

ANALYSE TEMPS FREQUENCE DE LA REPONSE D'UNE COQUE SPHERIQUE
 ACOUSTIQUE

 L.BRIZE.TRAMONI*, J.P.SESSAREGO*, J.SAGELOLI*, P.FLANDRIN*,
 M.ZAKHARIA*

*Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, LMA-CNRS 31 chemin Joseph Aiguier, 13402 Marseille Cedex 9.

°Laboratoire de Traitement de Signal, URA 346-CNRS, ICPI Lyon 25 rue du Plat, 69288 Lyon Cedex 02

RESUME

L'analyse d'un écho de cible au moyen d'une représentation temps-fréquence, fait apparaître à la fois, les caractéristiques temporelles, et fréquentielles des phénomènes mis en jeu. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de la diffusion acoustique par des coques sphériques minces. Comme représentation temps-fréquence, nous avons choisi la représentation de Wigner-Ville pour ses nombreuses propriétés théoriques, et nous avons analysé les échos de notre coque sphérique à l'aide de cette représentation. Nous disposons aussi, de nombreux résultats théoriques concernant des coques minces, et nous avons pu interpréter ceux-ci par la représentation de Wigner-Ville.

SUMMARY

Time frequency analysis display simultaneously signals characteristics in the frequency and time domain. In this work, we studied the acoustical scattering by thin spherical shells. We choosed the Wigner-Ville transform as an analysing tool because of it numerous theoretical properties. Many papers have been dealing with acoustical scattering and we have now a lot of experimental and theoretical results. So we can test the performances of Wigner-Ville analysis on echoes scattered by spherical shells.

1 Introduction

L'étude de la diffusion acoustique par des corps à géométrie simple a pour but, l'identification et la reconnaissance des cibles.

De nombreuses études théoriques ont été menées soit dans le domaine fréquentiel (étude des résonances acoustiques) /1,2 / soit dans le domaine temporel (mise en évidence d'ondes géométriques et d'ondes de surface) /3,4/. Ces deux approches font

apparaître, cependant, un certain nombre de limitations. En effet, sur une réponse temporelle, il peut exister des ondes difficilement séparables en temps. De même, dans le domaine fréquentiel, certaines résonances sont très voisines et il devient impossible de les distinguer expérimentalement. La distribution de Wigner-Ville (DWV) permet de dépasser ces limitations en répartissant dans le plan temps-fréquence, l'information contenue suivant l'axe des temps, ou, l'axe des fréquences.



II La distribution de Wigner-Ville

Introduite en 1932 par Wigner en mécanique quantique, puis reprise par Ville en 1948 en théorie du signal, la distribution de Wigner-Ville trouve des applications dans de nombreux domaines: optique, biologie, sismique, acoustique, traitement de la parole... C'est une méthode d'analyse temps-fréquence qui présente l'avantage de faire apparaître sur une même image les caractéristiques temporelles et fréquentielles /5,6,7,8/ du signal.

La transformée de DWV associée à un signal temporel $f(t)$ est une fonction à deux variables $W_f(t, \nu)$ définie par:

$$(1) W_f(t, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t+\tau/2) f^*(t-\tau/2) e^{-2i\pi\nu\tau} d\tau$$

où $*$ représente l'opération de conjugaison. On peut également définir la transformée de DWV associée au spectre $F(\nu)$:

$$(2) W_f(t, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\nu+f/2) F^*(\nu-f/2) e^{+2i\pi t f} df$$

où $F(\nu)$ est la transformée de Fourier de $f(t)$.

Cette transformation possède un certain nombre de propriétés que nous allons brièvement

Tout d'abord, la DWV satisfait aux deux relations suivantes:

$$(3) \int_{-\infty}^{\infty} W_f(t, \nu) dt = |F(\nu)|^2 \quad \text{et} \quad \int_{-\infty}^{\infty} W_f(t, \nu) d\nu = |f(t)|^2$$

Nous avons respectivement les valeurs de la densité spectrale énergétique et la puissance instantanée. Ainsi, la DWV apparaît donc comme une distribution de l'énergie du signal dans le plan temps-fréquence.

Le calcul du moment local d'ordre 1 nous permet d'obtenir le retard de groupe:

$$(4) \int_{-\infty}^{\infty} t W_f(t, \nu) dt / \int_{-\infty}^{\infty} W_f(t, \nu) dt = t_f(\nu)$$

Ce retard de groupe se présente comme lieu des centres de gravité de la DWV dans le plan temps-fréquence. Cette propriété est particulièrement importante si l'on veut utiliser la distribution de Wigner-Ville pour étudier quantitativement un phénomène de dispersion de vitesse.

