

Caractérisation de cibles et défauts dans les matériaux par la T.G.D.

Rachid Louni , Amar Benchaala

Laboratoire de Physique des Matériaux, Faculté de Physique. USTHB , Email : r_lounidz@yahoo.fr

Introduction

La TGD, initialement développée par Keller [1,2], 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 [3]: réflexion par les parties régulières de la surface, diffraction par des singularités géométriques et lancement d'ondes rampantes à la frontière d'ombre du champ 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 [4]. D est calculé simplement par identification de l'expression du champ diffracté avec des développements asymptotiques obtenus à partir de solutions rigoureuses de problèmes canoniques.

Application de la T.G.D.

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 simple et de défauts artificiels (inclusions) usiné ou inséré dans une matrice d'aluminium. Pour remonter aux paramètres de nos cibles nous avons utilisé la spectroscopie ultrasonore [5,6], puis comparés aux prévisions de la TGD. Les cibles utilisées sont des cylindres d'aluminium de diamètres 6 à 14 mm. Les signaux diffractés par nos cibles (Figure 1) sont recueillis suivant de différents angles d'observation, soit par le transducteur émetteur en mode écho, soit par un transducteur distinct en mode transmission.

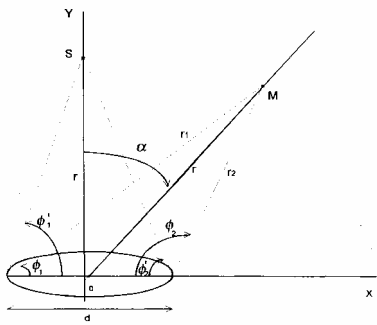


Figure 1 : Diffraction par une section droite d'un cylindre.

En tout point M de l'espace nous distinguons deux signaux diffractés dont la différence du temps de parcours est :

$$\Delta t = (r_1 - r_2) / V = (d \sin \alpha) / V$$

Où V est la vitesse du son dans l'eau.

Ces Δt , se traduisent sur le spectre par une modulation de pas $\Delta f = 1/\Delta t$. Ce sont ces écarts de fréquence que nous mesurerons pour remonter aux paramètres de nos cibles. Les inclusions sont de petits cylindres de matériaux différents et de diamètres 10 et 12 mm utilisés en position de noyau dans une matrice d'aluminium de dimension 100 mm. Les lois de la TGD. [2,4] nous permettent de définir les trajets des signaux rétrodiffusés correspondants (Figure 2) :

En (a) le signal réfléchi par la face supérieure du noyau, (b) le signal diffracté en A, se propage à l'interface noyau - matrice puis revient au capteur, (c) le signal diffracté en A, se propage à l'interface noyau - matrice jusqu'au point C, se réfracte à l'intérieur du noyau puis revient au capteur, (d) le signal réfléchi par la face inférieure du noyau.

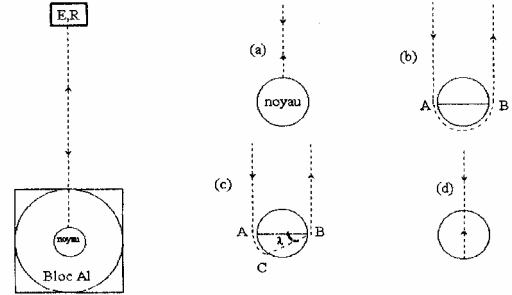


Figure 2 : Trajets des signaux rétrodiffusés par le noyau.

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

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

où V est la vitesse dans l'Aluminium, v dans le noyau, d, le diamètre du noyau et λ l'angle limite de réfraction.

Si Δf_i , les écarts de fréquence correspondants aux Δt_i :

$$d = 2V/[(\pi + 2)\Delta f_2] \quad \text{et} \quad v = V \sin \lambda$$

avec $1 + \lambda + \cot g \lambda = V/(d \Delta f_3) = [(\pi + 2)\Delta f_2]/(2\Delta f_3)$

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

$$d = v/(2\Delta f_4) \quad \text{et} \quad v = V \sin \lambda$$

avec $(1 + \lambda) \sin \lambda + \cos \lambda = (2\Delta f_4)/\Delta f_3$

Dispositif expérimental

La figure 3 donne le schéma du dispositif. On envoie, sous incidence normale, sur la cible un signal à large bande. Après amplification et la sélection à partir de l'oscilloscope de la partie utile du signal diffracté, elle est transmise sur un analyseur de spectre, dont la sortie analogique permet de tracer les spectres d'amplitude mesurés.

L'émetteur est excité en transmission par une impulsion brève de 23 ns. Le signal diffracté est reçu par un transducteur du même type que l'émetteur dont la fréquence nominale est de 2.25 MHz et placés à 200 mm de la cible.

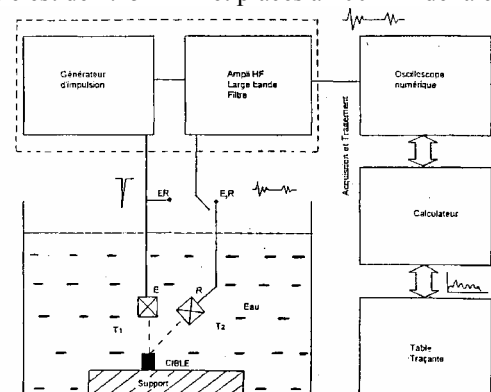


Figure 3 : Schéma synoptique du dispositif expérimental

Résultats et Mesures

La figure 4 illustre l'influence de la dimension sur l'écart de fréquence pour les signaux diffractés par les cylindres de 6,8 et 10 mm pour le même angle d'observation $\alpha=30^\circ$.

