

MISE AU POINT DE MATERIAUX ABSORBANTS DESTINES
AUX ECRANS ACOUSTIQUES POUR TRANSFORMATEURS

Jean-Gabriel MIGNERON,

Chercheur au Centre de recherches en aménagement
et en développement et responsable du laboratoire
d'acoustique de l'Ecole d'architecture
Université Laval, Québec, G1K 7P4

SOMMAIRE

Les travaux présentés ici ont été initialement subventionnés par l'Hydro-Québec; ils constituent la deuxième partie d'une recherche relative au bruit des transformateurs et à son contrôle. Cet article fait donc suite à celui consacré dans le précédent numéro à la modélisation de l'impact acoustique des postes de transformation. Les matériaux testés ou mis au point en chambre réverbérante se divisent en trois grandes catégories, soit les éléments de maçonnerie avec résonateurs, les résonateurs avec cavité commune en acier et les membranes accordées. Dans les trois cas les dispositifs ont été optimisés pour le contrôle particulier du bruit des transformateurs, avec en complément un traitement de protection climatique et mécanique, de façon à répondre au mieux aux conditions réelles d'utilisation.

ABSTRACT

The research work presented in this article was originally subsidized by Hydro-Québec; it constitutes the second part of a project dealing with transformer noise and means of controlling it. The present article is thus a continuation of that published in the preceding issue in which a model of the noise impact of transformer stations was described. The materials tested fall into three broad categories: masonry units with resonators, steel resonators with common cavities and tuned membranes. In all three cases these devices were optimized for special use in controlling transformer noise. In addition, the devices were treated to protect them against mechanical failure and climate so as to ensure their effectiveness under real conditions.

INTRODUCTION

Les recherches présentées ici se poursuivent depuis 1980, initialement subventionnées par l'Hydro-Québec via la firme d'ingénieurs conseils L.G.L. de Montréal, elles sont actuellement soutenues par le ministère fédéral de l'Energie, des Mines et des Ressources. La première partie du projet, confié au Centre de recherches en aménagement et en développement et au Laboratoire d'acoustique de l'Ecole d'architecture, a déjà fait l'objet d'un premier

article dans le numéro précédent; elle concernait la modélisation de l'impact acoustique des postes de transformation (1).

Parallèlement à l'élaboration du modèle, nous avons vérifié en chambre réverbérante les propriétés de certains matériaux et dispositifs susceptibles de présenter une forte absorption acoustique dans les bandes de fréquence produites par les transformateurs (120 Hz et ses harmoniques). Après avoir discuté sommairement de l'importance des traitements absorbants pour le contrôle du bruit des transformateurs et des conditions générales de mesure, nous exposerons les principaux résultats obtenus, tant pour des éléments de maçonnerie que pour des caissons préfabriqués en acier, munis d'une membrane ou de résonateurs à cavité commune.

1. INFLUENCE DE L'ABSORPTION ACOUSTIQUE SUR L'EFFICACITE DES DISPOSITIFS DE PROTECTION

Il apparaît, plutôt subjectivement, que le niveau de bruit résultant de la présence d'un mur écran absorbant sera plus faible que celui mesuré en présence d'un écran réfléchissant, et cela d'autant plus que cet écran réfléchissant sera susceptible de présenter des surfaces parallèles de part et d'autre du transformateur. Ce concept peut être sommairement vérifié sur le plan mathématique, à l'aide de la formule de SABINE et à l'aide des équations qui expriment la puissance acoustique telle que mesurée en champs diffus. En tenant compte de la conservation de l'énergie indépendamment de l'absorption du mur écran, il est possible d'écrire, dans le cas d'un mur en rond autour du transformateur (en considérant le sol comme parfaitement réfléchissant):

$$\bar{N} \text{ réfléchi} - \bar{N} \text{ absorb.} = 10 \log (2 H\alpha/R + 1)$$

équation dans laquelle H est la hauteur du mur écran, R son rayon et α son coefficient d'absorption. Cette équation sommaire est intéressante, parce qu'elle montre que le niveau sonore, par rapport au niveau diffus à l'intérieur de l'écran, diminue avec l'absorption acoustique (de façon pratique de 0 à 4 dB). On pourra constater qu'il en est de même pour l'espace extérieur protégé par le mur écran, comme nous le montrerons par la suite.

De même, REIPLINGER (1972) (2) a mentionné l'élévation potentielle du niveau sonore à l'intérieur des enceintes totales constituées de matériaux peu absorbants. Cette élévation peut être évaluée à partir de l'équation:

$$\bar{N} \text{ réfléchi} - \bar{N} \text{ absorb.} = 10 \log \left[1 + 4(1 - \alpha) S_T/S_R \alpha \right]$$

dans laquelle S_T est la surface du transformateur, S_R la surface des murs intérieurs de la cellule et α leur coefficient d'absorption moyen. Ainsi, pour un rapport des surfaces S_T et S_R d'environ 1/4, le niveau de bruit intérieur peut croître de 20 dB(A) avec un coefficient d'absorption égal à 0,01; d'où l'importance de disposer des matériaux absorbants adéquats dans les enceintes totales destinées aux transformateurs.

