

Exercice 1 : Ondes ultrasonores et deux applications.(10 points)

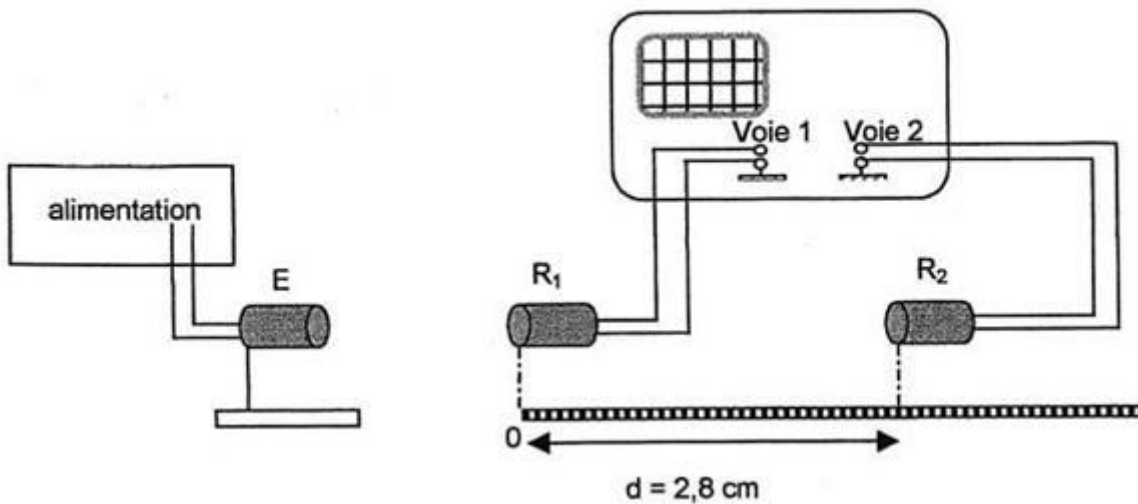
Cet exercice a pour objectifs de déterminer, dans la partie A, quelques grandeurs caractéristiques des ultrasons puis, dans la partie B, d'étudier deux applications des ultrasons : le nettoyage par cavitation acoustique et l'échogramme du cerveau.

Partie A

1. Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève dispose du matériel suivant :

- un émetteur d'ultrasons E et son alimentation électrique ;
- deux récepteurs d'ultrasons R_1 et R_2 ;
- un oscilloscope ;
- une règle graduée.

Il réalise le montage suivant :

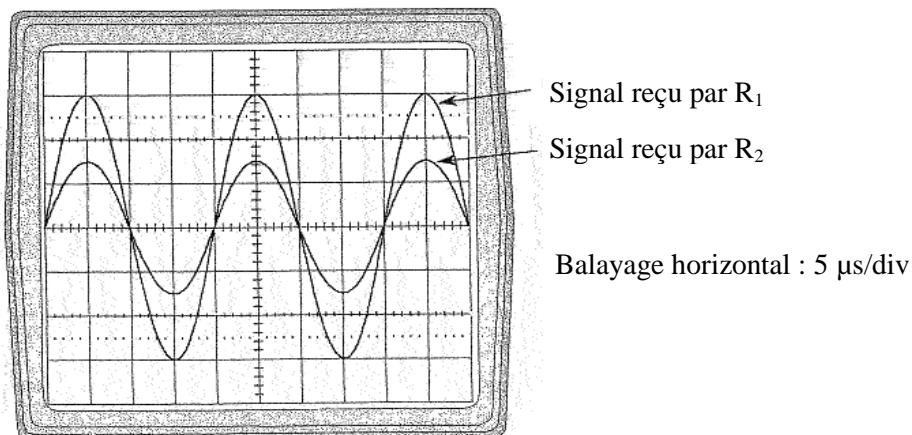


L'émetteur E génère une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air jusqu'aux récepteurs R_1 et R_2 . L'émetteur et les deux récepteurs sont alignés.

Le récepteur R_1 est placé au zéro de la règle graduée.

