Sur une technique de réverbération dans les solides

V. Mladenovic, A. Zarembowitch

► To cite this version:

V. Mladenovic, A. Zarembowitch. Sur une technique de réverbération dans les solides. Journal de Physique IV Proceedings, 1994, 04 (C5), pp.C5-773-C5-776. 10.1051/jp4:19945168 . jpa-00252848

HAL Id: jpa-00252848

<https://hal.science/jpa-00252848>

Submitted on 1 Jan 1994

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Sur une technique de réverbération dans les solides

V. MLADENOVIC et A. ZAREMBOWITCH

Département de Recherches Physiques, UA 71 du CNRS, Université Pierre et Marie Curie, Tour 22, 4 Place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

ABSTRACT : The reverberation techniques well known in room acoustics can be used for solids and liquids in the ultrasonic frequency range. In particular, the reverberation time concept is shown experimentally to be valid and used to evaluate the ultrasonic attenuation in a metallic solid.

1. INTRODUCTION

Les techniques de réverbération sonore sont très utilisées en acoustique architecturale pour l'estimation de la qualité acoustique des salles, la mesure du coefficient d'absorption des matériaux, la mesure de l'isolement des parois ...

Ces techniques sont également employées pour l'étude des propriétés acoustiques des liquides: évaluation de l'atténuation ultrasonore et mise en évidence des effets de relaxation pour les fréquences de 20 kHz à quelques MHz.

L'extension de cette approche à l'évaluation de l'atténuation des ondes ultrasonores dans les solides présente beaucoup d'intérêt. En effet les méthodes classiques qui sont fondées soit sur l'emploi de techniques échographiques [1], soit sur l'utilisation de techniques acousto-optiques [2], ne sont guère utilisables aux basses fréquences ultrasonores (inférieures au MHz) du fait de la divergence du faisceau et de l'influence majeure de la forme de l'échantillon sur les résultats obtenus. Par ailleurs, dans les matériaux complexes, béton, matériaux poreux, matériaux composites ... la valeur élevée de l'atténuation oblige à travailler à basse fréquence.

Cependant, l'emploi des techniques de réverbération dans le cas des matériaux solides soulève de nombreux problèmes théoriques:

- Le champ ultrasonore est complexe car constitué d'ondes longitudinales et transversales couplées par conversion de modes.
- Les résultats dépendent des différents coefficients de réflexion de transmission et d'absorption des parois, paramètres qui ne sont généralement pas connus.

Néanmoins quelques travaux sur ce thème ont été publiés au cours des vingt dernières années: en particulier on peut citer l'utilisation de ces techniques par HERMINGHAUS et BERCKHEMER en 1974 [3], une contribution majeure de EGGLE en 1980 [4] et plusieurs articles de WEAVER à partir de 1982 [5,6].

Toutefois, si ces différents auteurs utilisent des méthodes inspirées des techniques de réverbération de l'acoustique architecturale, le concept de temps de réverbération ne semble pas avoir été transposé aux cas des solides et des liquides.

Dans cet article nous nous proposons d'examiner l'intérêt de l'utilisation du concept de temps de réverbération dans les solides, de décrire la méthode de mesure que nous avons employé et de présenter quelques résultats significatifs.

2. TEMPS DE REVERBERATION DANS LES LIQUIDES ET SOLIDES

En acoustique architecturale le concept de temps de réverbération se rapporte à une situation idéalisée dans laquelle un champ acoustique diffus a été établi dans un volume clos à partir d'une source acoustique large bande.

Lorsque cette source est arrêtée brusquement, l'énergie acoustique dans le volume décroît progressivement. L'intervalle de temps nécessaire pour que le niveau d'énergie acoustique décroisse de 60 dB définit T , temps de réverbération de ce volume [7,8]. Les paramètres qui déterminent cette décroissance sont liés par la formule de Sabine:

$$T = \frac{1}{c} \frac{6 \ln 10}{m - \frac{\ln(1-\bar{\alpha})}{\bar{l}}}, \quad (1)$$

- c est la vitesse de propagation des ondes acoustiques dans le milieu,
- m est l'atténuation des ondes acoustiques pendant la propagation dans le milieu,
- $\bar{\alpha}$ est le coefficient d'absorption acoustique moyen des parois,
- $\bar{l}$ est le libre parcours moyen entre les réflexions successives des ondes acoustiques planes.

Dans un champ acoustique diffus

$$\bar{l} = 4V / S, \quad (2)$$

V étant le volume du milieu et S la surface totale des parois délimitant le milieu.