En conclusion, la présence d'un matériau absorbant approprié constitue un moyen simple pour gagner quelques décibels supplémentaires, notamment dans le cas d'une enceinte totale ou d'un écran continu bordant les quatre faces d'un même transformateur. Enfin, c'est là également un moyen susceptible d'éviter une élévation du niveau de bruit de quelques décibels, par suite de la présence d'un bâtiment ou de murs coupe-feu trop réfléchissants.

2. CONDITIONS GENERALES DES MESURES D'ABSORPTION

Les mesures d'absorption ont été réalisées dans la grande chambre réverbérante du Laboratoire d'acoustique (d'un volume total de 245 m³), conformément aux recommandations de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO/R 354, 1963) (3), et suivant les directives de l'American Society for Testing and Materials (ASTM, C423-66, 1972) (4). Ces mesures ont porté sur des murs de maçonnerie et sur un système de caissons modulaires en acier garnis de différents types de matériaux absorbants.

De façon pratique, en tenant compte de leurs surfaces latérales, nos échantillons de maçonnerie avaient une surface totale voisine de 10,7 m², alors que les 4 caissons en acier utilisés présentaient chacun à leur partie supérieure une ouverture de 1,86 m², soit 7,4 m² de matériaux actifs. Nous avons systématiquement négligé, dans cette phase purement expérimentale, l'absorption des cadres et entourages des échantillons, la substitution de surface sur le plancher de la chambre et l'effet de l'humidité (surtout important au-dessus de 2 000 Hz). Toutes les mesures ont été faites au 1/3 d'octave, avec un minimum de 6 relevés par bande de fréquence (salle vide et avec échantillon).

