Toutes les références sont inscrites à la page 7 du présent document.

3.0 MÉTHODOLOGIE

3.1 Déroulement des essais

Les mesures de l'exposition au bruit et aux vibrations, et du taux de pénétration sont effectuées dans des conditions contrôlées, alors que chacune des deux foreuses sont utilisées pour forer des trous dans des blocs de granite à une profondeur variant entre 1,1 et 1,2 m. Trois blocs de granite sont utilisés, notamment les blocs A, B et C pour les essais étant effectués à basse, moyenne et haute pression, respectivement. Pour chacun des blocs, des trous dont le diamètre est de 3,8 cm sont forés à des hauteurs respectives de 46, 64, 81, 99 et 117 cm par rapport au plancher. Les trous sont espacés latéralement entre eux d'une distance de 10 cm. Plusieurs colonnes de trous sont ainsi successivement formées, en alternant de foreuse pour chacune des colonnes, de façon à conserver le plus d'homogénéité possible et permettre une comparaison plus exacte entre les deux types de foreuses. Pour faciliter l'amorçage des trous, une feuille de contre-plaqué est fixée à la face antérieure des blocs de granite, dans laquelle ont été forés des trous correspondant à l'espacement requis. On réfère ainsi à chacun des trous en termes de coordonnées, indiquant d'abord la colonne, variant entre 1 et 9 (dépendant de la largeur du bloc de roc utilisé), puis la rangée, variant entre 1 et 5, pour chacune des hauteurs (le trou 34 correspond à la colonne 3, rangée 4). Une fois les trous forés dans chacun des blocs, ces derniers sont ensuite inversés et les essais sont répétés de façon à maximiser le nombre de données. On réfère donc à chacun des blocs en terme de A1 et A2 pour les essais effectués à basse pression, A1 indiquant la première série d'essais et A2, les mêmes essais répétés avec le bloc inversé. La même notation s'applique aux blocs B et C.

L'ensemble des essais est réalisé avec les deux mêmes opérateurs, alternant le travail à intervalles réguliers. Pour faciliter la manipulation des foreuses, une base est fixée au plancher à distance fixe du bloc, sur laquelle la bécquille des foreuses vient s'appuyer. Le foret est remplacé à intervalles réguliers, typiquement après le forage d'une quinzaine de trous pour la foreuse pneumatique et de dix trous pour la foreuse hydraulique.

Les pressions d'utilisation choisies sont de 0,48, 0,52 et 0,58 MPa pour la foreuse pneumatique, et de 10,0, 11,9 et 13,1 MPa pour la foreuse hydraulique. On s'assure du maintien aussi constant que possible de ces pressions, qui de part et d'autre devraient provoquer un rendement identique pour les deux types de foreuses.

3.2 Mesures de l'exposition au bruit

Les mesures de bruit sont effectuées en utilisant l'intensimétrie acoustique, dans le but de déterminer la puissance acoustique des sources de bruit liées à l'opération des foreuses à bécquille³. Connaissant la puissance acoustique, il est possible de déterminer le niveau de pression acoustique à l'oreille de l'opérateur et donc, le degré d'exposition au bruit en dB(A).

L'avantage à utiliser l'intensimétrie acoustique et, donc, la mesure de la puissance acoustique vient du fait que la puissance acoustique est pratiquement indépendante du milieu où se trouve la source et ne variera vraisemblablement pas, que les mesures soient effectuées dans une galerie souterraine, une galerie ouverte ou encore un laboratoire, comme dans le cas présent.

La technique de mesure consiste à balayer, à l'aide d'une sonde comportant des microphones, des surfaces spécifiques à proximité de la foreuse et du fleuret. On imagine alors la foreuse représentée par une boîte rectangulaire, dont cinq surfaces sont balayées (figure 2).

De même, le fleuret peut être représenté par une boîte rectangulaire et ses surfaces sont aussi balayées par la sonde. Ceci permet d'estimer la contribution des différentes sources de bruit (foreuse, fleuret) au bruit total perçu par l'opérateur.

La pression acoustique à l'oreille de l'opérateur est estimée mathématiquement à partir des données sur la puissance acoustique mesurée et des propriétés acoustiques du local où sont effectuées les mesures. Pour une meilleure représentativité du niveau d'exposition au bruit auquel on pourrait s'attendre en situations typiques de travail, les propriétés acoustiques enregistrées dans une galerie souterraine sont utilisées pour le calcul de la pression acoustique associée à chacune des foreuses.

3.3 Mesures de l'exposition aux vibrations mains-bras

Les mesures de l'exposition aux vibrations mains-bras sont effectuées sur la poignée de chacune des deux foreuses, conformément à la norme internationale ISO 5349⁴. Trois accéléromètres miniatures B & K 4393 sont orientés selon un système de coordonnées basicentriques, l'un d'eux (axe z_n) coïncidant avec l'axe de forage, tandis que les deux autres sont orientés à angle droit, en direction parallèle à l'axe de la poignée pour l'accéléromètre orienté selon l'axe y_n et en direction perpendiculaire à la surface de la main pour l'accéléromètre en direction x_n . Les accéléromètres sont

fixés à la poignée à l'aide d'un adaptateur spécialement conçu, constituant une bague en aluminium. Les accéléromètres sont fixés à cette bague par l'entremise de filtres mécaniques B & K UA0559 qui atténuent les vibrations de très hautes fréquences susceptibles de saturer les accéléromètres piézoélectriques et de faire apparaître un «dcalage du zéro», ce qui risquerait d'être interprété comme étant des vibrations de grande amplitude à basses fréquences.

La gamme de fréquence d'intérêt étant de 6,3 à 1 250 Hz (en bandes de tiers d'octave), les accéléromètres sont reliés à des amplificateurs de charge B & K 2635, dont la bande passante est de 2 à 2 000 Hz. Les signaux sont par la suite transmis à un enregistreur magnétique Honeywell 101 comportant six canaux d'enregistrement. Les signaux vibratoires provenant des trois accéléromètres sont alors simultanément enregistrés avec une gamme dynamique de plus de 50 dB dans la gamme de fréquence d'intérêt. Pour chacun des trous forés, la durée d'enregistrement est typiquement d'une minute.

Le spectre en bandes de fréquence de tiers d'octave est obtenu entre 6,3 et 1 250 Hz pour chaque axe de mesure et pour chacun des trous forés. La pondération mains-bras définie dans la norme ISO 5349 est ensuite appliquée à chacun des spectres et le niveau d'accélération globale pondérée $a_{p,w}$ correspondant à chaque axe de mesure est calculé. Pour chacune des foreuses opérant à une pression donnée, le niveau moyen $a_{p,w}$ est calculé, ainsi que l'écart-type correspondant aux trois axes mesurés. Les spectres en fréquence moyens correspondants sont également obtenus.

4.0 RÉSULTATS

4.1 L'exposition au bruit

Les données relatives à la puissance acoustique globale et à la pression acoustique à l'oreille de l'opérateur apparaissent dans le tableau 1 pour chacune des deux foreuses opérant aux trois pressions spécifiées. Les spectres en fréquence de la pression acoustique estimée à l'oreille de l'opérateur sont comparés pour chacune des deux foreuses dans les figures 3, 4 et 5, dans la gamme de fréquences 20 Hz à 20 kHz (bandes tiers d'octave). Les niveaux de pression acoustique du tableau 1 sont des valeurs moyennes résultant de plusieurs mesures. Les niveaux globaux de pression acoustique correspondant aux spectres peuvent donc être différents de quelques dixièmes de dB(A) des valeurs indiquées au tableau 1.

De façon générale, la foreuse hydraulique génère des niveaux de bruit plus bas que la foreuse pneumatique sur toute la gamme de fréquence d'intérêt. L'atténuation maximale par rapport à la foreuse pneumatique se produit aux bandes de fréquence centrées entre 125 et 250 Hz à basse et moyenne pressions. L'atténuation maximale semble être obtenue à des fréquences légèrement plus basses à haute pression.

Globalement, la pression acoustique de la foreuse hydraulique est d'au moins 10 dB(A) plus basse que celle de la foreuse pneumatique.

Pour la foreuse pneumatique, lorsque la pression d'entrée augmente, la pression d'échappement augmente et la pression acoustique augmente elle aussi, ce qui est probablement dû au fait que l'échappement d'air est une source acoustique importante.

La foreuse hydraulique fonctionne en circuit fermé, il n'y a donc pas a priori de relation directe entre la pression acoustique et la pression d'alimentation. Une des observations que l'on peut faire, c'est qu'à moyenne pression du fluide moteur, la pression acoustique est légèrement supérieure à celle mesurée aux autres pressions du fluide.

L'intensimétrie acoustique permet de déterminer la contribution du fleuret de la foreuse au bruit de l'ensemble. Le tableau 2 présente la puissance acoustique du fleuret et celle du reste de la foreuse.

Dans le cas de la foreuse pneumatique, on peut se rendre compte que le fleuret ne génère que 15 % de l'énergie acoustique totale de la foreuse à 0,48 MPa. Par contre, le fleuret de la foreuse hydraulique génère 78 % de l'énergie acoustique totale de la foreuse à 10,0 MPa, bien que cette énergie soit inférieure à celle de la foreuse pneumatique.

Il est donc clair que le rayonnement acoustique du fleuret est une source importante de bruit pour la foreuse hydraulique contrairement à la foreuse pneumatique pour laquelle l'échappement d'air comprimé constitue vraisemblablement la source la plus importante.

