

ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ D'UN BÉLIER AMORTISSEUR

S. Bellefleur, M. Amram, L. Zinsch
Ecole Polytechnique de Montréal
Département de génie physique, Montréal, H3C 3A7

SOMMAIRE

Ce travail fut effectué dans l'intention de vérifier l'efficacité d'un bélier d'acier possédant deux cavités à demi-remplies de mercure dans la réduction du niveau de pression sonore du bruit rayonné par une riveteuse. En ce sens, une comparaison du niveau de pression sonore (dB) avec les deux types de bélier, standard et au mercure, fut réalisée. L'effet de certains paramètres, tels que la force appliquée sur le bélier ou l'impédance au niveau de cet appui a été démontré. Le comportement de ce bélier au mercure est semblable à celui d'un filtre à bande d'arrêt.

ABSTRACT

The aim of this work was to check the effectiveness of a steel bucking-bar with two half-filled mercury pits in reducing the sound pressure level of a riveting gun. For that purpose, a sound pressure level comparison for the two kinds of bucking-bar, standard and with mercury, was realized. The effects of some parameters, like the bucking-bar applied force or the impedance of its support were investigated. The behaviour is similar to that of a band-stop filter.

1. INTRODUCTION

Le rivetage est un procédé fréquemment utilisé dans les industries. Deux ouvriers participent à ce travail. L'un appuie la riveteuse sur le rivet, la plaque et la pièce à riveter, pendant que l'autre, situé derrière la plaque, appuie un bélier contre le rivet pour bien l'écraser. Ce dernier appui étant simulé par le support profilé en U sur la figure 5. Après réflexion sur le bélier, seulement un tiers de l'énergie délivrée par la riveteuse est absorbée par le rivet [2], considérant l'énergie cinétique transmise au bélier comme négligeable, la différence est alors transmise en vibrations dans la structure rivetée. Une telle opération engendre un niveau sonore élevé et de fortes vibrations. Plusieurs études ont été effectuées sur les impacts de ces derniers inconvénients [2] [3]. L'élimination de ces inconvénients est délicate. La solution idéale pour conserver la précision de la tâche consiste à transformer l'appareillage utilisé ou d'amortir la structure périodiquement percutée. Plusieurs méthodes ont été proposées [4] mais aucune ne concernant l'utilisation d'un bélier muni de cavités contenant du mercure. Cet article est le résumé de mesures effectuées avec un tel bélier.

2. ESSAIS EN USINE

L'absorption de vibrations par des liquides immiscibles est actuellement utilisée pour amortir les oscillations de structures [1]. Basée sur ce dernier principe, une solution aux problèmes du rivetage consiste à utiliser un bélier possédant deux cavités à demi-remplies de mercure. Le bélier testé est donc constitué d'une pièce en acier trempé dans laquelle deux cavités cylindriques ont été creusées et à moitié remplies de mercure, puis scellées hermétiquement.

Ce bélier a été testé chez Bombardier-Canadair. Le montage était simplement constitué d'un microphone situé tout près