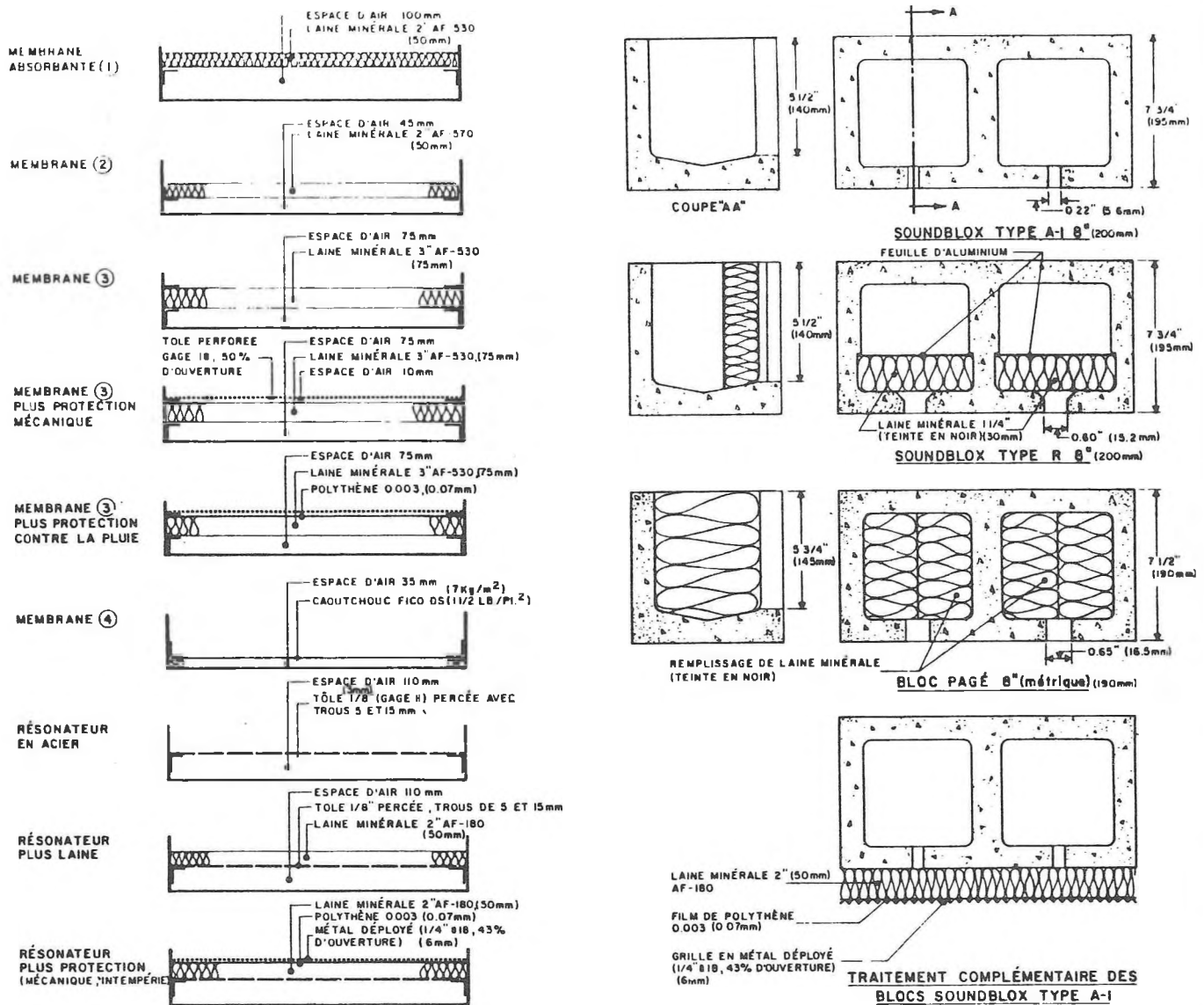
3. RESULTATS RELATIFS AUX ELEMENTS DE MACONNERIE

Nous avons testé trois sortes de blocs de béton acoustiques disponibles dans le commerce (0,20 m d'épaisseur à deux cavités). Leurs comportements ont été assez semblables soit une forte absorption à 125 Hz et ensuite une décroissance assez rapide vers les hautes fréquences, tempérée par la présence d'une garniture intérieure de laine minérale pour deux d'entre eux. De même, après de nombreux tests au tube à ondes stationnaires, nous avons essayé de percer des blocs de béton creux ordinaires (3 trous de 19 mm par cavité). Malheureusement ces blocs percés se sont révélés, en définitive, inférieurs aux blocs du commerce (absorption maximale de 0,46 à 200 Hz); d'autre part l'opération de perçage est fort longue donc coûteuse, c'est pourquoi nous avons préféré nous concentrer sur l'optimisation des produits existants, tel que montré sur la Figure no 1.

Ainsi nous avons recouvert les blocs acoustiques (à deux cavités et deux fentes de 5,6 mm) d'une laine minérale judicieusement choisie de façon à permettre à la fois la pénétration des basses fréquences et l'absorption des harmoniques jusqu'à 500 et même 1 000 Hz. Nous sommes finalement arrivés au choix d'une laine faible densité (29 kg/m³). Les résultats de ce traitement complémentaire sont d'ailleurs reproduits avec ceux des blocs nus, sur la Figure no 2.

4. RESULTATS RELATIFS AUX CAISSONS EN ACIER AVEC TRAITEMENT ABSORBANT

Deux grands principes ont été mis en oeuvre pour la conception de ces caissons, soit les membranes accordées et les résonateurs avec cavité commune. En ce qui concerne les membranes, après plusieurs essais sur différents matériaux et indépendamment de la théorie appliquée pour les calculs préliminaires (PARKIN et HUMPHREYS, 1958) (5), il nous est apparu que la meilleure membrane devait être constituée d'une laine minérale épaisse (75 mm) à densité assez élevée (supérieure à 48 kg/m³). Ce dispositif s'est d'ailleurs révélé dans la réalité peu coûteux et très efficace, bien qu'il puisse sembler assez fragile, sans une protection à la fois mécanique et climatique. Cet excellent résultat est à rapprocher de celui que nous avons obtenu en 1976, lors de la mise au point de murs en maçonnerie (complétés par une membrane) pour le contrôle du bruit de la circulation automobile et notamment des basses fréquences issues des moteurs (6).



a) systèmes de panneaux modulaires en acier

b) éléments de maçonnerie

FIGURE NO 1 : Principaux matériaux et dispositifs testés en chambre réverbérante pour l'absorption du bruit des transformateurs.

Pour le choix d'un dispositif avec résonateurs, nous avons rejeté tout de suite le principe des volumes résonnants cloisonnés, parce que trop compliqués à construire. Nous avons concentré nos calculs, pour la paroi formant les collets des résonateurs, sur une tôle d'acier de 3,2 mm d'épaisseur, en prenant une disposition simple des perforations, suivant une grille orthogonale et avec un espacement de 76 mm. En fait, cet espacement des perforations est un paramètre important que nous avons dû optimiser lors des calculs préliminaires, en gardant seulement comme variable le diamètre des perforations et le volume de la cavité, ceci conformément à l'approche de LIENARD et FRANCOIS (1972) (7). Après de nombreux tests préliminaires, réalisés notamment en sons purs de façon à accorder les cavités, nous nous sommes fixés sur un système à double perforation, accordé à la fois sur 120 et 240 Hz. Afin d'élargir le spectre d'absorption et améliorer le système, nous avons ajouté une laine minérale à faible densité

