**EXERCICE III. L'ECHOGRAPHIE : COMMENT ÇA « MARCHE » ? (4 points)**
**Métropole 09/2009** **Correction © http://labolycee.org**

**1. Les ondes ultrasonores**

**1.1.** ***(0,25)*** Une onde mécanique est la propagation de proche en proche d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

**1.2.** ***(0,25)*** Une onde est longitudinale si la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

**2. Vitesse de propagation et milieu de propagation**

**2.1.** ***(0,25)*** L'origine des dates t = 0 s est l'instant de l'émission.

**Figure 7**
Signal reçu par le récepteur dans l'eau

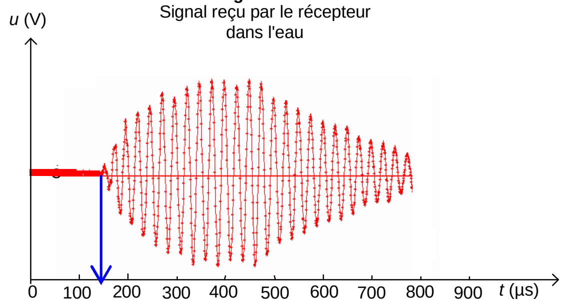
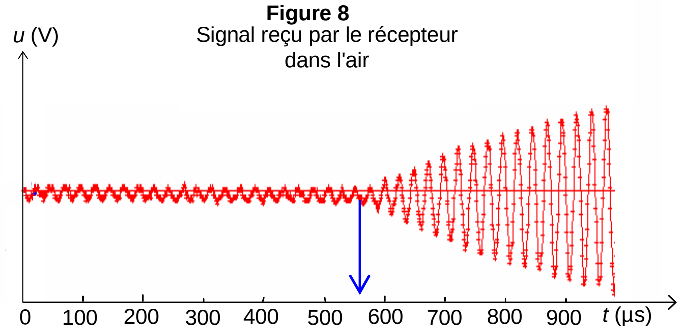



**Figure 8**
Signal reçu par le récepteur dans l'air




Le signal dans l'eau est reçu à la date $t_{eau} = 1{,}4 \times 10^2$ µs .

Le signal dans l'air est reçu à la date $t_{air} = 5{,}8 \times 10^2$ µs $> t_{eau}$ donc plus tard.

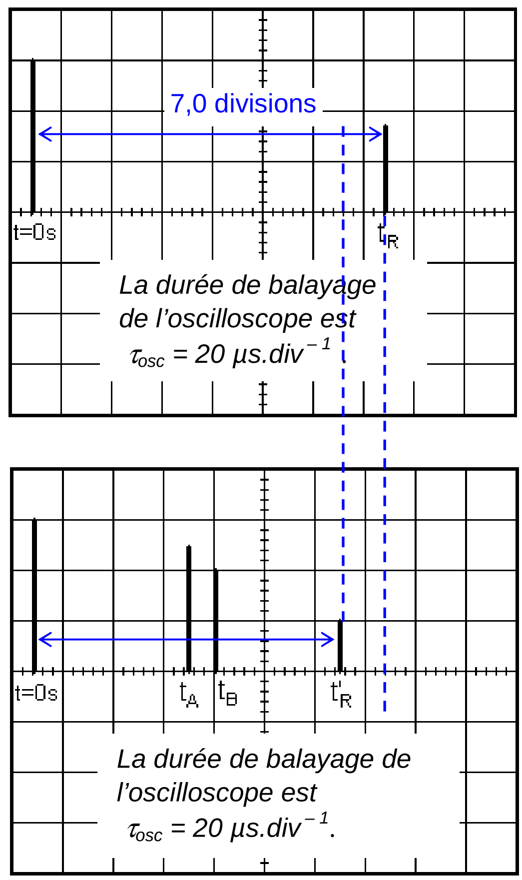
Les ultrasons ont parcouru la même distance $\ell$ entre l'émetteur et le récepteur. La célérité étant définie, par $v = \frac{\ell}{t}$ ,

on peut dire que la propagation des ultrasons est donc plus rapide dans l'eau que dans l'air.

