

PREMIERE PARTIE : QUESTIONNAIRE A CHOIX MULTIPLES (16 POINTS)**ONDES SONORES ET ÉLECTROMAGNÉTIQUES**

Chacune des propositions suivantes, de 1 à 9, contient une seule affirmation vraie (a, ou b, ou c, ou d). Choisir la proposition vraie en la justifiant.

1. Une onde sonore ou ultrasonore

- a) se propage dans le vide à la vitesse de 340 m/s.
- b) ne se propage pas dans le vide.
- c) s'accompagne d'un transport de matière
- d) se propage dans l'air à 20°C à la vitesse de 3×10^8 m/s.

2. Une onde électromagnétique

- a) se propage dans le vide à la vitesse de $3 \cdot 10^8$ m/s.
- b) ne se propage pas dans le vide.
- c) s'accompagne d'un transport de matière.
- d) se propage dans l'air à 20°C à la vitesse de 500 m/s.

3. L'impédance acoustique d'un milieu vaut $Z = \rho c$.

ρ masse volumique en kg.m^{-3} ;

c vitesse de propagation des ondes dans le milieu en m.s^{-1} ;

Z impédance acoustique en $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Une onde acoustique de fréquence $f = 5,3$ MHz traverse un milieu musculaire (1) d'impédance $Z_1 = 1,6 \times 10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ et de masse volumique $\rho_1 = 1,04 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$, puis un milieu osseux (2) d'impédance $Z_2 = 5 \times 10^6 \text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ et de masse volumique $\rho_2 = 1,9 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.

- a) La fréquence de l'onde dans le milieu osseux (2) est différente de 5,3 MHz.
- b) La vitesse de propagation est plus petite dans le milieu (2) que dans le milieu (1).
- c) La vitesse de propagation est plus grande dans le milieu (2) que dans le milieu (1).
- d) La vitesse de propagation de l'onde dans le milieu (2) vaut 1580 m/s.

4. Une onde sinusoïdale ultrasonore de fréquence $f = 1,0$ MHz se propageant à la vitesse de 340 m/s

- a) a une longueur d'onde de 0,34 mm.
- b) a une longueur d'onde de 300 m.
- c) a une longueur d'onde de 3,3 mm.
- d) a une longueur d'onde de 0,34 m.

5. L'intensité acoustique d'une onde plane ultrasonore décroît exponentiellement avec la distance traversée.

μ = coefficient linéique d'absorption

substance	fréquence f (MHz)	μ (m ⁻¹)
os	0,6	76,9
os	1	263
os	2	1000
os	3,5	1667

a) Si un faisceau d'ultrasons doit pénétrer la boîte crânienne, il n'est pas souhaitable d'utiliser des ultrasons de fréquence 3,5 MHz.

b) Dans l'os, l'atténuation par absorption est indépendante de la fréquence.

c) Un faisceau d'ultrasons pénètre d'autant plus profondément dans la matière que sa fréquence est plus élevée.

6.

substance	fréquence f (MHz)	μ (m ⁻¹)
muscle	1	26,2
graisse	1	10

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

L'absorption d'un faisceau d'ultrasons de fréquence 1 MHz après traversée de 15 cm de graisse est telle que l'intensité acoustique du faisceau transmis vaut :

a) $I = 0,500 I_0$

b) $I = 0,777 I_0$

c) $I = 0,223 I_0$

d) $I = 0$

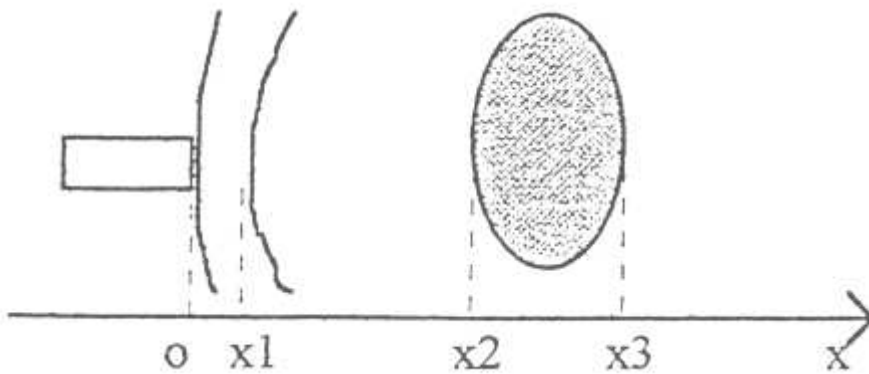
7. Au cours de la traversée d'une interface entre deux milieux d'impédance Z_1 et Z_2 avec $Z_1 \ll Z_2$, un faisceau d'ultrasons arrivant perpendiculairement à l'interface est :