NEW from B & K

The first Precision Sound Level Meter that performs and stores 5 different measurements all at the same time . . . updates them all . . . and lets you read any of them at will

The B & K Type 2230 incorporates all features required to accurately measure any kind of noise:

1. Sound Pressure Level (SPL), with display updated once per second
2. Maximum detected level in the measuring period
3. Minimum detected level in the measuring period
4. L_{eq} – the equivalent continuous level of fluctuating noise
5. Sound Exposure Level (SEL)

Also offers choice of 2 detector modes (RMS and Peak), 3 time weightings and 4 frequency weightings

Octave and 1/3-Octave analysis using add-on filters Types 1624 and 1625

Precision Integrating Sound Level Meter Type 2230

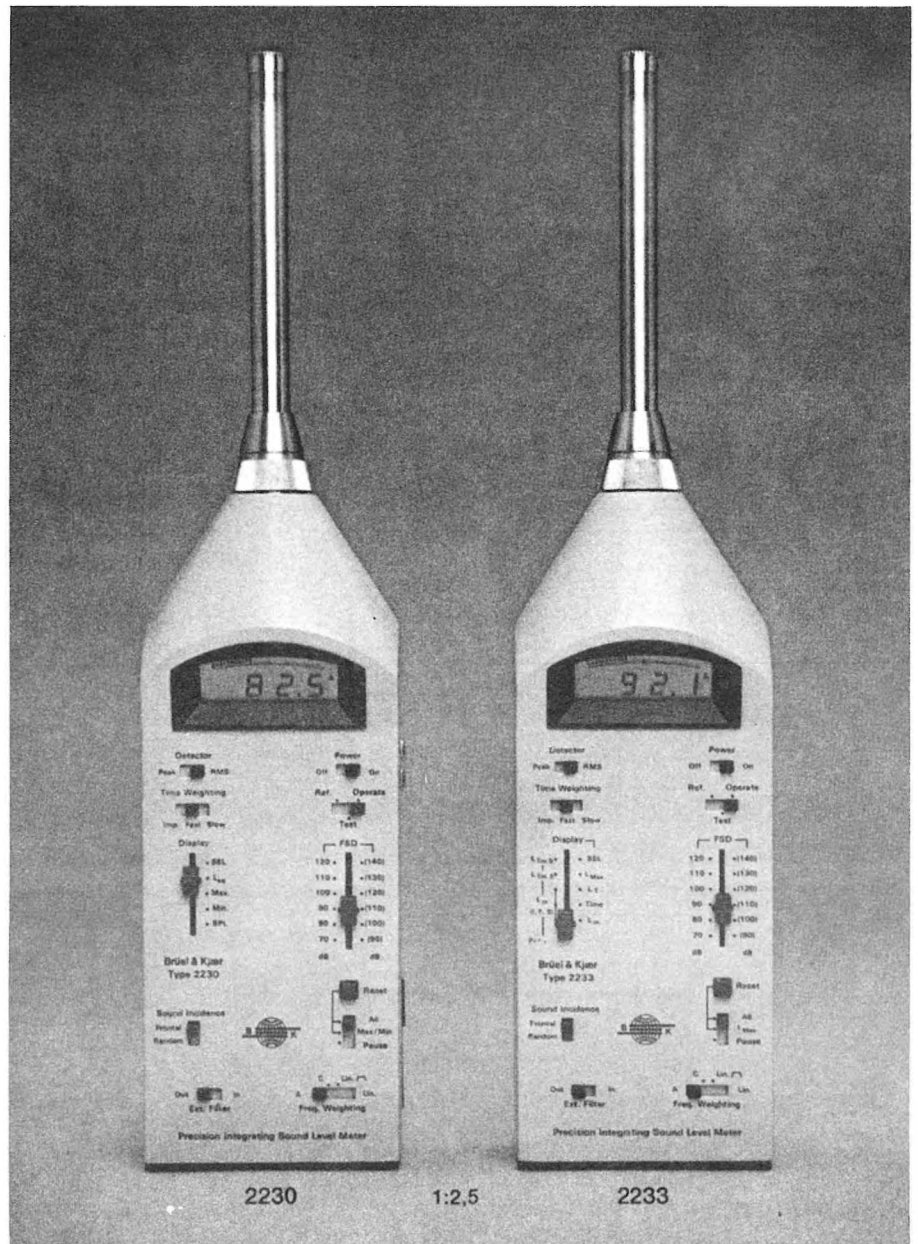
The 2230 is a comprehensive Precision Sound Level Meter, designed for community-noise and factory-noise investigations, as well as assessment of the risk of hearing damage. It incorporates five measuring modes, all **simultaneously** updated:

SPL: Current sound pressure level, display updated once per second. (Conforms to IEC 651 Type 1)

L_{eq} and **SEL:** Measuring period limited only by battery life (approximately 8 hours)

Max.: Maximum detected level in the measuring period. Useful for measurement of noise events.

