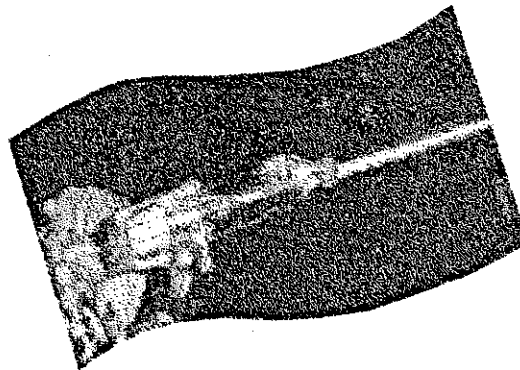


**Analyse des performances
acoustiques et vibratoires
du fleuret à foreuse
TWISTEX**

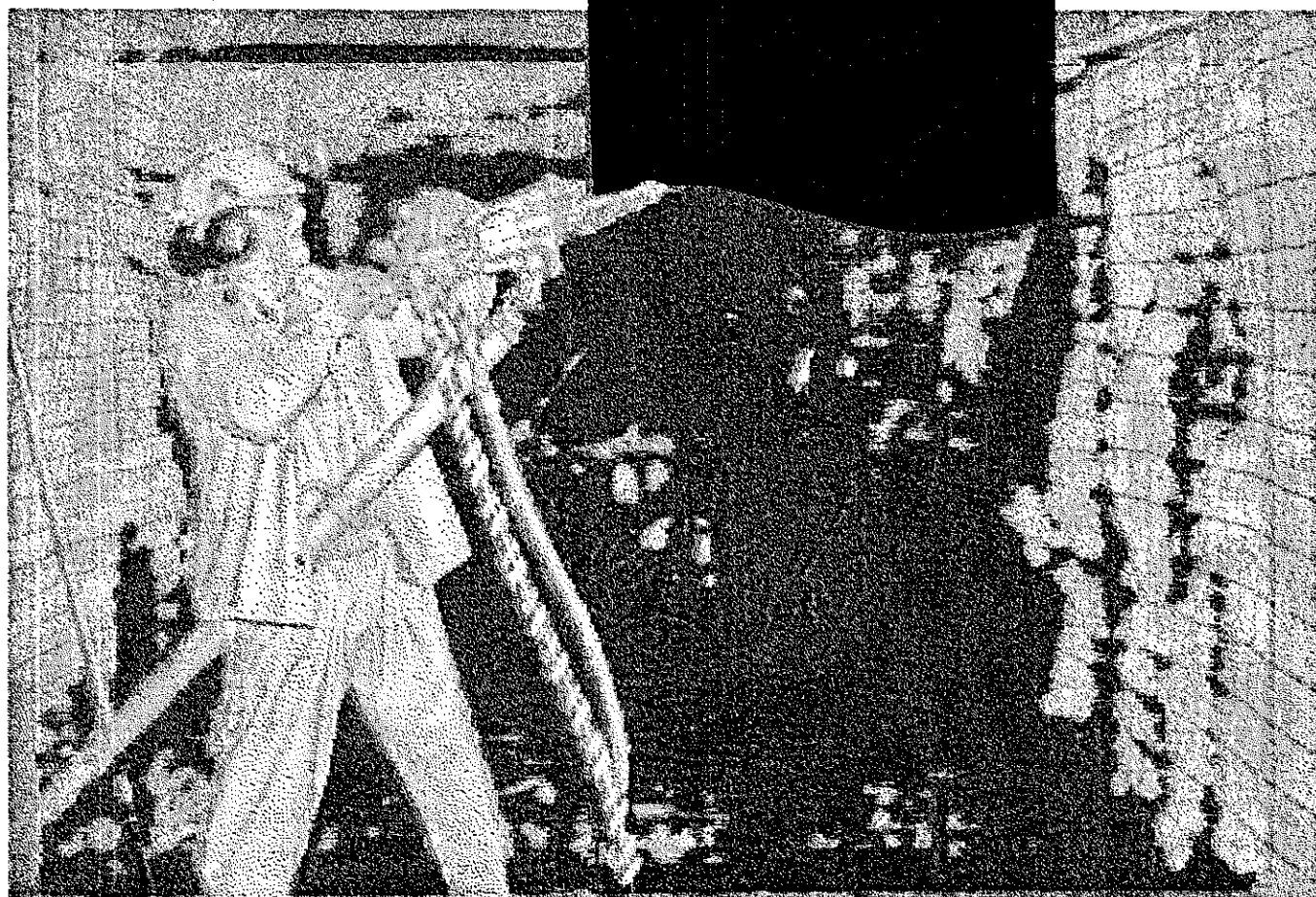


**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Noureddine Atalla

Novembre 1998 R-204

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,

**Analyse des performances
acoustiques et vibratoires
du fleuret à foreuse
TWISTEX**

**Noureddine Afalla, Rémy Oddo et Christian Langlois
Université de Sherbrooke**

**ÉTUDES
ET
RECHERCHES**

RAPPORT

Sommaire

Le but de cette étude est de comparer, dans des conditions contrôlées, les performances acoustiques et vibratoires des fleurets à foreuse TWISTEX par rapport aux fleurets standards. La méthode de mesures est inspirée de l'étude de faisabilité menée par le G.A.U.S. en vue de la réduction du bruit des tiges de foreuses [1]. Elle est adaptée au problème particulier des mesures vibratoires suivant la norme ISO 5349 et améliorée afin d'obtenir une meilleure répétitivité des mesures.

Les écarts entre les résultats des fleurets TWISTEX et standard pour les pressions acoustiques et les niveaux vibratoires sont négligeables.

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement les personnes et organismes suivants pour leur aide et leur participation à cette étude :

- M. Marcel Laflamme, de CANMET, pour nous avoir fourni la foreuse.
- Le département de Génie Civil de l'Université de Sherbrooke pour la réalisation du bloc de béton ayant servi aux essais.
- La société MAJEX inc. qui nous a fourni les fleurets à foreuse.
- L'IRSST pour son soutien financier et le prêt des filtres mécaniques pour accéléromètres.

