ISOLEMENT DES RÉSONANCES D'UNE PLAQUE MÉTALLIQUE RECOUVERTE PAR UN POLYMÈRE

J. Izbicki, O. Lenoir, P. Rembert, P. Pareige, J. Zuber, G. Maze, J. Ripoche

▶ **To cite this version:**

J. Izbicki, O. Lenoir, P. Rembert, P. Pareige, J. Zuber, et al.. ISOLEMENT DES RÉSONANCES D'UNE PLAQUE MÉTALLIQUE RECOUVERTE PAR UN POLYMÈRE. Journal de Physique Colloques, 1990, 51 (C3), pp.C3-111-C3-120. 10.1051/jphyscol:1990312 . jpa-00230740

HAL Id: jpa-00230740
https://hal.science/jpa-00230740

Submitted on 4 Feb 2008

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.

COLLOQUE DE PHYSIQUE
Colloque C3, supplément au n°17, Tome 51, 1er septembre 1990

ISOLEMENT DES RÉSONANCES D'UNE PLAQUE MÉTALLIQUE RECOUVERTE PAR UN POLYMÈRE

J.L. IZBICKI, O. LENOIR, P. REMBERT, P. PAREIGE, J.L. ZUBER, G. MAZE et J. RIPOCHE

Laboratoire d'Acoustique Ultrasonore et d'Électronique, CNRS URA-1373, Université du Havre, Place Robert Schuman, F-76610 Le Havre, France

Résumé - Les résonances d'une plaque solide métallique contenue dans des structures du type polymère/couplant/plaque métallique sont étudiées. Les structures sont insonées par une impulsion brève; le signal réfléchi est traité par un algorithme de TFD. Si le polymère n'est pas trop absorbant, des spectres de résonances et des spectres provenant de la réémission des ondes guidées permettent d'isoler les résonances de la plaque métallique. Si le polymère est absorbant, (sa présence provoque une atténuation d'au moins 15 dB sur l'amplitude du premier écho par rapport à la réflexion sur la plaque métallique seule) une méthode mettant en jeu la phase de la totalité du signal réfléchi permet l'isolement des résonances de la plaque métallique.

Abstract - The resonances of a metallic plate included in polymer/coupling/metallic plate are studied. in all the cases, short pulse excitation is used; the reflected signal is processed by a FFT algorithm.. If the polymer is not too absorbant, resonance spectra or spectra obtained from the guided wave reemission allow the isolation of the metallic plate resonances. If the polymer is absorbant (its presence induces a 15 dB attenuation on the amplitude of the first echo comparatively to the reflection of the metallic plate alone), the study of the phase of the whole reflected signal provides the resonance frequencies of the metallic plate.

INTRODUCTION.

Le caractère résonnant de la diffusion acoustique par des couches élastiques planes est établi théoriquement depuis longtemps [1]. Expérimentalement, l'étude de la réflexion d'une onde incidente sur une plaque élastique met en évidence ce caractère résonnant. Lorsque l'onde incidente est constituée par un train de sinusoïdes suffisamment long, afin qu'un régime permanent de vibration soit établi dans la plaque, une extension de la méthode MIIR [2] a permis l'isolement des résonances de la plaque [3]. Lorsque l'excitation incidente est réalisée par une impulsion brève, il est également possible d'obtenir le spectre des résonances de la plaque en analysant une partie du signal réfléchi par la plaque [4-5].

Des expériences de diffusion acoustique permettant l'isolement des résonances d'une plaque métallique recouverte par un polymère sont rapportées ici. Dans une première partie, une plaque plastique recouvre une plaque en aluminium; le couplage entre les deux plaques est assuré par un mince film d'eau. Dans une seconde partie, des expériences concernant une couche d'absorbant collée sur une plaque d'aluminium sont décrites. Dans tous les cas de figure, une méthode de détection des résonances de la couche d'aluminium est proposée. Au préalable, les conditions expérimentales sont brièvement décrites.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphyscol:1990312

PROCEDURES EXPERIMENTALES

Les transducteurs et les multicouches sont immergés dans une cuve remplie d'eau. Les plaques utilisées ont des dimensions telles qu'il n'y a pas d'ondes stationnaires qui s'établissent dans la longueur ou la largeur des plaques. La zone d'insonation est toujours très inférieure à la surface totale de la structure étudiée. Une impulsion brève est appliquée à un transducteur large bande. Dans la méthode monostatique, le transducteur fonctionne également en récepteur; il insone la structure multicouche sous incidence normale. En fait, lorsque l'on parle d'incidence normale, il s'agit de la direction moyenne du faisceau incident qui est normale à la structure plane : une partie de l'énergie incidente arrive sur la structure sous incidence oblique à cause de la dimension finie de la pastille d'émission. Une partie de l'énergie reçue correspond à une réflexion sous incidence oblique; les niveaux d'amplitude correspondant sont cependant faibles vis à vis du niveau correspondant à l'incidence normale. Ceci explique pourquoi, sous "incidence normale", il est possible, expérimentalement, d'exciter des ondes transversales dans un solide. Dans la méthode bistatique, un deuxième transducteur, identique au transducteur émetteur, fonctionne en récepteur. Ce transducteur récepteur peut être positionné soit en position "Snell-Descartes" - il s'agit alors d'étudier la réflexion spéculaire du faisceau incident -, soit en position "guidée". Dans ce cas, le transducteur, positionné sous un angle égal à l'angle de réflexion, est décalé parallèlement au plan de la plaque par rapport au transducteur émetteur [6] : il s'agit d'étudier la réémission d'ondes guidées se propageant sur la structure et réémettant dans le liquide sous un angle correspondant à l'angle d'excitation.

