

DIFFRACTION ULTRASONORE PAR DES INCLUSIONS CYLINDRIQUES DISPOSEES EN NOYAUX

Rachid Louni, Moussa Aoucher, Abdelwahab Dahel

Laboratoire de Matériaux et Composants. Faculté de Physique, U.S.T.H.B.
BP 32, EL Alia Bab Ezzouar. 16111 Alger, Algérie
Email : rachidelouni@yahoo.fr

Résumé :

La Théorie Géométrique de la Diffraction, alliée aux techniques de la spectroscopie ultrasonore, est une méthode qui permet de caractériser les dimensions de cibles ou de défauts de formes géométriques relativement simples.

Dans ce cadre nous présentons une technique expérimentale permettant de mesurer les écarts de fréquence entre pics des spectres des signaux retrodiffusés par des noyaux cylindriques de différents matériaux insérés dans une cavité de même diamètre, usinée dans l'axe d'un bloc d'Aluminium cylindrique. Ces noyaux permettent de simuler des inclusions ou des défauts d'homogénéité dans les matériaux. Les écarts de fréquence mesurés nous ont permis de remonter au diamètre des noyaux ainsi qu'à la vitesse de propagation du son dans ces derniers. Les résultats obtenus dans ce travail montrent tout l'intérêt que peut susciter cette technique de mesure.

Abstract :

The Geometrical Theory of Diffraction, allied the techniques of ultrasonic spectroscopy, this method makes it possible to characterize dimensions of targets and relatively simple defects of geometrical forms.

Within this framework we present an experimental technique allowing to measure the instantaneous frequency deviations between peaks of the spectra of the signals retrodiffused by cylindrical cores of various materials inserted in a of the same cavity diameter, machined in the axis of an also cylindrical block of Aluminium. These cores make it possible to simulate inclusions or defects of homogeneity in materials. The measured instantaneous frequency deviations enabled us to go up with the diameter of the cores like at the propagation velocity of the sound in materials considered. The results obtained in this work show all the interest which can cause this measurement technique.

Mots-clefs :

T. G. D. ; Ultrasons ; Défauts

1 Introduction

La TGD, initialement développée par Keller : Keller (1957,1962), permet, grâce à l'introduction des rayons diffractés, une meilleure description des phénomènes observés en diffusion acoustique. Cette théorie stipule que le champ acoustique diffusé par un objet se décompose en une somme de champs auxquels correspondent des phénomènes de diffusions localisés : Berginc (1990) : réflexion par les parties régulières de la surface, diffraction par des singularités géométriques et lancement d'ondes rampantes à la frontière d'ombre du champs direct. Le champ diffracté en un point quelconque de l'espace (excepté sur une caustique) s'exprime comme le produit du champ incident par un coefficient D qui ne dépend que des

propriétés géométriques et acoustiques de la surface au point d'interaction : Combes (1978), Amoranto (1983). D est calculé simplement par identification de l'expression du champ diffracté avec des développements asymptotiques à partir de solutions rigoureuses de problèmes canoniques.

2 Application de la T.G.D. à la diffraction par un noyau

Notre intention n'est pas de présenter ici une application détaillée de la TGD, mais de donner succinctement les résultats obtenus lors de la diffraction par des cibles de forme géométrique simple. Afin de simuler des défauts d'homogénéité ou des inclusions, nous utilisons des cylindres de différents matériaux en position de noyaux dans une matrice d'Aluminium également cylindrique. Pour remonter aux paramètres de nos cibles nous avons exploité la spectroscopie ultrasonore : Whaley *et al.* (1971), Sachse (1974), Pao *et al.* (1974), Bifulco *et al.* (1975), Sessarego *et al.* (1984), puis comparés aux prévisions de la TGD. Les cibles utilisées comme inclusions sont des cylindres de diamètres 10 et 12 mm. Les lois de la T. G. D. : Whaley *et al.* (1971), Combes (1978), Amoranto (1983) permettent de définir les signaux rétrodiffusés par un noyau. La figure 1 montre les trajets correspondants : En (a) Le signal réfléchi par la face supérieure du noyau. En (b) Le signal diffracté par le bord A, se propage à l'interface noyau-matrice puis revient au transducteur à partir du bord B. En (c) Le signal diffracté par le bord A, se propage à l'interface noyau-matrice jusqu'au point C, se réfracte à l'intérieur du noyau à partir du point C puis revient vers le transducteur à partir de B. En (d) Le signal réfléchi par la surface inférieure du noyau.