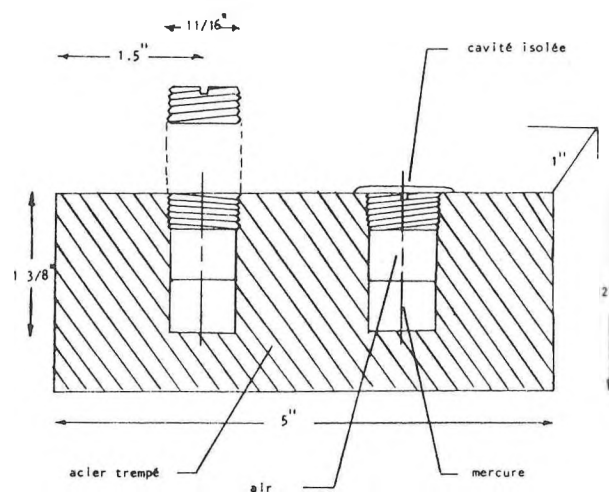


Figure 1. Bélier au mercure

de l'ouvrier tenant le bélier au mercure à l'intérieur d'une carlingue d'avion. Lorsque la riveteuse, maintenue par un autre ouvrier, était actionnée, on enregistrait le signal capté par le microphone à l'aide d'une enregistreuse vidéo Panasonic (modèle AG-2400), par l'intermédiaire d'un convertisseur analogique/numérique Nakamichi (modèle DMP100). La figure 2 représente ce système de mesure. Tout une opération réelle s'étendant sur plus de 30 rivets était ainsi enregistrée. Ce signal était analysé plus tard à l'Ecole Polytechnique de Montréal à l'aide d'un analyseur de signaux bicanal FFT de marque Bruel & Kjaer (type 2032). Les spectres ainsi obtenus pour le bélier standard et pour le bélier au mercure sont superposés dans la figure 3. On remarque une

amélioration de 8.4 dB lors de l'utilisation du béliet au mercure. Notons que le rivetage étant effectué sur une carlingue d'avion dont les modes résonnants étaient

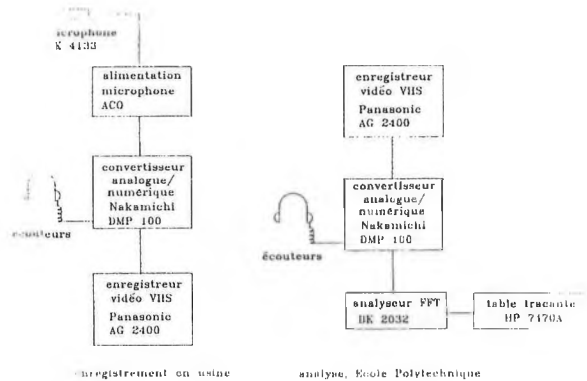


Figure 2. Appareillage utilisé chez Bombardier-Canadair

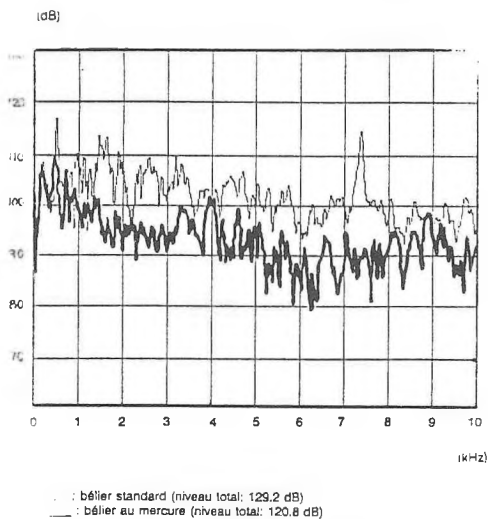


Figure 3. Spectres en bande étroite du niveau sonore moyen obtenu à l'intérieur d'un fuselage de "Challenger" dans les ateliers de Bombardier-Canadair

facilement excités, l'atténuation obtenue à l'aide de ce béliet était d'autant améliorée. Une partie de l'énergie de frappe ne se réfléchit pas sur le béliet amortisseur car les vibrations générées par les chocs y sont partiellement dissipées par des frottements associés à la turbulence. Donc une quantité moindre de l'énergie vibratoire est transmise à la carlingue. Une énergie vibratoire plus faible signifiant des modes excités plus faiblement dans la structure, il était normal de constater une diminution de l'intensité du bruit émis par rayonnement, d'autant plus qu'il y avait présence de résonance de structure amplifiée par la réverbération. L'observation d'un contenant de mercure muni d'une vitre et soumis à de fortes vibrations a permis de constater que le mercure éclatait en milliers de petites gouttelettes. Il s'agit bel et bien d'un effet de turbulence qui doit absorber une partie de l'énergie vibratoire [4]. Une mesure de température d'une bouterolle (pièce de la riveteuse qui percute le rivet) munie d'une cavité complètement remplie de mercure (à l'exception de l'air

résiduel) nous a permis de constater l'augmentation importante de température de celle-ci lors de son utilisation. En effet, toucher la bouterolle à ce moment pouvait causer des brûlures. Il semble donc que la compression adiabatique répétitive de l'air par le mercure entraîne une certaine production de chaleur dans le béliet. Il est aussi probable que le frottement entre le mercure et l'acier du béliet soit aussi en cause dans la dissipation de l'énergie vibratoire du système. Une hypothèse raisonnable consiste aussi à supposer que cette affirmation est vraie, mais à un degré moindre, pour un béliet dont les cavités sont à demi remplies de mercure.