Table des matières

SOMMAIRE.....	II
REMERCIEMENTS	III
1. INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE.....	1
2. OBJECTIF.....	1
3. MÉTHODOLOGIE	2
3.1. CONTRÔLE DES PARAMÈTRES DE FORAGE.....	2
3.2. CONDITIONS DE MESURES ACOUSTIQUES.....	4
3.3. CONDITIONS DE MESURES VIBRATOIRES.....	6
3.4. INSTRUMENTATION.....	7
3.4.1. Acoustique : prise des mesures et système de traitement.....	7
3.4.2. Vibratoire : système de traitement.....	8
3.5. MESURES.....	8
3.5.1. Prise des mesures	8
3.5.2. Répétitivité des mesures : une approche globale des résultats.....	9
3.5.2.1. Mesures acoustiques.....	9
3.5.2.2. Mesures vibratoires.....	9
4. RÉSULTATS.....	11
4.1. COMPARAISONS DES NIVEAUX ACOUSTIQUES.....	11
4.2. COMPARAISONS DES NIVEAUX VIBRATOIRES.....	12
5. CONCLUSION	15
6. BIBLIOGRAPHIE.....	16

Liste des figures

Figure #1 – Photographie du bloc de béton ayant servi pour les essais.....	2
Figure #2 – Identification des trous et pression de béquille correspondante.....	3
Figure #3 – Photographie du site des essais.....	4
Figure #4 – Photographie du collecteur d'échappement de la foreuse.....	4
Figure #5 - Photographie de l'isolation réalisée sur la foreuse.....	5
Figure #6 – Orientation des accéléromètres sur la poignée de la foreuse.....	6
Figure #7 – Schéma de montage expérimental.....	7
Figure #8 – Schéma du système de mesures acoustiques utilisé.....	7
Figure #9 – Schéma du système de mesures vibratoires utilisé.....	8
Figure #10 – Exemple de similitude des niveaux acoustiques pour différents trous avec un même fleuret.....	9
Figure #11 – Exemple de similitude des niveaux vibratoires pour différents trous avec un même fleuret.....	10
Figure #12 – Comparaison des niveaux de bruit moyens au micro fleuret.....	11
Figure #13 – Comparaison des niveaux de bruit moyens au micro opérateur.....	12
Figure #14 – Comparaison des niveaux vibratoires moyens dans l'axe de forage.....	13
Figure #15 – Comparaison des niveaux vibratoires moyens selon « y ».....	13
Figure #16 – Comparaison des niveaux vibratoires moyens selon « z ».....	14

1. Introduction et problématique

La foreuse à béquille pneumatique est très répandue dans les mines du Québec. Ceci est dû à sa flexibilité et son faible coût. Son action de forage vient du jumelage d'un mouvement de rotation et de percussion du fleuret sur le roc.

Les fortes vibrations générées par l'appareil ont des effets néfastes sur la santé de l'opérateur. Les risques reliés à l'emploi de cet outil ont déjà fait l'objet de nombreuses études. Mentionnons, entre autres, les bruits élevés et les vibrations intenses transmises aux mains de l'opérateur. Ces vibrations sont à l'origine du phénomène de Raynaud caractérisé par le blanchissement des doigts.

Une étude effectuée sur un échantillon de 61 mineurs de cuivre de Chapais, démontre les effets néfastes des outils vibrants chez leurs utilisateurs [2] : 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.

La société MAJEX inc. a contacté l'IRSST afin de vérifier l'efficacité acoustique et vibratoire d'un nouveau fleuret, le TWISTEX. Le mandat a été confié au Groupe d'Acoustique et Vibrations de l'Université de Sherbrooke (G.A.U.S.) afin de procéder à des tests comparatifs. Notons que le G.A.U.S. a déjà réalisé une étude de faisabilité en vue de la réduction du bruit des tiges de foreuses [1].

2. Objectif

L'objectif principal de cette étude est de comparer, dans des conditions contrôlées, les performances acoustiques et vibratoires des fleurets TWISTEX par rapport aux fleurets standards.

3. Méthodologie

La méthodologie reprend celle décrite dans la référence [1]. Des améliorations sont apportées afin de s'assurer d'une meilleure répétitivité des mesures. La méthode est également adaptée au problème particulier de la mesure des vibrations à la poignée.

3.1. Contrôle des paramètres de forage

Les essais extérieurs s'effectuent sur le site de l'Université de Sherbrooke.

Les paramètres de forage sont contrôlés par les éléments suivants :

- *Foreuse :*

La foreuse utilisée est une foreuse à béquille de marque *Ingersol Rand* fournie par CANMET.

- *Matériau foré homogène :*

Les trous sont forés dans un bloc de béton homogène fabriqué par le département de Génie Civil de l'Université de Sherbrooke.

Le béton utilisé a une résistance à la compression de 40 à 45 MPa.

- *Répartition uniforme des trous de forage :*

Les positions des trous est marquée avec un feutre pour assurer une répartition égale. Ils sont séparés de 45 cm les uns par rapport aux autres.

Les trous sont amorcés d'une profondeur d'environ deux centimètres (voir figure #1) de façon à éliminer les irrégularités qui sont observées au début d'une séquence de forage.

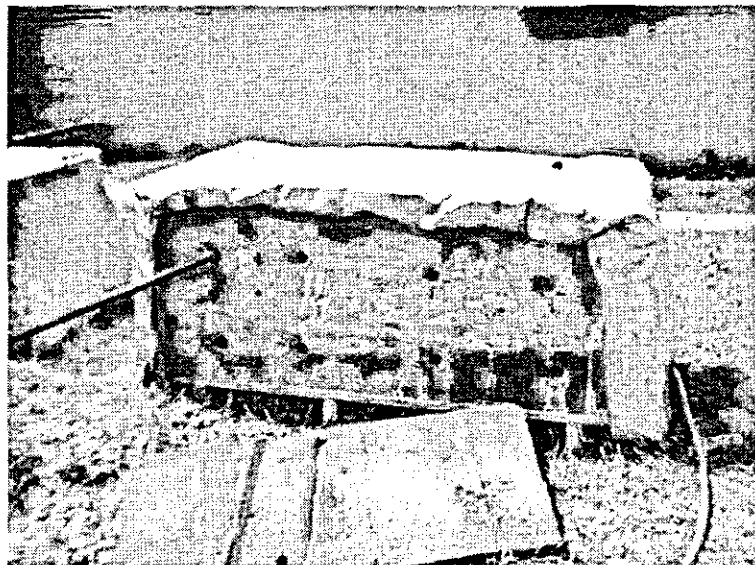


Figure #1 – Photographie du bloc de béton ayant servi pour les essais

Les trous sont forés par colonnes avec une alternance entre les fleurets TWISTEX et standard (voir figure #2). Cela permet d'éliminer l'influence reliée à la hauteur des trous. En effet, la hauteur des trous peut avoir de l'influence sur le taux de pénétration par l'entremise de la pression d'air dans la bécuille. Le phénomène est montré sur la figure #2 où les pressions dans la bécuille sont légèrement supérieures pour les trous inférieurs. La profondeur moyenne d'un trou est de 60 cm.

