

Les Ondes Mécaniques Progressives

Exercice 1 : Utilisation des ondes ultra sonores dans le contrôle du béton armé

1. Détermination de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'air :

Sur une même droite on place un émetteur (E) et un récepteur (R) des ondes ultrasonores distants de $d=0,5\text{m}$.

L'émetteur (E) envoie un signal, il est reçu par le récepteur (R) après $\tau=1,47\text{ms}$

1.1- Dites si les ondes ultrasonores sont longitudinales ou transversales

1.2- Donner la signification physique de la grandeur τ .

1.3- Calculer la valeur V_{air} de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'air.

1.4- On considère un point B situé à une distance dB de l'émetteur (E). sélectionner la réponse juste parmi ces propositions :

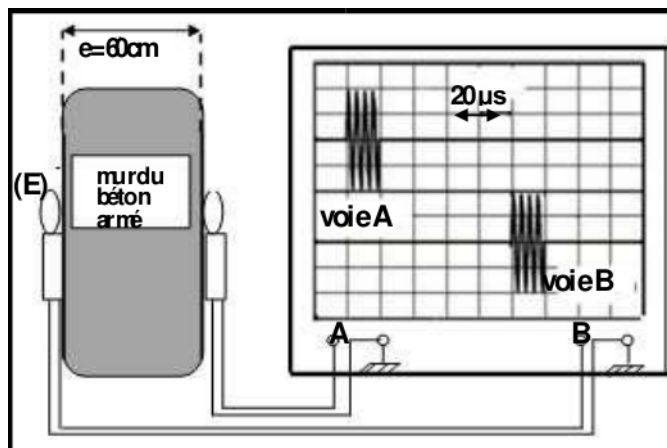
(a): $y_B(t) = y_E(t - \tau_B)$ — **(b):** $y_B(t) = y_E(t + \tau_B)$ — **(c):** $y_B(t) = y_E(t - 2\tau_B)$ — **(d):** $y_B(t) = y_E(t - \tau_B/2)$

2- Contrôle de la qualité du béton armé à l'aide des ondes ultra sonores:

L'oscillogramme de la figure ci-dessous représente le signal émis par un émetteur (E) d'un appareil numérique de contrôle du béton armé fixe sur la paroi d'un mur et le signal reçu par un récepteur (R) du même appareil placé sur l'autre paroi du mur d'une épaisseur $e=60\text{cm}$. La qualité du béton arme dépend de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans ce béton comme l'indique le tableau ci-dessous.

Qualité du béton armé	Vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le béton arme (m/s)
excellente	Supérieure à 4000
bonne	De 3200 à 4000
acceptable	De 2500 à 3200
mauvaise	De 1700 à 2500
Très mauvaise	Inférieure à 1700

Trouver la valeur de v la vitesse de propagation des ondes ultra sonore dans le béton arme et déduire sa qualité.



Exercice 2 : propagation d'ondes ultrasonores et des ondes lumineuses

Les ondes mécaniques et les ondes lumineuses sont caractérisées par des propriétés bien déterminées. Les phénomènes liés à leur propagation permettent de fournir des informations sur les milieux de propagation et la nature de la lumière, et de déterminer certains paramètres caractéristiques.

1- Propriétés des ondes ultrasonores et des ondes lumineuses:

Recopier sur votre copie, le numéro de la question, et écrire la lettre correspondante à la seule proposition vraie parmi :

a	les ondes ultrasonores sont des ondes longitudinales.
b	Le domaine de fréquences de la lumière visible est limité entre 400nm et 1000nm .
c	les ondes ultrasonores et les ondes lumineuses ont même célérité de propagation dans le même milieu.
d	La fréquence des ondes lumineuses varie d'un milieu à un autre.