En choisissant le premier signal rétrodiffusé comme signal de référence, les temps de parcours relatifs des trois signaux qui suivent sont donnés par :

$$\Delta t_2 = (\pi + 2)/2V ; \quad \Delta t_3 = (1 - \lambda)/V + (d \cos \lambda)/v ; \quad \Delta t_4 = 2d/v$$

où V est la vitesse du son dans l'Aluminium, v est la vitesse du son dans le noyau, d le diamètre du noyau et λ l'angle de réfraction limite avec $\lambda = \sin^{-1} v/V$.

Nous voyons ici que les différences de temps de parcours dépendent non seulement du diamètre du noyau mais également de la vitesse du son dans celui-ci. Afin de pouvoir déterminer ces deux paramètres, nous effectuons au moins deux mesures des Δt_i .

Soit alors Δf_i les écarts de fréquence mesurés et correspondants aux Δt_i . Le diamètre d et la vitesse v peuvent être évalués de la manière suivante :

i) Connaissant Δf_2 et Δf_3 :

$$d = \frac{2V}{(\pi + 2)\Delta f_2} \quad \text{et} \quad v = V \sin \lambda \quad \text{avec :} \quad 1 + \lambda + \cot g \lambda = \frac{V}{d \cdot \Delta f_3} = \frac{(\pi + 2) \cdot \Delta f_2}{2\Delta f_3}$$

ii) Connaissant Δf_2 et Δf_4 :

$$d = \frac{2V}{(\pi + 2)\Delta f_2} \quad \text{et} \quad v = 2d\Delta f_4$$

iii) Connaissant Δf_3 et Δf_4 :

$$d = \frac{v}{2\Delta f_4} \quad \text{et} \quad v = V \sin \lambda \quad \text{avec :} \quad (1 + \lambda) \sin \lambda + \cos \lambda = \frac{2\Delta f_4}{\Delta f_3}$$

3 Dispositif expérimental

Pour mesurer ces écarts de fréquence, le dispositif expérimental utilisé est représenté par le schéma synoptique de la figure 2: Le transducteur (2.25 MHz) est excité par des impulsions de grandes amplitudes et de très courte durée (23 ns) qu'il convertit en ondes acoustiques brèves. Nous utilisons le mode écho en incidence normale et en champs lointain (200 mm). Ainsi l'angle d'observation de 0° (dans l'eau) correspond à l'angle d'observation dans le bloc d'Aluminium. Les échos ainsi reçus sont filtrés puis amplifiés à la réception avant d'être visualisés sur un oscilloscope numérique piloté par un ordinateur. Ce dernier nous permet de faire le traitement nécessaire, en particulier le calcul et la visualisation des spectres correspondants aux signaux rétrodiffusés.

4 Mesures et résultats

Dans l'observation des signaux rétrodiffusés par les noyaux, nous avons constaté que nous obtenons les quatre signaux prévus par la théorie pour les noyaux d'eau et de Plexiglas, comme le montre la figure 3 relative au noyaux de 12 mm de diamètre. La figure 4 montre les signaux principaux choisis comme référence et leurs spectres correspondants. Leurs amplitudes sont plus importante que celle des autres signaux rétrodiffusés. Les signaux nécessaires à la mesure des écarts de fréquence sont par la suite sélectionnés deux par deux (signal principal + un signal secondaire). La figure 5 montre bien la modulation du spectre du signal de référence par la présence du second signal sélectionné avec des maxima et des minima. Par contre pour les noyaux de fer acier , acier inox et aluminium nous avons remarqué l'absence des ondes cinconférencielles comme l'illustre la figure 6.

Nous avons mesuré les trois écarts de fréquence moyens pour les noyaux d'eau et de plexiglas et un seul pour les noyaux de fer acier , acier inox et aluminium.