Une transformée de Fourier discrète (TFD) est réalisée sur tout ou partie du signal reçu. On obtient, pour chaque fréquence, un nombre complexe. Il est usuel d'étudier le module de ce nombre complexe (ou le logarithme du module) en fonction de la fréquence : on obtient un spectre de puissance analogue à celui obtenu en méthode quasi-harmonique et appelé spectre de rétrodiffusion - tout le signal reçu est traité - et des spectres de résonances - seule la partie correspondant à la réémission libre de la structure est traitée après filtrage temporel. Il est montré qu'il est intéressant également d'examiner la partie réelle et la partie imaginaire du nombre complexe calculé par TFD [7-8]. Tous les spectres présentés dans la suite présentent une échelle logarithmique en ordonnée; les spectres ne sont pas corrigés par la prise en compte de la réponse en fréquence des transducteurs.

ETUDE DE LA STRUCTURE MAKROLON/EAU/ALUMINIUM

Il s'agit d'étudier une structure multicouche plane makrolon/eau/aluminium (structure "MEA") dans laquelle le makrolon est une couche plastique; l'eau "interne" sert de couplant entre les deux couches solides. Les épaisseurs des couches sont respectivement 4 mm, 1 mm et 2 mm. Une étude de la plaque de makrolon a montré que celle-ci ne présente pas de régime de réémission libre, ni en incidence normale, ni en incidence oblique [8]. Le signal rétrodiffusé par la structure obtenu par la méthode monostatique est composé de trois parties notées A, B, C (Fig. 1). La partie A correspond aux réflexions sur la première interface eau-makrolon et sur la deuxième interface makrolon-eau (interne); la partie B comporte à la fois des réflexions et des transmissions dans la structure; la partie C correspond à la réémission libre de la multicouche. Le spectre de la partie A (Fig. 2), le reste du signal ayant été filtré temporellement, correspond à celui obtenu à partir de la plaque de makrolon considérée isolément : les creux correspondent à l'excitation d'ondes longitudinales à l'intérieur de cette couche. Le spectre de la totalité du signal rétrodiffusé montre (Fig. 3) essentiellement des variations amples qui ne sont pas caractéristiques de la plaque d'aluminium mais plutôt de la plaque de makrolon. Le spectre

de la partie C (Fig. 4) montre un pic large à 1,56 MHz lié aux modes de Lamb S1 et S2 de l'aluminium : cette fréquence est celle qui est obtenue lors de l'étude d'une plaque d'aluminium considérée isolément. On ne détecte pas de résonances liées au makrolon ou à la couche d'eau interne; la présence d'une plaque de makrolon devant la plaque d'aluminium n'influe pas sur la position fréquentielle de la résonance. Une étude des ondes guidées parallèlement au plan de la structure permet également la détection des résonances de la plaque d'aluminium. Pour un angle d'incidence de 5°, le signal provenant de la réémission des ondes guidées (Fig. 5A) présente des paquets d'onde successifs dont la forme en losange est caractéristique de la propagation d'ondes guidées dans l'aluminium. Le spectre de puissance de ces paquets d'ondes (Fig. 5B) permet l'isolement des pics de résonances à 850 kHz, 1,66 MHz, 3,34 MHz qui correspondent aux modes de Lamb A1, S2, A3 de l'aluminium.

ETUDE DE LA STRUCTURE POLYSTYRENE/EAU/ALUMINIUM

La multicouche étudiée est composée d'une plaque de polystyrène de 2 mm d'épaisseur, d'une couche d'eau d'environ 0,2 mm d'épaisseur et d'une plaque d'aluminium de 5 mm d'épaisseur (structure "PEA"). Contrairement à la plaque de makrolon, le spectre de la réponse élastique de la plaque de polystyrène présente des pics de résonance. La figure 6 représente le spectre des résonances obtenu par la méthode monostatique de la plaque de polystyrène seule; l'obtention de ce spectre est difficile à cause d'un mauvais rapport signal sur bruit. Deux pics de résonance à 580 kHz (mode S2) et 1,72 MHz (mode S5) sont liés à des ondes longitudinales; les deux autres situés à 860 kHz (mode A2) et 1,42 MHz (mode A4) sont liés à des ondes transversales dans la plaque. En incidence oblique, les résonances sont plus faciles à obtenir et sont plus nombreuses (Fig. 7). Cette plaque plastique présente donc un caractère résonnant. Le problème qui se pose est le suivant : peut-on séparer expérimentalement les contributions résonnantes de chacune des plaques résonnantes de la structure PEA ?

