

SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

RETRODIFFUSION ULTRASONORE D'OBJETS DE FORME GEOMETRIQUE SIMPLE

BACKSCATTERING FROM OBJECTS OF SIMPLE GEOMETRIC SHAPE

A. FAURE, J. DUJARDIN, G. MAZE

Laboratoire d'Electronique et d'Automatique - U.E.R.S.T. - LE HAVRE
B.P. n° 4006 - 76077 LE HAVRE CEDEX

RESUME

SUMMARY

Les résultats proposés dans ce papier sont relatifs à la rétrodiffusion d'une onde ultrasonore émise par un transducteur dont la face parlante est plus petite que celle de l'échantillon plan immergé dans l'eau. Un calcul est effectué dans l'hypothèse d'une réflexion parfaite et compte tenu du diagramme d'émission du transducteur. Le résultat expérimental confirme ce calcul mais fait apparaître en plus des échos attribués, d'une part aux effets de diffraction par l'arête de l'échantillon, et d'autre part aux ondes de Lamb se propageant dans l'échantillon avec réémission dans l'eau.

The results presented in this paper are related to the backscattering from a plate. The ultrasonic wave is emitted by a transducer, the dimension of which is smaller than those of the plate immersed in water. A calculus is carried out in the hypothesis of perfect reflection and taking into account of the transducer directivity pattern. The agreement between the analytical and measured values is good for small incidence angles. For great angles other echoes are detected, some are related to wedge effect other are related to Lamb waves propagating in the layer and radiating into the water.



RETRODIFFUSION ULTRASONORE D'OBJETS DE FORME GEOMETRIQUE SIMPLE

BACKSCATTERING FROM OBJECTS OF SIMPLE GEOMETRIC SHAPE

INTRODUCTION :

L'utilisation d'un sonar à grande résolution angulaire, où la surface de l'élément actif est petite devant les dimensions des diffuseurs soumis au rayonnement soulève le problème de la reconnaissance d'objets dont l'étendue est plus grande que celle du faisceau ultrasonore. Une faible fraction de l'objet renvoie un écho exploitable, compatible avec la dynamique des dispositifs usuels d'affichage (40 dB pour un PPI par exemple). Une étude expérimentale a été entreprise dans le but de préciser la dynamique intrinsèque d'objets aux formes géométriques simples, tels que les plans et les cylindres. Les mesures ont porté sur la pression associée à l'onde ultrasonore rétrodiffusée par l'objet après l'irradiation sous forme d'une rafale de sinusoides de fréquence instantanée constante au cours de l'émission. On compare les résultats expérimentaux avec les calculs effectués en adoptant l'hypothèse de la réflexion parfaite sur l'objet, quelle que soit la valeur de l'angle d'incidence du rayon considéré.

I. POSITION DU PROBLEME :

1.1. Remarques préalables :

D'un point de vue expérimental, l'objet est situé à une distance L du transducteur fonctionnant en émetteur et en récepteur. Après chaque émission, le transducteur convenablement commuté fonctionne en récepteur. On se propose de calculer la pression acoustique développée sur la face active du transducteur en fonction de l'orientation de celui-ci. Cette orientation est repérée par l'angle u formé entre la perpendiculaire à la face active et la droite correspondant à la plus petite distance séparant cette dernière de l'objet.

La face active sera supposée être de forme circulaire, de diamètre $d = 2a$. Le transducteur développant une tension électrique proportionnelle à la pression acoustique, il est naturel de rechercher celle-ci en tout point du plan contenant la face active, et d'effectuer l'intégration.

Nous admettons que le point d'observation est situé en champ lointain par analogie avec les situations réellement rencontrées. Le rayon ultrasonore émis par la source placée en O frappe un élément de surface de l'échantillon, qui le renvoie au

point M du plan contenant la face active du transducteur. Les trajets respectifs sont r et r' . La pression acoustique P_M au point M est donnée par l'expression suivante :

$$P_M = j \cdot \frac{\rho c k a^2}{2} U.R.D. \cdot \frac{2J_1(ka \sin\theta)}{(ka \sin\theta)} \cdot \frac{\exp[i\omega t - k(r+r')]}{(r+r')}$$

ρ étant la masse volumique du milieu de propagation ; a le rayon du transducteur, $k = 2\pi/\lambda$ le nombre d'onde acoustique ; U l'amplitude du déplacement du transducteur à l'émission ; R le coefficient de réflexion et D le paramètre de divergence du faisceau.