3. ESSAIS EN CHAMBRE ANECHOIQUE

L'étude des niveaux sonores émis par une riveteuse nous impose certaines limites que l'on doit respecter ou tout au moins approcher. L'essentiel du problème consiste alors à obtenir des mesures reproductibles dans les conditions traditionnelles d'utilisation de cet appareil. Cependant, les bruits de fond présents dans une usine rend difficiles les mesures en cet endroit, et avec la tenue manuelle du béliet, il y aurait, d'un essai à l'autre, une variation assez remarquable de la force appliquée sur ces pièces. L'amplitude des phénomènes mis en cause étant fortement dépendante de cette force, les comparaisons entre les deux types de béliet seraient alors entachées d'une certaine erreur. Nous avons donc dû maintenir physiquement en place le béliet et la riveteuse, à l'aide d'un montage qui ne nécessite pas d'intervention humaine lors de la mise en marche. Ce montage était installé en chambre anéchoïque, à l'Ecole Polytechnique de Montréal. Un tel montage permettait alors de maintenir constante la force appliquée sur le béliet et devait donc nous permettre de reproduire, d'une mesure à l'autre, les mêmes conditions. Ce montage ne pouvait malheureusement pas imiter parfaitement l'impédance de la main humaine. Les appuis utilisés sur la riveteuse et le béliet ne pouvaient que s'en approcher. Notons également que l'utilisation d'une petite plaque à riveter limite notre étude aux hautes et moyennes fréquences. La figure suivante représente la structure sur laquelle est fixée la plaque à riveter.

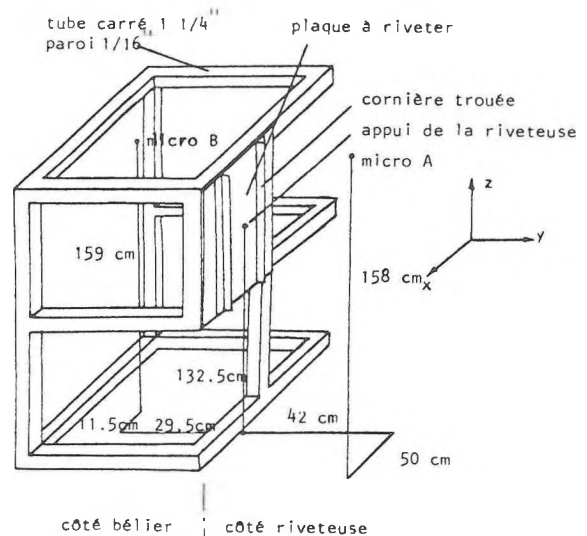


Figure 4. Structure rivetée

Cette plaque est simplement vissée et renforcée par des cornières, deux à l'avant et trois à l'arrière. C'est sur la cornière centrale arrière que repose le béliet. Elle agit aussi comme une des pièces sur laquelle la plaque est rivetée. La structure est maintenue rigidement sur le grillage du plancher de la chambre anéchoïque par plusieurs serres. Les positions des microphones A et B, ainsi que de l'appui de la riveteuse, visibles sur la figure 4, sont telles qu'indiquées ci-dessous: (précision de 1cm)

- micro A : x=50cm, y=42cm, z=158cm;
- micro B : x=-11cm, y=-29cm, z=158cm;
- appui de la riveteuse (bouterolle) : x=0cm, y=0cm, z=132cm;

Les microphones sont maintenus en place par des supports reposant sur du caoutchouc-mousse, afin d'éviter que les vibrations propagées par le plancher leurs soient transmises.