Le principe de transmission de la puissance mécanique à la tête de forage par le fleuret est différent pour chaque type de foreuse. La foreuse hydraulique donne au fleuret une série de petites impulsions très rapprochées en la faisant tourner un peu à chaque impulsion. La foreuse pneumatique, quant à elle, donne une série de plus grosses impulsions un peu plus décalées. C'est probablement la

différence de principe qui fait que le fleuret de la foreuse hydraulique a une puissance acoustique de plus de deux fois plus faible (4 dB(A)) que celle de la foreuse pneumatique. Étant soumise à des contraintes moins sévères, le fleuret de la foreuse hydraulique rayonne moins de bruit que celle de la foreuse pneumatique.

En résumé, les mesures de l'exposition au bruit indiquent que:

- le niveau de bruit à l'opérateur pour une foreuse hydraulique est de l'ordre de 115 à 120 dB(A) au lieu de 125 à 130 dB(A) pour une foreuse pneumatique;
- le niveau de bruit produit par une foreuse hydraulique est d'environ 10 dB(A) inférieur à celui d'une foreuse pneumatique;
- le fleuret constitue la source de bruit dominante pour la foreuse hydraulique, bien que la puissance acoustique soit inférieure à celle provenant du fleuret de la foreuse pneumatique pour laquelle l'échappement d'air constitue la source de bruit dominante.

4.2 L'exposition aux vibrations mains-bras

Les spectres en fréquence des vibrations enregistrées sur la poignée des deux foreuses opérant à basse pression apparaissent aux figures 6, 7 et 8 pour les axes de mesure x_h , y_h et z_h respectivement. Ces spectres représentent une moyenne de spectres individuels produits pour chaque trou foré. Tous ont la même tendance: les niveaux efficaces de vibration augmentent en fonction de la fréquence pour chaque axe de mesure, la fréquence dominante, en ce qui a trait à l'exposition aux vibrations, étant de 31,5 Hz pour la foreuse pneumatique et de 63 Hz pour la foreuse hydraulique, correspondant à la fréquence centrale de la bande de tiers d'octave dans laquelle se retrouve la fréquence de percussion (spectres pondérés en fréquence selon les spécifications de la norme ISO 5349).

Le niveau d'accélération globale pondérée, $a_{h,w}$, représentant l'énergie vibratoire cumulée entre 6,3 et 1 250 Hz, est calculé pour chacun des trous forés et pour chacun des trois axes de mesure. À partir de ces données, on constate que l'angle de la béquille, elle-même étant modifiée par la hauteur à laquelle le trou est foré, n'a aucune influence significative sur le niveau de vibration enregistré au niveau des poignées. À titre d'exemple, le tableau 3 présente les résultats obtenus à basse pression avec la foreuse hydraulique.

Un sommaire des résultats concernant l'accélération globale pondérée apparaît dans les figures 9, 10 et 11 pour les vibrations mesurées à basse, haute et moyenne pression,

respectivement. Tel que prévu, ces résultats indiquent que l'axe dominant des vibrations se situe selon l'axe z_h , correspondant à l'axe de percussion des foreuses. Les niveaux de vibration mesurés avec la foreuse hydraulique (émulsion) sont inférieurs à ceux mesurés avec la foreuse pneumatique, particulièrement en directions transversales (x_h et y_h) où les niveaux sont de 35 à 43 % inférieurs à ceux mesurés avec la foreuse pneumatique. Selon l'axe de percussion, les niveaux sont tout au plus inférieurs de 29 % avec la foreuse hydraulique, comparativement à la foreuse pneumatique.

La somme vectorielle représente la somme quadratique des accélérations globales pondérées mesurées dans chaque direction. De façon globale, les niveaux de vibration sont de 25 à 33 % inférieurs avec la foreuse hydraulique, comparativement à la foreuse pneumatique, suivant ainsi la même tendance qu'avec l'axe dominant z_h .

La variation des niveaux de vibrations avec la pression d'utilisation est représentée schématiquement à la figure 12 pour les vibrations selon l'axe de percussion (z_h). Seuls les niveaux de vibration enregistrés avec la foreuse hydraulique semblent augmenter en fonction de la pression d'utilisation. Cette tendance existe également pour la somme vectorielle. Cependant, aucune relation entre les niveaux de vibrations et la pression d'utilisation ne semble exister pour la foreuse pneumatique, ni dans les directions x_h et y_h .

La différence vibratoire majeure entre les deux types de foreuses semble provenir du fait qu'avec la foreuse hydraulique, les niveaux de vibrations sont réduits de façon importante selon les directions transversales (x_h et y_h), comparativement à la foreuse pneumatique. Ceci s'expliquerait par le fait que la force de frappe étant plus faible pour la foreuse hydraulique, le fleuret est moins apte à être mis en flexion, réduisant ainsi les mouvements transversaux observés avec la foreuse pneumatique.

4.3 Caractéristiques des vibrations

- le facteur de crête

Le facteur de crête, représentant le rapport de l'accélération crête pondérée du signal vibratoire à l'accélération efficace pondérée pour un signal évoluant sur une période d'une minute, est de façon surprenante, peu élevé si l'on tient compte du caractère impulsionnel des vibrations générées par les foreuses (tableau 4). Ceci tient probablement au fait que le caractère impulsionnel des vibrations apparaît à fréquences très élevées, excédant celles considérées comme étant les plus dommageables (i.e. 6,3 à 1 250 Hz) dans la norme ISO 5349. En appliquant la pondération ISO, les composantes hautes fréquences sont exclues du calcul des accélérations, influençant ainsi le facteur de crête.

D'après les données apparaissant au tableau 4, peu ou pas de différence existe dans le facteur de crête mesuré pour chaque type de foreuse. Le degré impulsif des vibrations serait plus élevé en direction latérale (axe y_r) que selon l'axe de percussion, ce qui semble suggérer que le facteur de crête, tel que défini, donne une très mauvaise description du degré impulsif des vibrations dans les cas où de très importants niveaux de vibrations (excédant 400 ms^{-2}) sont enregistrés à fréquences élevées (supérieures à $1\ 250 \text{ Hz}$).

4.4 Susceptibilité d'atteinte du phénomène de Raynaud

La relation dose-effet proposée en annexe de la norme ISO 5349 peut être utilisée pour estimer la période de latence (i.e. nombre d'années d'exposition) requise pour voir apparaître des symptômes associés au phénomène de Raynaud chez une population de travailleurs. Le tableau 5 présente la durée de la période de latence estimée à partir du niveau de vibration mesuré pour chacune des deux foreuses à chacune des pressions d'opération. Cette durée apparaît pour 10,25 et 50 % d'une population atteinte, en assumant une durée d'exposition quotidienne de 1,5 heure. Selon ces données, la période de latence requise pour que 50 % des travailleurs soient atteints serait d'environ 4,5 années avec la foreuse pneumatique et varierait entre 5,1 et 6,2 années avec la foreuse hydraulique.

L'analyse ci-dessus ne tient cependant pas compte de la différence de productivité obtenue avec les deux types de foreuses. À ce titre, le tableau 6 présente le taux de pénétration tel que mesuré dans une étude parallèle² pour chacune des foreuses. On estime de plus, que lors d'un quart de travail, la distance de roc foré atteint 55 mètres. La durée requise pour forer cette distance peut ainsi être estimée pour chaque foreuse à chacune des pressions d'opération. Ces données apparaissent dans le tableau 6 en plus du niveau moyen de vibration $a_{p,w}$, du niveau de vibration équivalent à 4 heures d'exposition ($a_{p,w}$) eq(4) et de la période de latence pour 10 et 50 % d'une population atteinte.

À production égale (55 m/jour), la période de latence pour que 50 % des travailleurs soient atteints se situe en deçà de 5 années avec la foreuse pneumatique et 6 années avec la foreuse hydraulique. On constate que plus la pression est élevée, plus le taux de pénétration est grand et moins longue est la période d'exposition requise. La période de latence augmente donc en fonction de la pression d'utilisation, d'où l'intérêt à optimiser cette pression. À pression équivalente, la période de latence pourrait donc augmenter entre 28 % à haute pression et 44 % à basse pression si la foreuse hydraulique était utilisée plutôt que la foreuse pneumatique.

La période de latence rapportée dans la littérature pour les utilisateurs de foreuses pneumatiques en Colombie Britannique⁵ se situe à 7,5 années en moyenne et à 13,5 années dans une mine de cuivre du Québec⁶. Le fait que la période de latence calculée dans la présente étude soit inférieure à la période de latence observée chez les mineurs pourrait constituer une preuve additionnelle voulant que la relation dose-effet retrouvée dans ISO 5349 sous-estime la période de latence réelle. Une autre relation dose-effet qui tiendrait compte du caractère impulsif des vibrations ainsi que des vibrations de fréquences supérieures à 1,25 kHz serait probablement nécessaire dans le cas d'outils percutants.

Enfin, les résultats suggèrent que la foreuse hydraulique retarderait les premiers signes d'apparition de blanchissement des doigts de 1 à 1,5 année comparativement à la foreuse pneumatique.