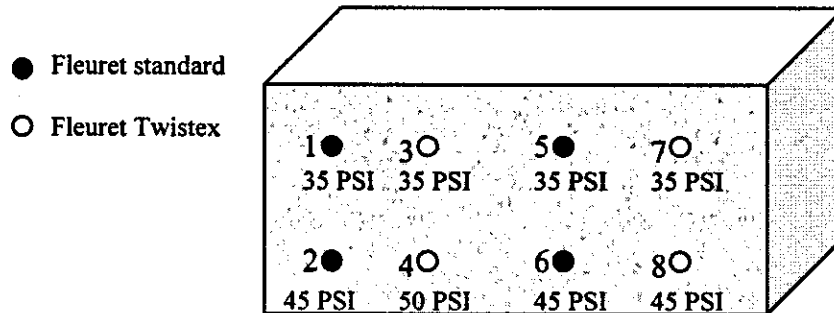


Figure #2 – Identification des trous et pression de bécuille correspondante

- *Contrôle de la force de poussée :*

Un seul opérateur effectue la série de huit trous.

La force de poussée est contrôlée en mesurant la pression d'air dans la bécuille. Notons que cette pression est proportionnelle à la force de poussée. La figure #2 illustre les faibles variations de pression observées dans la bécuille lors du forage des différents trous.

- *Contrôle de la force de percussion :*

Lors des essais, la pression est fixée à 100 PSI sur le compresseur.

Pendant l'opération de la foreuse, la pression se stabilise à 90 PSI, ce qui est la pression nominale d'utilisation de la foreuse.

- *Contrôle des bruits environnants :*

L'influence du bruit du compresseur, éloigné de plus de 80 mètres de la foreuse, est négligeable.

3.2. Conditions de mesures acoustiques

Afin de mesurer uniquement le rayonnement des fleurets, les autres sources de bruit sont éliminées par les dispositions suivantes :

- *Silencieux d'échappement spécialement conçu pour les tests :*

L'échappement d'air constitue la principale source de bruit des foreuses pneumatiques [3]. Un silencieux spécial (objet le plus à droite de la figure #3) a été conçu pour limiter le bruit lié à l'échappement d'air de la foreuse.

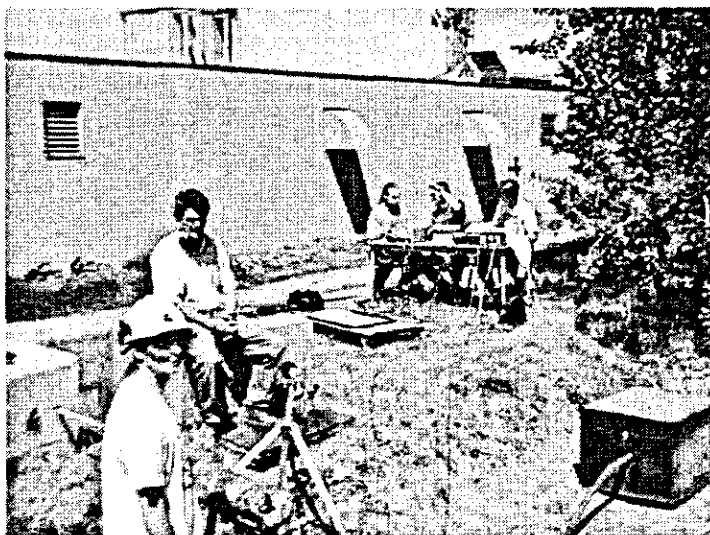


Figure #3 – Photographie du site des essais

Un collecteur spécial 2 en 1 tel qu'illustré à la figure #4 est utilisé afin de pouvoir relier la foreuse à l'enceinte dissipative.

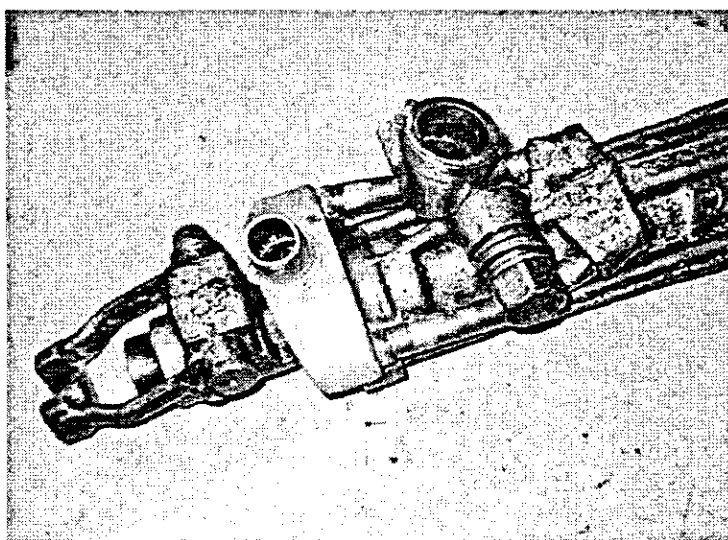


Figure #4 – Photographie du collecteur d'échappement de la foreuse

- *Capotages de plomb :*

Le corps de la foreuse est recouvert de feuilles de plomb afin d'éliminer les fuites d'air et la propagation des bruits provenant du mécanisme interne de fonctionnement. La figure #5 illustre le système d'isolation utilisé.

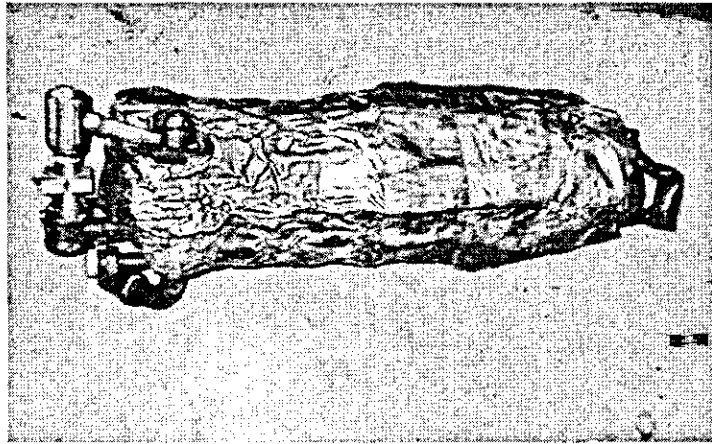


Figure #5 – Photographie de l'isolation réalisée sur la foreuse

Le rayonnement du bloc de béton est considérablement réduit en couvrant ce dernier d'une couverture de plomb. La figure #1 montre l'isolation effectuée.

3.3. Conditions de mesures vibratoires

La mesure des vibrations de la poignée est effectuée selon la norme ISO 5349.

Trois accéléromètres de type B & K 4393 sont fixés sur la poignée de la foreuse pour mesurer les accélérations (ms^{-2}).