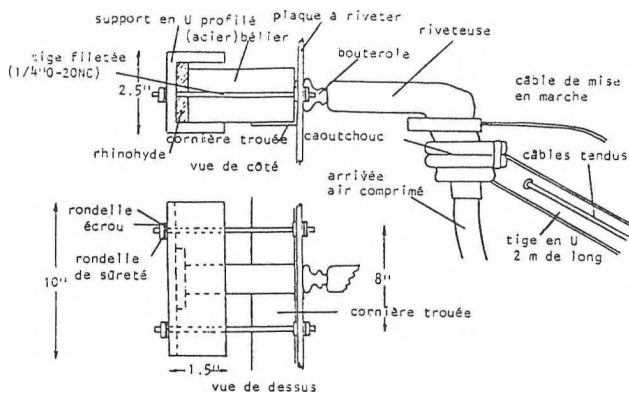


Figure 5. Vue de côté et de dessus du système de rivetage

La figure 5 est une vue sur la partie principale du montage. La plaque et la cornière à riveter sont bien positionnées entre la bouterolle de la riveteuse et le béliet. Le béliet est maintenu sur la plaque par un profilé en U. Le tout est alors serré à l'aide de deux tiges filetées, situées de chaque côté du béliet. Il est à noter la présence de 10mm de rhinohyde ou de thiosulfite dans la pièce en U pour diminuer la rigidité du contact avec le béliet et isoler les deux pièces métalliques l'une de l'autre. Le rhinohyde est un plastique renforcé par une structure métallique pour améliorer sa résistance. Le thiosulfite est un plastique plus souple. Il est aussi possible d'appuyer manuellement sur le béliet, comme en usine, en retirant le profilé en U et les deux tiges filetées.

La riveteuse est pour sa part maintenue par une longue tige en U. Elle est simplement appuyée sur la plaque. Cet appui est constant tout au long des essais. Elle est retenue par un pivot fixé sur une base de bois, sur laquelle sont déposés des poids pour éviter tout déplacement. Du caoutchouc-mousse est situé entre la riveteuse et la tige pour éviter la transmission de vibrations à cette dernière. Les mouvements latéraux de la riveteuse sont restreints par la présence de deux câbles tendus, un de chaque côté, reliés au pivot de la tige.

La mise en marche de la riveteuse s'effectue par la traction d'un câble métallique, relié à la salle adjacente où sont situés les principaux appareils de mesure. Pour la mesure de la pression sonore, deux microphones de diamètre

1/4\"/>

Les mesures de niveaux sonores et de niveaux de vibrations s'effectuent grâce à l'analyseur bicanal (FFT). Cet appareil nous permet d'obtenir le spectre désiré (sonore ou de vibration) après avoir réglé une fenêtre de durée ajustable (TRANSIENT) pour obtenir l'analyse sur une seule impulsion de la riveteuse. Ceci est réalisable grâce à un enregistrement des impacts périodiques de la riveteuse.

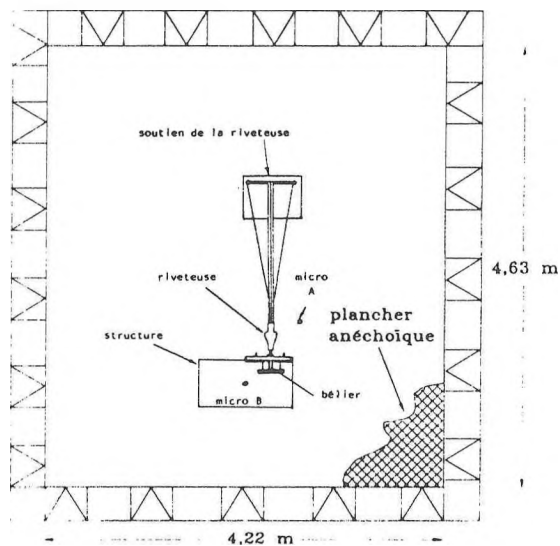


Figure 6. Position du montage en chambre anéchoïque

Nous fixons alors la longueur de la fenêtre choisie. Ici, nous optons pour une fenêtre de longueur 31.234 ms se déclenchant à t=0 ms, tel que montré à la figure 8.