2- Propagation des ondes ultrasonores:

On place en une même position, un émetteur E et un récepteur R des ondes ultrasonores, à la distance $d=42,5\text{ cm}$ d'un obstacle. Les ondes ultrasonores qui se propagent à partir de E, se réfléchissent sur l'obstacle puis sont reçues par R. Un système d'acquisition informatique permet de visualiser l'onde émise (a) et l'onde reçue (b). La figure (1) donne l'oscillogramme obtenu.

2.1- Déterminer la valeur du retard temporel τ entre les ondes (a) et (b).

2.2- Vérifier que la valeur de la célérité de propagation dans l'air est $V_{air}=340m/s$.

2.3- On répète l'expérience en utilisant le même dispositif, et l'eau comme milieu de propagation. On obtient avec le même système d'acquisition informatique l'oscillogramme représenté sur la figure (2). Dans quel milieu (air/eau), la propagation des ondes ultrasonores est plus rapide ? Justifier votre réponse.

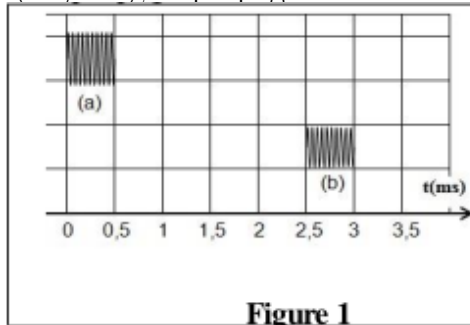


Figure 1

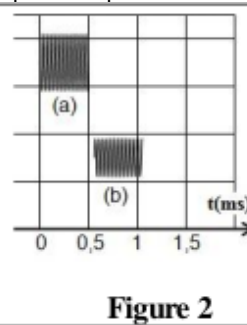


Figure 2

Exercice 3 : L'échographie et les ondes ultrasonores

L'échographie utilisant les ondes ultrasonores est une méthode de détermination des épaisseurs des nappes souterraines. Cet exercice vise à déterminer, la célérité de propagation des ondes ultrasonores dans l'air, ainsi que l'épaisseur d'une nappe souterraine de pétrole

1- Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'air :

On place sur un banc rectiligne un émetteur E d'ondes ultrasonores, et deux récepteurs R1 et R2 distants de $d=0,5m$ (Figure 1).

On visualise sur l'écran d'un oscilloscope, aux entrées Y1 et Y2, les signaux reçus par les deux récepteurs. On obtient l'oscillogramme représenté sur la figure 2.

A représente le début du signal reçu par R1, et B le début de celui reçu par R2.

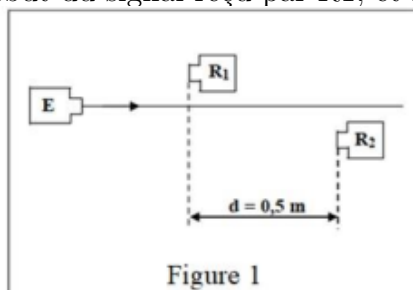


Figure 1

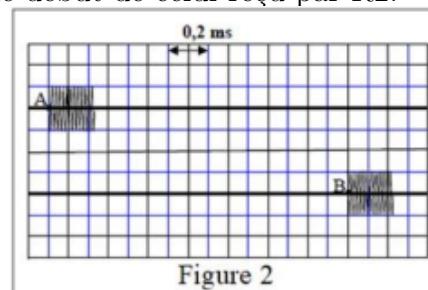


Figure 2

1.1- Déterminer à partir de l'oscillogramme de la figure 2, le retard horaire τ entre les deux signaux reçus par les deux récepteurs R1 et R2.

1.2- Calculer V_{air} la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'air.

1.3- Ecrire l'expression de l'élongation $y_B(t)$ du point B à l'instant t , en fonction de l'élongation du point A.