Les accéléromètres sont tenus sur la poignée par l'entremise de filtres mécaniques de type B & K UA0559 comme illustré sur la figure #6. Ces filtres assurent le bon fonctionnement des accéléromètres en atténuant les vibrations de hautes fréquences pouvant générer d'éventuels phénomènes de repliement spectral ou « décalage du zéro ».

Les accéléromètres sont orientés selon un système de coordonnées cartésiennes par l'entremise d'un adaptateur spécialement conçu tel que défini dans la norme ISO 5349 (voir figure #6).

L'accéléromètre qui mesure les vibrations selon l'axe de forage est orienté suivant l'axe des « x ». Les deux autres sont orientés à angle droit selon l'axe des « y » correspondant à la direction parallèle à l'axe de la poignée et l'axe des « z » représentant la direction perpendiculaire à la surface de la main.

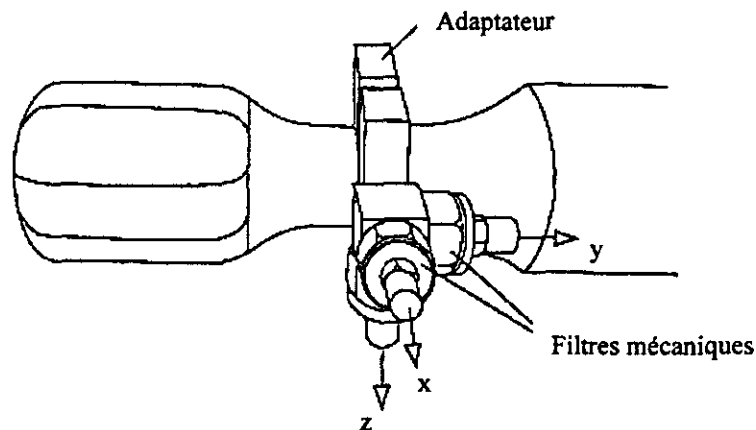


Figure #6 - Orientation des accéléromètres sur la poignée de la foreuse

3.4. Instrumentation

3.4.1. Acoustique : prise des mesures et système de traitement

Les pressions acoustiques générées lors des essais sont enregistrées par deux micros tel qu'illustré à la figure #7. Le premier micro est fixé sur le casque de l'opérateur de la foreuse. Le second est situé à une distance de 1 mètre du fleuret. Il est monté sur un trépied de manière à être à la même hauteur que le fleuret. C'est ce dernier microphone qui nous servira à établir les comparaisons entre les deux types de fleurets.

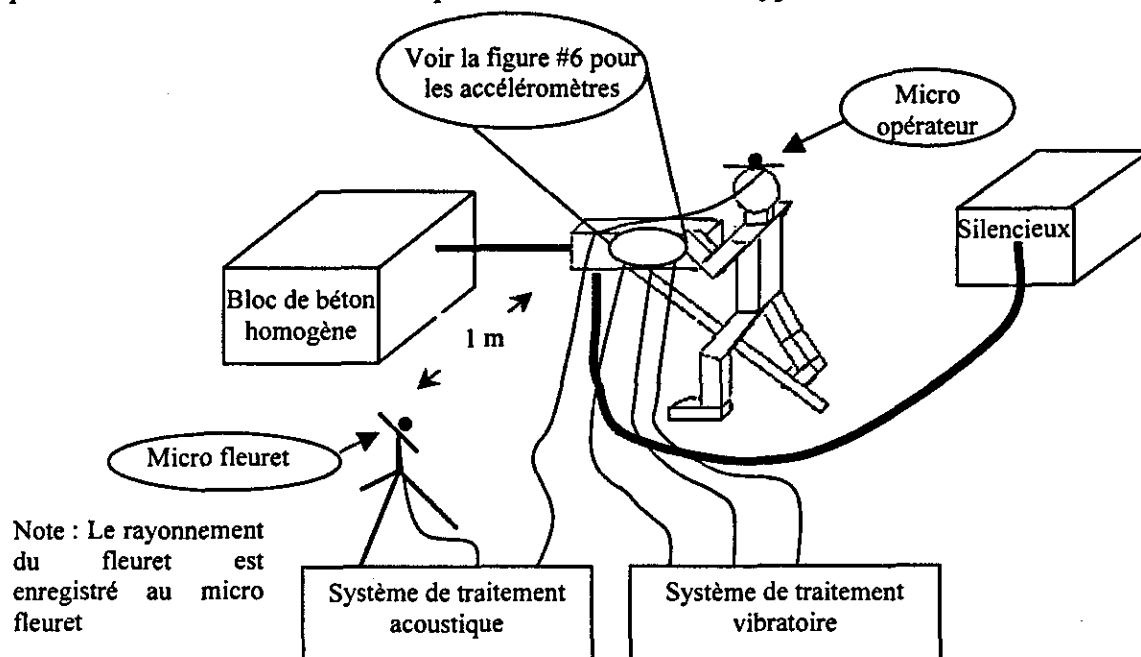


Figure #7 – Schéma de montage expérimental

Les signaux acoustiques des deux micros sont envoyés vers un conditionneur. Ils sont par la suite enregistrés sur un D.A.T. (Digital Audio Tape).

Le traitement se fait à l'aide d'un analyseur de spectres.

Le système de mesures acoustiques utilisé est présenté à la figure #8.

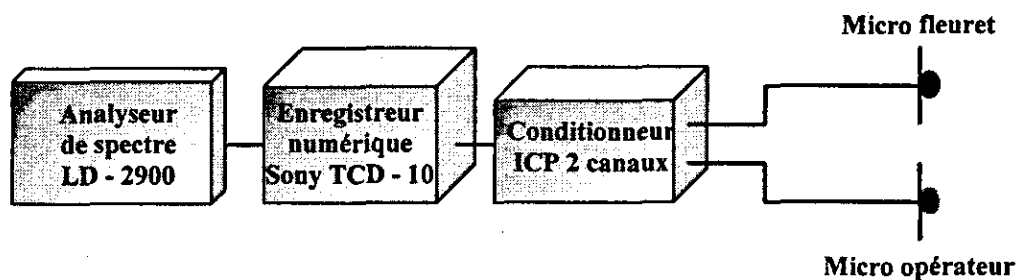


Figure #8 – Schéma du système de mesures acoustiques utilisé

3.4.2. Vibratoire : système de traitement

Les trois accéléromètres sont reliés à des amplificateurs de charge. Les signaux vibratoires sont ensuite enregistrés sur un D.A.T.

L'analyse des données est effectuée à l'aide du même analyseur de spectres que pour le traitement de l'acoustique.

Le système de mesures vibratoires utilisé est illustré à la figure #9.