En incidence normale, le signal réfléchi par la multicouche (Fig. 8) comprend une première partie notée A composée de 2 échos de réflexion aux interfaces eau/polystyrène ou polystyrène/eau (interne), une seconde partie notée B comprenant une succession de réflexions et de transmissions dans chaque couche de la multicouche et une troisième partie notée C correspondant à la réponse élastique de la multicouche. Le spectre de puissance de la totalité du signal rétrodiffusé (Fig. 9) a la forme générale du spectre de rétrodiffusion de la plaque d'aluminium seule : les minima observés à 0,62 0,66 1,30 1,90 1,96 2,62 3,28 MHz peuvent être observés sur le spectre de rétrodiffusion de la plaque d'aluminium de 5 mm étudiée isolément [8]. On note par ailleurs des oscillations d'amplitude faible comparée aux précédentes qu'il n'est pas possible d'attribuer à l'une ou l'autre des plaques solides. Elles ne sont pas liées non plus à des phénomènes résonnant dans la couche d'eau : son épaisseur est trop faible pour observer des résonances de la couche d'eau dans la gamme de fréquence utilisée. Le spectre de la réponse élastique (Fig. 10) est essentiellement dominé par des pics de résonances liés à des modes de vibration dans l'aluminium. Les pics de résonances correspondant à la réponse élastique du polystyrène ne sont pas aisément isolables : en incidence normale la dynamique des pics dus à l'aluminium est beaucoup plus importante que celle des pics dus au polystyrène. En incidence oblique, le spectre du régime libre de la structure PEA ne permet pas la séparation des contributions de chaque plaque et en particulier la détection claire des résonances de la plaque métallique. Afin de séparer les contributions résonnantes de chaque plaque, une étude de la propagation d'ondes guidées dans la multicouche est réalisée. L'angle d'incidence est fixé à 5°; le récepteur est placé à différentes distances de l'émetteur. Dans tous les cas, le signal observé (Fig. 12) présente une queue d'amplitude décroissante caractéristique de la propagation d'ondes guidées dans le

polystyrène et d'un paquet d'onde en forme de losange caractéristique de la propagation d'ondes guidées dans l'aluminium. Pour une distance de 28 cm de propagation sur la plaque, le spectre obtenu (Fig. 13) montre un grand nombre de pics bien isolés; ils sont d'ailleurs beaucoup mieux isolés que dans le spectre des résonances obtenu avec un transducteur récepteur placé en position "Snell-Descartes". Tous les pics observés correspondent à des modes de Lamb de l'aluminium. Pour une distance de 15 cm de propagation le spectre obtenu (Fig. 14) montre, d'une part, les pics précédents et, d'autre part, une autre famille de pics : ceux-ci sont liés aux modes de Lamb du polystyrène. L'étude des ondes guidées permet donc bien de séparer les contributions résonnantes. Bien que les deux solides soient couplés acoustiquement, les fréquences des résonances de la structure multicouche semblent être la juxtaposition des fréquences des résonances de chaque couche. Autrement dit, le couplage entre les deux plaques solides est suffisamment important pour exciter des résonances de l'aluminium mais n'est pas suffisant pour modifier les fréquences des résonances. Les ondes de Lamb associées à chaque couche semblent donc piégées dans chaque couche.

ETUDE DE LA STRUCTURE ABSORBANT/ALUMINIUM

Il s'agit d'étudier une multicouche comportant une couche viscoélastique de 1 cm d'épaisseur collée sur une plaque d'aluminium de 8 mm d'épaisseur. Certains résultats concernant cette structure ont été donnés par ailleurs [9]. Seules les conclusions obtenues sont rapportées ici. Pour une structure appelée ABS2/Aluminium il est possible d'obtenir un spectre des résonances mettant en évidence des résonances de la plaque d'aluminium obtenu dans les mêmes conditions que précédemment, et ceci bien qu'on ait affaire à un "vrai" absorbant en ce sens que le premier écho reçu dans la méthode monostatique a une amplitude diminuée de 20 dB environ par rapport à l'amplitude du premier écho rétrodiffusé par la plaque d'aluminium non recouverte. Ainsi, puisque le problème posé est celui de l'isolement des résonances, il ne suffit pas q'un absorbant, collé sur la plaque d'aluminium, atténue le premier écho pour empêcher la détection des résonances. L'énergie transmise à travers la plaque d'absorbant arrive jusqu'à la plaque d'aluminium; celle-ci rentre alors en résonance pour certaines fréquences. Par contre, pour la structure ABS1/Aluminium, il n'est pas possible d'observer un spectre des résonances bien que l'atténuation de l'amplitude du premier écho ne soit que de 15 dB environ. Une partie de l'energie transmise à travers l'absorbant est sans doute diffusée latéralement dans l'absorbant et le signal rétrodiffusé n'a pas une amplitude suffisante pour pouvoir obtenir un spectre de puissance dans de bonnes conditions.