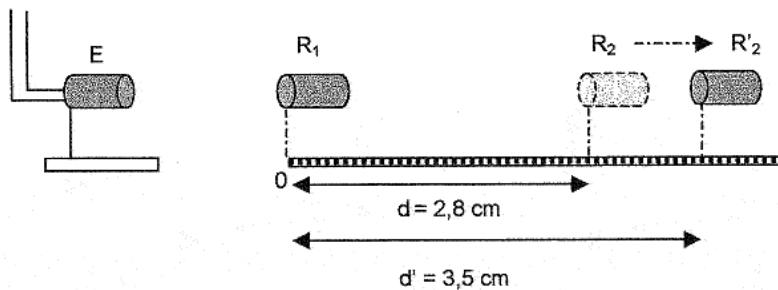
Les signaux captés par les récepteurs R_1 et R_2 sont appliqués respectivement sur les voies 1 et 2 d'un oscilloscope pour être visualisés sur l'écran de celui-ci.

Lorsque le récepteur R_2 est situé à $d = 2,8$ cm du récepteur R_1 , les signaux reçus par les deux récepteurs sont en phase. On observe l'oscillogramme ci-dessous sur l'écran.



1.1. Déterminer la fréquence f des ultrasons émis.

On éloigne lentement R_2 le long de la règle ; on constate que le signal reçu par R_2 se décale vers la droite ; on continue à éloigner R_2 jusqu'à ce que les signaux reçus par R_1 et R_2 soient à nouveau en phase. Soit R'_2 la nouvelle position occupée par R_2 . On relève la distance d' séparant désormais R_1 de R'_2 : on lit $d' = 3,5$ cm.



1.2. Définir en une phrase la longueur d'onde λ ; écrire la relation entre la longueur d'onde λ , la célérité v des ultrasons dans le milieu et la période T des ultrasons.

1.3. Exprimer en fonction de la période T des ultrasons le retard τ du signal reçu par R'_2 par rapport à celui reçu par R_2 . En déduire la longueur d'onde.

1.4. Calculer la célérité des ultrasons dans l'air.

1.5. On immerge, en veillant à leur étanchéité, l'émetteur et les deux récepteurs R_1 et R_2 dans l'eau contenue dans une cuve de dimensions suffisantes. Sans changer la fréquence f de l'émetteur, on constate que pour observer deux signaux successifs captés par R_2 en phase, il faut éloigner R_2 de R_1 sur une distance 4 fois plus grande que dans l'air.

Déterminer la célérité des ultrasons dans l'eau.

Partie B

2. Le nettoyage par cavitation acoustique.

Le nettoyage par ultrasons est mis en œuvre dans de très nombreux secteurs d'activités : industrie mécanique, horlogerie, bijouterie, optique ... Il repose sur le phénomène de cavitation acoustique la cavitation est produite en émettant des ultrasons de forte puissance dans un liquide.

L'émetteur est un disque constitué d'un matériau piézoélectrique sur les faces duquel sont déposées deux électrodes métallisées. Lorsqu'une tension électrique sinusoïdale est appliquée entre ces deux électrodes, le matériau se dilate et se contracte périodiquement. Ces déplacements périodiques du disque provoquent des successions de dépressions - surpressions du liquide qui est en son contact. Cette perturbation se propage ensuite de proche en proche dans l'ensemble du fluide : c'est l'onde ultrasonore.



Lors du passage de l'onde dans une « tranche » de liquide, le phénomène de cavitation se produit si la puissance de l'onde est suffisante : des microbulles de vapeur dont le diamètre peut atteindre $100 \mu\text{m}$ apparaissent. Les microbulles de vapeur sont transitoires. Elles implosent en moins d'une microseconde. Les ondes de choc émises par l'implosion nettoient la surface d'un solide plongé dans le liquide.

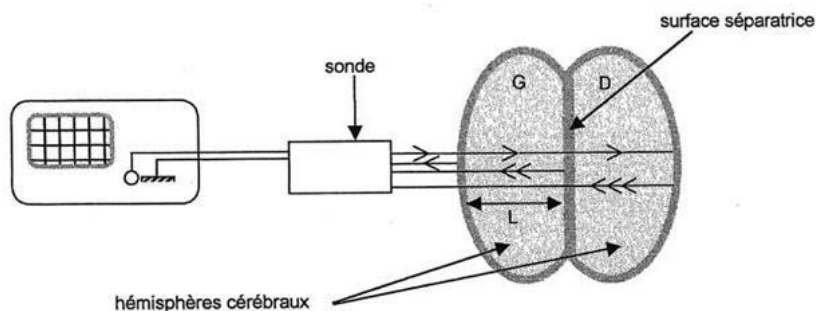
2.1. L'onde ultrasonore est une onde mécanique progressive.

