

Thème 1. Propagation d'une onde

Exercice 1. Comment déterminer le relief du fond marin avec un sondeur ?

(5,5 points)

Les trois parties de l'exercice sont indépendantes.

I. Etude de l'onde ultrasonore dans l'eau de mer

1. Définir une onde mécanique progressive.
2. L'onde ultrasonore est-elle une onde longitudinale ou transversale ? Justifier la réponse.
3. La lumière est une onde progressive périodique mais elle n'est pas mécanique.
 - a) Citer un fait expérimental qui permet de décrire la lumière comme une onde.
 - b) Quelle observation permet de montrer que la lumière n'est pas une onde mécanique ?

II. Détermination de la célérité des ondes ultrasonores dans l'eau

La célérité des ultrasons dans l'air $v_{\text{air}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$ est plus faible que la célérité des ultrasons dans l'eau de mer v_{eau} .

Un émetteur produit simultanément des salves d'ondes ultrasonores dans un tube rempli d'eau de mer et dans l'air (voir figure 1). A une distance d de l'émetteur d'ondes ultrasonores, sont placés deux récepteurs, l'un dans l'air et l'autre dans l'eau de mer.

Le récepteur A est relié à l'entrée A du système d'acquisition d'un ordinateur et le récepteur B à l'entrée B. L'acquisition commence lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B du système.

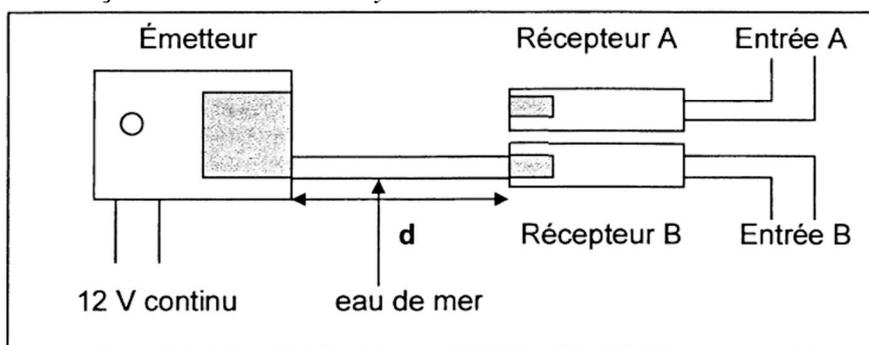
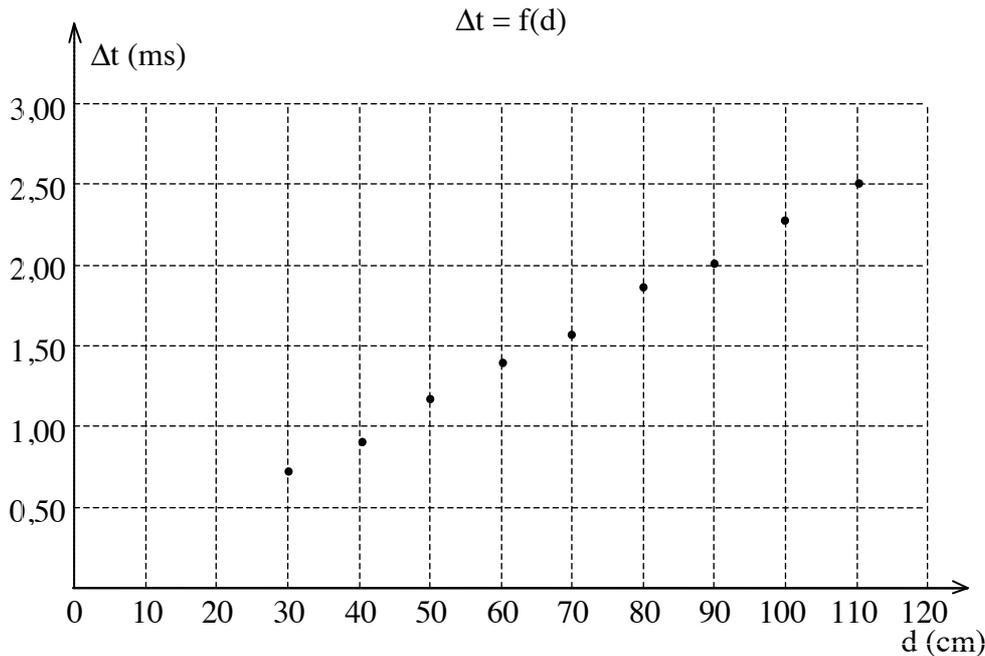