Le coefficient D est une quantité d'origine géométrique exprimant l'effet de divergence supplémentaire acquise par un faisceau après réflexion.

$D = \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma'}}$, où σ est la section du faisceau réfléchi par une surface plane et σ' celle du faisceau réfléchi par l'objet. Pour un plan, $D = 1$. Bien entendu, R est une fonction de l'angle d'incidence. Mais, dans une première approche, on peut le considérer constant, eu égard aux faibles valeurs de l'angle d'incidence correspondant à un écho significatif.

1.2. Présentation des calculs :

Considérons la figure 1, où π est le plan réflecteur supposé de dimensions illimitées, placé à la distance L de la source. Nous appelons x' , y' les coordonnées du point M , intersection du rayon réfléchi avec le plan contenant la face active du transducteur :

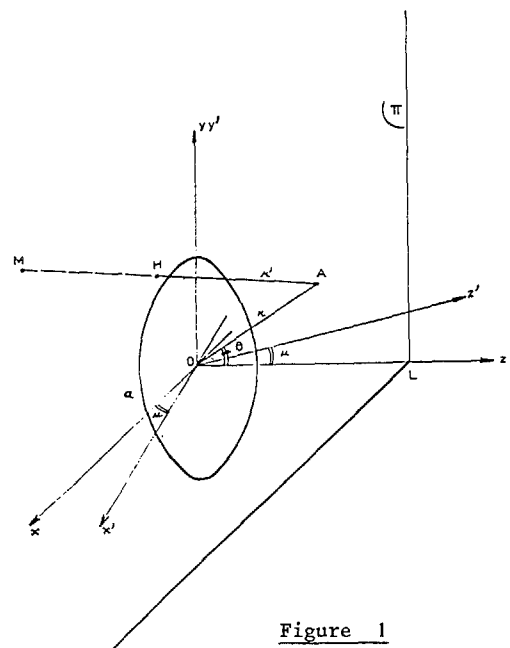


Figure 1

RETRODIFFUSION ULTRASONORE D'OBJETS DE FORME GEOMETRIQUE SIMPLE
BACKSCATTERING FROM OBJECTS OF SIMPLE GEOMETRIC SHAPE

Le point de rencontre du rayon incident avec le plan π est A. Dans le système de coordonnées déduit du système d'origine par rotation de l'angle u autour de $y'Oy$, les coordonnées du point A sont :

$$\begin{aligned} X' &= \frac{\ell(x' \cos 2u + \ell \sin 2u)}{2\ell - x' \cdot \text{tg } u} \\ Y' &= \frac{\ell \cdot y'}{2\ell - x' \cdot \text{tg } u} \\ Z' &= \frac{2\ell \cdot \cos^2 u (\ell - x' \text{tg } u)}{2\ell - x' \cdot \text{tg } u} \quad \text{avec } \ell = \frac{L}{\cos u} \end{aligned}$$

Nous pouvons ainsi exprimer r et r' en fonction de x' et y' , qui sont les variables d'intégration. Nous avons :

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2} \\ r' &= \sqrt{(x' - X')^2 + (y' - Y')^2 + (z' - Z')^2} \\ \text{avec : } \theta' &= \arctg \frac{\sqrt{X'^2 + Y'^2}}{(\ell - X' \text{tg } u)} \end{aligned}$$

La pression développée, à la réception, sur le transducteur est obtenue par intégration sur la surface et l'on prend la valeur moyenne de celle-ci, soit P_{moy} .

$$\begin{aligned} P_{\text{moy}} &= j \cdot \frac{4\rho ck}{\pi} U \left\{ \int_{x'=-a}^{x'=+a} \int_{y'=0}^{y'=\sqrt{a^2 - x'^2}} \frac{J_1(ka \sin \theta')}{(ka \sin \theta')} \times \right. \\ &\quad \left. \times \frac{\exp - jk(r+r')}{(r+r')} dy' dx' \right\} \quad (1) \end{aligned}$$

Le calcul numérique de cette pression moyenne, en fonction de l'angle u , est effectué sur ordinateur.

II. RESULTATS ET INTERPRETATION :

2.1. Montage expérimental :

Le dispositif expérimental utilisé (figure 2), pour relever les variations de pression acoustique comporte essentiellement un élément actif, le transducteur à base de céramique piézoélectrique

résonant en épaisseur, et fonctionnant de façon réversible.