Min.: Minimum detected level in the measuring period. Gives an indication of the background noise level.



- A- and C-weighting, All-pass (10 Hz to 50 kHz) and Lin. (20 Hz to 20 kHz) available on all measurement modes
- RMS (Fast, Slow, Impulse) and Peak response
- Max. Hold selectable on all response modes
- 24 to 130 dB(A) measuring range in six overlapping 70 dB sub-ranges. 30 to 150 dB(A) with 20 dB Attenuator ZF 0020
- Dual-mode Reset, plus Pause function
- Built-in 94 dB calibration signal
- AC and DC Output for recording

Type 2230 complies with IEC 651 Type 1, ANSI S1.4 Type S1 and the pro-

posed Standard for Integrating Sound Level Meters, Type 1.

Precision Integrating Sound Level Meter Type 2233

The 2233 is a version of the 2230 adapted to the requirements of German DIN 45 655 Draft Standard. It includes all the features of the 2230, except that the elapsed measuring time is displayed instead of the *Min.* detected level. Moreover, the 2233 features a selectable 1-, 3- and 5-second updating interval for measurements conforming to German *Takt-Maximalpegel* — *TA-Lärm*. These three updating intervals are available with any measuring mode (except SEL). The desired interval is programmed before the measurement is started.

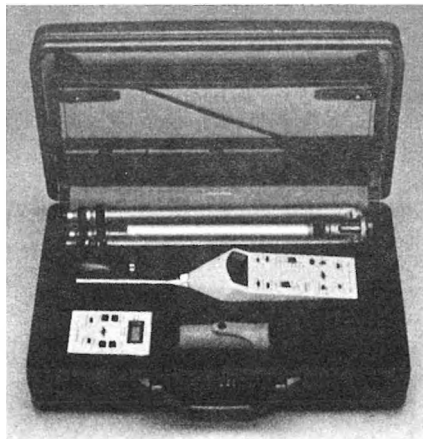
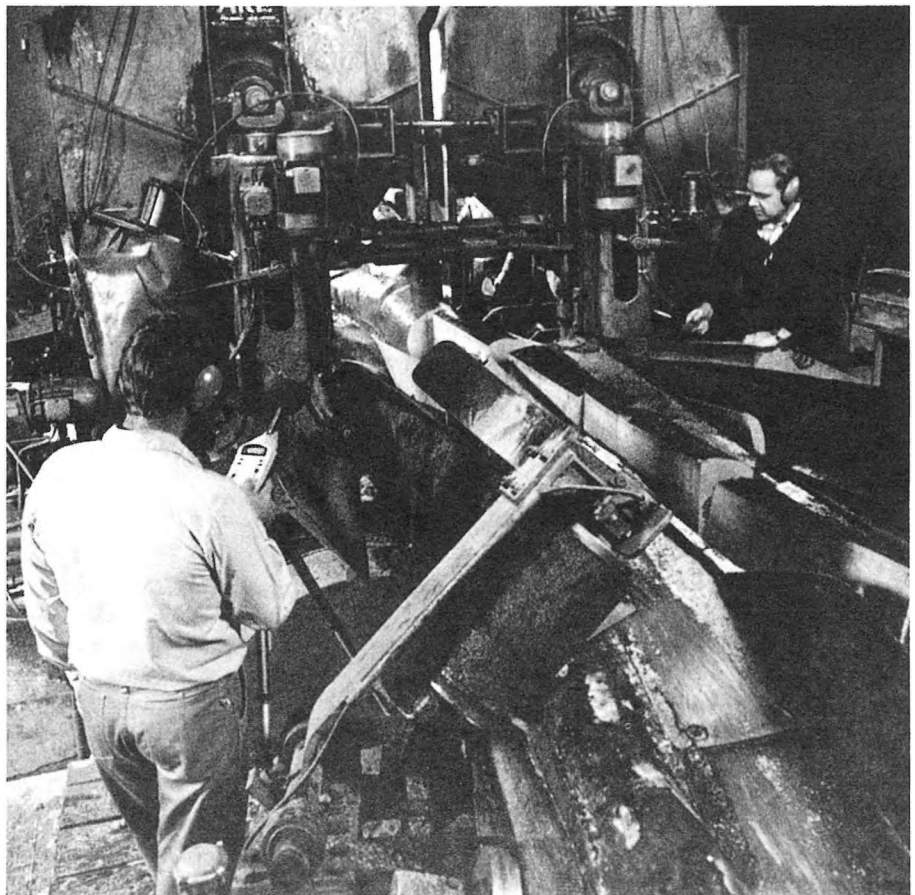
Two compact, light-weight filter sets are available which can be directly clipped on to the bottom of Type 2230 or 2233. They are used to identify the frequency components of noise to determine if the noise is annoying or dangerous, or to find the best suited noise control measures. The filters conform to the most stringent requirements of IEC, DIN and ANSI Standards.