Notons cependant que l'étude réalisée dans la chambre anéchoïque était vraiment l'étude du cas le plus défavorable, et ceci pour deux raisons. D'une part, la structure utilisée n'était pas aussi rigide que celle utilisée chez Bombardier-Canadair, une amélioration avec un tel montage, plus efficace sur les hautes fréquences, était alors plus difficile à obtenir. D'autre part, l'opération se faisait sans rivet, ce qui a pour conséquence de transmettre 100% de l'énergie au système structure-béliet puisqu'aucune partie de l'énergie n'est alors absorbée par la déformation du rivet. Notons aussi qu'une trop grande énergie transmise au béliet peut saturer sa capacité de dissipation, diminuant ainsi son efficacité apparente.

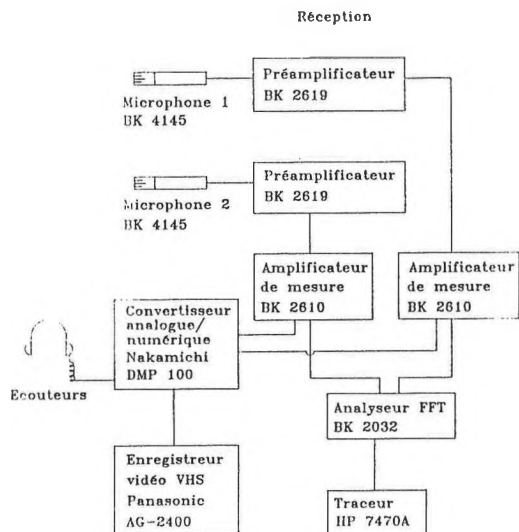


Figure 7. Appareillage de mesure

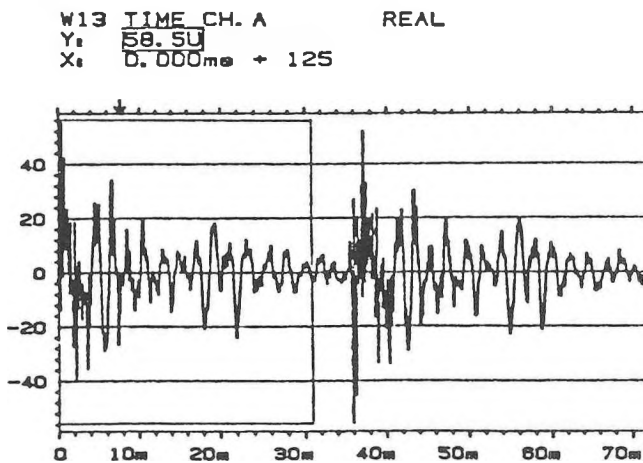


Figure 8. Amplitude des impacts de la riveteuse en fonction du temps

Nous avons étudié l'efficacité du béliet de mercure en fonction de la force d'appui appliquée sur celui-ci. Suite aux résultats de l'étude chez Bombardier-Canadair, on constate que la force d'appui d'un ouvrier semble idéale, ce qui est vérifié dans le présent travail. En fait il s'agissait de faire varier le couple de serrage (moment de force ou torque) appliqué aux boulons serrant la plaque en U par les tiges filetées. Les résultats (moyenne sur quatre mesures) sont présentés sous forme de graphique montrant la variation de la différence entre la pression sonore mesurée lors de l'emploi du béliet standard et celle mesurée lors de l'emploi du béliet au mercure.