L'extension de cette formule au cas des solides se présente favorablement en raison de plusieurs circonstances:

- L'impédance acoustique d'un solide très différente de celle de l'air favorise la réflexion des ondes acoustiques sur les parois; l'approximation du "corps noir" acoustique est donc raisonnablement réaliste.
- La vitesse moyenne du son dans un solide est suffisamment élevée pour que pendant 10 ms par exemple, un "trajet acoustique" de plusieurs dizaines de mètres ait été parcouru. Il en résulte que le temps de réverbération mesuré doit avec une bonne approximation être indépendant de la position des transducteurs émetteur et récepteur.
- L'atténuation du son aux fréquences ultrasonores dans le milieu solide est un facteur important intervenant dans la formule de Sabine et le rôle des parois n'est plus le facteur principal.
- La mesure du temps de réverbération peut donc constituer une méthode significative pour la mesure de l'atténuation dans les solides.

Ces observations peuvent naturellement être étendues au cas des liquides.

3. METHODE EXPERIMENTALE. RESULTATS

Des solides de nature et de forme différentes ont été examinés. A titre d'exemple nous rapportons les résultats de mesure obtenu sur un prisme droit en duralumin. La longueur des génératrices était 15 cm; la section droite avait la forme d'un pentagone irrégulier inscrit dans une circonférence de rayon de 12 cm. Les ondes acoustiques étaient produites à l'aide de transducteurs ultrasonores de fréquence centrale 1 MHz. Les figures 1 et 3 montrent les signaux enregistrés dans deux configurations où le transducteur émetteur est positionné sur une face latérale près du dièdre formé avec la base du prisme, et le transducteur

récepteur successivement sur une face latérale puis sur la base opposée du prisme. Ces signaux sont obtenus par excitation du volume solide par une impulsion dont le spectre est plat dans la bande passante du transducteur ultrasonore.

Figure 1. Réponse impulsionnelle, le transducteur étant placé sur une face latérale du prisme.

Figure 3. Réponse impulsionnelle, le transducteur étant placé sur la base du prisme.

Les figures 2. et 4. correspondent respectivement aux figures 1. et 3. après intégration des ces signaux. Le principe auquel il est fait appel pour traiter ces signaux s'inspire de la méthode proposée par SCHROEDER [9] en acoustique architecturale utilisant la réponse impulsionnelle du filtre passe bande se situant dans la chaîne de mesure. Cette méthode permet la réduction des fluctuations observées sur les figures 1 et 3, et la détermination précise de temps de réverbération.

Figure 2. Réponse impulsionnelle intégrée de la figure 1.

Figure 4. Réponse impulsionnelle intégrée de la figure 3.

A partir des courbes 2 et 4 on trouve ainsi : $T_1 = 62.08$ ms et $T_2 = 62.25$ ms. Ces résultats montrent que le temps de réverbération ne dépend pas de la position des transducteurs ce qui confirme le caractère diffus du champ ultrasonore.

On peut remarquer que pour les ondes transversales, il est possible de n'exciter que les ondes SH qui ne connaissent pas de conversion de modes. Dans ce cas l'atténuation du milieu et l'absorption des parois peuvent être évaluées en utilisant la formule (1). Avec un temps de réverbération $T = 14$ ms on trouve $m < 0.313 \text{ m}^{-1}$, donc une atténuation inférieure à 1.36 dBm^{-1} et une absorption des parois $\bar{\alpha} < 0.22$.

Références :

- [1] Papadakis E.P., " The Measurement of Ultrasonic Attenuation" Physical Acoustics Volume XIX, (Edited by R.N. Thurston and A.D. Pierce, Academic Press Inc., 1990) pp. 108-155.
- [2] Damon R.W., Maloney W.T. and McMahon D.H., " Interaction of Light with Ultrasound: Phenomena and Applications" Physical Acoustics Volume VII, (Edited by W.P. Mason and R.N. Thurston, Academic Press Inc., 1970) pp. 273-366.
- [3] Herminghaus Ch. and Berckhemer H., "Ultra Sound Absorption Measurements in Rock Samples at Low Temperatures" *J. Geophys.* **40**, (1974), 341-354.
- [4] Egle E.M. "Diffuse Wave Fields in Solid Media", *J.A.S.A.* **70**, (1981), 476-480.
- [5] Weaver R.L. "Diffuse Field Decay Rates for Material Characterization", Solid Mechanics Research for Quantitative Non-Destructive Evaluation, edited by Achenbach J.D. and Rajapakse Y., Martinus-Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands (1989), 425-434.
- [6] Weaver R.L. "Spectral Statistics in Elastodynamics", *J.A.S.A.* **85**, (1989), 1005-1012.
- [7] Kuttruff H. "Room Acoustics" Elsevier Science Publishing Co., New York, (1991). 218-252.
- [8] Cremer L. and Müller H.A. "Principles and Applications of Room Acoustics" Volume I, Applied Science Publishers, London, (1982).
- [9] Schroeder M.R. "New Method of Measuring Reverberation Time", *J.A.S.A.* **37**, (1965), 409-412.