Figure 1

1. Pourquoi est-il nécessaire de déclencher l'acquisition lorsqu'un signal est reçu sur l'entrée B ?



2. Donner l'expression du retard Δt entre la réception des ultrasons par les deux récepteurs en fonction de t_A et t_B , durées que mettent les ultrasons pour parcourir respectivement la distance d dans l'air et dans l'eau de mer.
3. On détermine Δt pour différentes distances d entre l'émetteur et les récepteurs. On traite les données avec un tableur et on obtient le graphe $\Delta t = f(d)$ ci-dessus.
 - a) Donner l'expression de Δt en fonction de d , v_{air} , v_{eau} .
 - b) Justifier l'allure de la courbe obtenue.
 - c) Déterminer graphiquement le coefficient directeur de la droite $\Delta t = f(d)$. En déduire la valeur de la célérité v_{eau} des ultrasons dans l'eau de mer en prenant $v_{\text{air}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

III. Détermination du relief des fonds marins

Dans cette partie on prendra $v_{\text{eau}} = 1,50 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Un sondeur acoustique classique est composé d'une sonde comportant un émetteur et un récepteur d'onde ultrasonore de fréquence $f = 200 \text{ kHz}$ et d'un boîtier de contrôle ayant un écran qui visualise le relief des fonds sous-marins. La sonde envoie des salves d'ultrasons verticalement en direction du fond à des intervalles de temps réguliers ; cette onde ultrasonore se déplace dans l'eau à une vitesse constante v_{eau} . Quand elle rencontre un obstacle, une partie de l'onde est réfléchiée et renvoyée vers la source. La détermination du retard entre l'émission et la réception du signal permet de calculer la profondeur p .

Un bateau se déplace en ligne droite suivant un axe $x'x$ en explorant le fond depuis le point A $x_A = 0$ m jusqu'au point B $x_B = 50$ m (figure 2). Le sondeur émet des salves d'ultrasons à intervalles de temps égaux, on mesure à l'aide d'un oscilloscope la durée Δt séparant l'émission de la salve de la réception de son écho.

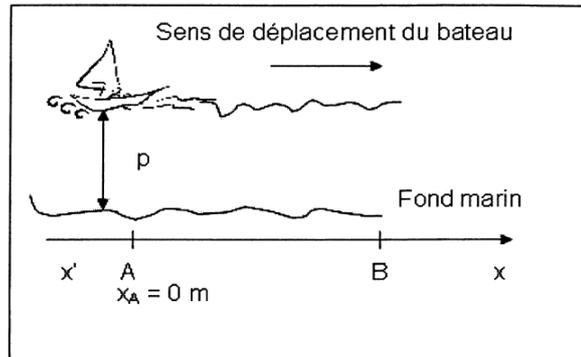
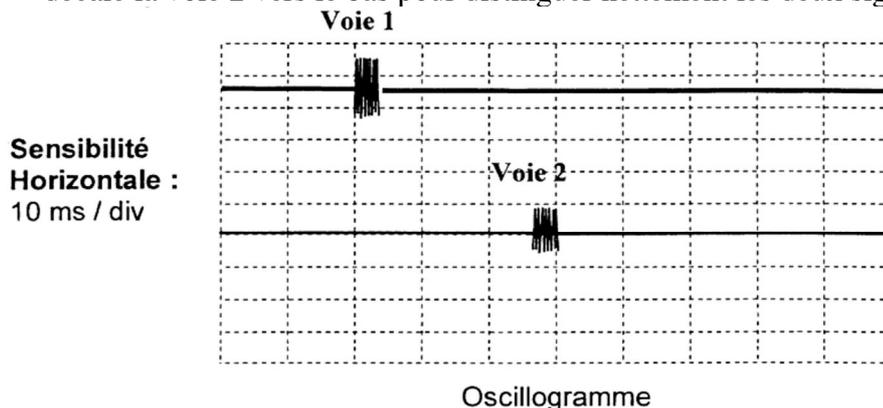


Figure 2

1. L'oscillogramme ci-dessous montre l'écran d'un oscilloscope lorsque le bateau se trouve en A ($x_A = 0$ m). L'une des voies représente le signal émis, l'autre le signal reçu par le récepteur. Sur l'oscillogramme, on a décalé la voie 2 vers le bas pour distinguer nettement les deux signaux.