Si nous associons ce couple appliqué à la force appliquée par un ouvrier, soit environ 650 Newtons (50% de son poids plus sa force de poussée), par l'équation suivante [4],

$$T = 0.2 \times F \times d$$

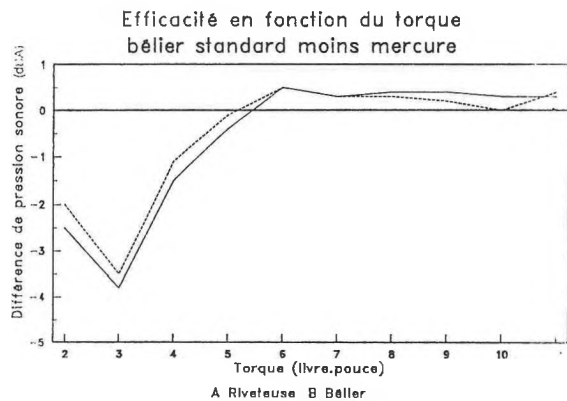


Figure 9. Pression sonore avec béliet standard moins celle obtenue avec le béliet au mercure, côté riveteuse et côté béliet. (écart type moyen de 0.4 dBA)

où F est la force appliquée, d le diamètre de la tige filetée et T le torque correspondant, on constate qu'un ouvrier exerce l'équivalent d'un couple de serrage d'environ 8 livres-pouces. On remarque alors que ce couple est bel et bien situé dans la plage efficace de la figure 9. Noter cependant que cette dernière équation est très approximative puisque l'on associe le système de maintien de la bouterolle à celui d'un boulon et écrou. Ce couple fut toujours utilisé dans la deuxième étape, l'étude aux tiers d'octave de l'effet de l'impédance de l'appui.

Une étude aux tiers d'octave nécessite une reproductibilité raisonnable des résultats. Pour améliorer la précision, nous effectuons un calcul statistique sur quatre mesures (le béliet étant retiré et remplacé de nouveau à chaque mesure), nous donnant une moyenne sur les niveaux sonores en dBA avec un écart type moyen de 0.4 dBA. Les spectres aux tiers d'octave sont calculés à l'aide de l'analyseur bicanal (FFT).

Lors de l'utilisation du rhinohyde, l'atténuation obtenue avec le béliet au mercure est relativement faible. Elle est de l'ordre de 0.5 dBA sur le niveau total du côté de la riveteuse et de 0.3 dBA du côté du béliet. Les figures 10 et 11 nous montrent que les spectres obtenus avec le béliet au mercure sont semblables. Les améliorations enregistrées sont assez aléatoires.

L'atténuation obtenue avec le béliet au mercure est meilleure lors de l'utilisation du thiosulfite. Elle est de l'ordre de 1.2 dBA sur le niveau total du côté de la riveteuse et de 1.0 dBA du côté du béliet. En ce qui concerne l'analyse en tiers d'octave, les améliorations (figures 12 et 13) sont relativement bonnes sur tout le spectre et importantes de 1250 à 2500 Hz du côté de la riveteuse et à 1250 Hz du côté du béliet. Le thiosulfite étant plus souple que le rhinohyde, son impédance se rapproche plus de celle de la main. Cela signifierait que pour obtenir une atténuation optimale avec un montage comme celui-ci, l'impédance du contact entre le profilé en U et le béliet est importante.

Une tenue manuelle du béliet nous permet cependant de constater, comme le démontre le spectre obtenu du côté du béliet (figure 14), que l'utilisation du béliet au mercure déplace l'énergie sonore des hautes fréquences

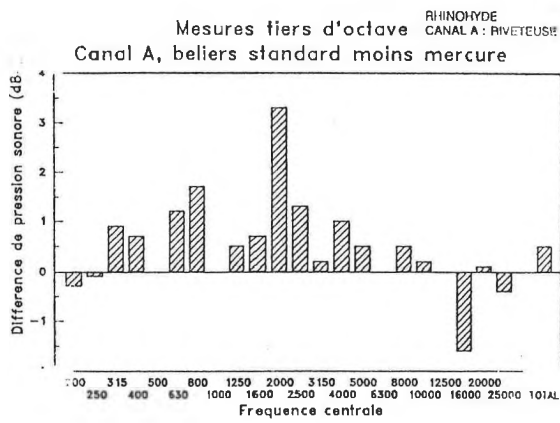


Figure 10. Différence de pression sonore obtenue avec rhinohyde entre l'utilisation du béliet standard et du béliet au mercure, côté riveteuse

