

Article Title

Alice DINSENMEYER & Thomas LECHAT

Résumé

I. Introduction

La caractérisation de matériaux par l'utilisation de transducteurs mono-éléments peut s'effectuer de différentes manières : différentes configuration sont possibles et différentes ondes peuvent être générées.

Ce rapport donne un bref aperçu===== Deux paires de transducteurs piézoélectriques mono-éléments sont à disposition, de fréquence centrale 2.5 et 5 MHz... DIRE QUE CE SONT LES DONNEES DE MATHIEU ET FANON Mesures à l'oscillo

Notation

L'excitation normale du transducteur donne naissance à une onde longitudinale dans le sabot en Plexiglas se propageant à un angle θ^i de la normale à la plaque, à la vitesse c_{plexi} . Par conversion de mode, une onde longitudinale (L) et une onde transversale (T) sont générées dans la plaque. Ces ondes se propagent formant respectivement les angles θ_{plaque}^L et θ_{plaque}^T avec la normale à la plaque, aux vitesses c_{plaque}^T et c_{plaque}^L .

Le temps de parcours de l'onde incidente dans le sabot est noté Δt_{sabot} , et celui des ondes L et T dans la plaque sont notés Δt_{plaque}^L et Δt_{plaque}^T . Finalement, si d est l'épaisseur de la plaque, la distance parcourue par les ondes L dans le sabot, puis L et T dans la plaque sont :

- $c_{plexi} \times \Delta t_{sabot}$,
- $c_{plaque}^T \times \Delta t_{plaque}^L = d / \cos(\theta_{plaque}^L)$,
- $c_{plaque}^L \times \Delta t_{plaque}^T = d / \cos(\theta_{plaque}^T)$.

L'ensemble de ces notation est résumé dans la figure 1.

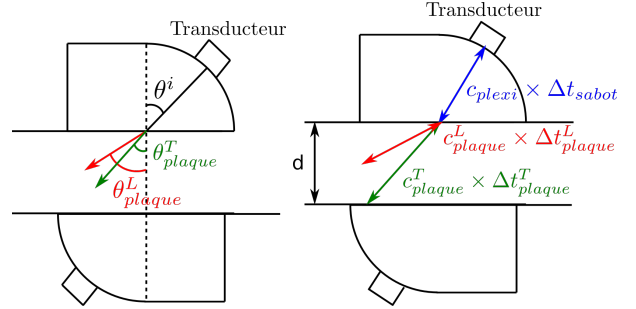


Figure 1 – Représentation des angles d'incidence et de transmission (à gauche) et des distances parcourues par les ondes (à droite).

II. Ondes de volume

On cherche à évaluer la vitesse des ondes T et L dans une plaque de d'épaisseur $d=20,5$ mm, a priori en aluminium.

1.1. En incidence normale

En utilisant un seul transducteur en mode écho (sans sabot), une succession d'écho est observé. Le premier correspond à un temps d'arrivée de $6,6 \mu s$, ce qui correspond à deux fois le temps de vol dans une épaisseur de la plaque. L'épaisseur de la plaque étant de 20,5 mm, on peut en déduire que la vitesse pour les ondes L dans ce matériau est de $20,5 \cdot 10^{-3} / 3,3 \cdot 10^{-6} \approx 6200$ m/s. Considérant que le coefficient de Poisson de l'aluminium est de 0,35 et que son module d'Young est de 70 GPa, la célérité des ondes L devrait être de 4730 m/s. La plaque semble donc être plutôt faite d'un alliage d'aluminium, beaucoup plus dense que l'aluminium.

La même mesure est effectuée avec sabot, en incidence normale, pour évaluer l'épaisseur de ce sabot en Plexiglas utilisé par la suite. Le nouveau temps

d'arrivée est $62.4 \mu\text{s}$, ce qui correspond à deux fois le temps de vol dans le sabot puis dans la plaque. On a donc $\Delta t_{\text{sabot}} = 27,9 \mu\text{s}$. Connaissant la vitesse des ondes L dans le Plexiglas ($c_{\text{plexi}} = 2730 \text{ m/s}$), on peut en déduire que l'épaisseur d'un sabot est de 38 mm. Cette valeur est vérifiée par une mesure au pied à coulisse.