Oscillogramme

La figure 3 se trouvant sur l'annexe représente $\Delta t = f(x)$ lorsque le bateau se déplace de A vers B.

- a) Identifier les signaux observés sur chaque voie, en justifiant.
 - b) A partir de l'oscillogramme, déterminer la durée Δt entre l'émission de la salve et la réception de son écho.
 - c) En déduire la graduation de l'axe des ordonnées de la figure 3 se trouvant sur l'annexe représentant la durée Δt en fonction de la position x du bateau.
2. Déterminer la relation permettant de calculer la profondeur p en fonction de Δt et v_{eau} .
 3. Tracer sur la figure 4 se trouvant sur l'annexe à rendre avec la copie, l'allure du fond marin exploré en précisant la profondeur p en mètres en fonction de la position x du bateau.

4. Le sondeur envoie des salves d'ultrasons à intervalles de temps réguliers T . Pour une bonne réception, le signal émis et son écho ne doivent pas se chevaucher. Le sondeur est utilisable jusqu'à une profondeur de 360 m. Déterminer la période minimale T_m des salves d'ultrasons permettant ce fonctionnement.

Annexe

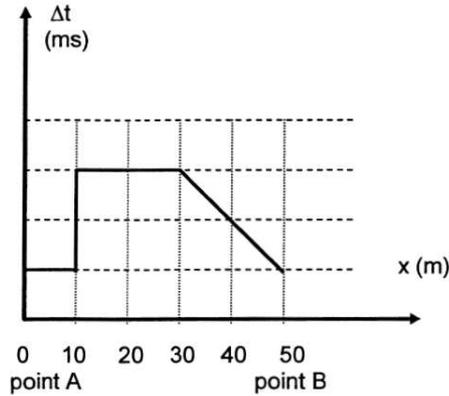


Figure 3

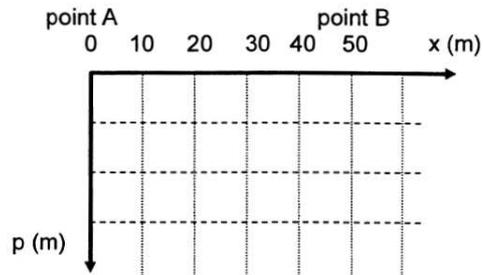


Figure 4

Amérique du Nord juin 2007

Exercice 2. Ondes ultrasonores et deux applications

(4 points)

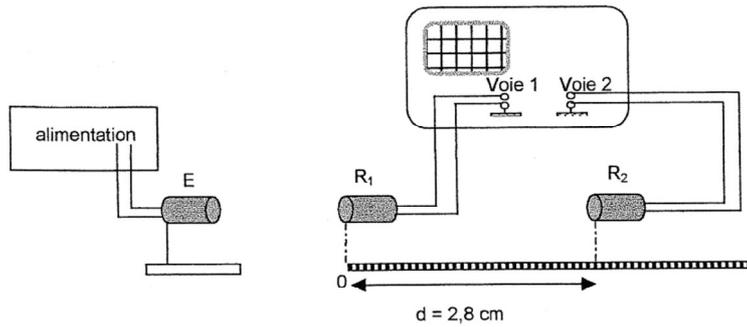
Cet exercice a pour objectifs de déterminer, dans la partie A, quelques grandeurs caractéristiques des ultrasons puis, dans la partie B, d'étudier deux applications des ultrasons : le nettoyage par cavitation acoustique et l'échogramme du cerveau.