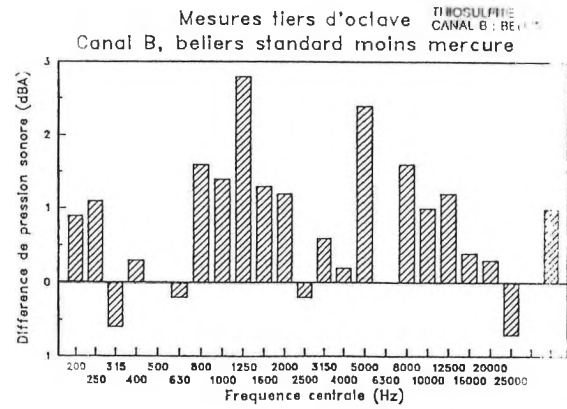


Figure 13. Différence de pression sonore obtenue avec thiosulfite entre l'utilisation du béliet standard et du béliet au mercure, côté béliet

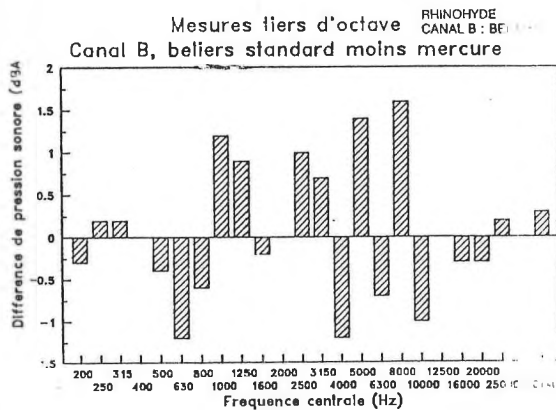


Figure 11. Différence de pression sonore obtenue avec rhinohyde entre l'utilisation du béliet standard et du béliet au mercure, côté béliet

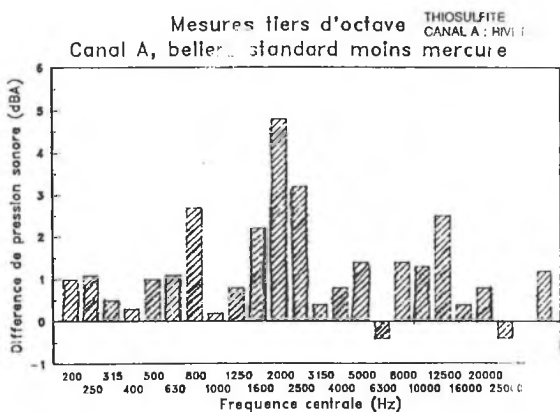


Figure 12. Différence de pression sonore obtenue avec thiosulfite entre l'utilisation du béliet standard et du béliet au mercure, côté riveteuse

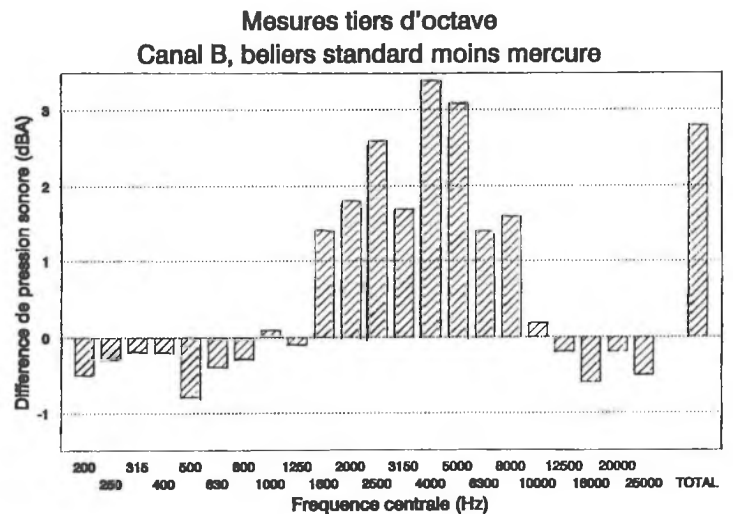


Figure 14. Différence de pression sonore obtenue avec tenue manuelle entre l'utilisation du béliet standard et du béliet au mercure, côté béliet

vers les basses fréquences. Ceci serait dû à un effet inertiel du mercure qui, prologeant le contact béliet-plaque, provoque un déplacement de cette énergie vers les basses fréquences.