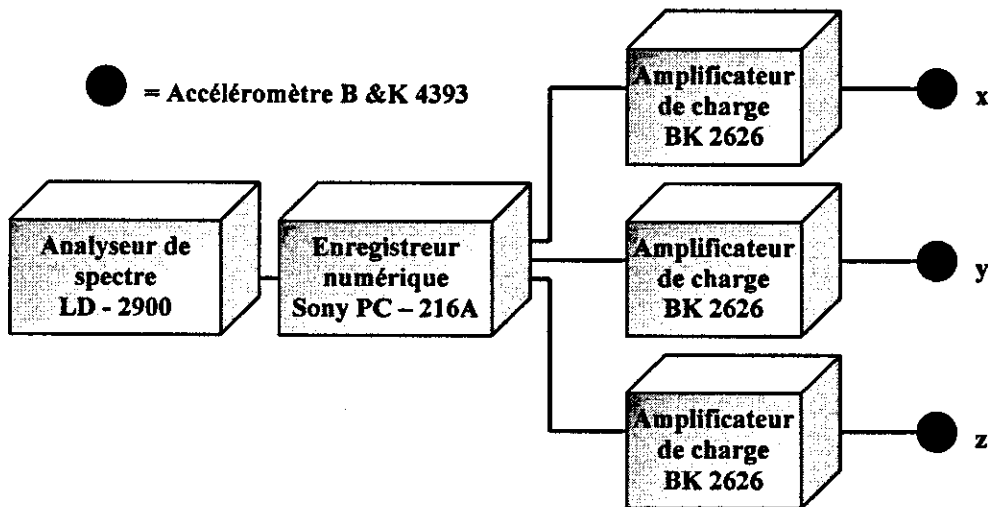


Figure #9 – Schéma du système de mesures vibratoires utilisé

3.5. Mesures

3.5.1. Prise des mesures

Un seul opérateur effectue le forage des trous en alternant les fleurets tel qu'illustré à la figure #2. Lors des essais, les pressions acoustiques et les niveaux vibratoires sont enregistrés de façon simultanée.

Les essais de forage ont une durée minimale de trente secondes. Le temps de mesure nécessaire est de 16 secondes pour le traitement de l'acoustique et de 20 secondes pour les vibrations.

Le démarrage des acquisitions s'effectue 5 secondes après le début d'une séquence de forage. Cela élimine les irrégularités observables lorsqu'un trou commence à être foré.

3.5.2. Répétitivité des mesures : une approche globale des résultats

3.5.2.1. Mesures acoustiques

Les niveaux acoustiques enregistrés lors du forage des trous supérieurs et inférieurs sont semblables pour un même fleuret. Les différences sont de l'ordre des incertitudes de mesures.

La figure #10 illustre cette observation pour le fleuret standard.

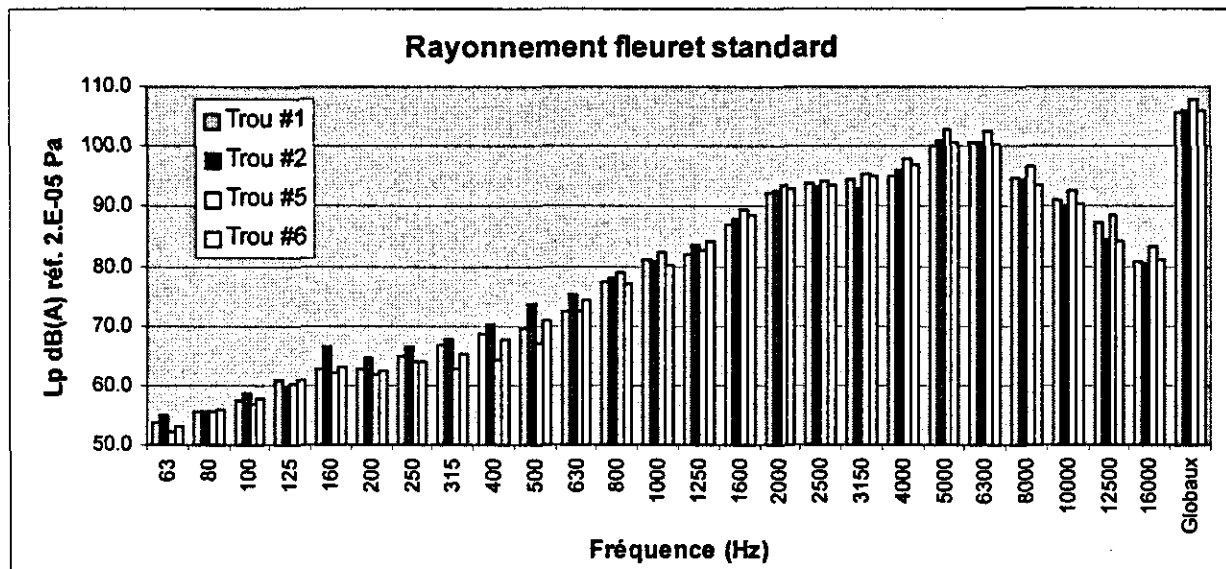


Figure #10 – Exemple de similitude des niveaux acoustiques pour différents trous avec un même fleuret

Les différences de hauteur des trous et les variations de pression d'air dans la bécuille (voir figure #2) n'ont donc pas d'impact sur les niveaux de pressions acoustiques (L'écart type est inférieur à 1 dB). Cette conclusion est confirmée dans d'autres rapports [3].

Dans la section « Résultats », nous utiliserons la valeur moyenne sur l'ensemble des trous pour comparer les performances acoustiques des deux fleurets.

3.5.2.2. Mesures vibratoires

Le traitement des données vibratoires est effectué conformément à la norme ISO 5349. Les résultats présentés sont pondérés en fréquence selon la pondération mains-bras définie dans cette norme. La plage de fréquence considérée pour les graphiques et le calcul des niveaux globaux s'étendent de 6.3 Hz à 1 250 Hz (bandes tiers d'octave) conformément à la norme.

Les niveaux de vibrations relevés lors du forage des trous supérieurs et inférieurs sont similaires pour un même fleuret. Les différences sont de l'ordre des incertitudes de mesures.

La figure #11 illustre cette similitude pour le fleuret standard.