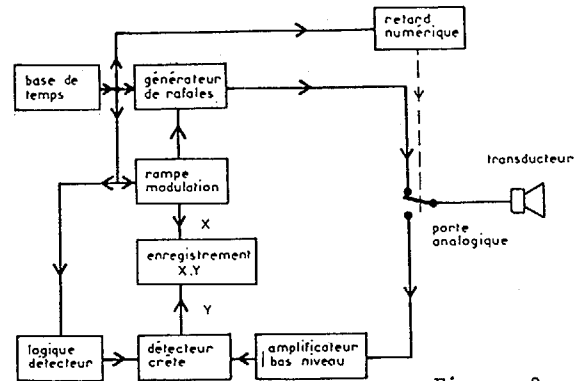


Figure 2

Ce dernier est entraîné en rotation autour d'un axe compris dans le plan de la face active, et sa position angulaire repérée est traduite en tension électrique. L'émission est ajustée de sorte que sa durée soit inférieure à celle du trajet séparant la source de l'objet réfléchissant, dont la surface est soigneusement polie. Après chaque émission, le transducteur est relié à un amplificateur au moyen d'un aiguillage électronique. Un détecteur-crête permet de garder temporairement en mémoire la valeur maximale du signal recueilli durant l'enregistrement graphique. Le détail des signaux traités est représenté (figure 3).

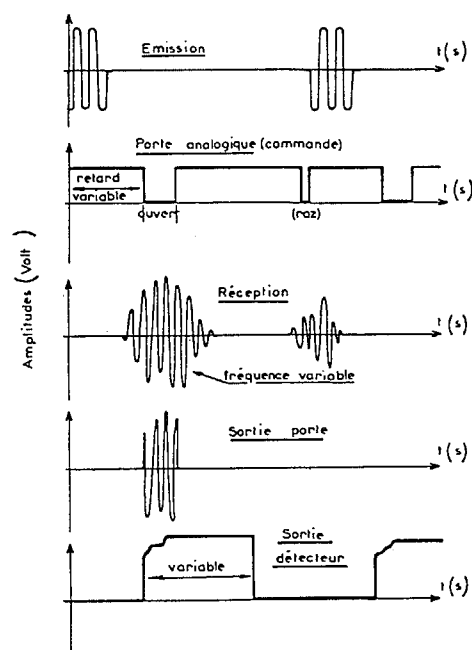


Figure 3



RETRODIFFUSION ULTRASONORE D'OBJETS DE FORME GEOMETRIQUE SIMPLE
BACKSCATTERING FROM OBJECTS OF SIMPLE GEOMETRIC SHAPE

2.2. Réflexion sur un plan :

Si les variations de l'angle u considéré sont de l'ordre de quelques degrés, les courbes obtenues sont semblables à celles représentées sur les figures 4 et 5.

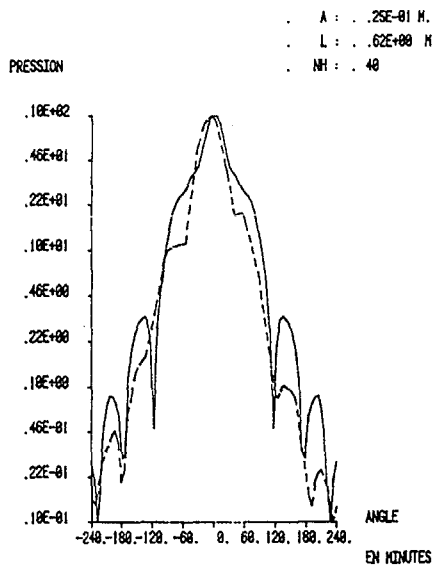


Figure 4

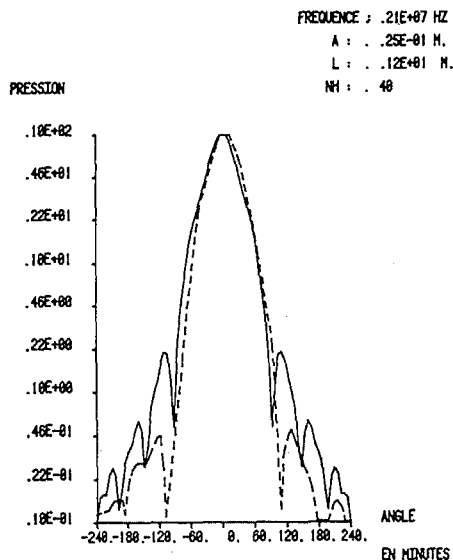


Figure 5

Les résultats théoriques, calculés à l'aide de la relation (1) pour $a = 2,5$ cm, $L = 0,6$ et $1,2$ m et une fréquence de $2,1$ MHz y sont représentés en trait continu, tandis que les résultats expérimentaux figurent en pointillés. Si la position des minimums du signal réfléchi, relative à chacune des courbes est en bonne coïncidence, on note un écart entre les niveaux de

pression considérés. Cet écart résulte vraisemblablement de l'effet de l'atténuation qui n'a pas été prise en compte pour l'établissement de la relation (1).