5.0 CONCLUSION

La foreuse hydraulique permet une diminution nette du niveau d'exposition au bruit d'environ 10 dB(A) par rapport à une foreuse pneumatique de puissance équivalente. Le niveau de bruit estimé dans une galerie souterraine demeure quand même relativement élevé, se situant entre 115 et 120 dB(A) comparativement à 125 à 130 dB(A) pour la foreuse pneumatique. Le rayonnement acoustique du fleuret serait la source la plus importante de bruit pour la foreuse hydraulique, bien que les niveaux de bruit soient de beaucoup inférieurs à ceux de la foreuse pneumatique.

Les niveaux de vibration mains-bras sont significativement moins élevés pour la foreuse hydraulique que pour la foreuse pneumatique, particulièrement en directions transversales à l'axe de percussion, où la réduction est supérieure à 40 %. Selon l'axe de percussion, l'atténuation est inférieure à 30 %. La pression d'alimentation provoque un effet sur les niveaux de vibration seulement pour les vibrations engendrées par la foreuse hydraulique selon l'axe de percussion, où une augmentation des niveaux est notée en fonction de la pression.

À productivité égale, la période de latence estimée avant l'apparition de blanchissement des doigts serait inférieure à 5 années pour la foreuse pneumatique, tandis qu'elle atteindrait 6 années avec la foreuse hydraulique. Dans les deux cas, la période de latence estimée est inférieure à la période de latence réellement observée chez les mineurs utilisant des foreuses pneumatiques.

Références citées:

1. RODGERS, L.A., EGLIN, D., HART, W.F.D. (1982). «Rock-Drill Vibration and White Fingers in Miners». Dans *Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry* par A.J. Brammer et W. Taylor, John Wiley et Sons. pp. 317-323.
2. ELBROND, J. (1990). «Étude comparative de marteaux perforateurs à béquille, pneumatique et hydraulique». Rapport du Centre de développement technologique, École Polytechnique, Montréal, Québec, 26 pages.
3. LEMIRE, G., NICOLAS, J. (1988). «Utilisation de l'intensité et de la puissance acoustique pour l'identification des sources de bruit». *Canadian Acoustic*. Vol. 13, n° 1. 7-19.
4. NORME ISO 5349 (1986). Mechanical vibration - Guideline for the Measurement and the Assessment of Human Exposure to Hand Transmitted Vibration.
5. BRUBAKER, R.L., MACKENZIE, C.J.G., HUTTON, S.G. (1986). «Vibration-induced white finger among selected underground rock drillers in British Columbia», *Scand J. Work Environ Health*, Vol. 12. pp. 296-300.
6. KING, N., MAINVILLE, C., AUGER, P. ET COLL. (1989). «Le syndrome vibratoire chez les mineurs de Chapais». Service du Génie industriel de la CSN, Montréal. 18 pages.

TABLEAU 1: PUISSANCE ACOUSTIQUE ESTIMÉE ET PRESSION ACOUSTIQUE MESURÉE À L'OREILLE DE L'OPÉRATEUR

Type de foreuse	Pression d'entrée du fluide moteur (MPa)	Puissance acoustique estimée dB(A)	Pression acoustique mesurée dB(A)
Pneumatique	0,48	124,2	118,9
Pneumatique	0,52	125,8	119,6
Pneumatique	0,58	127,0	121,2
Hydraulique	10,0	113,2	108,2
Hydraulique	11,9	115,6	110,5
Hydraulique	13,1	114,1	109,9

TABLEAU 2: PUISSANCE ACOUSTIQUE DU FLEURET ET DU CORPS DE LA FOREUSE

Type de foreuse	Pression d'entrée du fluide moteur (MPa)	Puissance acoustique dB(A)	
		Fleuret	Corps de la foreuse
Pneumatique	0,48	116,1	123,4
Hydraulique	10,0	112,1	106,7

TABLEAU 3: VARIATION DES NIVEAUX DE VIBRATION AVEC LA HAUTEUR DES TROUS FORÉS AVEC LA FOREUSE HYDRAULIQUE À BASSE PRESSION

Rangée	$a_{h,w}(ms^{-2})$			Somme vectorielle
	Axe z_h	Axe y_h	Axe x_h	
5	17,9 ± 0,9 (63,1 Hz)*	8,3 ± 0,8 (63,1 Hz)	10,5 ± 0,4 (63,1 Hz)	22,4
4	16,1 ± 0,6 (63,1 Hz)	7,9 ± 0,6 (63,1 Hz)	10,8 ± 0,2 (63,1 Hz)	20,9
3	17,8 ± 2,3 (63,1 Hz)	7,7 ± 0,3 (63,1 Hz)	10,9 ± 0,1 (63,1 Hz)	22,2
2	18,8 ± 2,5 (63,1 Hz)	7,9 ± 0,4 (63,1 Hz)	10,8 ± 0,3 (63,1 Hz)	23,1
1	18,4 ± 1,4 (63,1 Hz)	7,8 ± 0,6 (63,1 Hz)	10,6 ± 0,3 (63,1 Hz)	22,6
	X: 17,8 ± 1,8	7,9 ± 0,5	10,7 ± 0,3	22,2 ± 0,8

* Indique la bande de fréquence dominante de tiers d'octave (en ce qui a trait à l'exposition aux vibrations).

TABEAU 4: FACTEUR DE CRÊTE ASSOCIÉ AUX VIBRATIONS MESURÉES POUR CHAQUE FOREUSE DANS CHACUNE DES DIRECTIONS

Pression	Facteur de crête f_c					
	Axe z_n		Axe y_n		Axe x_n	
	Pneumatique	Hydraulique	Pneumatique	Hydraulique	Pneumatique	Hydraulique
Basse	4,9 ± 0,5	5,1 ± 0,6	6,9 ± 1,6	5,8 ± 0,5	3,5 ± 0,1	4,6 ± 0,5
Moyenne	5,0 ± 0,2	4,7 ± 0,4	6,9 ± 0,2	6,2 ± 0,9	3,7 ± 0,2	4,7 ± 2,9
Haute	5,2 ± 1,5	5,1 ± 1,0	7,3 ± 2,1	6,7 ± 2,1	4,0 ± 0,6	4,1 ± 0,3

TABEAU 5: PÉRIODE DE LATENCE ESTIMÉE POUR LES FOREUSES PNEUMATIQUE ET HYDRAULIQUE

Pourcentage de population atteinte	Période de latence* (années)					
	Hydraulique			Pneumatique		
	Basse pression	Moyenne pression	Haute pression	Basse pression	Moyenne pression	Haute pression
10	2,8	2,5	2,3	2,0	2,0	2,0
25	4,4	4,0	3,6	3,1	3,2	3,2
50	6,2	5,6	5,1	4,4	4,6	4,5

* En supposant une durée d'exposition quotidienne de 1,5 heure (indépendant de la productivité respective des deux types de foreuses).

TABEAU 6: ÉVALUATION DE LA PÉRIODE DE LATENCE T_F À PRODUCTION ÉQUIVALENTE

	Hydraulique			Pneumatique			
	Basse pression	Moyenne pression	Haute pression	Basse pression	Moyenne pression	Haute pression	
Taux de pénétration (cm/s)	0,87	1,16	1,39	0,79	0,98	1,09	
Temps de forage pour 55 m (h)	1,76	1,32	1,10	1,93	1,56	1,40	
$a_{n,w}$ (ms^{-2})	17,8	19,4	21,4	24,9	23,9	24,3	
$(a_{n,w})_{eq(4)}$ (ms^{-2})	11,8	11,1	11,2	17,3	14,9	14,4	
T_F (années)	10 %	2,5	2,6	2,7	1,7	2,0	2,1
	50 %	5,6	6,0	6,0	3,9	4,5	4,7