Jusqu'à maintenant, la plupart des expérimentateurs se sont intéressés au spectre de puissance des signaux provenant de différents objets immergés dans l'eau. Cependant le calcul de la TFD d'un signal fournit, pour chaque fréquence, un nombre complexe. Pour obtenir les spectres "habituels", c'est à dire le spectre de rétrodiffusion et le spectre des résonances, il suffit de s'intéresser au module de ce nombre complexe. Quelques articles traitant de l'utilisation de la phase ont déjà été publiés [10]. Il est possible d'obtenir, à partir de l'oscilloscope numérique utilisé, l'évolution, en fonction de la fréquence du rapport de la partie imaginaire à la partie réelle (noté Im/Re) du nombre complexe obtenu à partir de la TFD de l'ensemble du signal reçu. Les transitions liées aux résonances se traduisent par des passages de la phase de $-\pi/2$ à $+\pi/2$. Donc, au voisinage d'une résonance, on peut s'attendre à observer de grandes variations du rapport Im/Re. Dans un premier temps, une plaque de PVC est utilisée. La figure 15 présente le spectre de puissance du signal rétrodiffusé par la plaque en incidence normale. Ce spectre présente l'allure classique d'un coefficient de réflexion, les minima étant liés à l'excitation d'ondes longitudinales dans le matériau. Il s'agit bien d'une plaque absorbante car le spectre de puissance du signal transmis ne

présente pas de maxima liés aux minima du spectre du signal réfléchi. Le spectre des résonances de cette plaque n'a pas pu être obtenu car la plaque ne présente pas de régime de réémission libre. Le spectre Im/Re (Fig. 16) fournit des informations sur l'excitation d'ondes longitudinales (L) et transversales (T) à l'intérieur de la plaque. Il semble donc que ce traitement apporte sensiblement plus d'informations que l'étude des spectres "habituels" dans le cas de matériau possédant des propriétés absorbantes marquées. Dans un second temps, le spectre Im/Re de la structure ABS1/Aluminium étudiée en incidence normale a été tracé (Fig. 17). On observe des transitions pour des fréquences égales aux fréquences de résonance de la plaque d'aluminium. Il semble donc intéressant de considérer des grandeurs liées à la phase et pas seulement aux spectres de puissance des signaux provenant de structures présentant des propriétés viscoélastiques.

CONCLUSION

L'isolement des résonances d'une couche solide métallique placée derrière une couche plastique plus ou moins absorbante a fait l'objet de diverses expériences. Ces expériences mettent en jeu des traitements assez simples de signaux impulsionnels réfléchis par une structure plane. Ces traitements consistent, suivant les cas, en l'obtention des spectres de puissance de tout ou partie du signal reçu - c'est le cas d'une structure plaque non résonnante peu absorbante/couplant (eau)/plaque métallique ou plaque peu absorbante résonnante/couplant (eau)/plaque métallique - en l'obtention du spectre Im/Re de tout le signal rétrodiffusé dans le cas d'une structure absorbant/couplant (colle)/plaque métallique. Des expériences sur des objets de géométrie cylindrique sont en cours [11]; l'influence de l'absorption sur les coefficients de réflexion et de transmission par des structures planes font également l'objet d'études [12].

Une partie de ce travail est soutenue par la DRET (Contrat 88/245) que nous remercions.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Voir e.g.
R. FIORITO, W. MADIGOSKY, H. UBERALL, Resonance theory of acoustic waves interacting with an elastic plate, J. Acoust. Soc. Am., 66, 1857-1866 (1977)
[2] G. MAZE, J. RIPOCHE, Méthode d'Isolement et d'Identification des Résonances (MIIR) de cylindres et de tubes soumis à une onde acoustique plane dans l'eau, Rev. Phys. Appl., 18, 319-326 (1983)
[3] J.L. IZBICKI, G. MAZE, J. RIPOCHE, Etude de la réémission libre d'une plaque résonnante, Acustica, 55, 27 (1984)
[4] M. de BILLY, Determination of the resonance spectrum of elastic bodies via the use of short pulses and Fourier transform theory, J. Acoust. Soc. Am., 79, 219-221 (1986)
[5] P. DELESTRE, J.L. IZBICKI, G. MAZE, J. RIPOCHE, Excitation acoustique impulsionnelle d'une plaque élastique immergée : application à l'isolement des résonances, Acustica, 61, 83-85 (1986)
[6] G. MAZE, J.L. IZBICKI, J. RIPOCHE, Resonances of plates and cylinders : guided waves, J. Acoust. Soc. Am., 77, 1352-1357 (1985)
[7] P. REMBERT, O. LENOIR, J.L. IZBICKI, G. MAZE, Experimental analysis of phase spectrum of cylindrical and plane targets : a new global method of isolation of resonances, Phys. Lett., 143, 467-471 (1990)
[8] O. LENOIR, Diffusion acoustique impulsionnelle par des multicouches planes immergées. Problème inverse. Détection des résonances en présence d'absorbant, Thèse de Doctorat de l'Université du Havre (1990)

