
**OBJECTIF**

Détermination des vitesses du son pour des ondes longitudinales et transversales dans des corps solides

**RESUME**

Dans des corps solides, le son se propage sous forme d'ondes longitudinales et transversales. Les vitesses du son des deux ondes divergent considérablement, la vitesse longitudinale du son étant déterminée par le module d'élasticité du corps solide, tandis que la vitesse transversale du son dépend du module de cisaillement. Il est possible de déterminer les constantes élastiques du corps solide en mesurant les deux vitesses du son.

**EXERCICES**

- Détermination de la vitesse du son pour des ondes longitudinales dans le polyméthacrylate de méthyle à partir des temps de propagation d'un signal ultrasonique de 1 MHz.
- Mesure de la transmission d'ondes sonores longitudinales et transversales dans un corps solide en utilisant une plaque plane parallèle, placée obliquement.
- Détermination des vitesses du son pour des ondes longitudinales et transversales à partir des angles critiques de la réflexion totale.
- Détermination du module d'élasticité  $E$ , du module de cisaillement  $G$  et du coefficient de Poisson  $\mu$  du corps solide observé à partir des deux vitesses du son.

**DISPOSITIFS NECESSAIRES**

Nombre	Appareil	Référence
1	Echoscopes à ultrasons	1002580
2	Sonde à ultrasons 1 MHz	1002581
1	Jeu « Ultrasons dans des corps solides »	1002584
1	Plaque d'aluminium avec graduation angulaire	1002585
1	Jeu de 3 cylindres	1002588
1	Gel de branchement pour ultrasons	1008575

**GENERALITES**

Le son ne se propage dans les gaz et les liquides que sous forme d'ondes longitudinales. La pression oscille alors autour d'une valeur d'équilibre et engendre des zones oscillantes de densification et de raréfaction. Dans les corps solides, le son pénètre également sous forme d'ondes transversales où la tension de cisaillement oscille. Ces ondes peuvent se propager dans un corps solide, car les forces de poussée élastique nécessaires à leur transmission y sont présentes.

Les ondes longitudinales et les ondes transversales présentent des vitesses du son divergentes. Elles dépendent de la densité  $\rho$  et des constantes élastiques du corps solide. La vitesse du son de l'onde longitudinale étant

$$(1) \quad c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

$E$ : Module d'élasticité,  $\mu$ : Coefficient de Poisson

supérieur à l'onde transversale

$$(2) \quad c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$G$ : Module de cisaillement

**2**

Le module d'élasticité  $E$  et le module de cisaillement  $G$  d'un corps solides sont en relation l'un avec l'autre par le coefficient de Poisson  $\mu$  :

$$(3) \quad \frac{E}{G} = 2 \cdot (1 + \mu)$$

Il est donc possible de calculer toutes les trois forces élastiques si les deux vitesses du son  $c_L$  et  $c_T$  sont connues.

Dans cet essai expérimental, nous mesurerons d'abord les temps de propagation  $t$  nécessaires à la transmission d'un signal ultrasonique de 1 MHz dans trois cylindres en polyméthacrylate de méthyle de longueur différente  $s$ ; ces temps seront ensuite portés dans un diagramme  $s-t$  (voire l'illustration 1). La vitesse longitudinale du son dans le polyméthacrylate de méthyle se calculera à partir de la droite adaptée aux points de mesure. Un bac rempli d'eau sera ensuite placé dans le trajet des rayons, puis le temps de transmission sera mesuré. Ce temps sera encore diminué en plaçant une mince plaque plane parallèle en polyméthacrylate de méthyle ou en aluminium dans le trajet des rayons, le son se propageant plus rapidement dans le matériau de la plaque que dans l'eau. De manière plus précise, nous mesurerons alors, derrière le bac d'eau, deux signaux ultrasoniques séparés qui résultent des différences existant entre les temps de propagation de la vitesse longitudinale et de la vitesse transversale du son dans le corps solide (cf. l'illustration 2). Si la plaque se trouve sous un angle  $\alpha$  oblique par rapport au rayon incident, ce dernier sera scindé en deux faisceaux partiels sous les angles  $\beta_L$  et  $\beta_T$ , conformément à la loi de Snell-Descartes, (cf. l'illustration 3).

$$(4) \quad \frac{c}{\sin \alpha} = \frac{c_L}{\sin \beta_L} = \frac{c_T}{\sin \beta_T}$$