A partir de celà, nous sommes remonté au diamètre moyen et à la vitesse de propagation du son dans chaque noyau et comparé aux diamètres et vitesses réels. Les résultats obtenus sont regroupés dans un tableau.

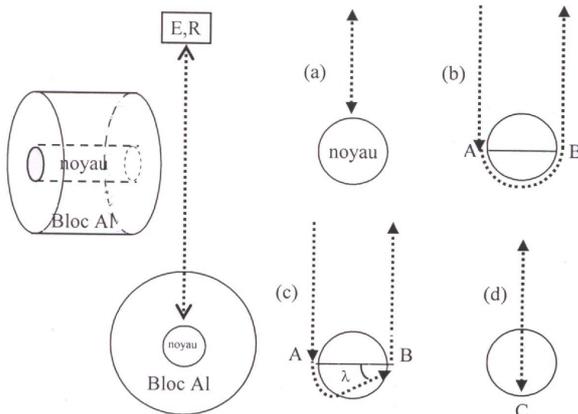


FIG. 1 - Trajets des signaux rétrodiffusés.

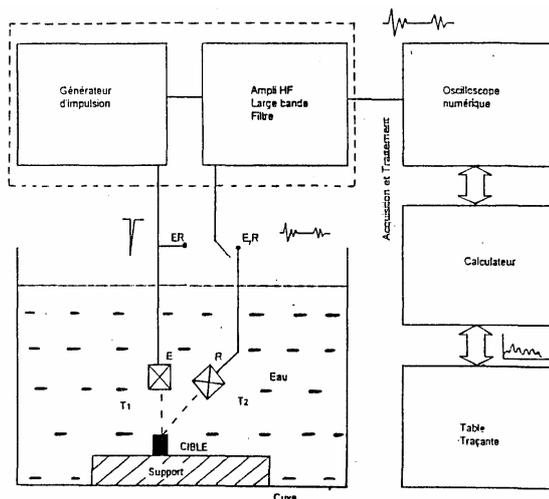


FIG. 2 - Schéma du dispositif expérimental.