2 - Détermination de l'épaisseur d'une nappe souterraine de pétrole

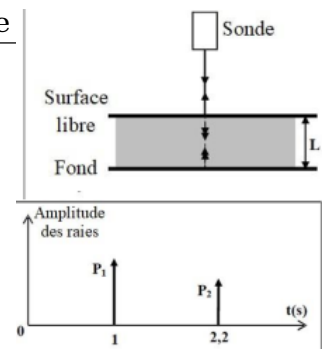
Pour déterminer l'épaisseur L d'une nappe souterraine de pétrole, un ingénieur utilise la sonde d'un appareil d'échographie.

La sonde envoie, perpendiculairement à la surface libre de la couche de pétrole, à l'instant $t_0 = 0$, un signal ultrasonore de très courte durée.

Une partie du signal se réfléchit sur cette surface, tandis que l'autre partie continue la propagation dans la couche de pétrole pour se réfléchir une deuxième fois sur son fond, et revenir vers la sonde, pour être transformée à nouveau en un signal de très courte durée aussi (Figure 3).

A l'instant t_1 , la sonde révèle la raie P_1 correspondante à l'onde réfléchie sur la surface libre de la couche de pétrole, et à l'instant t_2 elle révèle la raie P_2 correspondante à l'onde réfléchie sur le fond de la couche du pétrole (Figure 4).

Déterminer l'épaisseur L de la couche de pétrole, sachant que la célérité de propagation des ondes ultrasonores dans le pétrole brut est : $V = 1,3km.s^{-1}$.

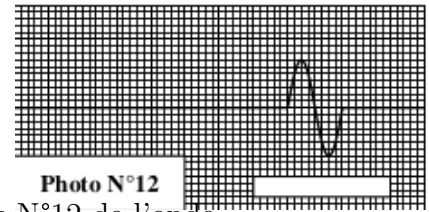
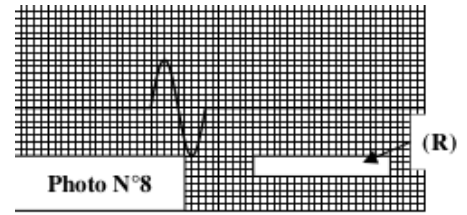


Exercice 4 : la célérité de propagation d'une onde le long d'une corde

Pour déterminer la célérité de propagation d'une onde le long d'une corde, le professeur de physique demande à l'un des élèves de produire un ébranlement à l'une des extrémités d'une corde horizontale, et en même temps, il demande à une élève de filmer la séquence à l'aide d'une caméra numérique réglée sur la prise de 25 images par seconde.

Une règle blanche (R) de longueur 1 m, a été placée au (R) voisinage de la corde comme échelle de mesure.

Après traitement informatique avec un logiciel convenable, le professeur choisit parmi les photos obtenues, les photos N°8 et N°12 (Figure ci-dessus), pour les étudier et les exploiter.



- 1- Déterminer La durée Δt séparant la prise des deux photos N°8 et N°12 de l'onde.
- 2- Déterminer La distance d parcourue par l'onde pendant la durée Δt .
- 3- La célérité de propagation de l'onde le long de la corde.

Exercice 5 : la célérité d'une onde ultrasonore dans le pétrole liquide

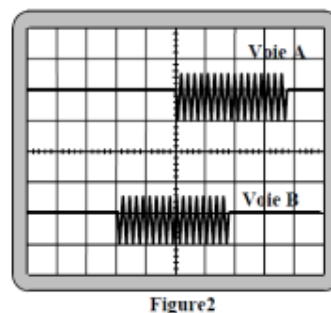
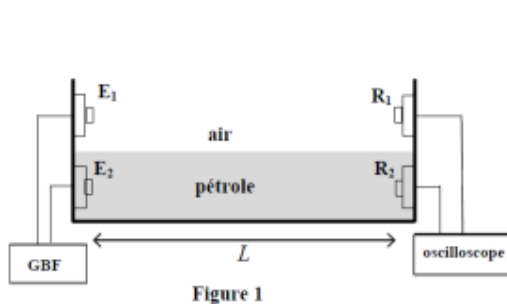
Pour déterminer la valeur approximative de la célérité d'une onde ultrasonore dans le pétrole liquide on réalise l'expérience suivante :