a) partiellement transmis et partiellement réfléchi.

b) pratiquement intégralement transmis.

c) pratiquement intégralement réfléchi.

8. Au cours d'une échographie (type A), un faisceau d'ultrasons intermittent est dirigé vers des organes immobiles.



Oscillogramme



L'impulsion réfléchiée à chaque interface est reçue par la sonde.

Le retard de l'impulsion reçue par rapport à l'impulsion incidente est relié à la position x de l'interface par la relation suivante :

- a) $t = \frac{x}{v}$
- b) $t = \frac{2x}{v}$
- c) $t = \frac{v}{2x}$
- d) $t = 2xv$

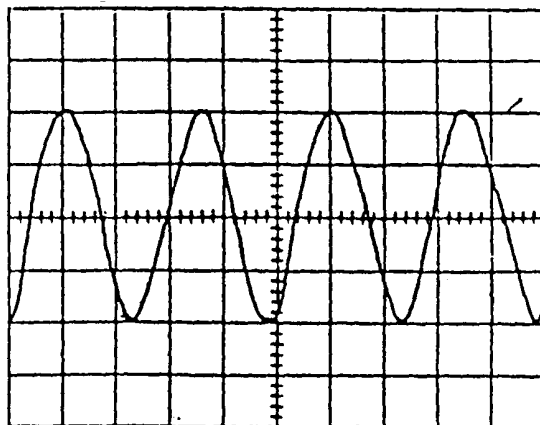
SECONDE PARTIE : ANALYSE D'UNE EXPÉRIENCE (10 POINTS)

Mesure de la vitesse de propagation des ondes sonores.

1. La vitesse de propagation des ondes sonores ou ultra-sonores dans un milieu donné dépend-elle de la fréquence de l'onde ?
2. Quelle est la valeur de la célérité des sons et des ultrasons dans l'air sec à température ambiante ?
3. On se propose de retrouver expérimentalement cette valeur
 - 3.1. indirectement à partir de la mesure de la longueur d'onde.

Un GBF relié à un émetteur E et à un oscilloscope émet un signal sinusoïdal de fréquence f . On observe l'oscillogramme reproduit ci-contre :

La base de temps de l'oscilloscope est réglée à $10 \mu\text{s}/\text{division}$: retrouver la fréquence de l'onde émise par E.



Un récepteur R, placé en face de E, est relié à la deuxième voie de l'oscilloscope sur laquelle on observe une sinusoïde de même période mais d'amplitude plus faible. Pourquoi ?

On éloigne R de E : la deuxième sinusoïde se déplace par rapport à la première. On repère une première coïncidence et on constate que la onzième coïncidence se produit quand on a éloigné R de E de 8,6 cm.

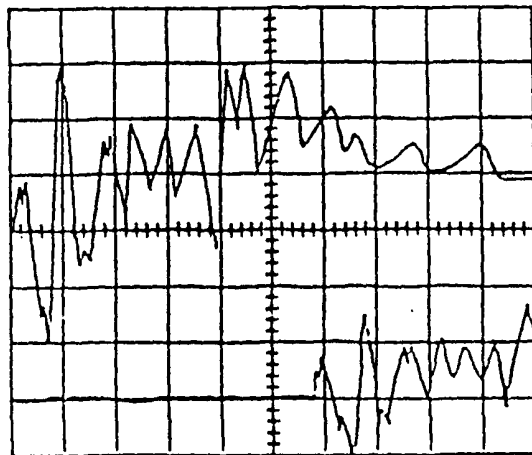
Déterminer la vitesse de propagation de l'onde émise par E sachant que l'on retrouve des signaux en phase à chaque fois que la distance entre E et R augmente d'une longueur d'onde.