**2.2.** ***(0,25)*** $v_{eau} = \frac{\ell}{t_{eau}}$ avec $t_{eau} = 1{,}4\times10^2$ µs $= 1{,}4\times10^{-4}$ s et *$\ell$ = 20,0 cm = 0,200 m.*

$$v_{eau} = \frac{0{,}200}{1{,}4\times10^{-4}} = \mathbf{1{,}4 \times 10^3\ m.s^{-1}}\ .$$

**3. Comprendre le principe de l'échographie - Modélisation**




**3.1.1.** ***(0,25)*** Entre t = 0 s et $t_R$ on mesure 7,0 divisions.

La durée de balayage de l'oscilloscope étant de 20 µs.div$^{-1}$ , on a :

7,0 div ⇔ $t_R$

1 div ⇔ 20 µs

$\mathbf{t_R} = 7{,}0 \times 20 / 1 = \mathbf{1{,}4 \times 10^2}$ **µs** $= \mathbf{1{,}4 \times 10^{-4}}$ **s**

*Remarque : entre « deux petites divisions » on a 0,2 div et non 0,1 div ….*

**3.1.2.** ***(0,25)*** Les ondes ultrasonores sont réfléchies sur l'objet : elles parcourent donc la distance 2.D (aller et retour) pendant la durée $t_R$.

Ainsi : $v = \frac{2D}{t_R} \Leftrightarrow t_R = \frac{2D}{v}$

**3.2.1.** ***(0,25)*** En comparant les deux figures, on constate que $t_R' < t_R$.

Or la distance parcourue (2D) par les ultrasons est la même pour les deux expériences. Dans la seconde expérience, seule une partie de l'eau est remplacée par un morceau de Plexiglas®.

Comme $t_R' < t_R$, les ultrasons se propagent plus vite dans le Plexiglas® que dans l'eau.

*Remarque : la célérité des ultrasons est d'autant plus grande que la densité du milieu traversé est grande. Or le Plexiglas® est plus dense que l'eau.*

**3.2.2.a.** ***(0,25)*** Dans l'eau (en l'absence du plexiglas®) la distance parcourue par les ultrasons serait : $L = 2D$.
Avec le Plexiglas® d'épaisseur *e*, qui est traversé deux fois par les ultrasons (aller et retour) la longueur *L* du trajet total aller-retour du signal dans l'eau uniquement est : $\boldsymbol{L} = 2D - 2e = \boldsymbol{2.(D - e)}$.

**3.2.2.b.** ***(0,25)*** Soient $t_{eau}$ la durée du parcours dans l'eau, et $t_{plexi}$ la durée du parcours dans le plexiglas®.

On a : $t'_R = t_{eau} + t_{plexi} = \dfrac{L}{v} + \dfrac{2e}{v'} = \boxed{\dfrac{2.(D-e)}{v} + \dfrac{2e}{v'} = t'_R}$

*Remarque : si e = 0 on retrouve bien la relation 2.1.2.*

**3.2.3.** ***(0,25)*** On a : $\boxed{t_A = \dfrac{2d}{v}}$

**3.2.4.** ***(0,25)*** À la durée $t_A$ du parcours dans l'eau (avec la célérité v), s'ajoute la durée $t'_{plexi}$ du parcours dans le plexiglas® (distance 2e parcourue avec la célérité v').