Partie A

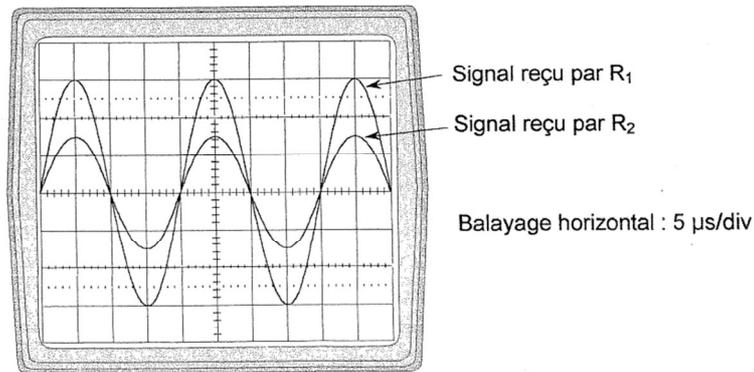
I. Au cours d'une séance de travaux pratiques, un élève dispose du matériel suivant :

- 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 :

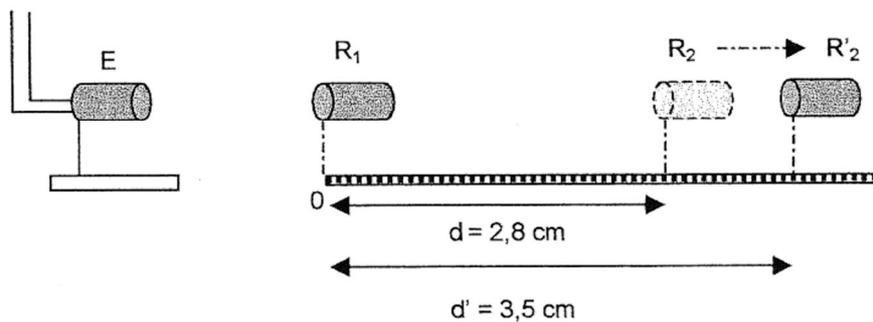


L'émetteur E génère une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air jusqu'aux récepteurs R₁ et R₂. L'émetteur et les deux récepteurs sont alignés. Le récepteur R₁ est placé au zéro de la règle graduée. Les signaux captés par les récepteurs R₁ et R₂ sont appliqués respectivement sur les voies 1 et 2 d'un oscilloscope pour être visualisés sur l'écran de celui-ci. Lorsque le récepteur R₂ est situé à d = 2,8 cm du récepteur R₁, les signaux reçus par les deux récepteurs sont en phase. On observe l'oscillogramme ci-dessous sur l'écran.



1. Déterminer la fréquence f des ultrasons émis.

On éloigne lentement R₂ le long de la règle ; on constate que le signal reçu par R₂ se décale vers la droite ; on continue à éloigner R₂ jusqu'à ce que les signaux reçus par R₁ et R₂ soient à nouveau en phase. Soit R'₂ la nouvelle position occupée par R₂. On relève la distance d' séparant désormais R₁ de R'₂ : on lit d' = 3,5 cm.



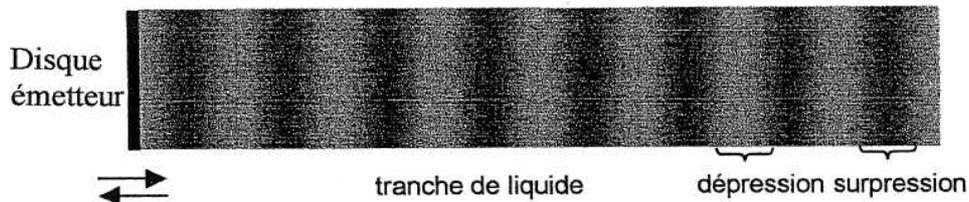
2. Définir en une phrase la longueur d'onde λ ; écrire la relation entre la longueur d'onde λ , la célérité v des ultrasons dans le milieu et la période T des ultrasons.
3. Exprimer en fonction de la période T des ultrasons le retard τ du signal reçu par R_2 par rapport à celui reçu par R_1 .
En déduire la longueur d'onde.
4. Calculer la célérité des ultrasons dans l'air.
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

II. Le nettoyage par cavitation acoustique

Le nettoyage par ultrasons est mis en oeuvre 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.

1. L'onde ultrasonore est une onde mécanique progressive.
Définir une telle onde.
2. S'agit-il d'une onde longitudinale ou transversale ?