FIGURE 1A: FOREUSE À BÉQUILLE PNEUMATIQUE

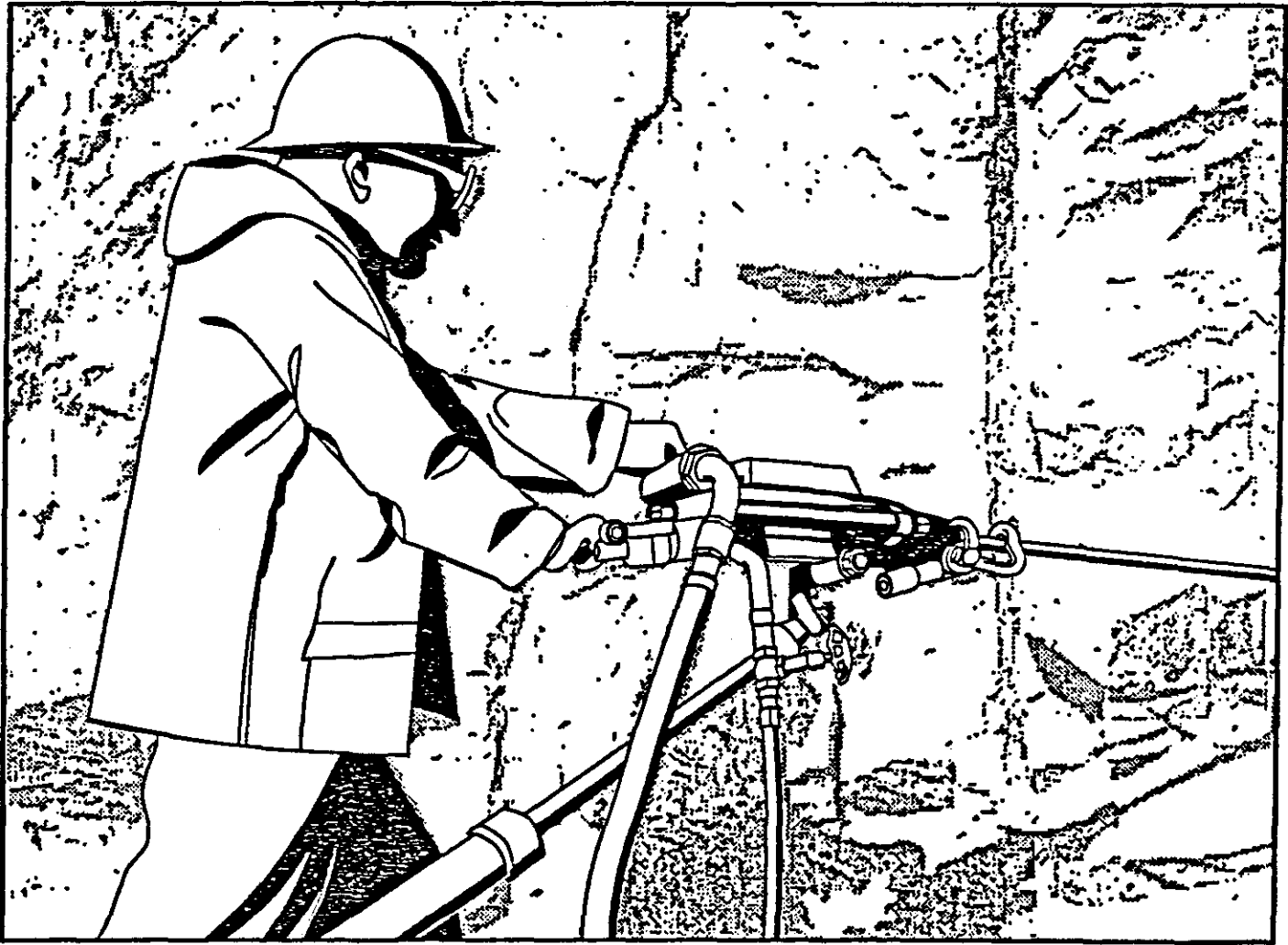


FIGURE 1B: FOREUSE À BÉQUILLE HYDRAULIQUE (À ÉMULSION)

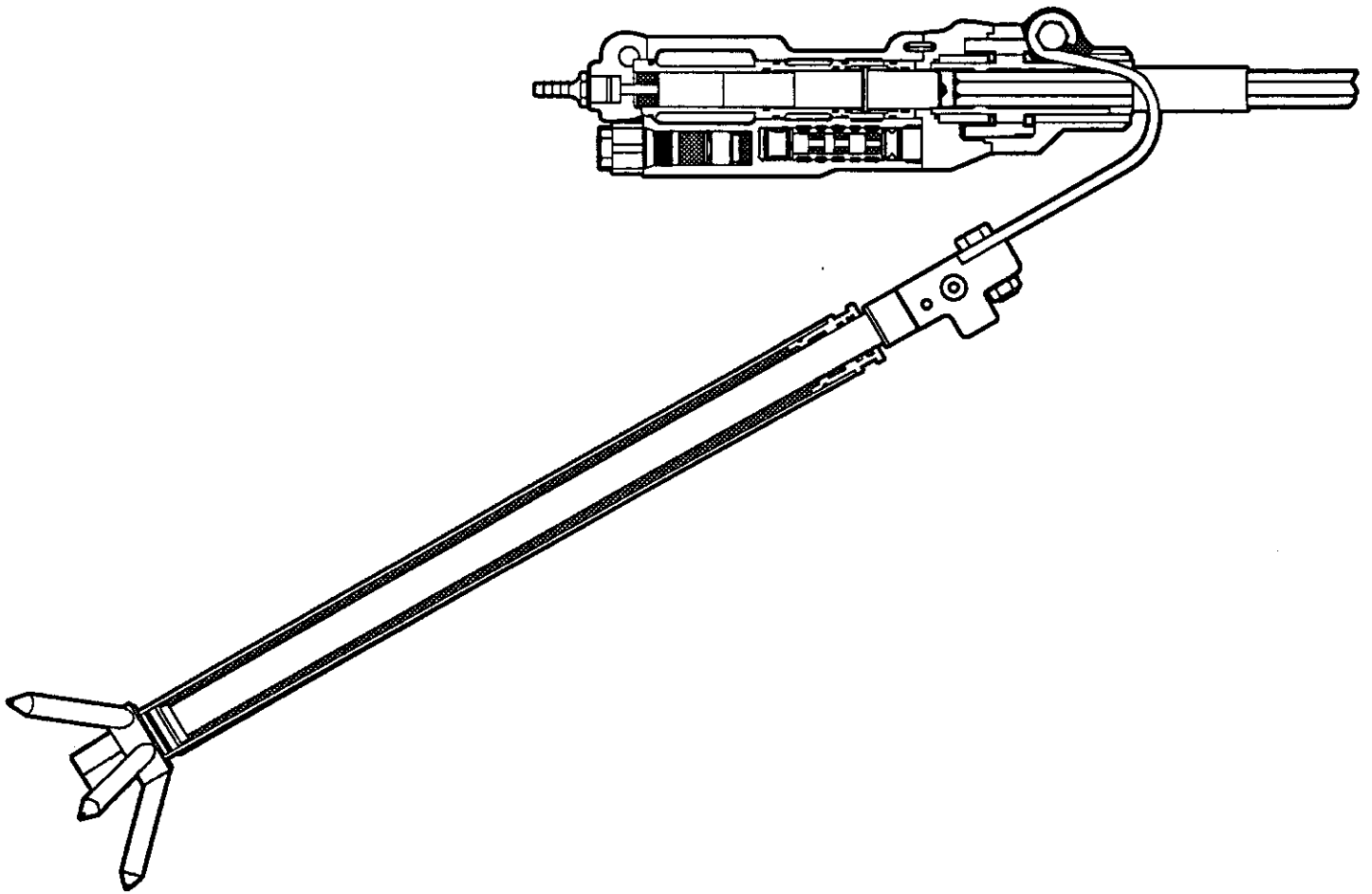


FIGURE 2: SURFACES DE BALAYAGE (EN POINTILLÉS) POUR LES MESURES D'INTENSIMÉTRIE ACOUSTIQUE

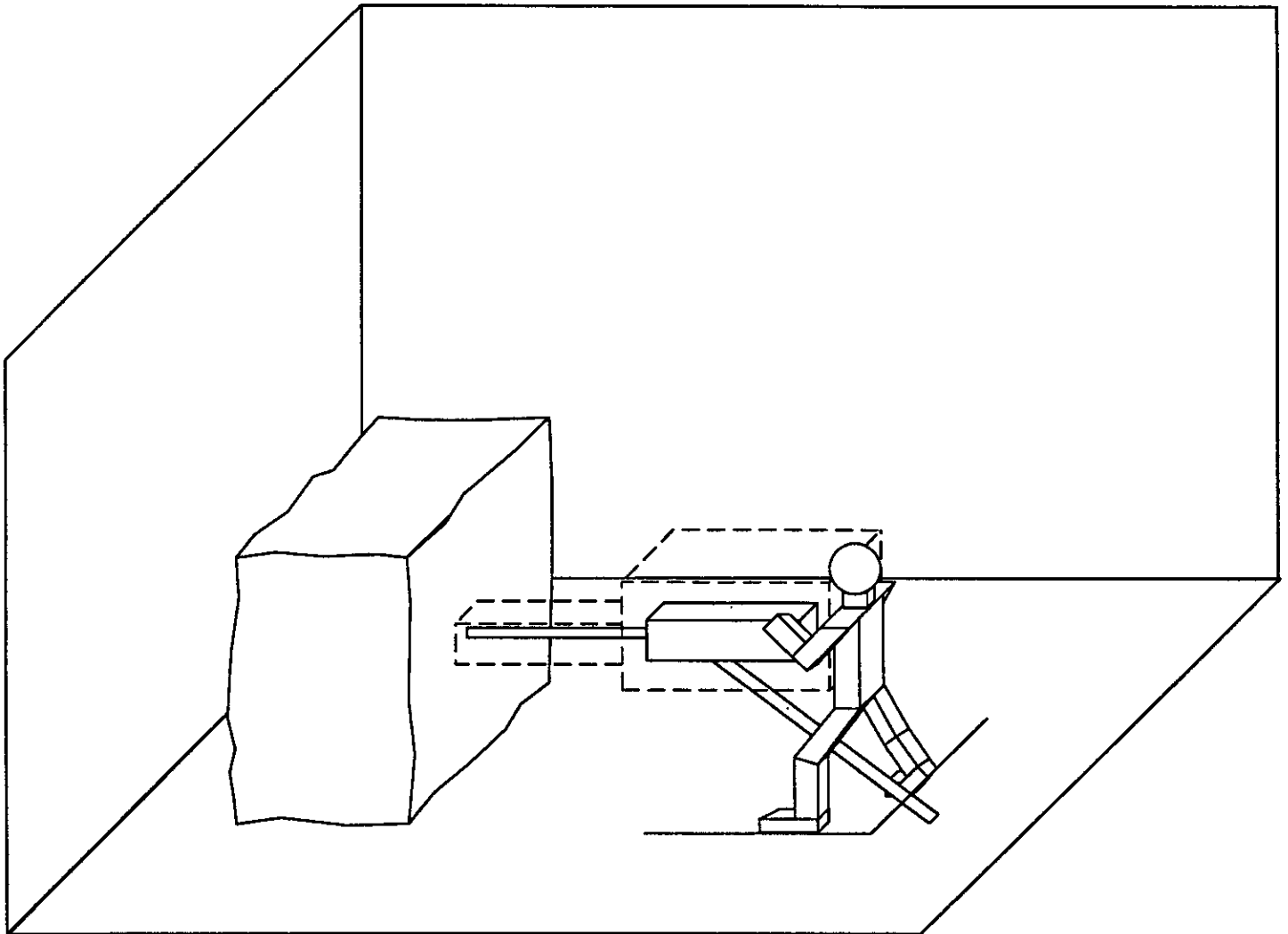


FIGURE 3: COMPARAISON DES SPECTRES DE BRUIT À BASSE PRESSION.