Enfin, on peut aussi définir une fréquence instantanée à partir du calcul de l'autre moment local d'ordre 1:

$$(5) \int_{-\infty}^{\infty} \nu W_f(t, \nu) d\nu / \int_{-\infty}^{\infty} W_f(t, \nu) d\nu = \nu_f(t)$$

L'ensemble de ces propriétés fait de la DWV, un outil bien adapté à l'étude quantitative des phénomènes physiques mis en jeu lors de la diffusion acoustique. D'un point de vue pratique, pour effectuer

des calculs numériques, on travaillera non pas sur la DWV, mais sur des estimateurs /4/. C'est ainsi que l'on utilisera par la suite une Pseudo Wigner-Ville Lissée (PDWV) et non plus, la DWV classique.

III La diffusion acoustique par des coques.

L'étude de la diffusion acoustique par des coques sphériques a fait l'objet de nombreux travaux tant théoriques qu'expérimentaux, et les phénomènes mis en jeu lors de la diffusion acoustique sont maintenant bien connus.

La réponse acoustique d'une coque sphérique est caractérisé par la fonction de forme en

$$(6) F_{\infty}(k_1 a; \theta) = \frac{2r}{a} \left| \frac{P_{\text{diff}}}{P_{\text{inc}}} \right| \\ = \frac{2}{k_1 a} \left| \sum_{n=1}^{+\infty} (-i)^{(2n+1)} b_n P_n(\cos \theta) \right|$$

C'est une série modale où b_n représentent les inconnues qui caractérisent la diffusion dans le milieu fluide externe. Ces coefficients sont obtenus à partir des conditions aux limites du problème. Cette approche est relative au domaine fréquentiel. La fonction de forme obtenue met en évidence l'aspect résonnant du phénomène de la diffusion. Ces résonances apparaissent comme des pics plus ou moins bien résolus dans la représentation de la fonction de forme tracée dans les conditions de rétrodiffusion ($\theta = \pi$) /7,10,11/. Une autre approche, dans le domaine temporel, fait état d'ondes de surface qui se propagent autour de la cible, en rayonnant plus ou moins d'énergie dans le fluide environnant. Uberall a montré /12/ qu'une résonance était excitée chaque fois qu'une onde de surface entourait la sphère avec un nombre impair de demi-longueur d'ondes. Ce résultat établit donc une relation directe entre résonances et ondes de surface. Cependant de la même façon que pour le plan fréquentiel, l'approche des phénomènes dans le plan temporel n'est pas toujours facile. En effet, des ondes de surface de différentes natures peuvent se chevaucher, et rendre l'interprétation des phénomènes très délicate. (fig 1). La représentation temps-fréquence permet de dépasser ces inconvénients en étalant les phénomènes dans un plan, et donc, de faire ressortir des structures difficiles à voir dans le plan temporel seul, ou dans le plan fréquentiel seul.

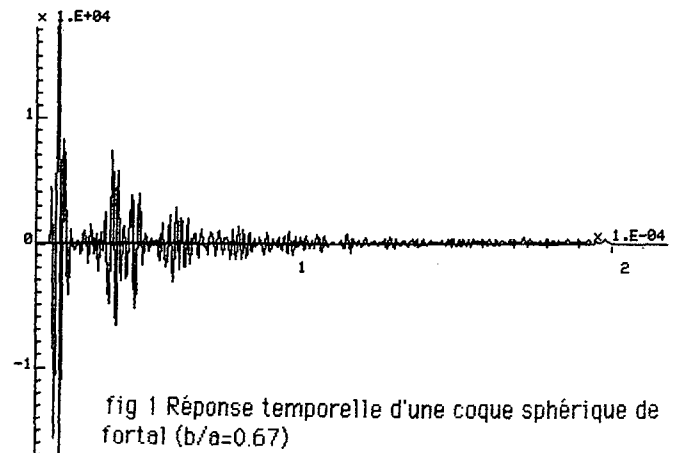


fig 1 Réponse temporelle d'une coque sphérique de fortal ($b/a=0.67$)

IV Quelques résultats expérimentaux

Nous avons étudié une coque sphérique de duraluminium d'un rapport $b/a=0.9$ (b rayon, interne de la coque/ a rayon externe). La coque a été insonifiée successivement avec deux transducteurs large bande, l'un centré à 250khz, l'autre centré à 500khz. Les



réponses temporelles et fréquentielles sont représentées sur les figures 2 et 3.