Octave Filter Set Type 1624

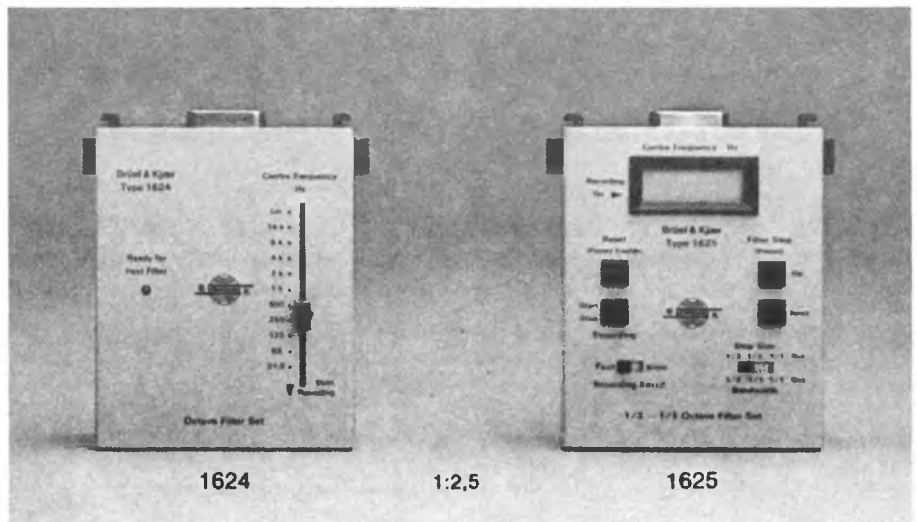
- 10 octave filters, centre frequencies from 31,5 Hz to 16 kHz
- Semi-automatic recording of analyses with Level Recorder Type 2306

Octave and Third Octave Filter Set Type 1625

- 31 third-octave filters and 31 overlapping octave filters, centre frequencies from 20 Hz to 20 kHz
- Selectable 1/3-octave and 1/1-octave octave-band centre frequency spacing
- Automatic filter-stepping with Level Recorder Type 2306. The dwell time on each filter is automatically controlled to give an optimum total analysis time



Field Measuring Set with a Sound Level Meter 2230 (or 2233), a Filter Set 1624 (or 1625), a Calibrator 4230, and a Tripod UA 0801, combined in a practical Carrying-Case KE 0226



BRUEL & KJAER CANADA LTD.