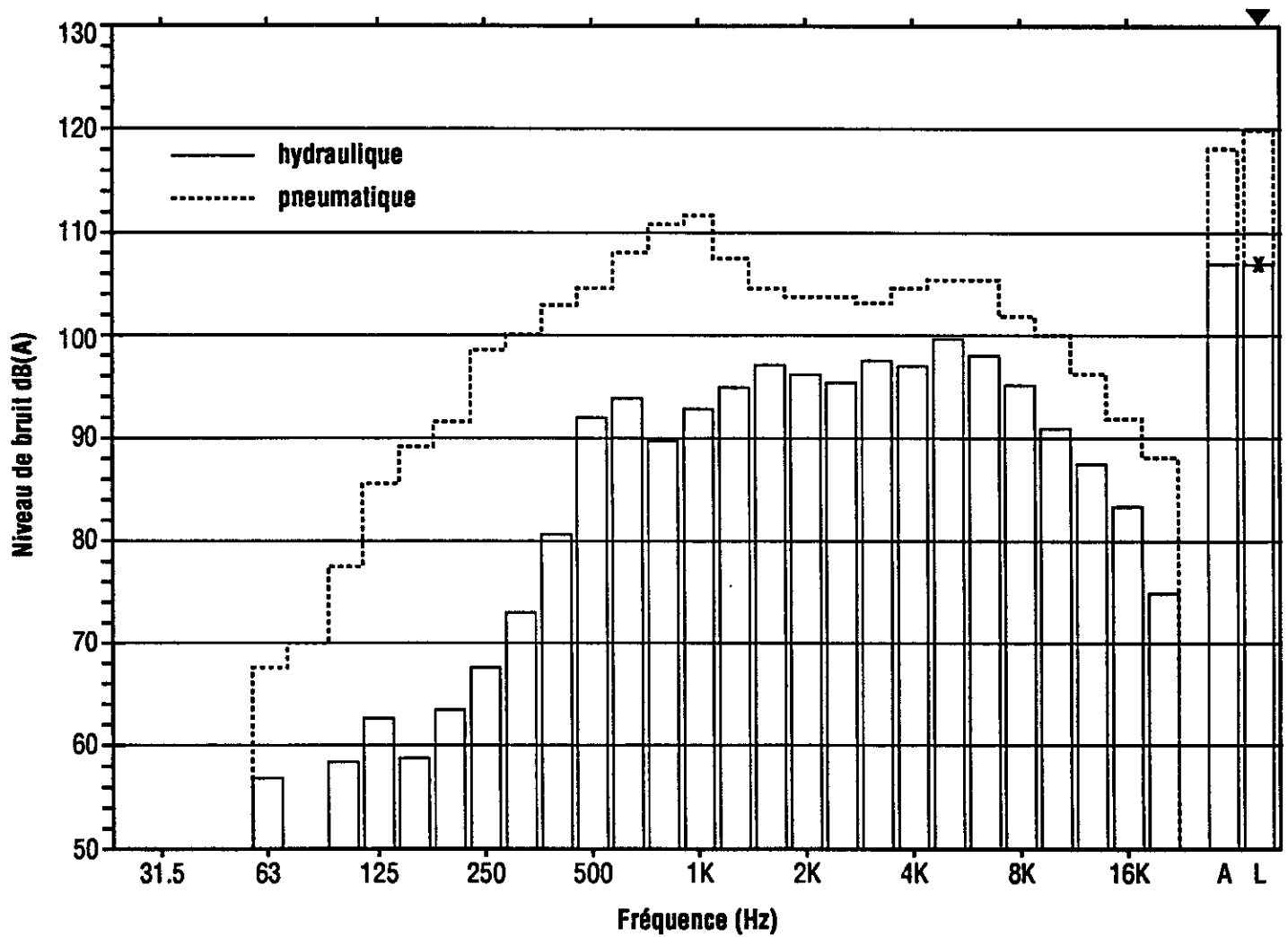


FIGURE 4: COMPARAISON DES SPECTRES DE BRUIT À PRESSION MOYENNE

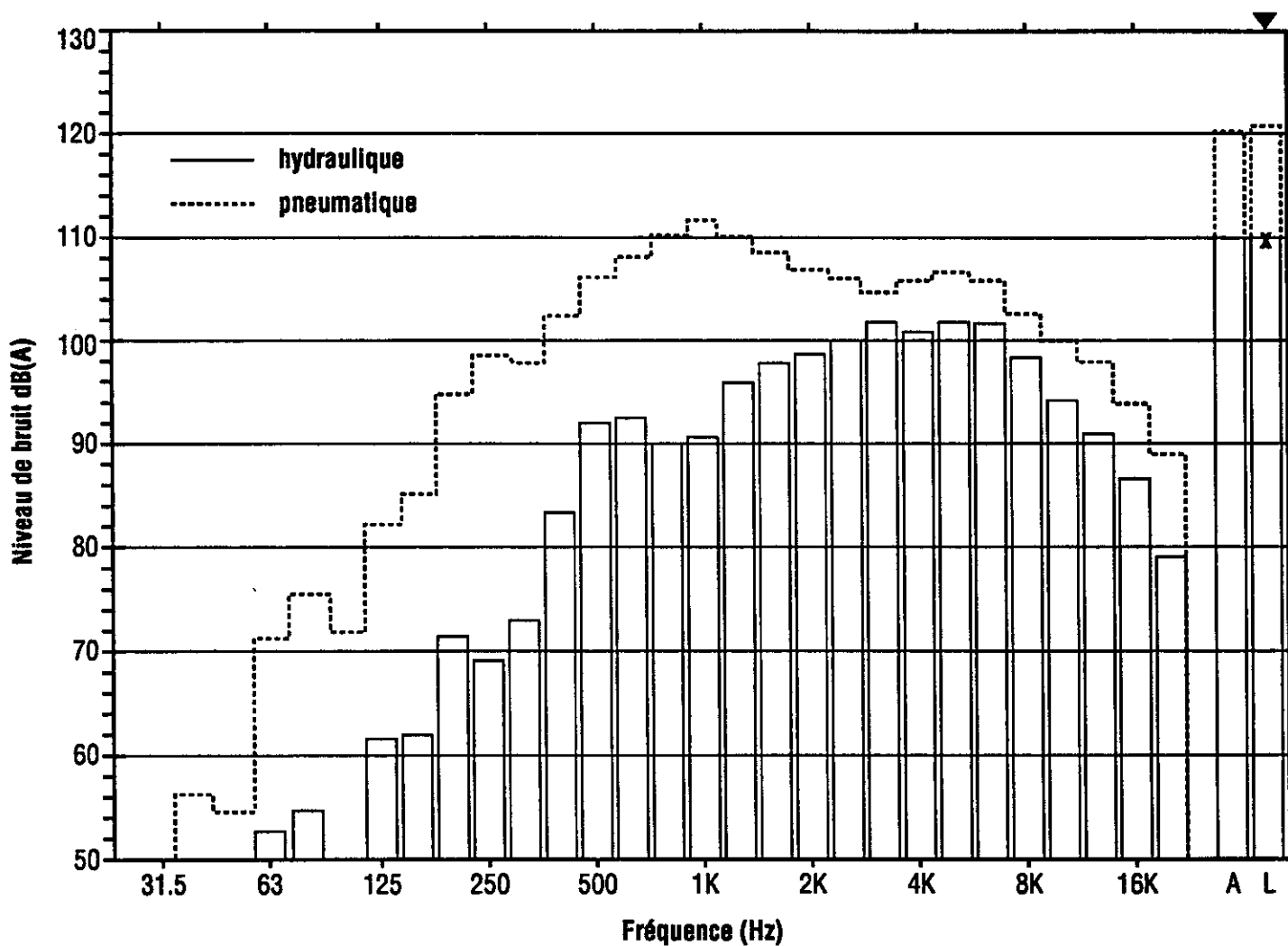


FIGURE 5: COMPARAISON DES SPECTRES DE BRUIT À PRESSION ÉLEVÉE

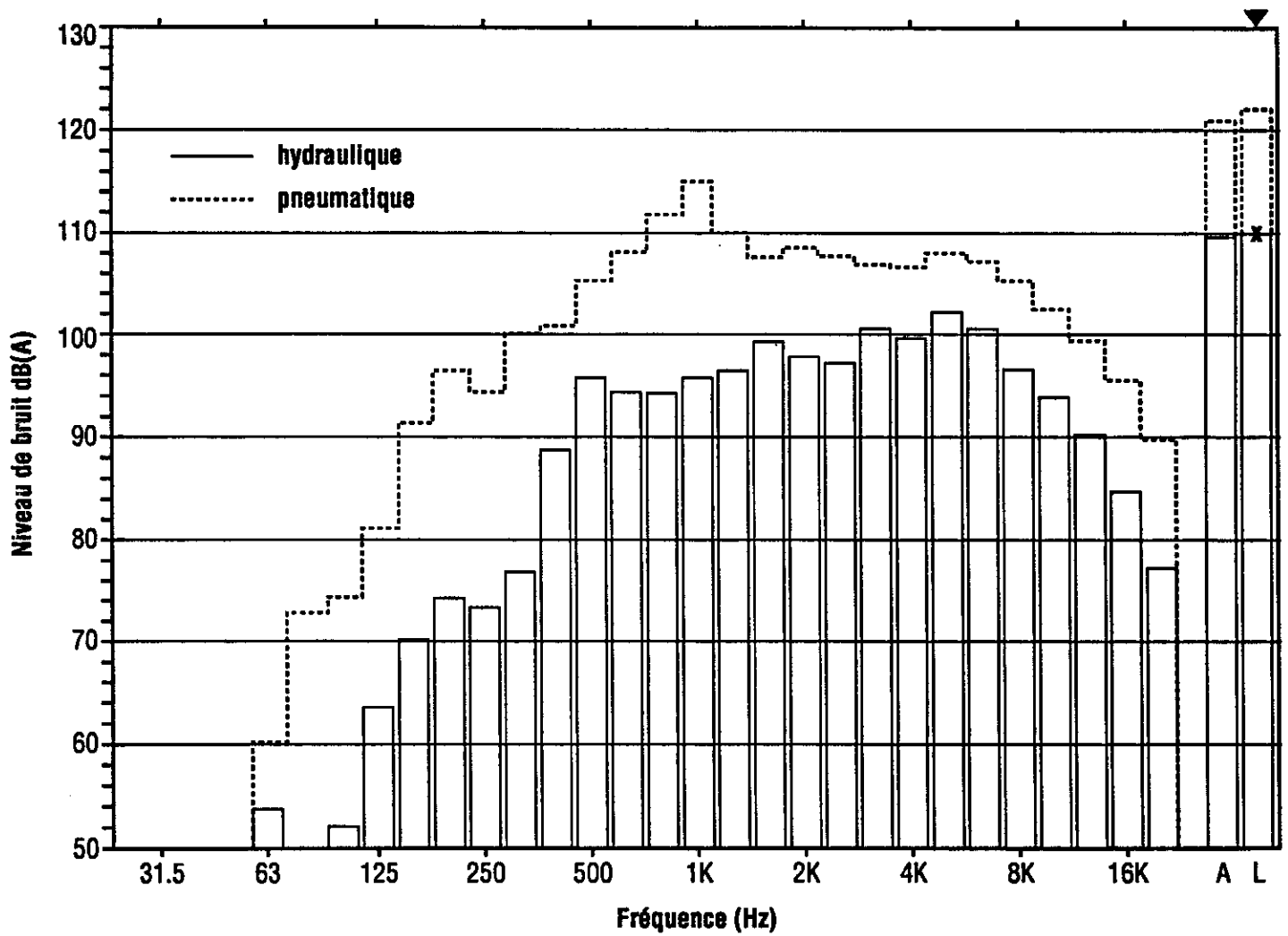


