

Propagation du son dans des corps solides

DETERMINATION DES VITESSES DU SON POUR DES ONDES LONGITUDINALES ET TRANSVERSALES DANS DES CORPS SOLIDES.

- Détermination de la vitesse du son pour des ondes longitudinales dans le polyacrylique 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 μ du corps solide observé à partir des deux vitesses du son.

UE1070530

04/16 JS

NOTIONS DE BASE GENERALES

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 ρ et des constantes élastiques du corps solide. La vitesse du son de l'onde longitudinale étant

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

E : Module d'élasticité, μ : Coefficient de Poisson

supérieure à l'onde transversale

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

G : Module de cisaillement

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 μ :

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

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 polyacrylique de longueur différente s (cf. fig. 1); ces temps seront ensuite portés dans un diagramme $s-t$ (comparer à l'illustration 1). La vitesse longitudinale du son dans le polyacrylique

se calculera à partir de la droite adaptée aux points de mesure.

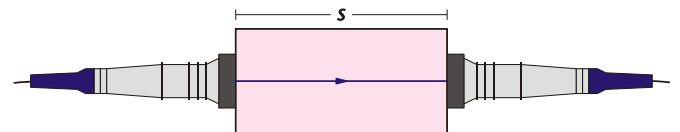


Fig. 1 : Agencement permettant de mesurer le temps de propagation du passage d'un signal ultrasonique traversant un corps solide de longueur s

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 polyacrylique 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. fig. 2).

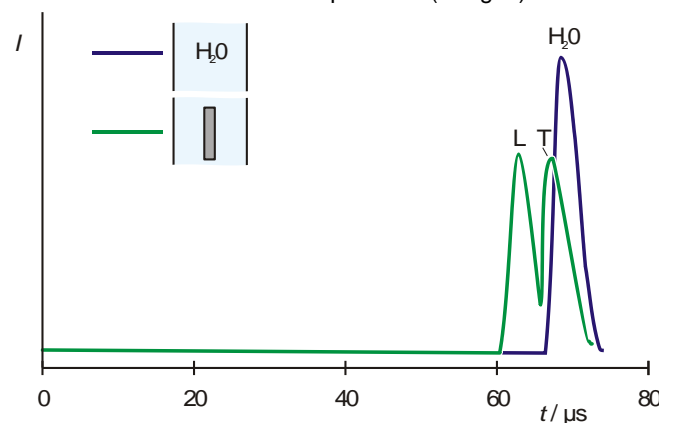


Fig. 2: Signal ultrasonique après la transmission dans le bac d'eau (bleu : sans plaque plane parallèle, vert : avec plaque plane parallèle)

LISTE DES APPAREILS

- 1 Echoscope à ultrasons GS200 1018616 (U100102)
- 2 Sonde à ultrasons 1 MHz GS200 1018618 U10015
- 1 Jeu « Ultrasons dans des corps solides » 1002584 (U10020)
- 1 Plaque d'aluminium 1002585 (U10022)
- 1 Jeu de 3 cylindres 1002588 (U10026)
- 1 Gel de branchement pour ultrasons 1002588 (XP999)

Accessoires supplémentaires requis :
 1 Ordinateur avec Windows

Si la plaque se trouve sous un angle α oblique par rapport au rayon incident, ce dernier sera scindé en deux faisceaux partiels sous les angles β_L et β_T , conformément à la loi de Snellius, (cf. fig. 3).

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

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 α_L pour les ondes longitudinales et α_T pour les ondes transversales :

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

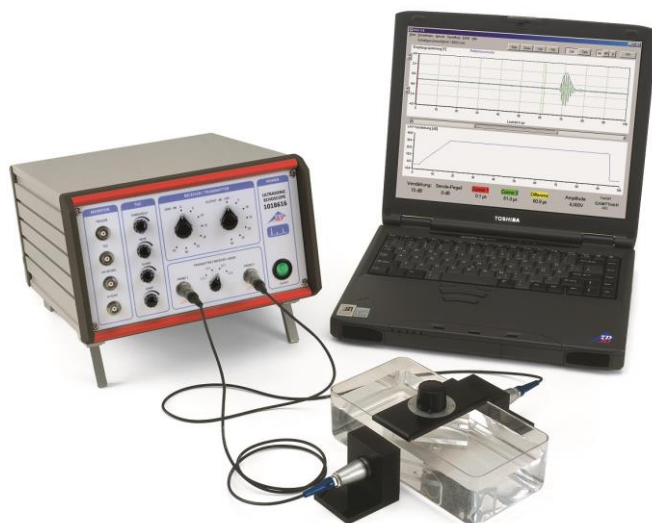
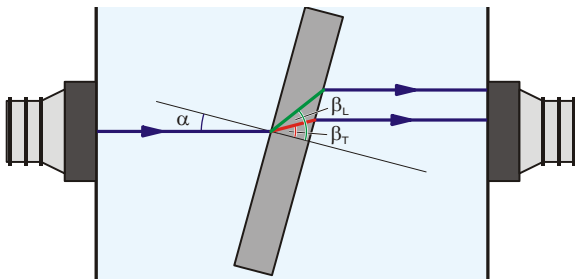


Fig. 3: Ensemble de mesures permettant de déterminer la vitesse longitudinale et la vitesse transversale du son dans un corps solide à partir des angles critiques de la réflexion totale.

MONTAGE

- Raccordez l'échoscope à ultrasons à l'ordinateur.
- Installez, le cas échéant, le logiciel d'évaluation sur l'ordinateur.
- Fixez deux sondes à ultrasons dans le support du sonde.
- Raccordez le premier sonde à la sortie PROBE 1, le deuxième à la sortie PROBE 2 de l'échoscope à ultrasons.