Si l'étendue des variations de l'angle de rotation du transducteur est plus grande, on obtient des figures semblables à celle représentée figure 6, où l'angle u est en abscisse et le niveau de l'écho en ordonnée.

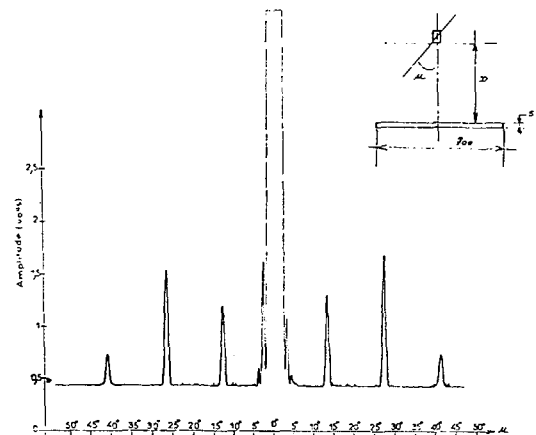


Figure 6

2.3. Interprétation :

Le maximum central correspond à la courbe établie par intégration de la relation (1). Les échos extrêmes correspondent aux extrémités de la plaque, c'est-à-dire correspondent à un angle tel que le faisceau incident atteigne l'arête de l'échantillon. Un phénomène de diffraction par une arête se manifeste alors. Les autres échos supplémentaires sont associés à la propagation d'ondes de Lamb généralisées, c'est-à-dire celles correspondant à une plaque mince immergée dans un liquide et non placée dans le vide. Lorsque l'angle d'incidence u est tel que la relation $\sin u = \frac{c}{C_L}$ où c est la célérité du son dans l'eau et C_L la vitesse de phase de l'onde de Lamb, un mode est excité.

La vérification est réalisée en comparant les résultats théoriques [1] avec la détermination expérimentale des angles "critiques". Ainsi, sur la figure 7, on a reporté les variations des angles u critiques correspondant aux différents modes de vibration de la plaque, en fonction du produit de la fréquence par l'épaisseur. On constate un excellent accord eu égard à la position des points expérimentaux.



RETRODIFFUSION ULTRASONORE D'OBJETS DE FORME GEOMETRIQUE SIMPLE

BACKSCATTERING FROM OBJECTS OF SIMPLE GEOMETRIC SHAPE

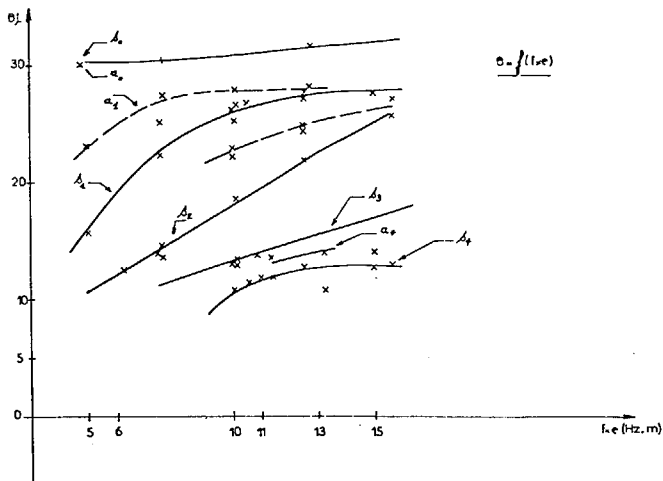


Figure 7

CONCLUSION :

Cette étude permet de mieux connaître la rétrodiffusion ultrasonore d'une plaque métallique mince. Elle permet tout particulièrement de mettre en évidence l'existence d'ondes de Lamb excitées suivant certains modes dans une plaque plongée dans l'eau. Une étude plus approfondie doit permettre, comme dans le cas des ondes de Rayleigh se propageant à l'interface eau-métal, une meilleure connaissance des mécanismes de propagation de ce type d'ondes.

BIBLIOGRAPHIE :

I.A. VIKTOROV Rayleigh and Lamb waves, Plenum Press. New York 1967.

Ce travail est réalisé dans le cadre d'un contrat D.R.E.T. n° 78/385.