[9] O. LENOIR, P. REMBERT, J.L. IZBICKI, G. MAZE, J. RIPOCHE, Influence d'absorbants sur la diffusion ultrasonore par une plaque élastique, 1 CFA Lyon 10-13 Avril 1990, J. Phys. 51C2,455-458 (1990)
[10] Voir e.g.
N.F. HAINES, J.C. BELL, P.J. MC INTYRE, The application of broadband ultrasonic spectroscopy to the study of layered media, J. Acoust. Soc. Am., 64, 1646-1651 (1978)
N. MERCIER, J.F.. de BELLEVAL, Evaluation de l'amplitude et de la phase en analyse spectrale du signal échographique, Traitement du Signal, 5, 425-433 (1985)
[11] P. REMBERT, O. LENOIR, P. PAREIGE, J.L. IZBICKI, G. MAZE, J. RIPOCHE, Isolation of resonances of cylindrical targets : comparison between different experimental methods (MIIR, Short Pulse MIIR and Im/Re), 119 Meeting of the Acoustical Society of America, State College, Pennsylvania, USA, 22-25 mai 1990 accepté
[12] O. LENOIR, P. REMBERT, J.L. IZBICKI, P. PAREIGE, A new method for the detection of viscoelastic solid resonances : the Im/Re spectrum, Symposium on Physical Acoustics, K. U. Leuven,Campus Kortrijk (1990) accepté.