Specialists in acoustic and vibration measurement

MONTREAL

90 Leacock Road
Pointe Claire, Que. H9H 1H1
Tel.: (514) 695-8225

OTTAWA

7 Slack Road, Unit 4
Ottawa, Ont. K2G 0B7
Tel.: (613) 225-7648

TORONTO

71 Bramalea Road, Suite 71D
Bramalea, Ont. L6T 2W9
Tel.: (416) 791-1642

LONDON

23 Chalet Crescent
London, Ont. N6K 3C5
Tel.: (519) 473-3561

VANCOUVER

5520 Minoru Boulevard, Room 202
Richmond, B.C. V6X 2A9
Tel.: (604) 278-4257

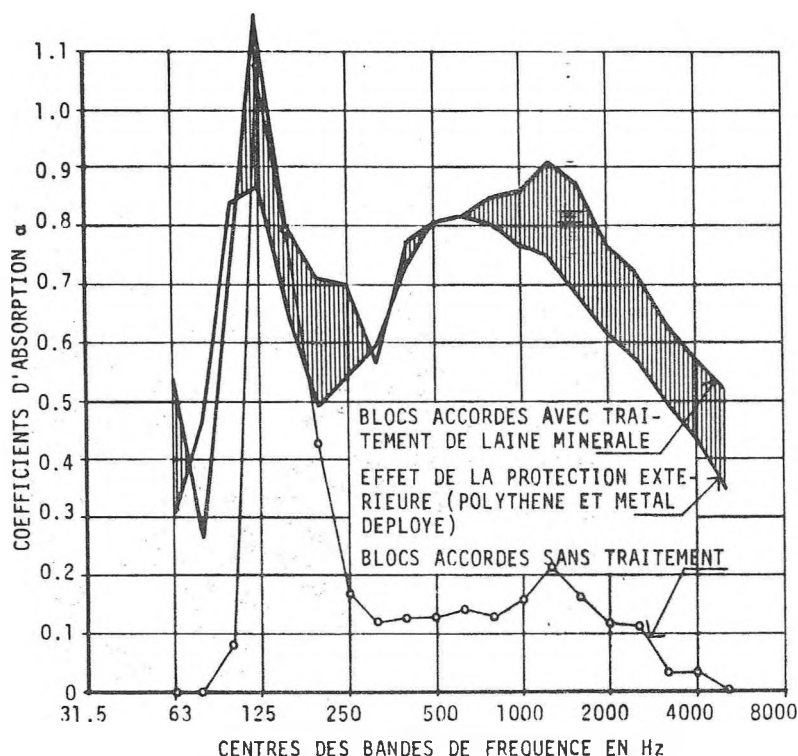


FIGURE NO 2 : Principaux résultats obtenus en chambre réverbérante pour des murs absorbants en maçonnerie

(29 kg/m^3) qui tout comme pour les blocs de béton creux, ne s'oppose pas à la pénétration des basses fréquences, tout en offrant une bonne absorption à partir de 500 Hz. D'ailleurs on commence un peu mieux à comprendre la nature du champ acoustique au voisinage de l'ouverture d'un résonateur, depuis l'existence des mesures intensimétriques (PETTERSEN et KRISTIANSEN, 1981) (8); ces études expliquent en partie l'efficacité de la disposition retenue. Les meilleurs résultats obtenus, tant pour les membranes que pour les résonateurs, sont reproduits sur la Figure no 3.

5. EFFET COMPLEMENTAIRE D'UN DISPOSITIF DE PROTECTION MECANIQUE ET CLIMATIQUE

Comme le montre les figures précédentes (notamment 1), pour la protection mécanique et la protection contre les intempéries du traitement acoustique, nous avons employé le même système pour les murs de maçonnerie et pour les résonateurs, soit une feuille de polythène de 7,5/100 mm et une grille extérieure de métal déployé à 42% d'ouverture. Les résultats acoustiques restent excellents, malgré une légère baisse de l'absorption au-dessus de 1 000 Hz, ce qui n'est pas important dans le cas du bruit des transformateurs. Pour les membranes absorbantes, le problème est plus complexe, puisqu'il faut laisser sa liberté au panneau en mouvement. La solution mise au point consiste en une feuille de polythène déposée directement sur la membrane de laine minérale et en une tôle perforée à 58% d'ouverture, installée à une distance d'environ 10 mm. Les résultats sont intéressants puisque le film de polythène ne réduit presque pas l'effet de la membrane dans la bande de 125 Hz. On peut d'ailleurs voir un exemple de cette disposition sur le Figure no 4 qui représente un mur écran, absorbant avec une membrane accordée installée sur un double "T" de béton.

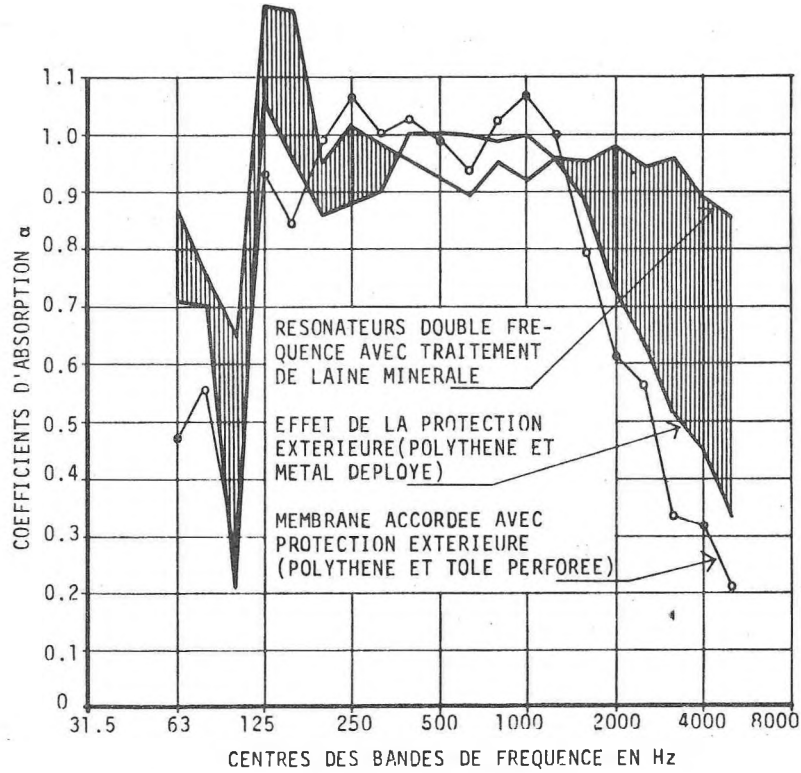


FIGURE NO 3 : Principaux résultats obtenus en chambre réverbérante pour des murs écrans constitués de caissons modulaires en acier.