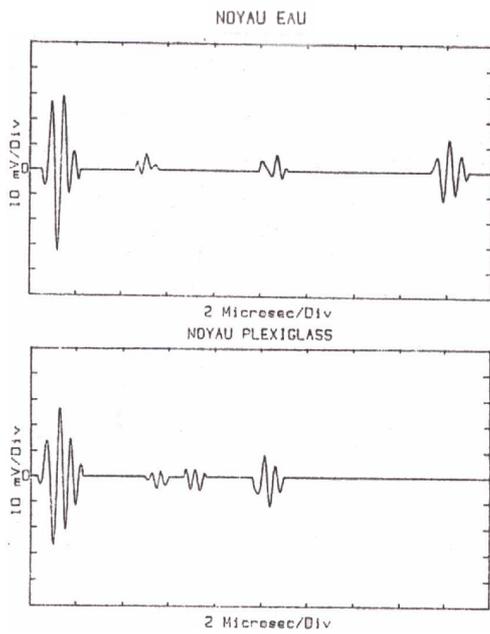


FIG. 3 – Signaux rétrodiffusés pour $\varnothing = 12$ mm

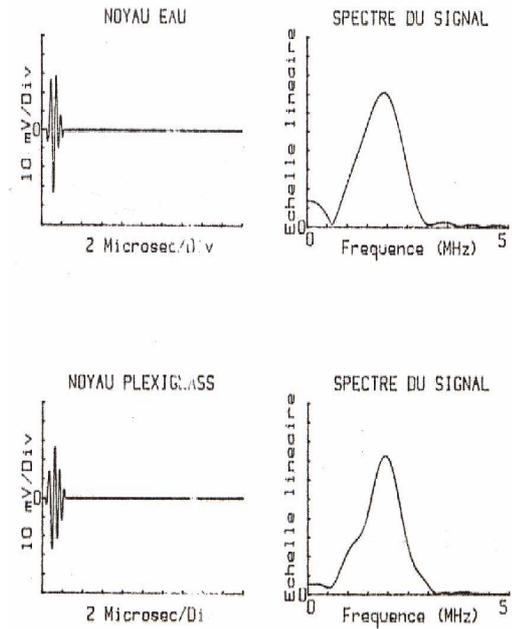


FIG. 4 - Spectres et signaux de référence

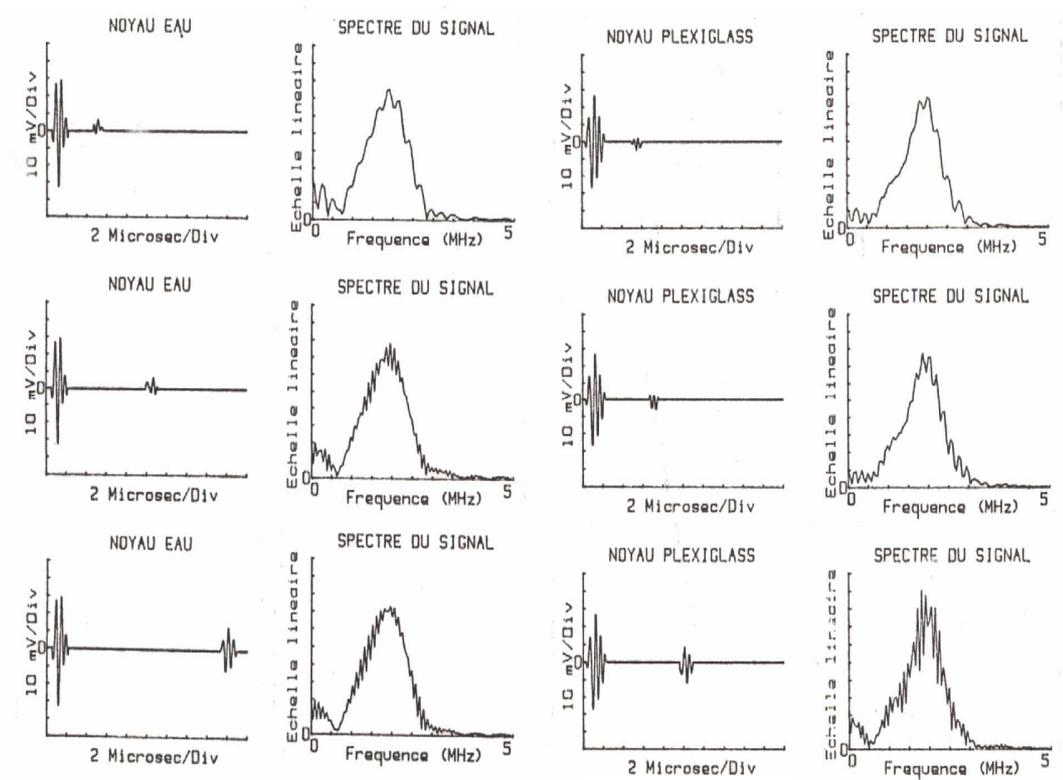


FIG. 5 - Modulation du spectre du signal principal par la présence du second signal.