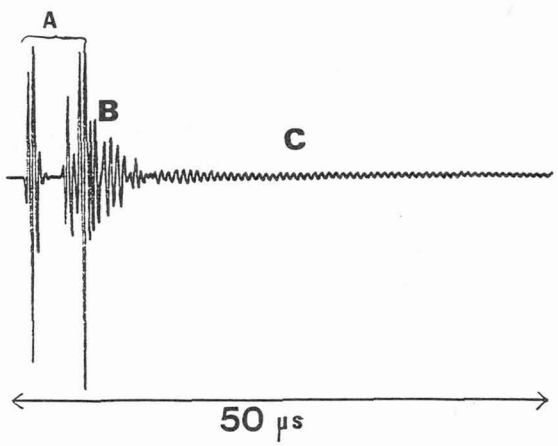


Fig. 1 Signal rétrodiffusé par la structure MEA

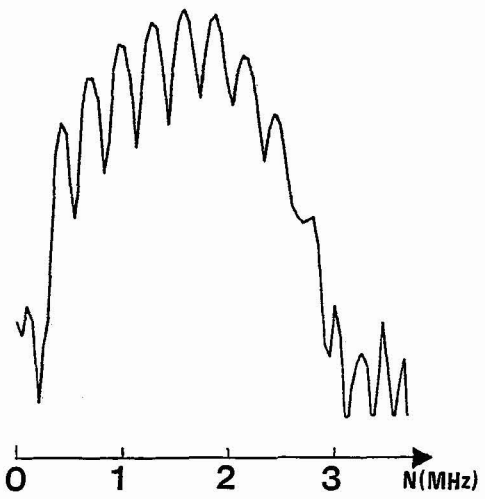


Fig. 2 Spectre de la partie A de la figure 1

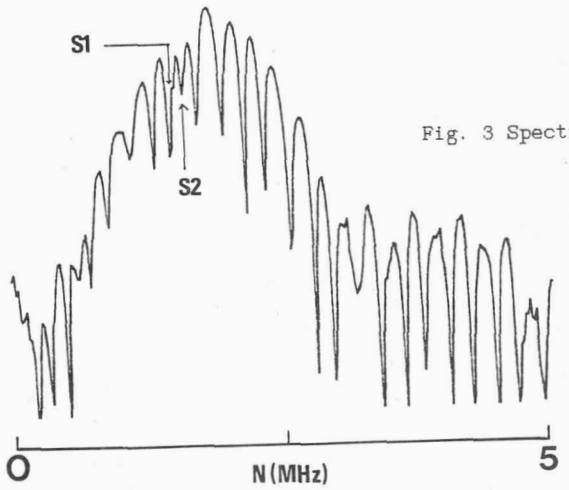


Fig. 3 Spectre de rétrodiffusion de la structure MEA

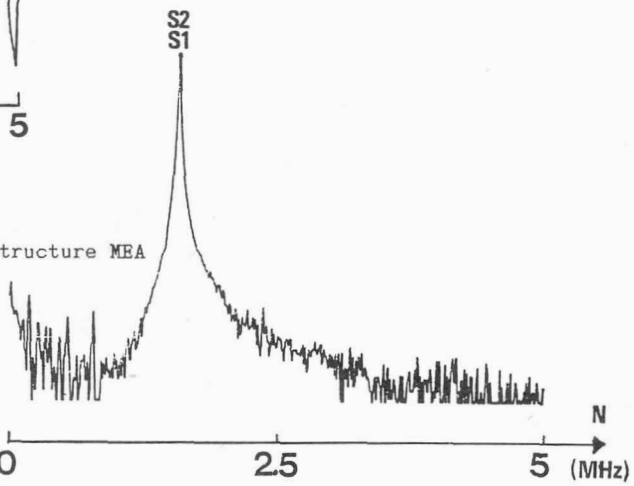
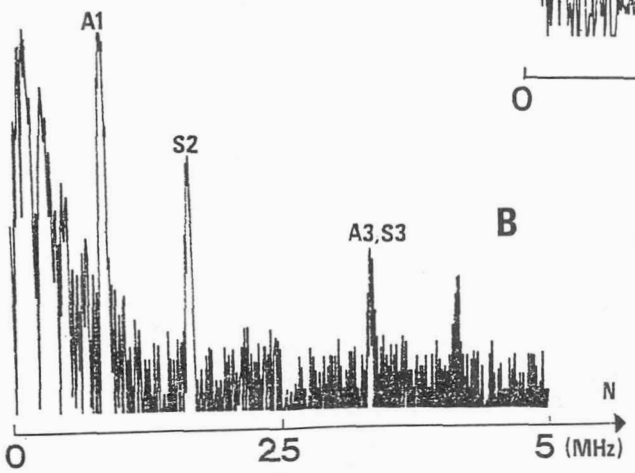


Fig. 4 Spectre des résonances de la structure MEA
(incidence normale)



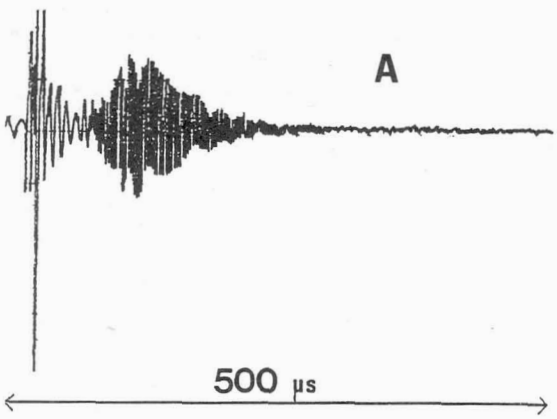


Fig. 5A Signal réémis par la structure MEA
Ondes guidées (angle d'incidence 5°)

5B Spectre de la figure 5A

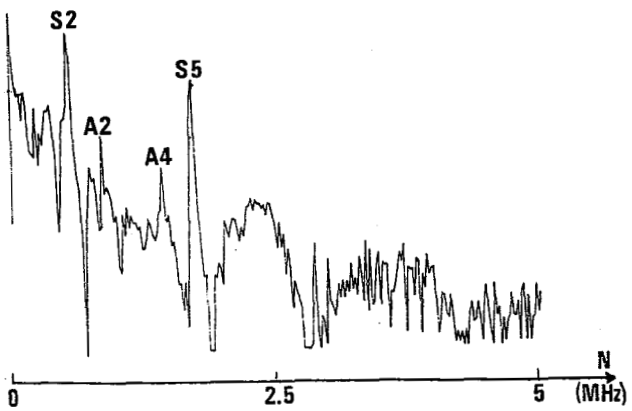


Fig. 6 Spectre des résonances de la plaque de polystyrène (incidence normale)

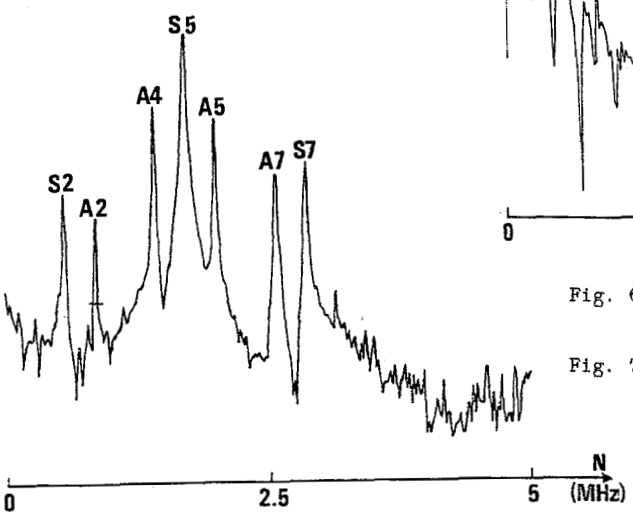


Fig. 7 Spectre des résonances de la plaque de polystyrène (incidence oblique 5°)