On a : $t_B = t_A + t'_{plexi} = \boxed{\dfrac{2d}{v} + \dfrac{2e}{v'} = t_B}$

**3.3. Exploitation des résultats**

$t_R = \dfrac{2D}{v}$ et $t'_R = \dfrac{2.(D-e)}{v} + \dfrac{2e}{v'}$ donc $t_R - t'_R = \dfrac{2D}{v} - \dfrac{2D}{v} + \dfrac{2e}{v} - \dfrac{2e}{v'}$ soit $\boxed{t_R - t'_R = \dfrac{2e}{v} - \dfrac{2e}{v'}}$ ***(relation 1)***

$t_A = \dfrac{2d}{v}$ et $t_B = \dfrac{2d}{v} + \dfrac{2e}{v'}$ donc $t_B - t_A = \dfrac{2d}{v} + \dfrac{2e}{v'} - \dfrac{2d}{v}$ soit $\boxed{t_B - t_A = \dfrac{2e}{v'}}$ ***(relation 2)***

**3.3.1.** ***(0,25)*** Exprimons (1) + (2) : $\left(t_R - t'_R\right) + \left(t_B - t_A\right) = \dfrac{2e}{v} - \dfrac{2e}{v'} + \dfrac{2e}{v'} = \dfrac{2e}{v}$

en isolant *e* on obtient : $\boxed{e = \dfrac{v}{2}.(t_R - t'_R + t_B - t_A)}$.

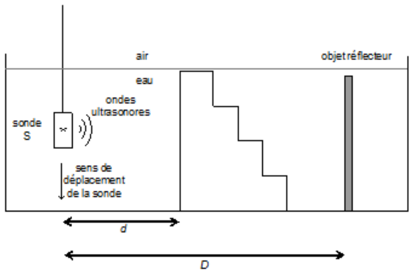
**3.3.2.** ***(0,25)*** e = $\dfrac{1{,}43\times10^3}{2}.\left(1{,}4\times10^{-4} - 1{,}2\times10^{-4} + 7{,}2\times10^{-5} - 6{,}2\times10^{-5}\right) = 2{,}145\times10^{-2}$ m.

En ne conservant que deux chiffres significatifs **e = 2,1×10⁻² m = 2,1 cm**.

**3.3.3.** ***(0,25) Relation 2*** $t_B - t_A = \dfrac{2e}{v'}$ donc $v' = \dfrac{2e}{(t_B - t_A)}$

$v' = \dfrac{2\times2{,}145\times10^{-2}}{\left(7{,}2\times10^{-5} - 6{,}2\times10^{-5}\right)} = \mathbf{4{,}3\times10^{3}\ m.s^{-1}}$

On a bien : v' > v. Ceci est bien en accord avec la question 3.2.1.




**3.4. Principe de l'échographie**

**3.4.1.** ***(0,25)*** D'après 3.2.2.b., on a : $t'_R = \dfrac{2(D-e)}{v} + \dfrac{2e}{v'} = \dfrac{2D}{v} - \dfrac{2e}{v} + \dfrac{2e}{v'}$

Finalement $t'_R = \dfrac{2D}{v} + 2e.\left(\dfrac{1}{v'} - \dfrac{1}{v}\right)$

Or $\dfrac{2.D}{v}$ est **constant** et $\left(\dfrac{1}{v'} - \dfrac{1}{v}\right)$ est **constant** et de **signe négatif** car v' > v donc $\dfrac{1}{v'} < \dfrac{1}{v} \Leftrightarrow \left(\dfrac{1}{v'} - \dfrac{1}{v}\right) < 0$

Au fur et à mesure que la sonde descend, ***e* augmente** donc $2e.\left(\dfrac{1}{v'} - \dfrac{1}{v}\right)$ est « de plus en plus négatif » ainsi $\boldsymbol{t_{R'}}$ **diminue**.

On peut simplifier le raisonnement : plus la sonde descend et plus les ultrasons parcourent une distance importante dans le plexiglas®, or ils s'y propagent plus vite que dans l'eau, donc $t'_R$ diminue.

**3.4.2.** ***(0,25)*** *Rappelons que $t_A$ est la date de la réflexion à l'entrée du plexiglas® et $t_B$ la date de réflexion à la sortie du plexiglas®.*

D'après la relation 2 : $t_B - t_A = \dfrac{2e}{v'}$ donc si **e** augmente alors $(t_B - t_A)$ augmente car v' est constante.