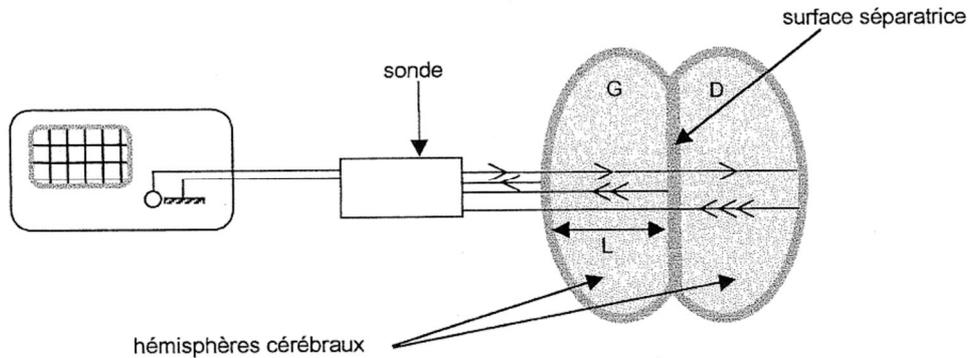
3. Interpréter brièvement la formation suivie de l'implosion des microbulles dans une tranche de liquide.

Données :

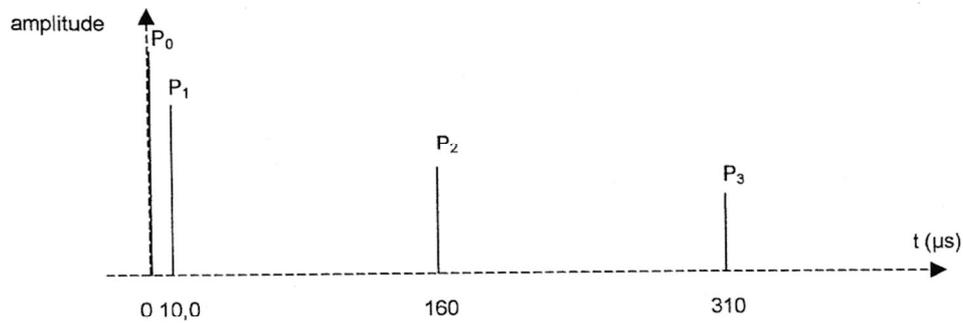
- la température d'ébullition d'un liquide diminue quand la pression diminue
- définition d'une implosion : écrasement brutal d'un corps creux sous l'effet d'une pression extérieure supérieure à la pression intérieure.

III. 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 du 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 $v = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.

1. Quelle est la durée Δt du parcours de l'onde ultrasonore dans l'hémisphère gauche ainsi que dans le droit ?
2. En déduire la largeur L de chaque hémisphère.

Aide au calcul

$$15 \times 15 = 225.$$

Asie juin 2007

Exercice 3. Propagation des ondes

(4 points)

Cet exercice est un questionnaire à réponses ouvertes courtes. A chaque question peuvent correspondre aucune, une ou plusieurs propositions exactes.

Pour chacune des questions, plusieurs réponses ou affirmations sont proposées.

Inscrire en toutes lettres « vrai » ou « faux » dans la case correspondante du tableau figurant dans l'annexe.

Donner **une justification ou une explication** dans la case prévue à cet effet. Une réponse fausse ou une absence de réponse sera évaluée de la même façon.

Les parties 1, 2, 3 et 4 sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

1. Ondes infrasonores

Les éléphants émettent des infrasons (dont la fréquence est inférieure à 20 Hz). Cela leur permet de communiquer sur de longues distances et de se rassembler. Un éléphant est sur le bord d'une étendue d'eau et désire indiquer à d'autres éléphants sa présence. Pour cela, il émet un infrason. Un autre éléphant, situé à une distance $L = 24,0 \text{ km}$, reçoit l'onde au bout d'une durée $\Delta t = 70,6 \text{ s}$.

La valeur de la célérité de l'infrason dans l'air v est :

1.1 $v = 34,0 \text{ km.s}^{-1}$;

1.2 $v = 340 \text{ km.s}^{-1}$;

1.3 $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

2. Ondes à la surface de l'eau

Au laboratoire, on dispose d'une cuve à onde contenant de l'eau immobile à la surface de laquelle flotte un petit morceau de polystyrène. On laisse tomber une goutte d'eau au-dessus de la cuve, à l'écart du morceau de polystyrène. Une onde se propage à la surface de l'eau.

2.1. Ceci correspond :

2.1.1. à une onde mécanique ?

2.1.2. à une onde longitudinale ?

2.1.3. à une onde transversale ?