- 3.2. directement :

Deux microphones M_1 et M_2 distants de 1 mètre sont reliés respectivement aux deux voies A et B d'un oscilloscope à mémoire ; l'appareil enregistre sur la voie A le signal sonore obtenu en frappant des mains devant M_1 et sur la voie B le signal reçu par M_2 .

On observe l'oscillogramme ci-contre :

La base de temps de l'oscilloscope est réglée à $0,5 \text{ ms}/\text{division}$: retrouver la vitesse de propagation du son dans l'air dans les conditions de l'expérience.



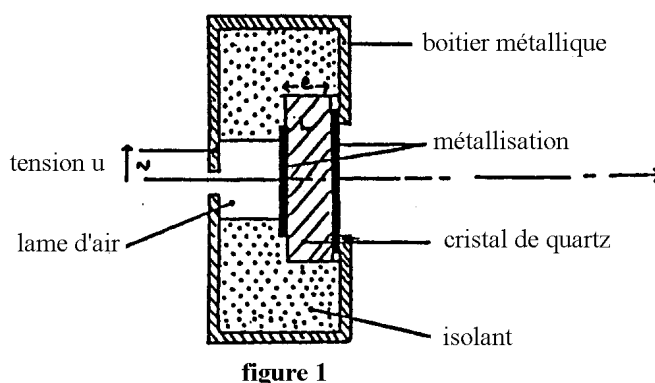
TROISIÈME PARTIE – PROBLÈME (14 POINTS)

ÉMISSION DES ULTRASONS

La piézoélectricité, découverte par Pierre et Jacques Curie, peut être mise en évidence avec certains cristaux anisotropes, comme le quartz.

Pour une échotomographie abdominale, on utilise un émetteur à ultrasons, constitué d'une lame de quartz (L) dont les faces ont été métallisées (voir figure 1).

Elle vibre sous l'action d'un champ électrique alternatif obtenu en appliquant entre les deux faces parallèles de la lame une tension sinusoïdale u , de fréquence $f = 3,75$ MHz.



Sachant que la lame de quartz, d'épaisseur e , vibre à la fréquence $f = 3,75$ MHz quand elle est excitée par la tension u de même fréquence, et que cette fréquence est donnée dans le système international d'unités par la relation :

$$f = \frac{2850}{e}$$

1.1. Calculer l'épaisseur e de la lame de quartz.

1.2. Calculer également la période T et la pulsation ω de ce faisceau d'ultrasons.

Propagation des ultrasons

Les ondes ultrasonores se propagent dans un milieu matériel avec une célérité c , caractéristique de ce milieu et de sa température. A une température ordinaire de 20°C , on donne la valeur moyenne de c dans quelques milieux caractérisés en outre par leur masse volumique ρ .

Milieu	c (m.s^{-1})	ρ (g.cm^{-3})
air	343	$1,3 \times 10^{-3}$
eau	1480	1,0
tissus mous	1 540	1,04
os	4 000	1,9

2.1. Calculer la longueur d'onde λ des ultrasons émis par la sonde étudiée quand ils se propagent dans les tissus mous.

2.2. Une source plane, circulaire, de diamètre D , fournit un faisceau d'ultrasons dont l'intensité I flux de puissance par unité de surface, est maximale dans l'axe de la source. On peut considérer que l'ouverture θ du faisceau émis, exprimée en radians, est donnée par :

$$\theta = \frac{2\lambda}{D}$$

Calculer, dans les tissus mous et en degrés, l'ouverture du faisceau émis si le diamètre D de la source vaut 1,5 cm. Conclure.

2.3. Calculer à la température ordinaire, l'impédance acoustique Z de l'air, des tissus mous et du squelette ; on rappelle l'expression de l'impédance acoustique $Z = \rho c$ et son unité dans le système international, le $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (ou Rayl).