FIGURE 6: SPECTRE EN FRÉQUENCE MOYEN MESURÉ POUR LA FOREUSE PNEUMATIQUE (—) ET LA FOREUSE HYDRAULIQUE (- - -) SELON L'AXE X₁ À BASSE PRESSION

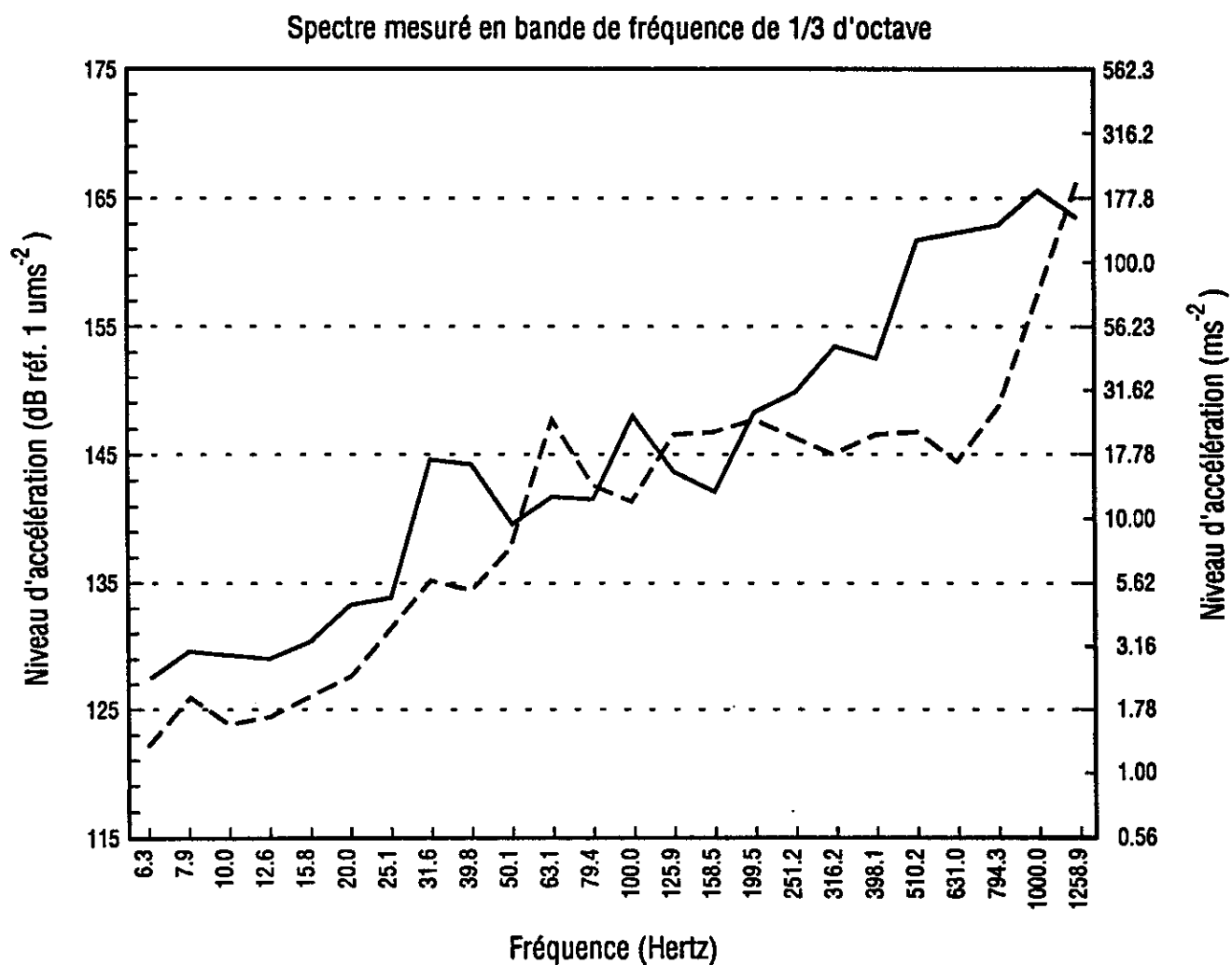


FIGURE 7: SPECTRE EN FRÉQUENCE MOYEN MESURÉ POUR LA FOREUSE PNEUMATIQUE (——) ET LA FOREUSE HYDRAULIQUE (- - -) SELON L'AXE Y₁ À BASSE PRESSION