RÉALISATION

- Mettez l'échoscope à ultrasons en marche, puis lancez le logiciel d'évaluation.

a) Mesures des temps de propagation d'ondes longitudinales :

- Appliquez une couche épaisse de gel de branchement pour ultrasons sur les faces frontales des sondes à ultrasons, puis appuyez fermement les sondes sur la partie frontale du long cylindre polyacrylique.
- Sur l'échoscope à ultrasons, réglez l'intensité du signal OUTPUT dB, l'amplification GAIN dB ainsi que les paramètres THRESHOLD, WIDE et SLOPE afin de pouvoir mesurer un signal du temps de propagation aussi grand que possible sans être surmodulé.
- Mesurez le temps de propagation t du début de l'impulsion d'émission au début de l'impulsion de réception et consignez les résultats dans le tableau 1.
- Réalisez la même mesure sur les cylindres polyacryliques court et moyen et consignez les temps de propagation dans le tableau 1.

b) Ondes longitudinales et transversales :

- Remplacez le cylindre polyacrylique par un bac de résonance, puis appuyez fermement sur les côtés longitudinaux des sondes à ultrasons.
- Remplissez le bac de résonance d'eau.
- Sur l'échoscope à ultrasons, réglez l'intensité du signal OUTPUT dB, l'amplification GAIN ainsi que les paramètres THRESHOLD, WIDE et SLOPE afin de pouvoir mesurer un signal du temps de propagation aussi grand que possible sans être surmodulé.
- À l'écran, marquez le début de l'impulsion de réception par le curseur.
- Posez la plaque d'aluminium avec le support d'éprouvettes verticalement par rapport au trajet des rayons, et observez la scission et le décalage du signal du temps de propagation.
- Faites tourner la plaque d'aluminium, et déterminez l'angle α_L sous lequel le signal (gauche) provenant des ondes longitudinales disparaît.
- Continuez à faire tourner la plaque d'aluminium, et déterminez l'angle α_T sous lequel le signal (droit) provenant des ondes transversales disparaît.
- Remplacez la plaque d'aluminium avec support d'éprouvettes par une plaque en polyacrylique avec support d'éprouvettes, et posez-la verticalement par rapport au trajet des rayons.
- Faites tourner la plaque en polyacrylique, et déterminez l'angle α_L sous lequel le signal (gauche) provenant des ondes longitudinales disparaît.
- Continuez à faire tourner la plaque en polyacrylique, et déterminez l'angle α_T sous lequel le signal (droit) provenant des ondes transversales disparaît.

EXEMPLE DE MESURE ET EVALUATION

a) Détermination des temps de propagation :

Tableau 1 : Temps de propagation t dans des corps en polyacrylique de longueur s

s / mm	$t / \mu\text{s}$
40	15,7
80	30,6
120	45,3

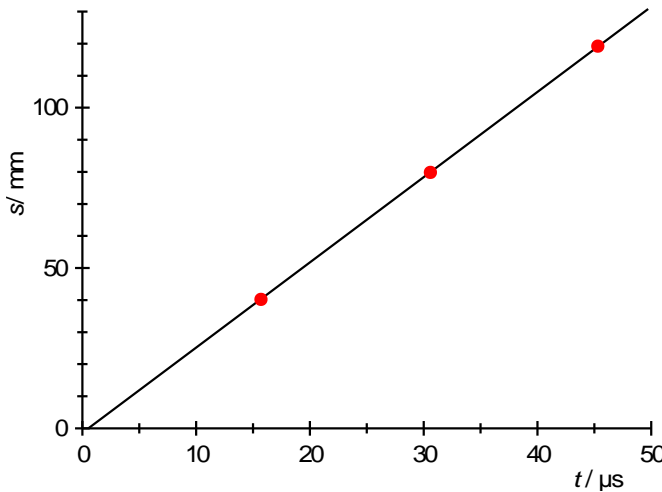


Fig. 4: Diagramme $s-t$ du signal ultrasonique dans le polyacrylique

Dans un diagramme $s-t$, les données de mesure du tableau 1 ne se trouvent pas sur une droite d'origine (cf. Fig. 4), car les temps de propagation du signal ultrasonique sont systématiquement englobés à ces mesures par la couche d'adaptation et de protection du sonde à ultrasons. Il est toutefois possible de déterminer la vitesse longitudinale du son dans le polyacrylique à partir de la pente de la droite. Nous obtenons :

$$v_L = 2660 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Ondes longitudinales et transversales :

Tableau 2 : Tableau de mesures avec les angles critiques de la réflexion totale pour les ondes longitudinales et transversales

	Polyacrylique	Aluminium
α_L	33°	14°
$\sin \alpha_L$	0,54	0,24
$v_L / \text{m/s}$	2700	6100
α_T	86°	29°
$\sin \alpha_T$	0,998	0,48
$v_T / \text{m/s}$	1500	3100
μ	0,29	0,33
G / MPa	2700	25000
E / MPa	6900	67000
$\rho / \text{g/cm}^3$	1,2	2,7

Dans le tableau 2, les vitesses du son seront calculées à partir des angles critiques de la réflexion totale en appliquant l'équation 5. La valeur suivante étant utilisée pour la vitesse du son dans l'eau :

$$c = 1485 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

L'équation de détermination du coefficient de Poisson μ se calculera à partir des équations 1 à 3

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

Il est donc possible de calculer les constantes élastiques si la densité ρ est connue.