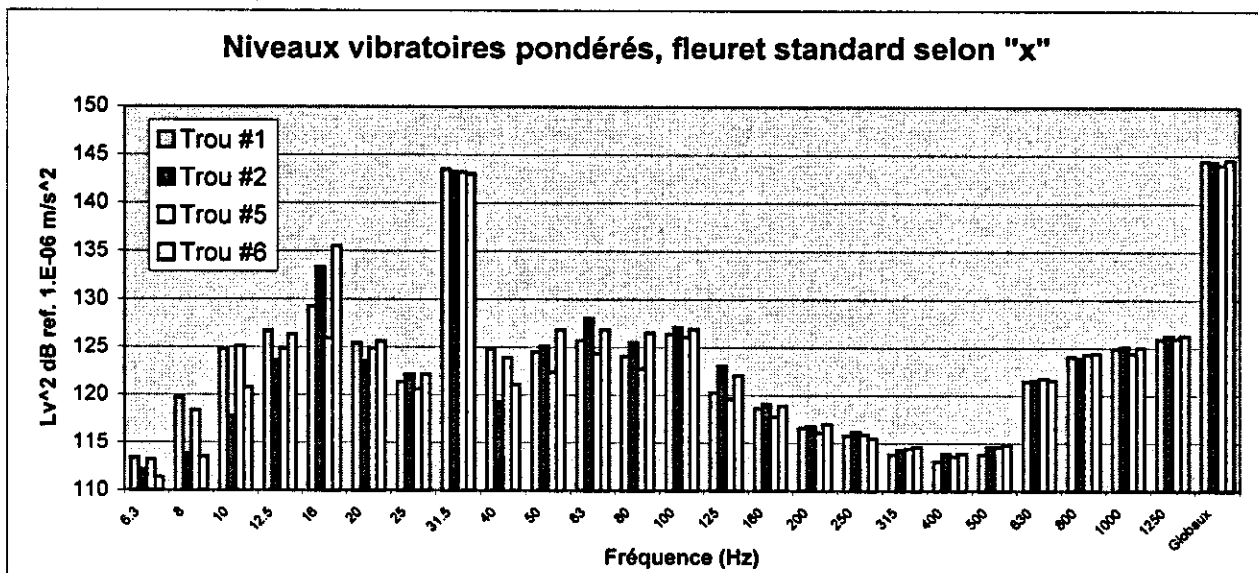


Figure #11 – Exemple de similitude des niveaux vibratoires pour différents trous avec un même fleuret

Les variations observées en basses fréquences (i.e. $f < f_{\text{impact}}$) s'expliquent par de légères irrégularités dans la force d'impact. Les demi-harmoniques générées causent ces différences mais n'influencent pas les niveaux globaux. 9

Les différences de hauteur des trous et les légères variations de pression d'air dans la béquille (voir figure #2) n'ont pas d'impact sur les niveaux de vibrations. L'écart type est inférieur à 0.5 dB. Cette conclusion est confirmée dans d'autres rapports [2 3].

Dans la section « Résultats », nous utiliserons la valeur moyenne sur l'ensemble des trous pour comparer les performances vibratoires des deux fleurets.

4. Résultats

4.1. Comparaisons des niveaux acoustiques

Les spectres en fréquences des pressions acoustiques montrent que les niveaux sont sensiblement les mêmes pour les fleurets TWISTEX et standard.

Le tableau #1 présente les niveaux globaux moyens¹ obtenus.

Tableau #1 – Niveaux acoustiques globaux

	Fleuret standard	Fleuret TWISTEX
Micro fleuret	106.4	105.2 ($\Delta = -1.2$ dB(A))
Micro opérateur	100.5	100 ($\Delta = -0.5$ dB(A))

Note : Les unités de chacune des valeurs sont en dB(A), référencées à $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Les spectres des niveaux acoustiques moyens sont présentés aux figures #12 et #13.

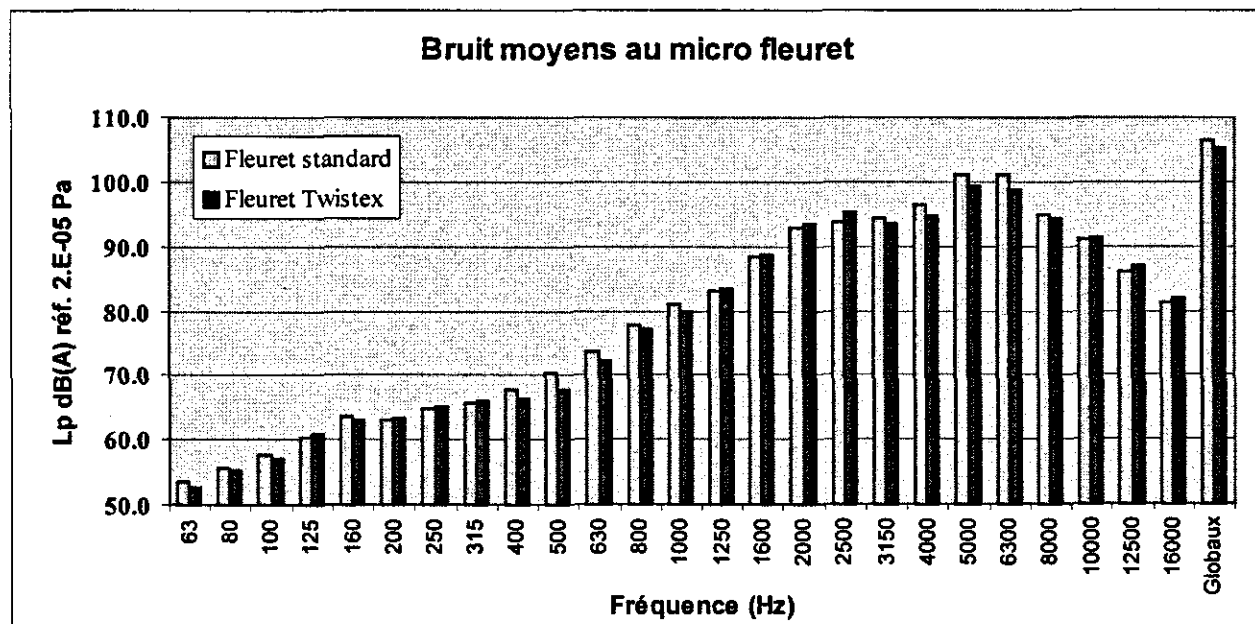


Figure #12 – Comparaison des niveaux de bruit moyen au micro fleuret

¹ Le niveau moyen représente la valeur moyenne sur l'ensemble des trous forés par chacun des fleurets.