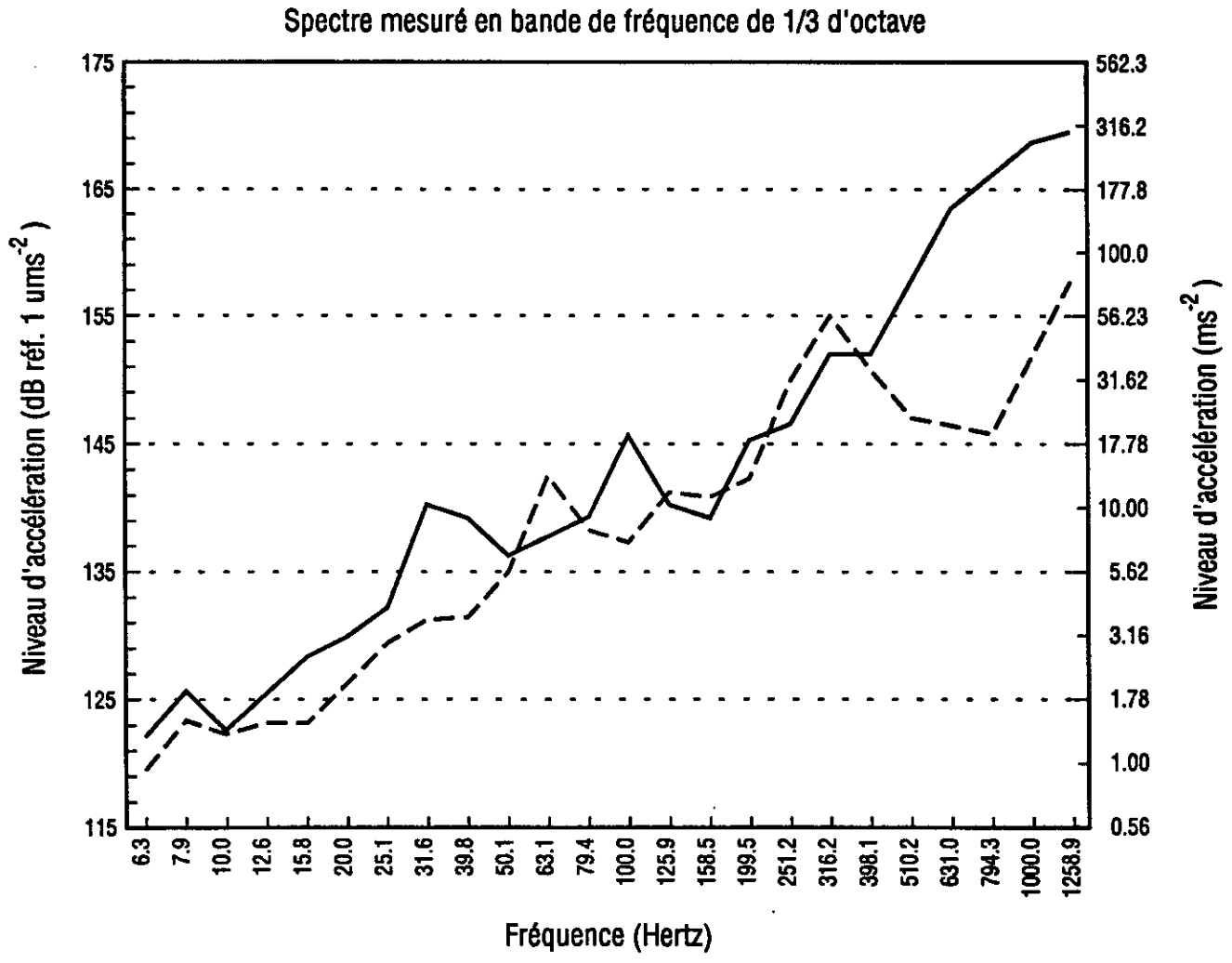


FIGURE 8: SPECTRE EN FRÉQUENCE MOYEN MESURÉ POUR LA FOREUSE PNEUMATIQUE (—) ET LA FOREUSE HYDRAULIQUE (- - -) SELON L'AXE Z_h À BASSE PRESSION

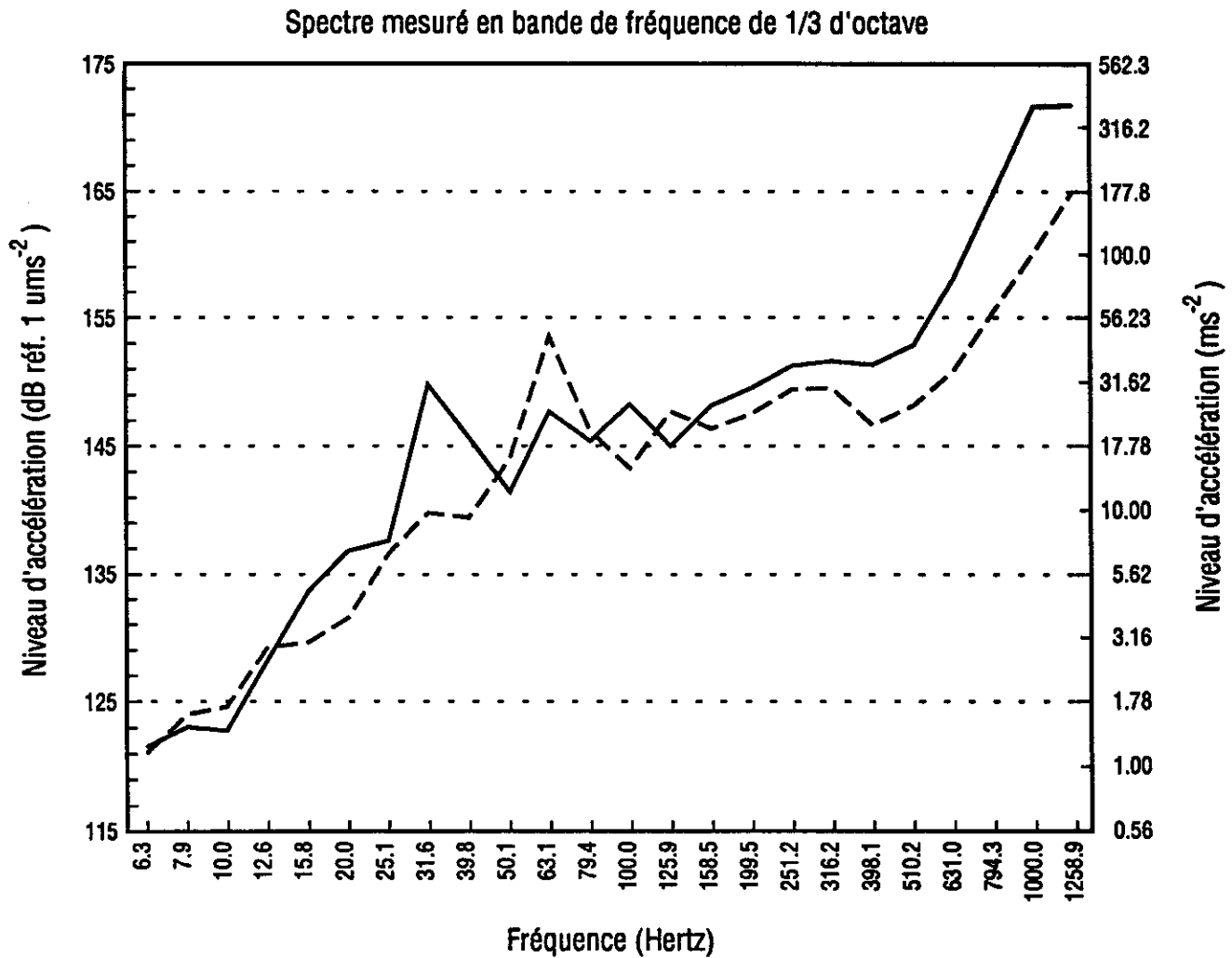
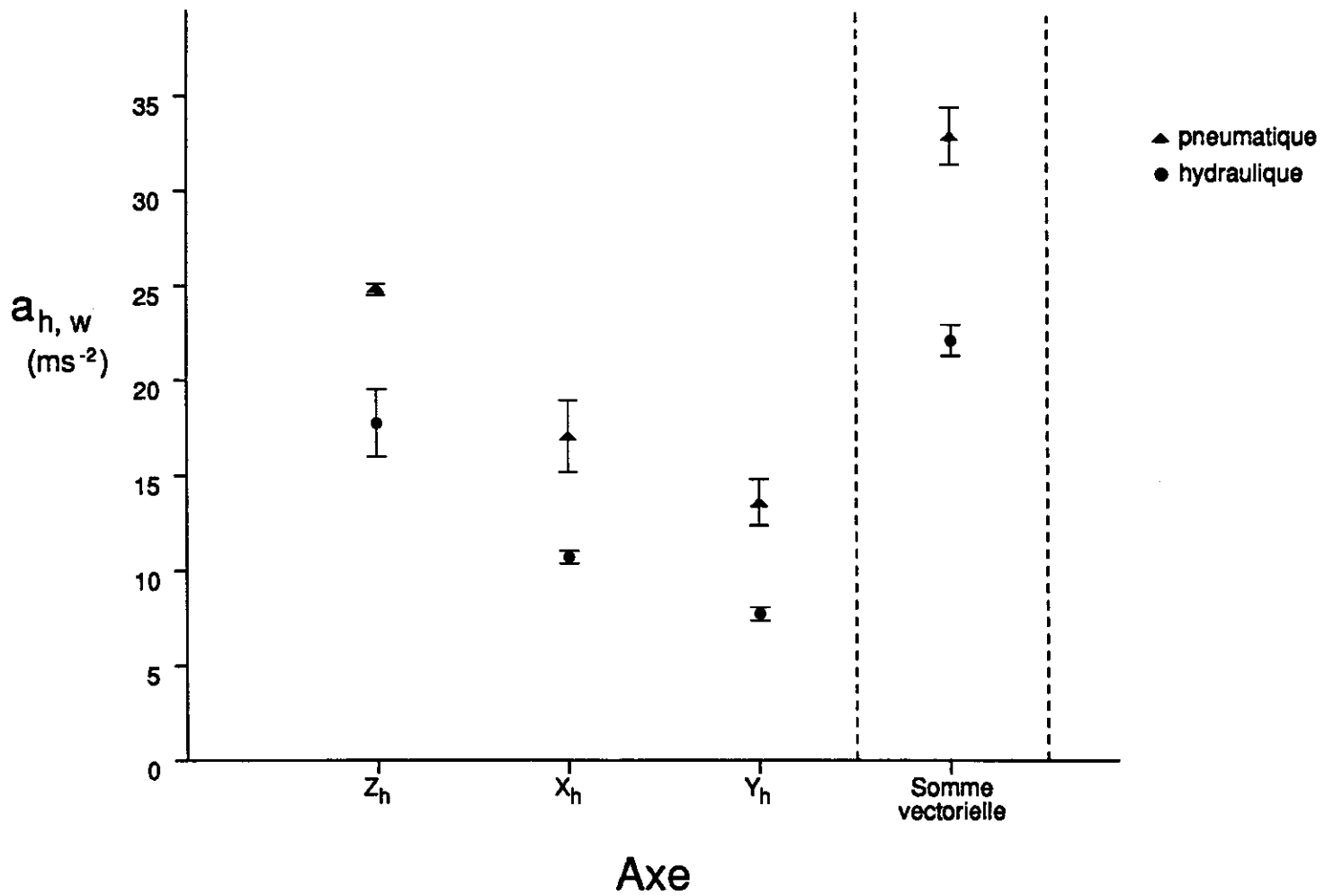