$c$ : Vitesse du son dans l'eau

Étant donné que les deux vitesses du son  $c_L$  et  $c_T$  dans le corps solide sont supérieures à la vitesse du son  $c$  dans l'eau, le phénomène de la réflexion totale se manifestera alors – séparément pour les ondes longitudinales et transversales – c'est à dire que les signaux transmis disparaissent complètement. Il est possible de calculer les vitesses du son correspondantes à partir des deux angles critiques  $\alpha_L$  pour les ondes longitudinales et  $\alpha_T$  pour les ondes transversales :

$$(5) \quad c_L = \frac{c}{\sin \alpha_L} \quad \text{et} \quad c_T = \frac{c}{\sin \alpha_T}$$

**EVALUATION**

- Dans le diagramme  $s-t$ , les points de mesure obtenus dans la première partie à partir des mesures des temps de propagation ne se trouvent pas sur une droite d'origine, les temps de propagation du signal étant systématiquement englobés à ces mesures par la couche d'adaptation et de protection du transducteur ultrasonore.
- L'équation de détermination du coefficient de Poisson  $\mu$  se calculera à partir des équations 1 à 3

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{c_L}{c_T}\right)^2 - 1}{\left(\frac{c_L}{c_T}\right)^2 - 1}$$

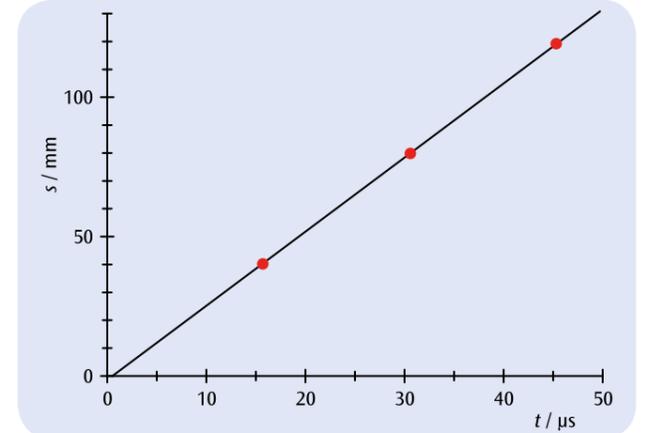
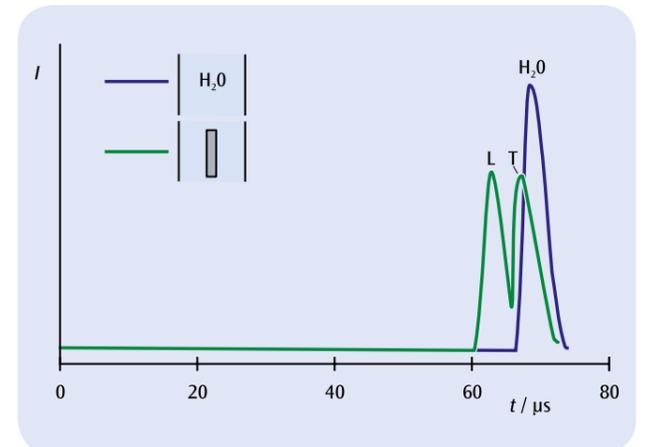

 Fig. 1 Diagramme  $s-t$  du signal ultrasonique dans le polyacrylique


Fig. 2 Signal ultrasonique après la transmission dans le bac d'eau (bleu : sans plaque à faces parallèles, vert : avec plaque à faces parallèles)

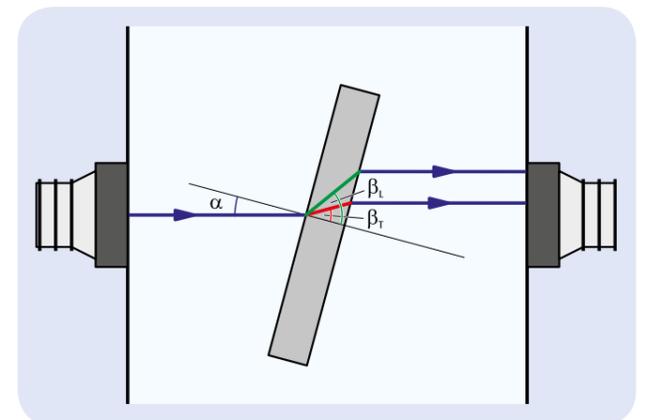


Fig. 3 Ensemble de mesures permettant de déterminer la vitesse longitudinale et la vitesse transversale du son dans un corps solide à partir des angles critiques de la réflexion totale