Définir une telle onde.

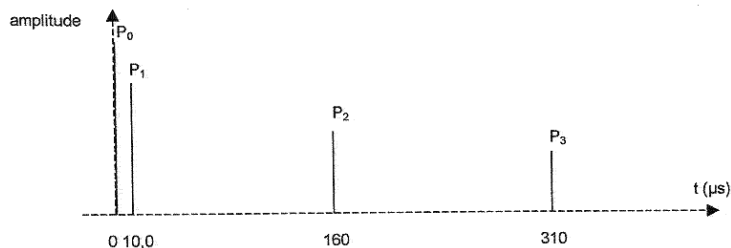
2.2. S'agit-il d'une onde longitudinale ou transversale ?

3. L'échogramme du cerveau.

Une sonde, jouant le rôle d'émetteur et de récepteur, envoie une impulsion ultrasonore de faible durée et de faible puissance en direction du crâne d'un patient. L'onde sonore pénètre dans le crâne, s'y propage et s'y réfléchit chaque fois qu'elle change de milieu. Les signaux réfléchis génèrent des échos qui, au retour sur la sonde, y engendrent une tension électrique très brève. Un oscilloscope relié à la sonde permet la détection à la fois de l'impulsion émettrice et des divers échos.



L'oscillogramme obtenu sur un patient permet de tracer l'échogramme ci-dessous : les tensions électriques étant redressées, seule la partie positive de celles-ci est envoyée sur l'oscilloscope ; la durée d'émission de l'impulsion étant très brève ainsi que celle des échos, on observe sur l'écran des pics verticaux : P_0 , P_1 , P_2 , P_3 .



P_0 correspond à l'émission à l'instant de date $t = 0$ s de l'impulsion ; P_1 à l'écho dû à la réflexion sur la surface externe de l'hémisphère gauche (G sur le schéma) ; P_2 à l'écho sur la surface de séparation des deux hémisphères ; P_3 à l'écho sur la surface interne de l'hémisphère droit (D sur le schéma).

La célérité des ultrasons dans les hémisphères est $v = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.

3.1. Quelle est la durée Δt du parcours de l'onde ultrasonore dans l'hémisphère gauche ainsi que dans le droit ?

3.2. En déduire la largeur L de chaque hémisphère.

Exercice 2 : La houle et la lumière (10 points)

La houle est un train de vagues régulier généré par un vent soufflant sur une grande étendue de mer sans obstacle, le fetch. En arrivant près du rivage, sous certaines conditions, la houle déferle au grand bonheur des surfeurs !

Les documents utiles à la résolution sont rassemblés à la fin de l'exercice.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

1. La houle, onde mécanique progressive

1.1. Pourquoi peut-on dire que la houle est une onde mécanique progressive ?

1.2. Il est possible de simuler la houle au laboratoire de physique avec une cuve à ondes en utilisant une lame vibrante qui crée à la surface de l'eau une onde progressive sinusoïdale de fréquence $f = 23 \text{ Hz}$. On réalise une photographie du phénomène observé (**document 1**).

Déterminer, en expliquant la méthode utilisée, la vitesse de propagation v de l'onde sinusoïdale générée par le vibreur.

1.3. Au large de la pointe bretonne, à une profondeur de 3000 m, la houle s'est formée avec une longueur d'onde de 60 m.

En utilisant le **document 2**, calculer la vitesse de propagation v_1 de cette houle. En déduire sa période T .

1.4. Arrivée de la houle dans une baie.

1.4.1. Sur la photographie aérienne du document 3, quel phénomène peut-on observer ? Quelle est la condition nécessaire à son apparition ?

1.4.2. Citer un autre type d'onde pour laquelle on peut observer le même phénomène.

2. Surfer sur la vague

La houle atteint une côte sablonneuse et rentre dans la catégorie des ondes longues.

2.1. Calculer la nouvelle vitesse de propagation v_2 de la houle lorsque la profondeur est égale à 4,0 m, ainsi que sa nouvelle longueur d'onde λ_2 . Les résultats obtenus sont-ils conformes aux informations données dans le **document 4** ?