En déduire la valeur du coefficient de réflexion en énergie $R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$ à la surface de séparation tissus mous-squelette et air-tissus mous, sous incidence normale ; conclure.

2.4. L'intensité I du faisceau d'ultrasons, c'est-à-dire la puissance transportée par unité de surface, décroît avec l'épaisseur x du matériau traversé selon une loi exponentielle du type $I = I_0 e^{-\alpha x}$, où α représente un coefficient d'atténuation qui dépend du milieu traversé et varie avec la fréquence des ultrasons. Pour une fréquence f de 3,75 MHz, ce coefficient prend la valeur de 36 m^{-1} dans les tissus mous.

a) Calculer l'intensité du faisceau après traversée d'une épaisseur de 2,0 cm de ces tissus, dans le cas d'une intensité initiale I_0 de $8,0 \text{ W.m}^{-2}$.

b) Calculer également en décibels (dB), pour une épaisseur traversée de 2,0 cm de tissus mous, l'atténuation A du faisceau, donnée par la définition suivante, faisant intervenir un logarithme décimal :

$$A = 10 \log \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

c) Quelle épaisseur x de tissus mous a traversé un faisceau d'ultrasons, si son intensité ne représente que 80% de sa valeur initiale après propagation dans ces tissus ?

3. Échographie de type A

C'est une échographie temps-amplitude au cours de laquelle la sonde précédemment étudiée, émet des 'salves' ultrasonores de très courte durée $\tau = 1 \mu\text{s}$. La même sonde enregistre les échos renvoyés par les surfaces de séparation des différents milieux, sur un écran d'oscilloscope dont la base de temps est réglée à $50 \mu\text{s}/\text{div}$.

3.1. D'après l'oscillogramme de la figure 2, calculer la durée qui s'écoule entre la réception des échos renvoyés par les parois de la structure écho-gène observée dans les tissus mous.

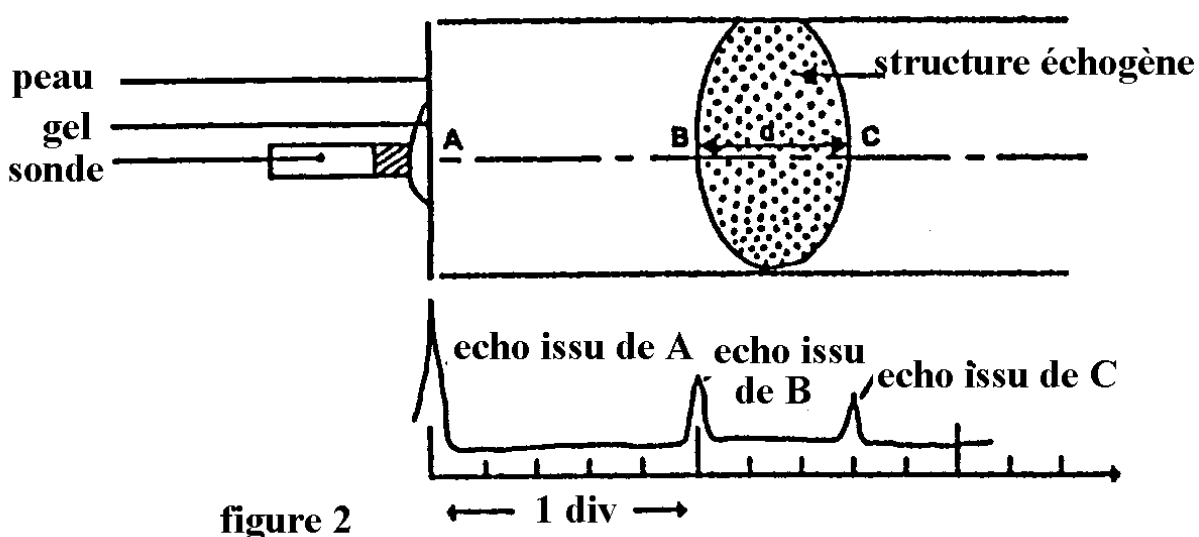


figure 2

3.2. Calculer la dimension d dans le plan d'incidence particulier de la figure 2, de la structure écho-gène observée dans les tissus mous.