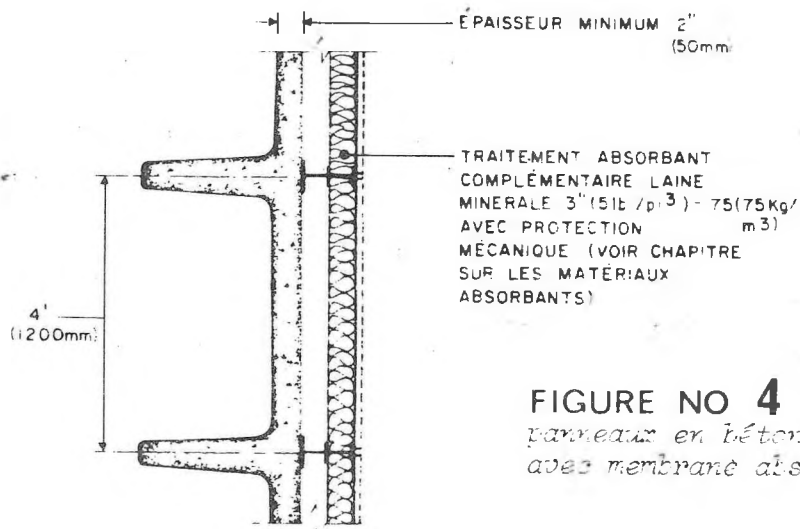


FIGURE NO 4 : Exemple d'utilisation de panneaux en béton préfabriqués doubles "T" avec membrane absorbante.

6. CONCLUSIONS RELATIVES AUX MATERIAUX ABSORBANTS ET AUX MURS ECRANS

Ces travaux montrent clairement qu'il est possible de construire des murs écrans autour des transformateurs électriques de puissance susceptibles de présenter à la fois une bonne durabilité et surtout une très forte absorption pour la fréquence de 120 Hz et ses harmoniques. A titre expérimental, nous avons eu l'occasion de construire en 1981 un mur linéaire de 4,6 m de hauteur et 22 m de longueur devant un transformateur de 315 Kv et 150 MVA; l'effet supplémentaire d'un absorbant du type membrane avec protection climatique a été de 4,5 dB(A) à 5 m de l'écran, 5,5 dB(A) à 10 m et encore 1,5 dB(A) à 100 m, ceci malgré l'ouverture du mur à ses extrémités et la présence d'une réflexion en arrière du transformateur. On peut donc constater l'importance de ce type de traitement, notamment pour les écrans à 3 ou 4 côtés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) MIGNERON, J.-G.: "Etude du contrôle acoustique dans les postes de transformation", 263 p., Hydro-Québec, Direction des Projets Electrotechniques et Lalonde, Girouard, Letendre et Ass., 1980.
- (2) REIPLINGER, E.: "Massnahmen zur Geräuschminderung in Umspannanlagen" in Technische Mitteilungen AEG-Telefunken, Vol. 62, No 2, 5 p., 1972 (version anglaise par Trafo-Union "Measures for reducing the noise in transformer stations").
- (3) ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION: "Mesure des coefficients d'absorption en salle réverbérante", 12 p., Recommandation ISO, R 354, décembre 1963.
- (4) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: "Standard method of test for sound absorption of acoustical materials in reverberation rooms", 5 p., A.S.T.M., C423-66, reapproved 1972.
- (5) PARKIN, P.H. et HUMPHREYS, H.R.: Acoustics Noise in Buildings, pp. 60-63, Faber and Faber, London, 1958.
- (6) MIGNERON, J.-G.: "Etude de l'absorption acoustique de la végétation et des matériaux de construction en vue d'une meilleure atténuation du bruit de la circulation automobile auprès des corridors de transport", 45 p., Laboratoire d'acoustique, Ecole d'architecture, Université Laval, Québec septembre 1976.
- (7) LIENARD, P. et FRANCOIS, P.: Acoustique industrielle - Eléments fondamentaux et métrologie, pp. 85-93, Monographie d'acoustique du GALF, Ed. Naturalia Biologia, Paris, 1972.
- (8) PETERSEN, O.K. et KRISTIANSEN, U.R.: "Describing acoustic energy flow in two dimensions by the use of intensity vectors", communication au Congrès int. sur les progrès récents dans la mesure de l'intensité acoustique, Senlis, 30 septembre-2 octobre 1981 (in Revue d'acoustique, pp. 36-45, No 60, 1982).