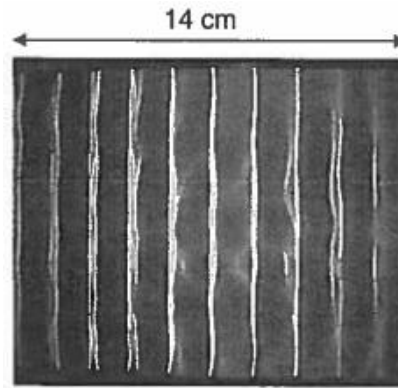
2.2. Un phénomène très attendu par les surfeurs, lors des marées importantes est le mascaret.

Le mascaret est une onde de marée qui remonte un fleuve. Cette onde se propage à une vitesse v de l'ordre de $5,1 \text{ m.s}^{-1}$.

Le passage du mascaret étant observé sur la commune d'Arcins à 17h58, à quelle heure arrivera-t-il à un endroit situé à une distance $d = 13 \text{ km}$ en amont du fleuve ?

DOCUMENTS DE L'EXERCICE III

Document 1 : Simulation de la houle au laboratoire avec une cuve à ondes.



Document 2 : Vitesse de propagation des ondes à la surface de l'eau.

- cas des ondes dites « courtes » (en eau profonde) :
longueur d'onde λ faible devant la profondeur h de l'océan ($\lambda < 0,5 h$)

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$$

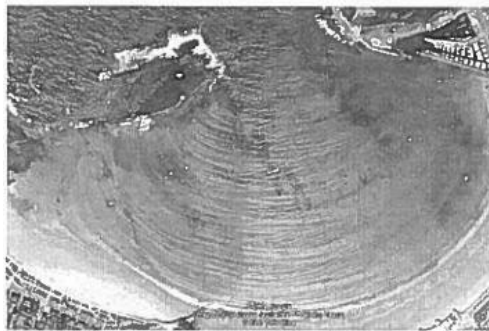
- cas des ondes dites « longues » (eau peu profonde) :
longueur d'onde λ très grande devant la profondeur de l'océan ($\lambda > 10h$)

$$v = \sqrt{g \cdot h}$$

g est l'intensité du champ de pesanteur terrestre.

D'après <http://ifremer.fr/>

Document 3 : Photographie aérienne de l'arrivée de la houle dans une baie.



Document 4 : Déferlement des vagues sur la côte

En arrivant près de la côte, la houle atteint des eaux peu profondes. Dès que la profondeur est inférieure à la moitié de la longueur d'onde, les particules d'eau sont freinées par frottement avec le sol. La houle est alors ralentie et sa longueur d'onde diminue. Ces modifications des caractéristiques de l'onde s'accompagnent d'une augmentation d'amplitude. La période est la seule propriété de l'onde qui ne change pas à l'approche de la côte.

Ainsi en arrivant près du rivage, la vitesse des particules sur la crête est plus importante que celle des particules dans le creux de l'onde, et lorsque la crête n'est plus en équilibre, la vague déferle.

D'après <http://ifremer.fr/>

3- La lumière

On envoie de la lumière laser sur une fente horizontale de largeur a et située à une distance D d'un écran. On observe sur celui-ci une figure de diffraction.

3.1- Faire le schéma du dispositif en faisant apparaître le demi-angle de diffraction, la tache centrale, a et D . Quelle relation y a-t-il entre cet angle, la longueur d'onde et la largeur de la fente ? (Préciser les unités)

3.2- la longueur d'onde du laser étant connue, proposer un protocole permettant de calculer a

Correction contrôle n° 1

Exercice 1 : Partie A

1.1) $2T = 8 \times 5 = 40 \mu\text{s} \Rightarrow T = 20 \mu\text{s} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = 5 \times 10^4 \text{ Hz}$

1.2) $\lambda =$ distance parcourue par l'onde en une période.

$$\lambda = vT$$

1.3) La distance séparant R_2 de R'_2 est égale à λ donc $\tau = T$
donc $\lambda = d' - d = 7 \times 10^{-1} \text{ cm}$

1.4) $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{7 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = 3,5 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

1.5) λ est 4 fois plus grande que dans l'air soit $\lambda = 2,8 \text{ cm}$
donc $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{2,8 \times 10^{-2}}{20 \times 10^{-6}} = 1,4 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Partie B

2.1) c'est une perturbation qui se propage dans un milieu matériel
sans transport de matière mais avec transport d'énergie

2.2) Longitudinale car la perturbation est // sens de propagation.