Dans une cuve contenant du pétrole, on fixe à l'une de ses extrémités deux émetteurs E_1 et E_2 qui sont reliés à un générateur GBF. A l'instant $t_0=0s$, les deux émetteurs émettent chacun une onde ultrasonore, une se propage dans l'air et l'autre dans le pétrole. A l'autre extrémité de la cuve, on place deux récepteurs R_1 et R_2 , l'un dans l'air et l'autre dans le pétrole. Les récepteurs sont à une distance L des émetteurs. (Voir figure 1)

On visualise sur l'écran d'un oscilloscope les deux signaux reçus par R_1 et R_2 . (Voir figure 2)

Données :

- Les deux ondes parcourent la même distance $L = 1,84 \text{ m}$.
 - La célérité des ultrasons dans l'air : $V_{air} = 340 \text{ m.s}^{-1}$.
 - La sensibilité horizontale de l'oscilloscope : 2 ms/div .
- 1- Les ondes ultrasonores, sont-elles longitudinales ou transversales ? justifier.
 - 2- En exploitant la figure 2, déterminer la valeur du retard temporel entre les deux ondes reçues.
 - 3- Montrer que l'expression de τ s'écrit sous la forme : $\tau = L \cdot \left(\frac{1}{V_{air}} - \frac{1}{V_P} \right)$
 - 4- Trouver la valeur approchée de la célérité.



Exercice 6 : la célérité d'une onde ultrasonore dans le pétrole liquide

L'émetteur E d'ultrasons génère simultanément deux salves d'ondes. Les récepteurs A et B sont reliés à une interface d'acquisition qui déclenche l'enregistrement des signaux dès que le récepteur B détecte en premier les ultrasons. L'huile testée est disposée dans un tube en verre entre l'émetteur E et le récepteur B, tandis que l'air sépare l'émetteur E du récepteur A (figure 1). Pour chaque valeur D de la longueur du tube on mesure, par l'intermédiaire du système informatique, la durée Δt écoulée entre les deux signaux reçus en A et B.

À partir de ces mesures on obtient la courbe de la figure 2 représentant les variations de Δt en fonction de D : $\Delta t = f(D)$.

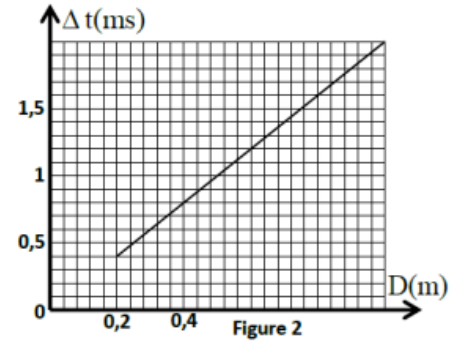
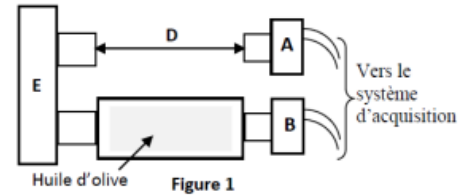
1- Les ondes ultrasonores sont-elles des ondes longitudinales ou transversales ? Justifier.

2- Les ultrasons utilisés dans l'expérience précédente ont une fréquence de 40kHz . Leur célérité dans l'air est $V_a = 340\text{m/s}$.

Calculer la distance parcourue par ces ultrasons dans l'air pendant une période.

3- Exprimer Δt en fonction de D, V_h et V_a

4- L'huile testée est-elle pure ? Justifier.

**Exercice 7 : Vitesse de propagation des ondes ultrasonores**

Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques qui peuvent se propager dans les liquides avec une vitesse qui dépend de la nature du liquide et de la vitesse de son écoulement. L'objectif de cet exercice est de déterminer la vitesse d'écoulement de l'eau dans une conduite.