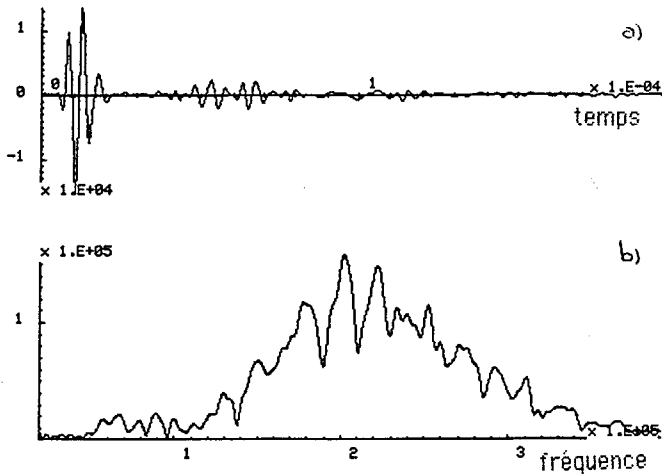


fig 2 Réponse temporelle (a) et fréquentielle (b) d'une coque sphérique de fortal ($b/a=0.9$ et transducteur centré à 225 KHz)

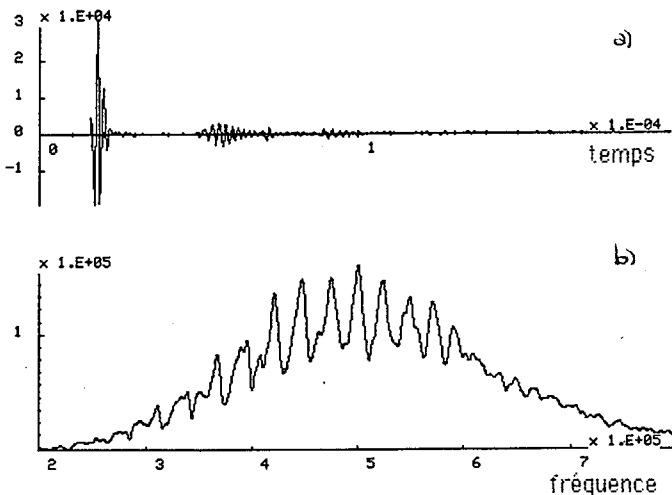


fig 3 Réponse temporelle (a) et fréquentielle (b) d'une coque sphérique de fortal ($b/a=0.9$ et transducteur centré à 500 KHz)

A ces signaux, nous avons appliqué une analyse Pseudo Wigner-Ville Lissée (fig 4,5). On observe une succession de structures plus ou moins énergétiques correspondant à des paquets d'ondes. La première structure correspond à l'écho réfléchi spéculairement. Les structures suivantes correspondent à des ondes qui ont fait un certain nombre de fois le tour de la coque. En analysant simultanément les deux figures (4) et (5), on peut mettre en évidence des ondes qui sont peu dispersives à basse fréquence (200-300kHz) et deviennent fortement dispersives à des fréquences plus élevés (400-700kHz). Il existe aussi une onde très basse fréquence 89kHz (fig 4) qui est très atténuée au cours de sa propagation sur la cible et qui se propage très lentement.

A partir de l'analyse de Wigner-Ville et de l'application de la relation (4), on a essayé de déterminer la vitesse de groupe des diverses ondes mises en jeu. Les résultats théoriques [11] sur les coques établissent que, pour l'épaisseur et les fréquences balayées, les ondes (a,b sur figures 4 et 5) ont un comportement type onde de plaque. Sur la figure 6, nous avons tracé les vitesses de groupe de ces ondes que nous comparons à la vitesse de groupe d'une onde Lamb symétrique S_0 , calculée pour le cas d'une plaque

mince de même épaisseur, et, même matériau que la coque sphérique. On peut noter une bonne correspondance avec les résultats théoriques.