3.1) $\Delta t = t_{(P_2)} - t_{(P_1)} = 160 - 10 = 150 \mu\text{s}$ (hémisphère gauche)

$$\Delta t = t_{(P_3)} - t_{(P_1)} = 310 - 160 = 150 \mu\text{s}$$
 (hémisphère droit)

3.2) $L = v \frac{\Delta t}{2} = 1500 \times \frac{150 \times 10^{-6}}{2} = 1,13 \times 10^{-1} \text{ m} = 11,3 \text{ cm}$

Exercice 2

1.1) voir question 2.1) de l'exercice 1

1.2) Doc 1 $\Rightarrow g\lambda = \frac{14 \times 4,8}{5,2} \text{ cm} \Rightarrow \lambda = \frac{14 \times 4,8}{5,2 \times 9} = 1,4 \text{ cm}$

et $\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow v = \lambda f = 1,4 \times 10^{-2} \times 23 = 3,2 \times 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

1.3) $h = 3000 \text{ m}$ et $\lambda = 60 \text{ m} \Rightarrow \lambda$ est inférieur à $0,5 h \Rightarrow$ eau profonde
donc $v_1 = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} = \sqrt{\frac{9,8 \times 60}{2\pi}} = 9,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow T = \frac{\lambda}{v} = 6,2 \text{ s}$

1.4) 1.4.1) c'est la diffraction, on l'observe d'autant mieux que la taille
de l'ouverture de la baie est $\sim \lambda$

1.4.2) ondes lumineuses.

.../...

$$2.1) v_2 = \sqrt{gh} = \sqrt{9,8 \times 4} = \underline{6,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

$$\lambda_2 = v_2 T = 6,3 \times 6,2 = \underline{3,9 \times 10^1 \text{ m}} \quad (39 \text{ m})$$

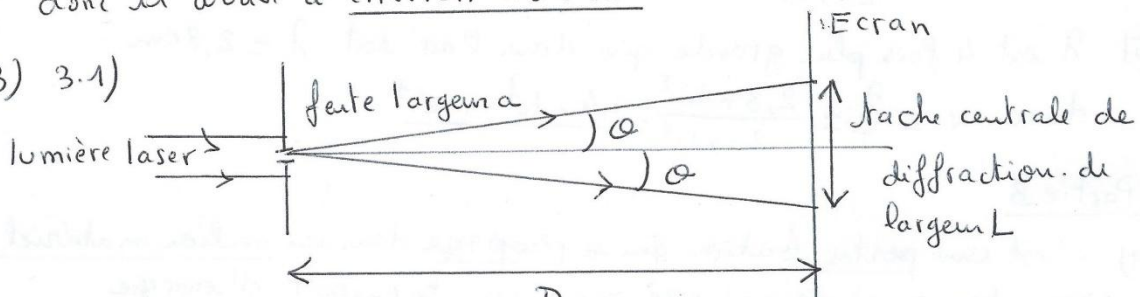
$v_2 < v_1$ et $\lambda_2 < \lambda_1 \Rightarrow$ en arrivant près de la côte, la houle est ralentie et λ diminue, ce qui est conforme aux informations du doc 4.

$$2.2) d = v \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{d}{v} = \frac{13000}{5,1} = 2,5 \times 10^3 \text{ s}$$

\Rightarrow il arrive à Arans à 17h58 + $\underbrace{2,5 \times 10^3 \text{ s}}_{\text{environ } 42 \text{ min}}$

donc il arrive à environ 18h40

3) 3.1)



on a la relation $\theta = \frac{\lambda}{a}$ (λ et a en mètre)
(θ en radian)

3.2) on réalise l'expérience ci-dessus pour une distance D donnée et assez grande pour gagner en précision. on mesure alors L sur l'écran et on en déduit a

$$\text{car on a } \theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D} \quad (\tan \theta \approx \theta = \frac{L}{2D})$$

$$\text{et donc } \underline{\underline{a = \frac{2\lambda D}{L}}}$$