On y remarque bien qu'il y a atténuation importante (totale de près de 2.8 dB) surtout présente dans la bande comprise entre 1600 et 8000 Hz. Il semble donc que le béliet au mercure agit comme un filtre à bande d'arrêt. Les hautes fréquences semblent être absorbées par la main tenant le béliet.

4. CONCLUSION

Il semble bien que le béliet de mercure se rapproche d'un filtre réactif par la présence de ses discontinuités provoquant la dispersion des ondes vibratoires. Son comportement résistif est démontré par la dissipation de l'énergie vibratoire par turbulence, par le frottement du mercure contre les parois de chacune des cavités, ou par compression adiabatique répétitive de l'air contenu dans la cavité. Malheureusement, l'énergie de hautes fréquences dissipée par la main semble trop élevée et risque de provoquer des problèmes physiques (mains blanches) à l'ouvrier tenant cet instrument [2], bien que les basses fréquences soient plus dommageables. Il faudra donc utiliser un appui absorbant les vibrations de hautes fréquences, du type thiosulfite, entre la main et le béliet au mercure, protégeant ainsi suffisamment la main de l'ouvrier tout en favorisant l'efficacité du béliet au mercure. L'utilisation d'un autre produit, un liquide ou une poudre, tout aussi dense et efficace que le mercure mais moins toxique serait aussi à souhaiter. Ces deux derniers changements permettraient possiblement la mise au point d'un nouveau système intéressant pour la diminution du bruit de rivetage industriel.

REFERENCES

1. BAUER H.F., OSCILLATIONS OF IMMISCIBLE LIQUIDS IN A RECTANGULAR CONTAINER : A NEW DAMPER FOR EXCITED STRUCTURE, *Journal of Sound & Vibration*, vol. 93, pages 117-133, 1984.
2. Dandenell Rolf, Engström Krister, VIBRATION MEASUREMENTS AND ANALYSIS OF PERCUSSION TOOLS SUCH AS RIVETING HAMMERS AND BUCKING BARS, International report of the department of occupational Health and Safety of SAAB-SCANIA, Linköping, Sweden, pages 13-23 1984
3. LINDQUIST B., ERGONOMIC TOOLS IN OUR TIME, Atlas Copco publication, Stockholm, 1986, 121 pages.
4. SCANLAN R.H., WARDLAW R.L., ISOLATION OF MECHANICAL VIBRATION, IMPACT AND NOISE, J.C. Snowdon & E.E. Ungar, New-York, 1973, 270 pages.
5. VINET Robert, DROUIN, Gilbert et al., ELEMENTS DE MACHINE, Ecole Polytechnique de Montréal, 1982, 337p.

INCREDIBLE VERSATILITY

At Only 2.2 lbs.

RION



Rion's new NA-29 provides unusual capabilities for a pocket-size acoustical analyzer weighing only 2.2 lbs. It's displays include:

- Lmax, Ln, Lavg, Leq.
- Sound level in large digits.
- Real-time octave analysis centered 31.5 Hz. through 8000 Hz.
- Level vs. time, each frequency band.
- 1500 stored levels or spectra.
- Spectrum comparisons.

It also features external triggering, AC/DC outputs, and RS-232C I/O port. A preset processor adds additional versatility for room acoustics and HVAC applications. To minimize external note taking, users can input pertinent comments for each data address. Specify the NA-29E for Type 1 performance or the NA-29 for Type 2.

Our combined distribution of Norwegian Electronics and Rion Company enables us to serve you with the broadest line of microphones, sound and vibration meters, RTAs, FFTs, graphic recorders, sound sources, spectrum shapers, multiplexers, and room acoustics analyzers, plus specialized software for architectural, industrial and environmental acoustics. You'll also receive full service, warranty and application engineering support. Prepare for the '90s.

Call today. (301) 495-7738
W SCANTEK INC.
Norwegian Electronics • Rion