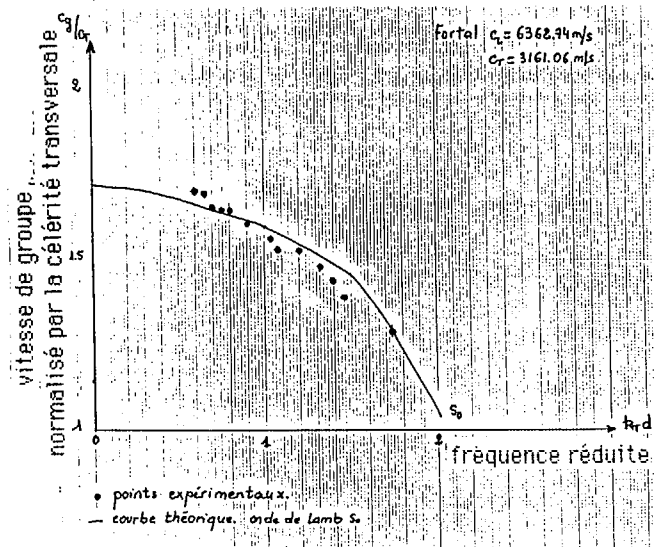


fig 6 courbe de dispersion de la vitesse de groupe

Conclusion

La distribution de Wigner-Ville est un outil privilégié pour l'étude de problèmes dans lesquels apparaissent des phénomènes de dispersion de vitesse. Outre la possibilité de représenter de façon "éclatée" dans un plan des structures complexes, la DWV permet aussi une analyse quantitative très fine des phénomènes mis en jeu.

Remerciement

Cette étude a été soutenue en partie par la D.R.E.T.

Bibliographie

- GAZANHES C, SESSAREGO JP, HERAULT JP, LEANDRE J Etudes des premières résonances d'une sphère élastique Rev Cathedec 70 (1982) 1-15
- FLAX L, DRAGONETTE LR, UBERALL H Theory of elastic resonance excitation by sound scattering JASA 63 (1978) 723-731
- DEREM A Diffusion acoustique par des corps cylindriques immergés: aspects généraux Rev Cathedec 80 (1980) 221-245
- ROUSSELOT JL Relation entre les ondes de surface et les résonances dans un cylindre creux Rev Cathedec 72 (1982) 47-60
- FLANDRIN P Représentations temps-fréquence des signaux non stationnaires thèse d'état INPG Grenoble (1987)
- FLANDRIN P, ESCUDIE B Principe et mise en oeuvre de l'analyse temps-fréquence par transformation de Wigner-Ville Trait du Signal vol2(2) (1985) 143-151
- FLANDRIN P, SESSAREGO JP, SAGELOLI J, ZAKHARIA M Application of time-frequency analysis to the characterization of surface waves on elastic targets Acous Letters vol10(2) (1986) 23-28
- FLANDRIN P, SESSAREGO JP, SAGELOLI J, ZAKHARIA M Application de l'analyse temps fréquence à la caractérisation de cibles Onzième Colloq GRETSI (Nice) (1987) 329-332



9 ZAKHARIA M, FLANDRIN P, SAGELOLI J, SESSAREGO JP Analyse temps-fréquence appliquée à la caractérisation acoustique de cibles J Acous 1 (1988) 185-188

10 GAZANHES C, SESSAREGO JP, SAGELOLI J Etude des premières résonances d'une sphère élastique creuse Rapport final de synthèse LMA contrat DRET n°84.041 (1986)

11 BRIZE-TRAMONI L, SESSAREGO JP, SAGELOLI J Etude de la diffusion acoustique par des coques sphériques à parois minces J Acous 1 (1988) 177-184