FIGURE 9: NIVEAUX D'ACCÉLÉRATION GLOBALE PONDÉRÉE;
OPÉRATION BASSE PRESSION



**FIGURE 10: NIVEAUX D'ACCÉLÉRATION GLOBALE PONDÉRÉE;
OPÉRATION HAUTE PRESSION**

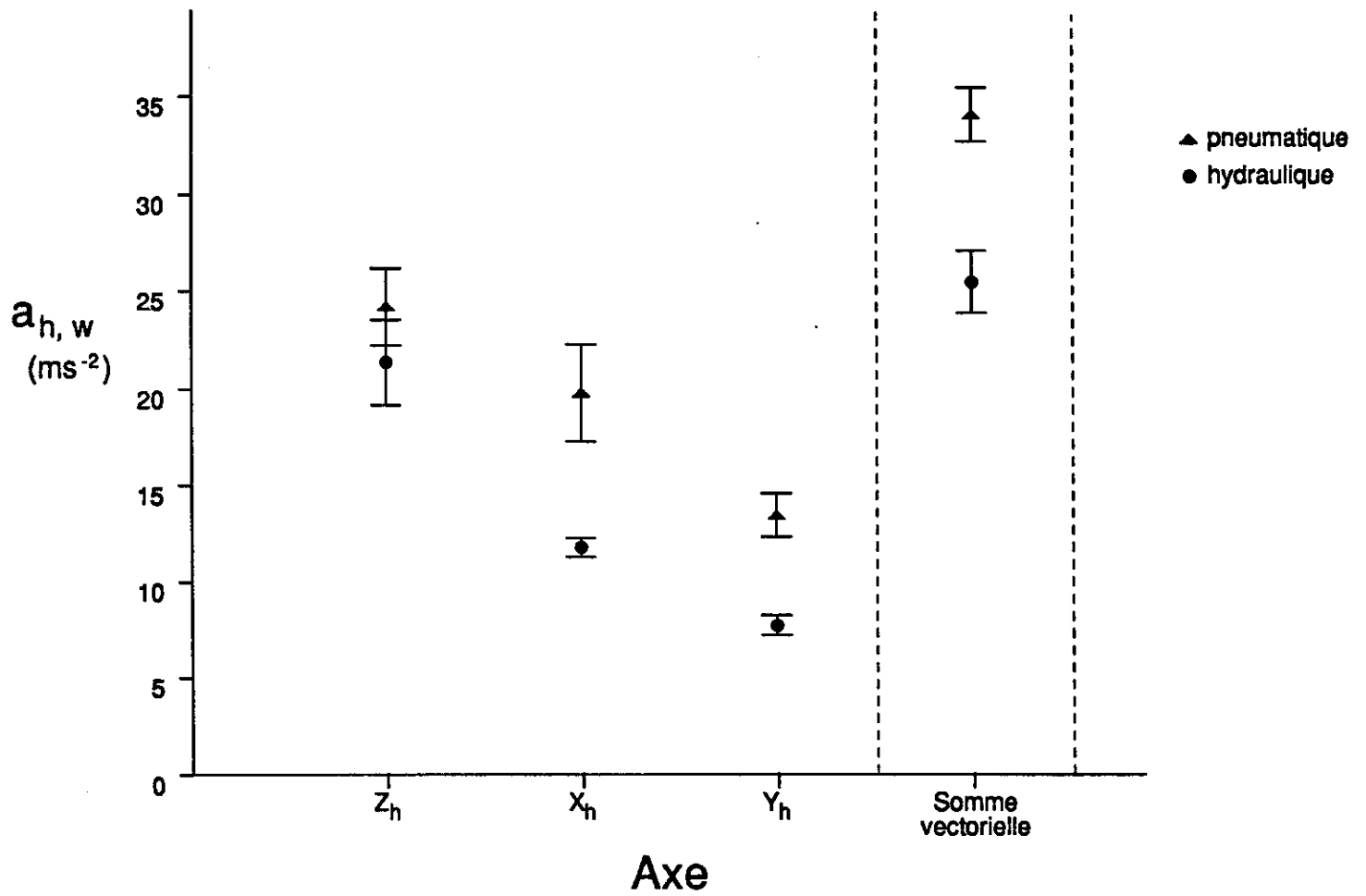


FIGURE 11: NIVEAUX D'ACCÉLÉRATION GLOBALE PONDÉRÉE;
OPÉRATION MOYENNE PRESSION

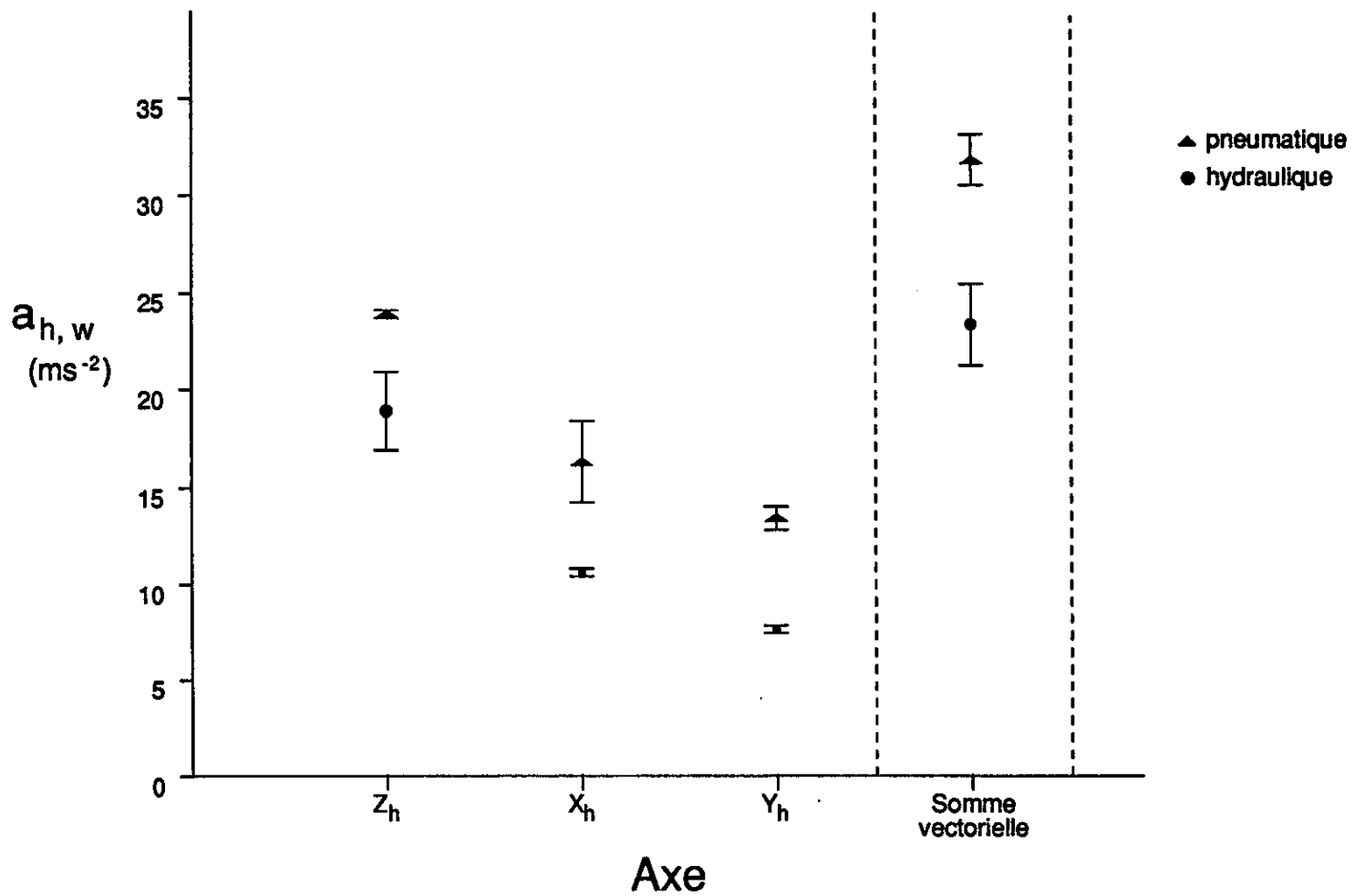


FIGURE 12: VARIATION DU NIVEAU GLOBAL DE VIBRATIONS EN FONCTION DE LA PRESSION D'UTILISATION SELON L'AXE DE PERCUSSION (z_p)