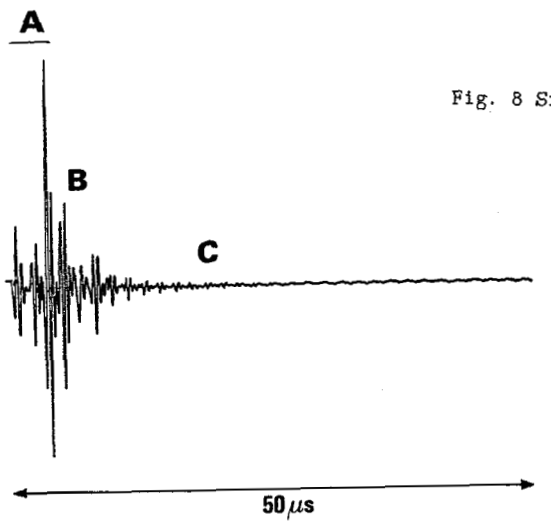


Fig. 8 Signal rétrodiffusé par la structure PEA

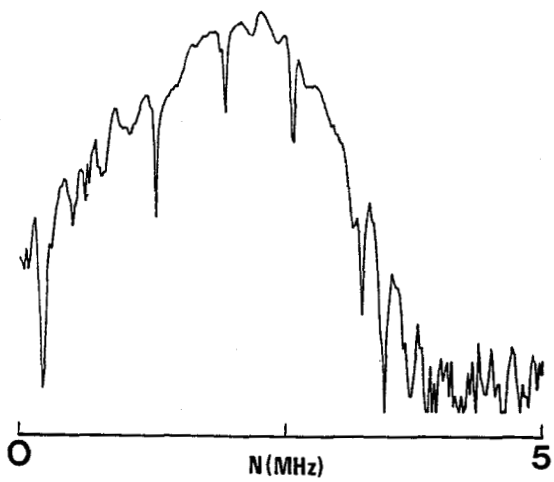
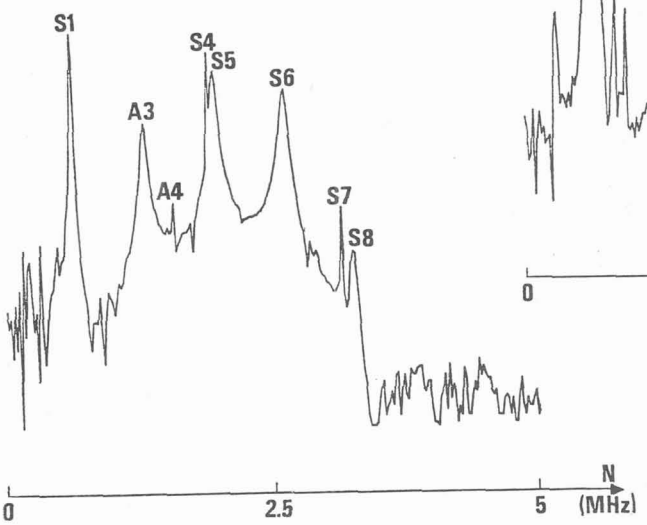


Fig. 9 Spectre de rétrodiffusion de la structure PEA

Fig. 10 Spectre des résonances de la structure PEA en incidence normale



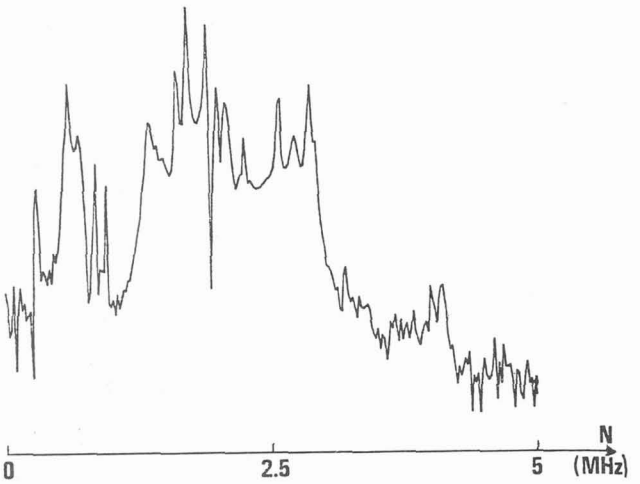


Fig. 11 Spectre des résonances de la structure PEA en incidence oblique (5°)

Fig. 12 Signal réémis par la structure PEA Ondes guidées (angle d'incidence 5°)