1- **Propagation d'une onde ultrasonore:** une onde ultrasonore de fréquence $N = 50\text{Hz}$ se propage dans une eau calme avec une vitesse $v_0 = 1500\text{m.s}^{-1}$.

1.1- Calculer la longueur d'onde λ de cette onde ultrasonore se propageant dans une eau calme.

1.2- La valeur de λ varie-t-elle si cette onde se propage dans l'air ? Justifier la réponse.

2- **Mesure de la vitesse d'écoulement de l'eau dans une conduite :**

Une onde ultrasonore se propage à la vitesse v dans une eau qui coule à la vitesse v_e dans une conduite tel que $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}_e$ avec \vec{v}_e vecteur vitesse de propagation de cette onde dans une eau calme.

Pour déterminer la vitesse v_e d'écoulement de l'eau dans une conduite horizontale, on y place un émetteur E et un récepteur R d'ondes ultrasonores.

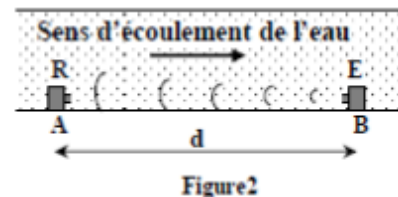
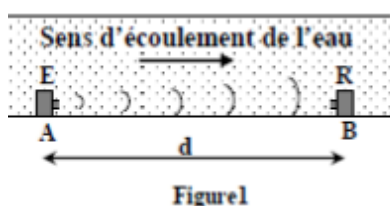
L'émetteur E et le récepteur R sont situés sur la même droite horizontale et parallèle à la direction du mouvement de l'eau et sont séparés d'une distance $d = 1,0\text{m}$.

L'émetteur E émet une onde ultrasonore de faible durée qui est reçue par le récepteur R.

Un dispositif adéquat permet d'enregistrer le signal $u(t)$ reçu par le récepteur R. On enregistre le signal $u(t)$ dans les deux cas suivants :

- **1er cas :** L'émetteur E est à la position A, et le récepteur R est à la position B (figure1).

- **2eme cas :** L'émetteur E est à la position B, et le récepteur R est à la position A (figure2). On considère, pour chaque cas, l'instant de l'émission de l'onde ultrasonore par l'émetteur E comme origine des dates.



La figure 3 représente les deux enregistrements obtenus (a) et (b).

2.1- Indiquer l'enregistrement correspondant au 2ème cas. Justifier la réponse.

2.2- τ représente la différence des deux durées de propagation de l'onde ultrasonore de l'émetteur E au récepteur R dans les deux cas.

2.2.a- Déterminer l'expression de τ en fonction de v_e , v_0 et d.

2.2.b- En négligeant la vitesse v_e devant v_0 , déterminer la vitesse v_e d'écoulement de l'eau dans la conduite sachant que $\tau = 2,0\mu s$.

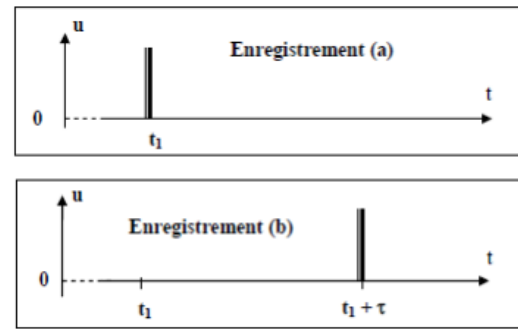


Figure 3

Exercice 8 : La vitesse de propagation de l'onde ultrasonore dans le plexiglas

On place dans un récipient contenant de l'eau, une plaque de plexiglas d'épaisseur e , on plonge dans l'eau une sonde constituée d'un émetteur et d'un récepteur d'onde ultrasonore (figure1). On visualise à l'aide d'un dispositif approprié chacun des signaux émis et reçu par la sonde. La durée du signal ultrasonore est très petite, on le représente par une raie verticale.