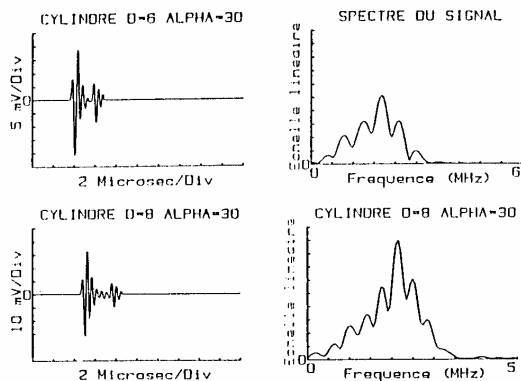


Figure 4 : signaux diffractés pour $\alpha=30^\circ$

Sur la figure 5, les écarts de fréquence moyens mesurés sont comparés aux écarts de fréquence théoriques.

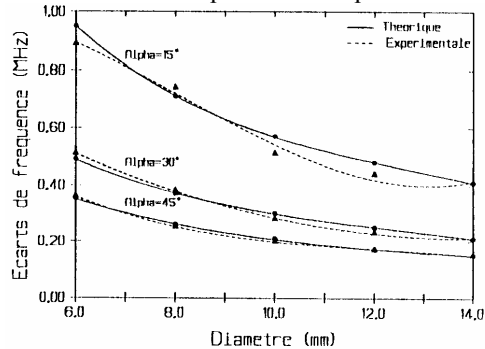


Figure 5 : Ecarts de fréquence réels et théoriques

A partir des écarts de fréquence mesurés nous sommes remonté aux diamètres (tableau 1) pour les angles d'observations 15,30 et 45°.

Diamètres (mm)			
Vrai	Mesuré pour $\alpha = 15^\circ$	Mesuré pour $\alpha = 30^\circ$	Mesuré pour $\alpha = 45^\circ$
6	6,4	5,8	5,8
8	7,7	7,8	8,4
10	11,2	10,6	10,5
12	13,0	12,9	13,1
14	13,9	14,1	14,0

Tableau 1 : Diamètres des vrais et mesurés des cibles

Pour les inclusions, nous obtenons effectivement les quatre signaux prévus par la théorie pour les noyaux d'eau et plexiglas (Figure 6) et absence de l'onde circonférentielle pour le fer acier, l'acier inox et l'aluminium.

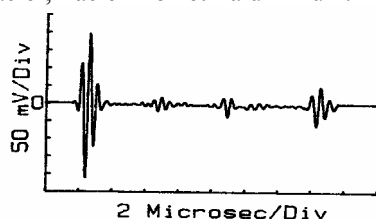


Figure 6 : Signaux rétrodiffusés par le noyau eau $\varnothing = 10$ mm

Le spectre du signal de référence est modulé par la présence du second signal (figure 7).

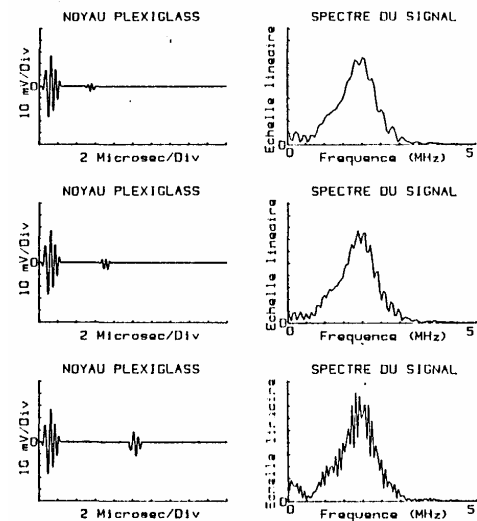


Figure 7 : Modulation du spectre du signal principal.

A partir des écarts de fréquence nous nous sommes remonté au diamètre moyen de chaque inclusion ainsi qu'à la vitesse de propagation du son dans cette dernière (Tableau 2).

Matériaux	diamètres réels (mm)	Ecarts de fréquence Moyens mesurés (MHz)			Diamètres moyens mesurés (mm)	Vitesses moyennes mesurées (ms^{-1})	Vitesses Réelles (ms^{-1})
		Δf_1 (MHz)	Δf_2 (MHz)	Δf_3 (MHz)			
Eau	10	0.220	0.118	0.075	10.81	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

Tableau 2 : diamètre et vitesse mesurés.

Conclusion

Les résultats obtenus nous permettent de constater que la T.G.D. donne une description correcte des phénomènes observés et qu'avec l'aide de la spectroscopie ultrasonore, méthode bien adaptée à la mesure des écarts de fréquence sur les spectres des signaux diffractés, elle permet de caractériser et avec relative précision à certains paramètres de nos cibles et défauts. De plus elle est simple à mettre en œuvre et avec des moyens à usage courant.

Références

- [1] J.B. KELLER, J Opt. Soc Amer, 52, N°2, 1962, 116-130
- [2] J.B. KELLER, J Appl Phys, 28, 1957, 426-443
- [3] G. BERGIN, Colloque de Physique, N°2, T 51, Fev 1990, 367-377.
- [4] P.F. COMBES, revue CETHEDC, N°55, 1978, 77-104.
- [5] H.L. WHALEY, L. ADLER, Material evaluation, august 1971, 182-192.
- [6] J.P. SESSAREGO, C. GAZANHES, T. AMORANTO, Rev. CETHEDC, 78, 149 (1984).