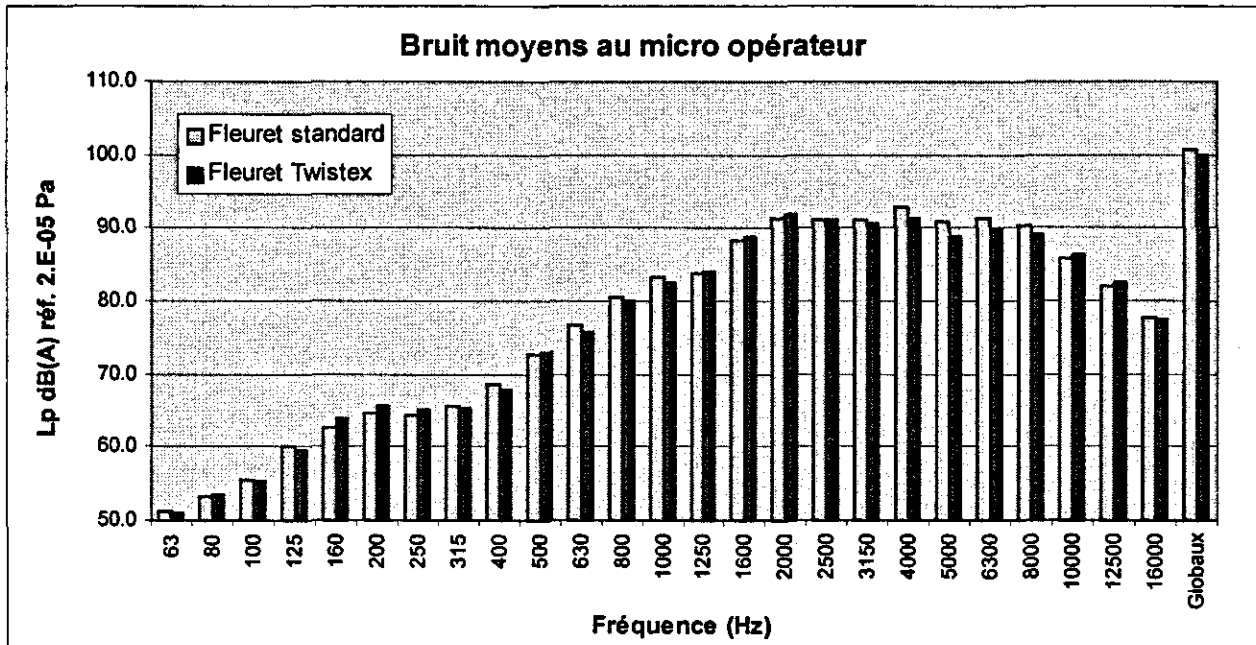


Figure #13 – Comparaison des niveaux de bruit moyens au micro opérateur

Puisque les différences observées sont de l'ordre des incertitudes de mesures, nous en concluons qu'il n'y a pas de réduction significative des pressions acoustiques provenant de l'utilisation du fleuret TWISTEX.

4.2. Comparaisons des niveaux vibratoires

Les spectres en fréquences des vibrations illustrent que les niveaux sont pratiquement les mêmes selon les trois axes pour les fleurets TWISTEX et standard.

Le tableau #2 présente les niveaux globaux moyens obtenus.

Tableau #2 – Niveaux vibratoires globaux

	Fleuret standard	Fleuret TWISTEX
Axe « x »	144.3	145.2 ($\Delta = +0.9$ dB)
Axe « y »	136.5	136.3 ($\Delta = -0.2$ dB)
Axe « z »	139.0	138.7 ($\Delta = -0.3$ dB)

Note : - Les unités de chacune des valeurs sont en dB, référencées à $1.10^{-6} \text{ ms}^{-2}$. Les résultats sont pondéré selon la courbe définie dans la norme ISO 5349

Les spectres des niveaux vibratoires moyens pour l'ensemble des trous forés avec chacun des fleurets sont présentés aux figures #14, #15 et #16.

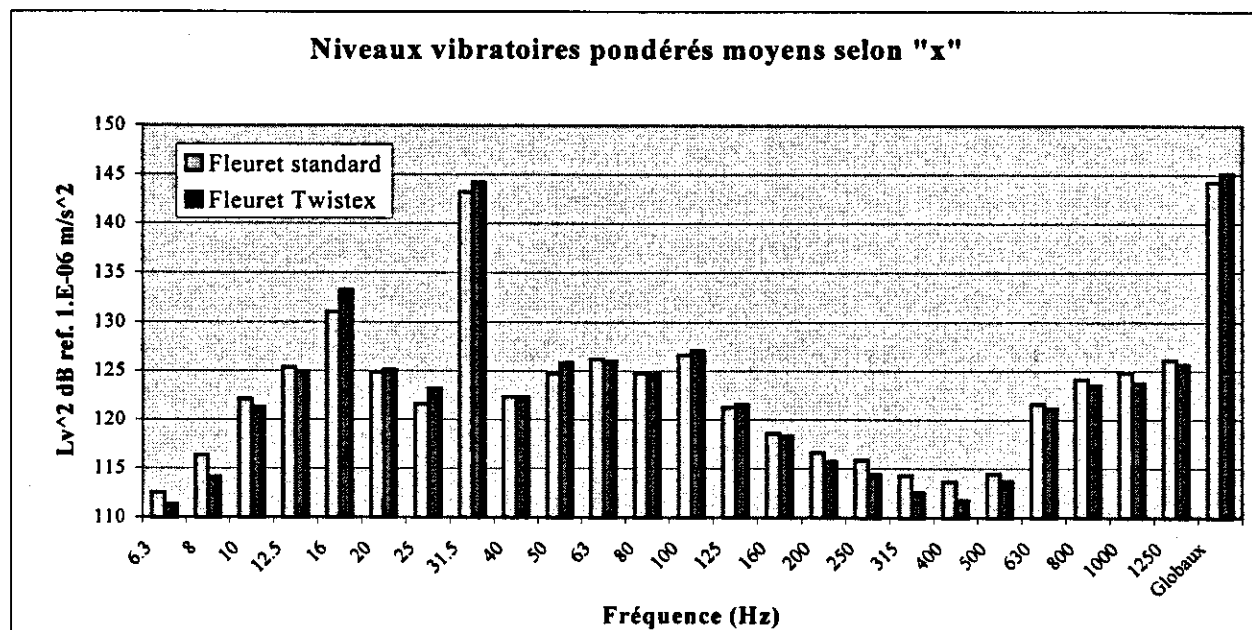


Figure #14 – Comparaison des niveaux vibratoires pondérés moyens dans l'axe de forage

La figure #14 montre la dominance de la fréquence de percussion de la foreuse à 31.5 Hz. Cette fréquence compose presque à elle seule le niveau global présenté.