12 UBERALL H, DRAGONETTE LR, FLAX L Relation between creeping waves and normal modes JASA 61 (1977) 711

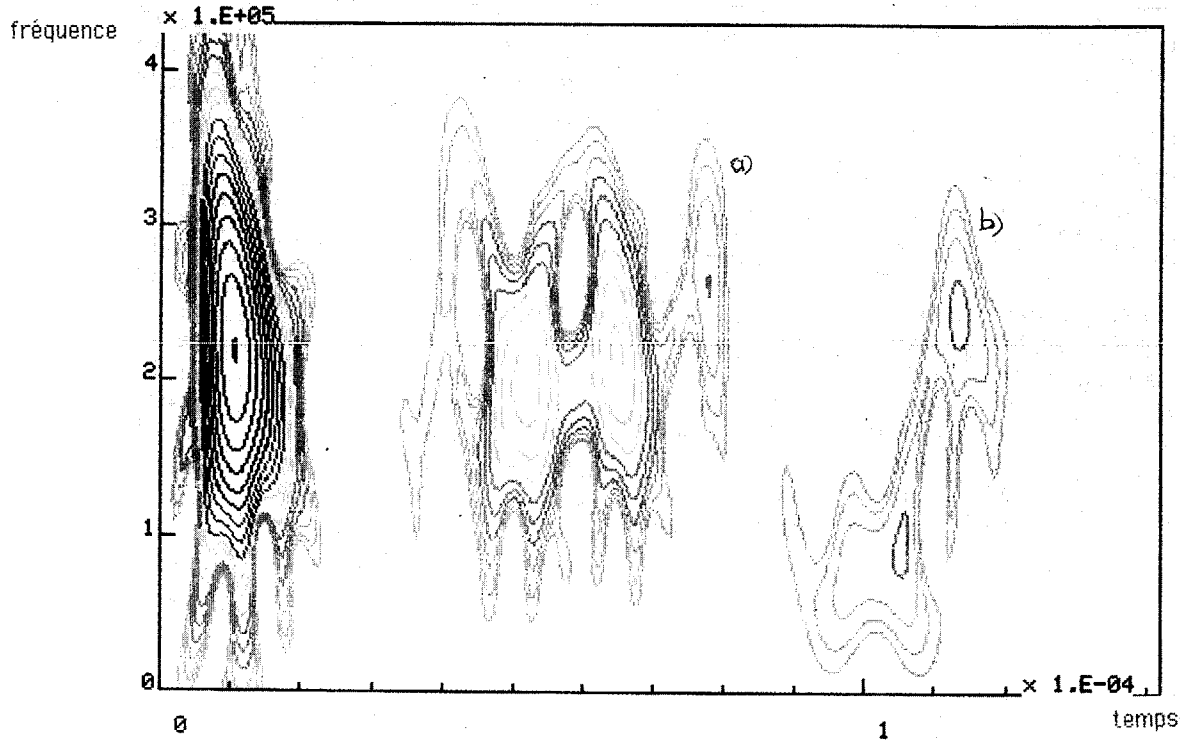


fig 4 Représentation Wigner-Ville d'une coque sphérique de fortal (cas fig 2)

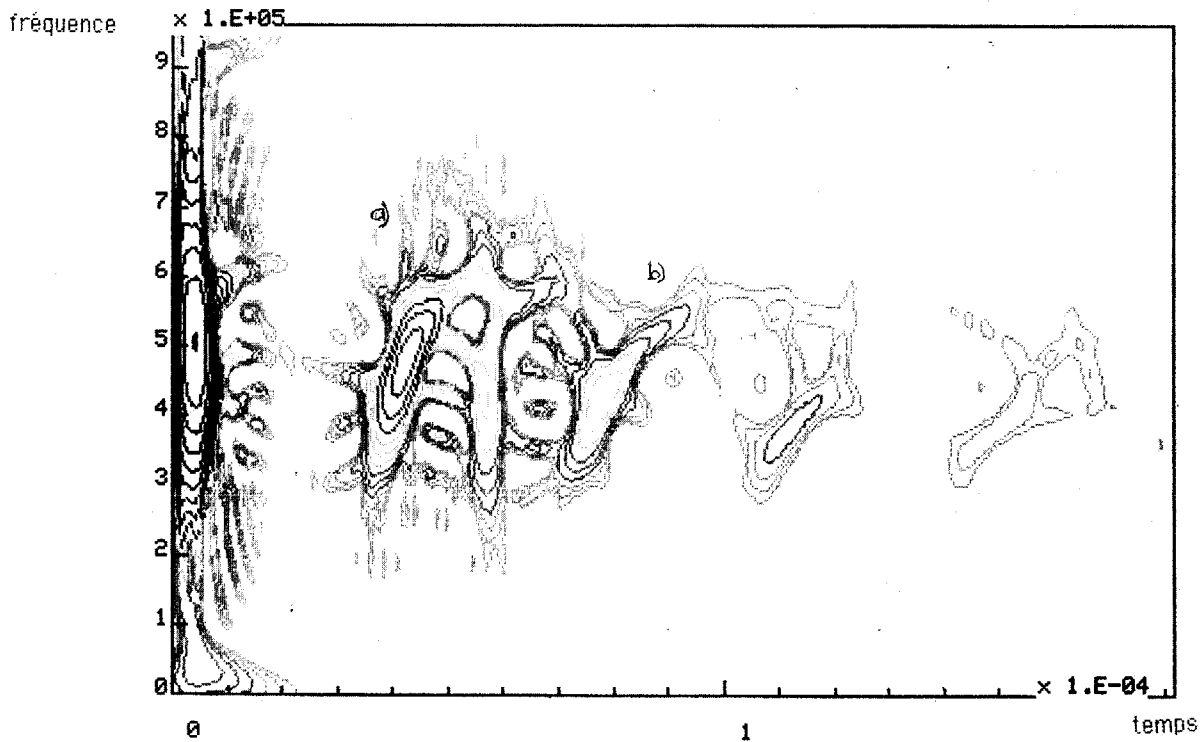


fig 5 Représentation Wigner-Ville d'une coque sphérique de fortal (cas fig 3)