1- En l'absence de la plaque du plexiglas, on obtient l'oscillogramme représenté dans la figure 2.

Etablir que l'instant t_R auquel a été capté le signal réfléchi par la surface réfléchissante (P) s'écrit sous la forme $t_R = \frac{2D}{v}$ où v est la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore dans l'eau.

2- En présence de la plaque de plexiglas, on obtient l'oscillogramme de la figure 3.

On représente par t_A et t_B les instants auxquels sont captés les signaux réfléchis successivement par la première surface (a) et la deuxième surface (b) de la plaque de plexiglas.

On représente par t'_R l'instant auquel a été captée l'onde réfléchie sur la surface réfléchissante (P).

On représente la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore dans le plexiglas par v' .

2.1- Dans quel milieu (eau ou plexiglas), la vitesse de propagation de l'onde est la plus grande ? justifier la réponse.

2.2- Exprimer t'_R en fonction de D , e , v et v' .

2.3- Trouver l'expression de l'épaisseur e en fonction de v , t_R , t'_R , t_A et t_B .

Calculer la valeur de e sachant que la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'eau est $v = 1,42 \cdot 10^3 m \cdot s^{-1}$.

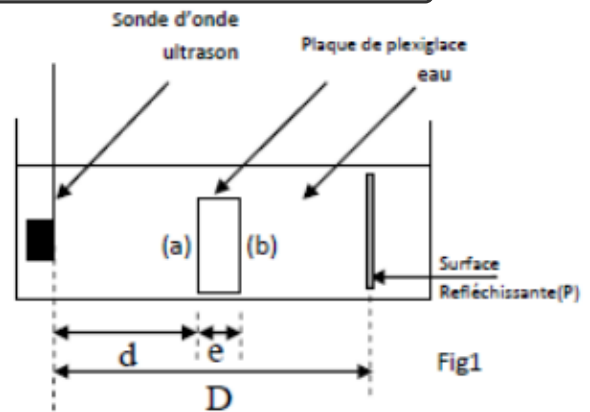


Fig1

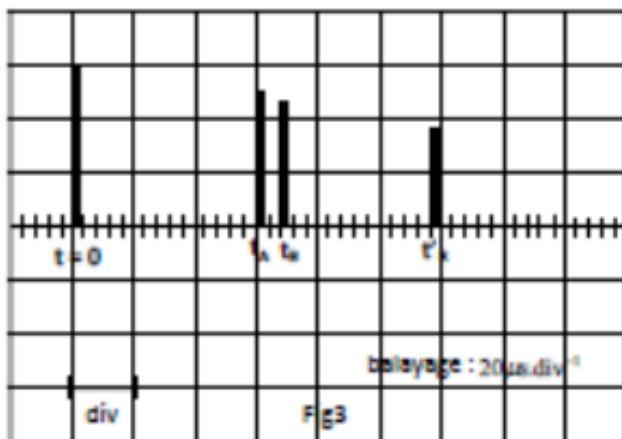


Fig3

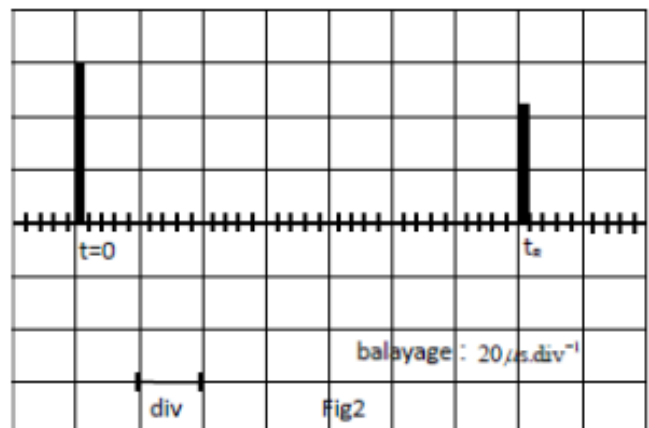


Fig2