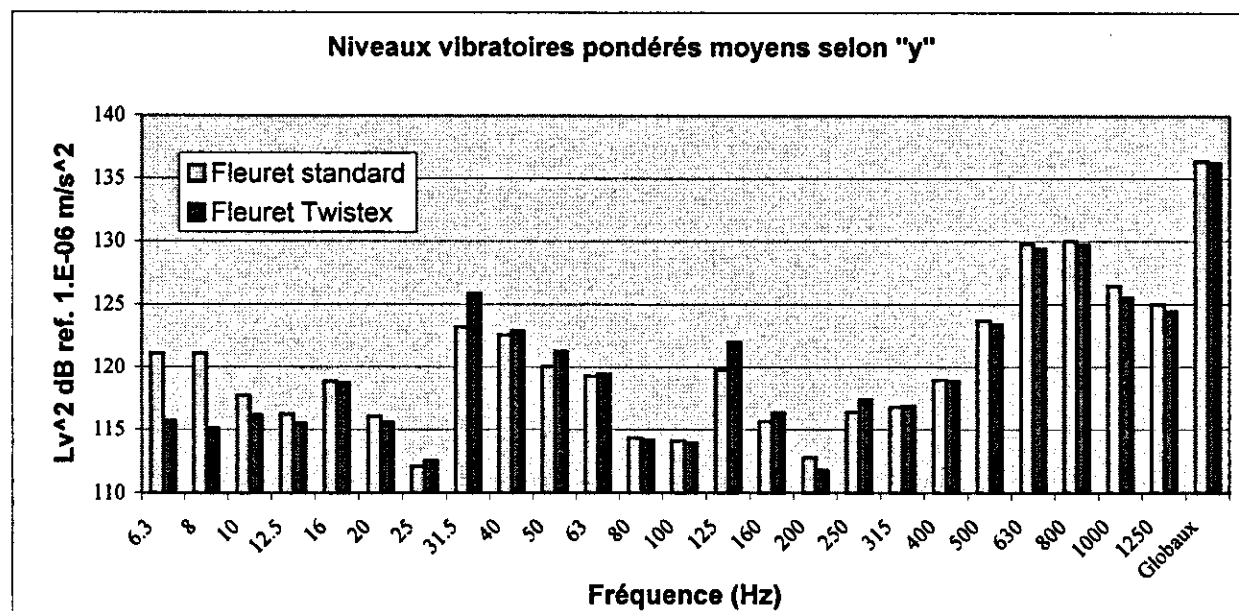


Figure #15 – Comparaison des niveaux vibratoires pondérés moyens selon « y »

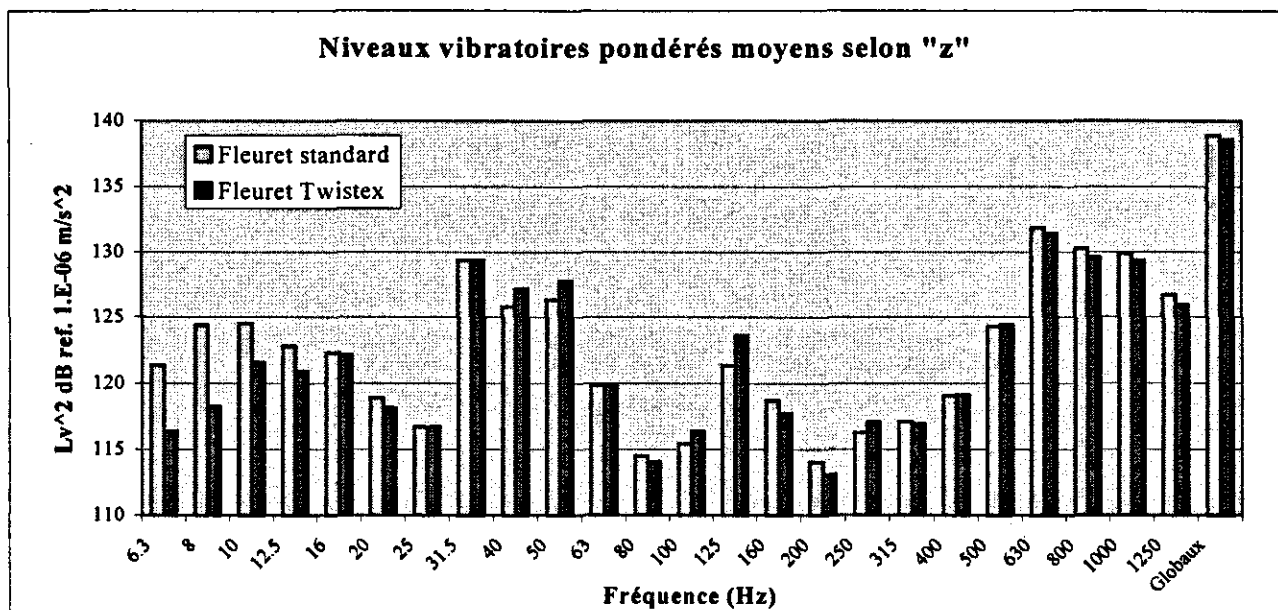


Figure #16 – Comparaison des niveaux vibratoires pondérés moyens selon « z »

Les figures #15 et #16 présentent des niveaux de vibrations moins élevés dans les directions perpendiculaires à l'axe de forage.

Les différences en basses fréquences entre les fleurets ne sont pas représentatives et sont ignorées (voir section 3.5.2.2.).

Puisque les différences observées sont de l'ordre des incertitudes de mesures, nous en concluons qu'il n'y a pas de réduction significative des vibrations provenant de l'utilisation du fleuret TWISTEX.

5. Conclusion

Les mesures comparatives effectuées lors de cette étude montrent que les fleurets de type TWSITEX n'entraînent aucune diminution sensible du bruit et des vibrations transmises à l'opérateur.

Ce résultat n'est pas étonnant. En effet, une réduction du bruit rayonné par la tige, de l'ordre de 3 dB(A), impliquerait une atténuation d'un facteur 2 de l'amplitude des ondes de flexion générées lors de l'impact. Il faudrait également limiter le rayonnement des ondes de compression dû à l'effet de *Poisson*. Ceci impliquerait une diminution importante des performances de la foreuse.

Notons que des solutions visant à réduire le bruit rayonné par la tige ont été mises de l'avant lors d'une étude précédente réalisée par le G.A.U.S. [1]. Dans l'état actuel des connaissances, elles ne sont malheureusement pas adaptées et directement applicables (problème de fiabilité et ajout de masse important).

La réduction des vibrations transmises à l'opérateur est envisageable via l'installation d'un système anti-vibratile efficace sur la poignée. Vu les conditions extrêmes de fonctionnement de ces machines, l'application d'une telle solution doit faire l'objet d'une étude poussée, réalisée conjointement par des experts en vibration et le milieu industriel.

6. Bibliographie

1. « Étude de faisabilité des moyens de contrôle du bruit des tiges de foreuses à percussion via une étude numérique et expérimentale », Rapport présenté à l'IRSST, G.A.U.S. 1996
2. BOILEAU, Paul-Émile (1990). « Les vibrations engendrées par les foreuses à béquille à la division Opémiska de Minnova », Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST), Montréal, 43 p.
3. BOILEAU et al (1990). « Exposition au bruit et aux vibrations mains-bras liée à l'opération de foreuses à béquille pneumatique et hydraulique », Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST), Montréal, 22 p.