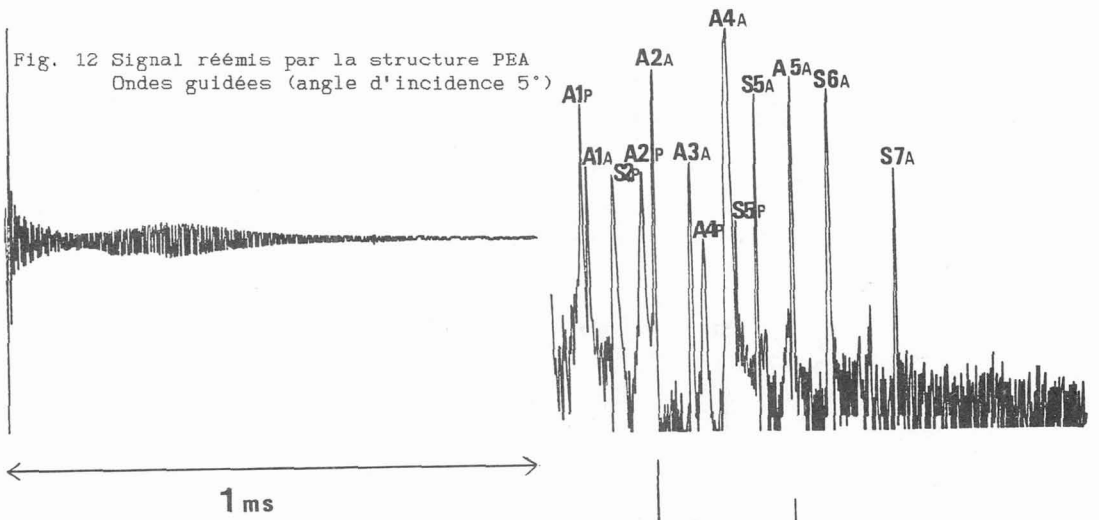
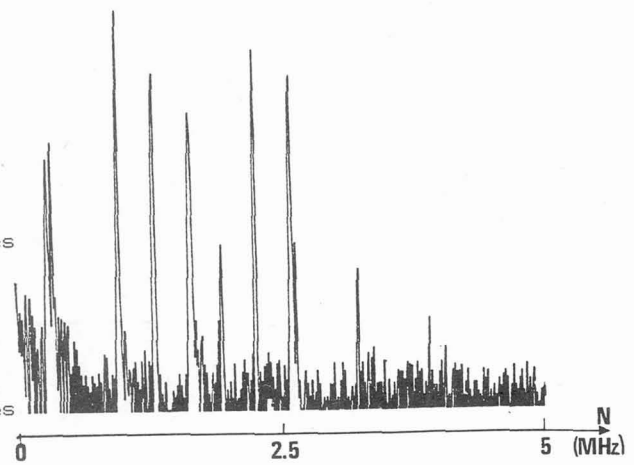


Fig. 13

Structure PEA : spectre des résonances liées aux ondes guidées (28 cm de propagation)

Fig. 14

Structure PEA : spectre des résonances liées aux ondes guidées (15 cm de propagation)



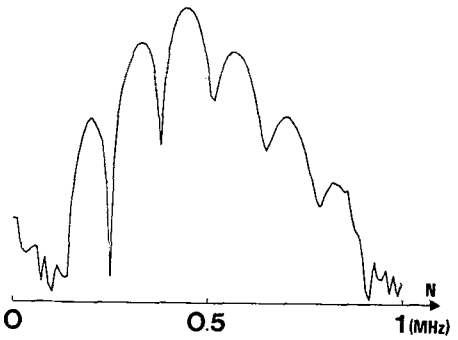


Fig. 15 Spectre de rétrodiffusion de la plaque de PVC

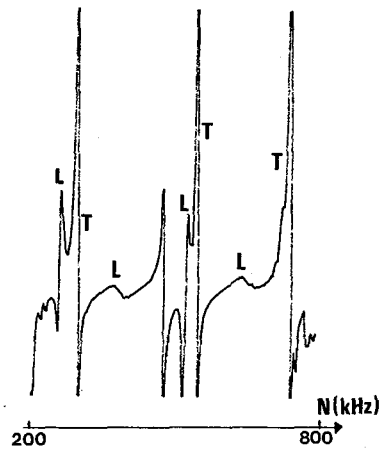


Fig. 16 Plaque de PVC : spectre Im/Re

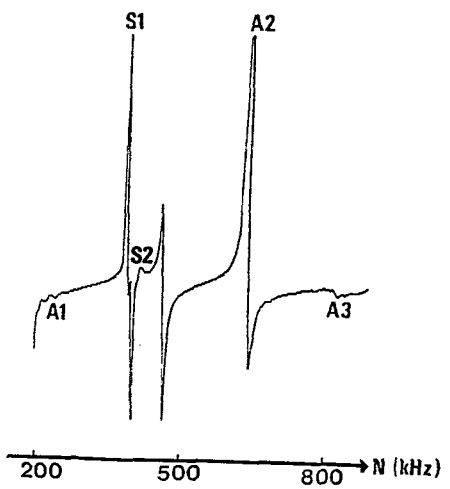


Fig. 17 Structure ABS1/Aluminium : spectre Im/Re