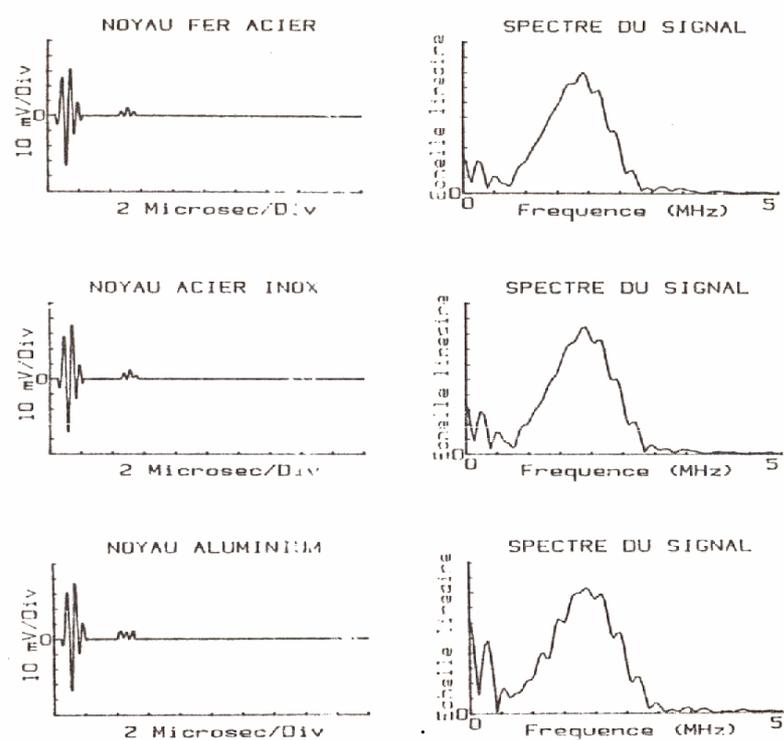


FIG. 6 - Modulation du spectre principal pour les noyaux de fer acier, acier inox et aluminium.

Tableau de mesures

noyaux cylindriques							
Matériaux	diamètres réels (mm)	Ecart de fréquence moyens mesurés (MHz)			Diamètres moyens mesurés (ms ⁻¹)	Vitesses moyennes mesurées (ms ⁻¹)	Vitesses réelles (ms ⁻¹)
		Δf_2 (MHz)	Δf_3 (MHz)	Δf_4 (MHz)			
Eau	10	0.219	0.118	0.075	10.33	1638	1480
Eau	12	0.244	0.106	0.065	10.83	1305	1480
Plexiglas	12	0.193	0.139	0.110	12.65	2811	2730
fer acier	12	-	-	0.247	11.84	5926	5850
acier inox	12	-	-	0.250	11.92	6000	5960
aluminium	12	-	-	0.268	11.75	6432	6300

5 Conclusion

Les résultats obtenus dans ce travail sont encourageants et montrent tout l'intérêt que peut susciter cette méthode de mesure dans le contrôle non destructif des matériaux, notamment dans la caractérisation de défauts d'homogénéité. D'autant plus qu'elle est relativement simple et facile à mettre en œuvre et avec des moyens à usage courant. Néanmoins, les réglages mécaniques relatifs à notre montage nécessitent plus de finesse pour obtenir de meilleurs résultats et songer à utiliser des capteurs ayant des largeurs de bandes et fréquence de travail plus importantes afin de caractériser des inclusions beaucoup plus fines.

Références

- Adler, L., Lewis, D.K. 1977 Diffraction Model for Ultrasonic Frequency Analysis and Flaw characterization. *Materials Evaluation*, pp 51-56.
- Amoranto, T. 1983 Etude de la caractérisation par ultrasons de défauts dans un solide élastique. Thèse de docteur ingénieur, Université d'Aix Marseille II.
- Berginc, G. 1990 Théorie géométrique de la diffraction en acoustique sous-marine. Colloque de Physique N°2, T51, pp. 367-377.
- Bifulco, F., Sachse, W. 1975 Ultrasonic pulse spectroscopy of a solid inclusion in an elastic solid. *Ultrasonics*, pp. 113-116.
- Combes, P. F. 1978 Introduction à la théorie géométrique de la diffraction et aux coefficients de diffraction. *Rev. CETHEDDEC*, 55, pp 77-104.
- Keller, J. B. 1957 Diffraction by an Aperture. *Journal of Applied Physics*, Vol. 28, N°4, pp. 426-443.
- Keller, J. B. 1962 *J. Opt. Soc. Amer.*, 52, N°2, pp. 116-130.
- Pao, Y. H., Sachse, W. 1974 Interpretation of time records and power spectra of scattered ultrasonic pulses in solids. *JASA* 56 n° 5, pp. 1478-1486.
- Sachse, W. 1974 Ultrasonic spectroscopy of fluid-filled cavity in an elastic solid. *JASA* 56 n° 3, pp. 891-896.
- Sessarego, J. P., Gazanhes, C., Amoranto, T. 1984 Application de la théorie géométrique de la diffraction à la caractérisation de défauts par spectroscopie ultrasonore. *Rev. CETHEDDEC* 78, pp 149-159.
- Whaley, H. L., Adler, L. 1971 Flaw Characterization by Ultrasonic Frequency Analysis. *Materials evaluation*, pp 182-192.