2.2. En incidence oblique

2.2.1 Vitesse des ondes T

On cherche ici à évaluer la vitesse des ondes T dans la plaque. Pour cela, les mesures sont effectuées en "through mode". Le transducteur est incliné à l'aide du sabot de 10° . Cet angle étant faible, le parcours de l'onde T dans la plaque est considéré égal à l'épaisseur de la plaque. Le temps de vol mesuré $2 \times (\Delta t_{\text{sabot}} + \Delta t_{\text{plaque}}^T)$ du second paquet d'onde correspond au parcours d'une onde L dans les sabots et d'une onde T dans la plaque. La vitesse des ondes T est donc retrouvée grâce à la relation :

$$c_T^{\text{plaque}} = \frac{d}{2(\Delta t_{\text{sabot}} + \Delta t_{\text{plaque}}^T) - 2\Delta t_{\text{sabot}}} = 2733 \text{ m/s}.$$

Cette valeur est légèrement sous-estimée puisque l'angle de transmission n'est en réalité pas nul. L'ordre de grandeur est cependant proche de la valeur théorique de c_T qui est de 3100 m/s dans l'aluminium.

3.3. Évaluation de l'anisotropie

On souhaite connaître l'évolution de la vitesse de phase des ondes T et L dans la plaque en fonction de l'angle d'incidence θ^i , afin de déterminer l'anisotropie du matériau.

Nous avons pour cela, accès aux temps de parcours des ondes dans la plaque Δt_{plaque} . Reste à connaître l'angle de réfraction θ_{plaque} dans la plaque, donné par les relations :

$$\frac{\sin \theta^i}{c_{\text{plexi}}} = \frac{\sin \theta_{\text{plaque}}^T}{c_{\text{plaque}}^T} \quad (1)$$

$$\text{et } c_{\text{plaque}}^T = \frac{d}{\cos \theta_{\text{plaque}}^T \cdot \Delta t_{\text{plaque}}^T}. \quad (2)$$

Ce qui donne un système de deux équations à deux inconnues (c_{plaque}^T et θ_{plaque}^T).

La relation 2 donne :

$$\cos \theta_{\text{plaque}}^T = \frac{d}{c_{\text{plaque}}^T \cdot \Delta t_{\text{plaque}}^T}.$$

Et comme, d'après 1,

$$c_{\text{plaque}}^T = \frac{\sin \theta_{\text{plaque}}^T \cdot c_{\text{plexi}}}{\sin \theta^i},$$

on a donc

$$\begin{aligned} \cos \theta_{\text{plaque}}^T &= \frac{d \cdot \sin \theta^i}{\Delta t_{\text{plaque}}^T \cdot \sin \theta_{\text{plaque}}^T \cdot c_{\text{plexi}}} \\ \Leftrightarrow \frac{\sin 2\theta_{\text{plaque}}^T}{2} &= \frac{d \cdot \sin \theta^i}{\Delta t_{\text{plaque}}^T \cdot c_{\text{plexi}}} \\ \Leftrightarrow \theta_{\text{plaque}}^T &= \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{2d \cdot \sin \theta^i}{\Delta t_{\text{plaque}}^T \cdot c_{\text{plexi}}} \right) \end{aligned}$$

Ce calcul est cependant limité, puisque la dernière relation impose que $\theta_{\text{plaque}}^T \leq 45^\circ$, car $-1 \leq \arcsin(x) \leq 1$. Or on sait que l'angle de transmission des ondes T est susceptible de dépasser 45° . =====> qu'en conclue-t-on ?

Même sans réinjecter dans ces équations les retards mesurés, le tableau ?? montre que le temps de parcours pour les deux types d'onde diminue tandis que leur trajet augmente. Il semblerait donc que la plaque soit anisotrope. Cependant, il y a une forte incertitude sur l'angle d'incidence due à l'imprécision du sabot, ce qui met en doute cette supposition.

$\theta^i (^\circ)$	10	30	40	50	60
$\Delta t_{\text{plaque}}^L (\mu\text{s})$	3.8	2.7			
$\Delta t_{\text{plaque}}^T (\mu\text{s})$	7.5	6.6	6	4	3.7

Ce tableau montre aussi qu'il n'y a plus génération d'ondes L au delà de 30° et d'onde T au delà de 60° .

III. Ondes de surface

Quand l'angle d'incidence dépasse ces deux angles critiques, il y a génération d'ondes de surface appelée ondes de Rayleigh.

1.1. Mesure de vitesse

À l'aide de deux transducteurs, l'onde de Rayleigh est observée en transmission latérale. En effectuant une mesure de retard Δt_R pour trois distances inter-transducteurs L on obtient les valeurs de célérité c_R

suivantes :

Δt_R (μs)	4.8	6.05	10.9
L (mm)	14.5	16.3	30.8
c_R (m/s)	3208	2694	2826

2.2. Onde de Rayleigh de fuite