

## ONDES ULTRASONORES ET DEUX APPLICATIONS (4 points)



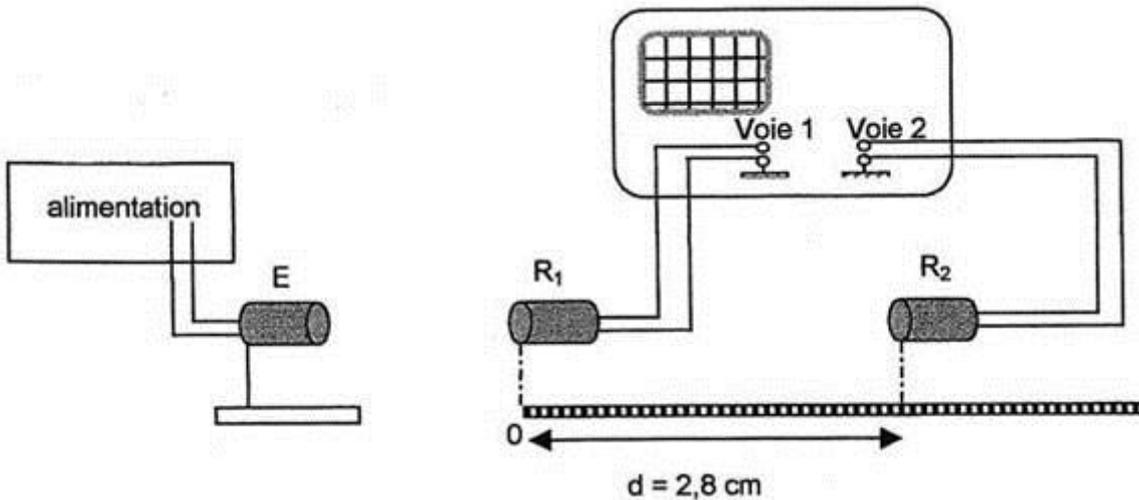
Cet exercice a pour objectifs de déterminer, dans la partie A, quelques grandeurs caractéristiques des ultrasons puis, dans la partie B, d'étudier deux applications des ultrasons : le nettoyage par cavitation acoustique et l'échogramme du cerveau.

### Partie A

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 :

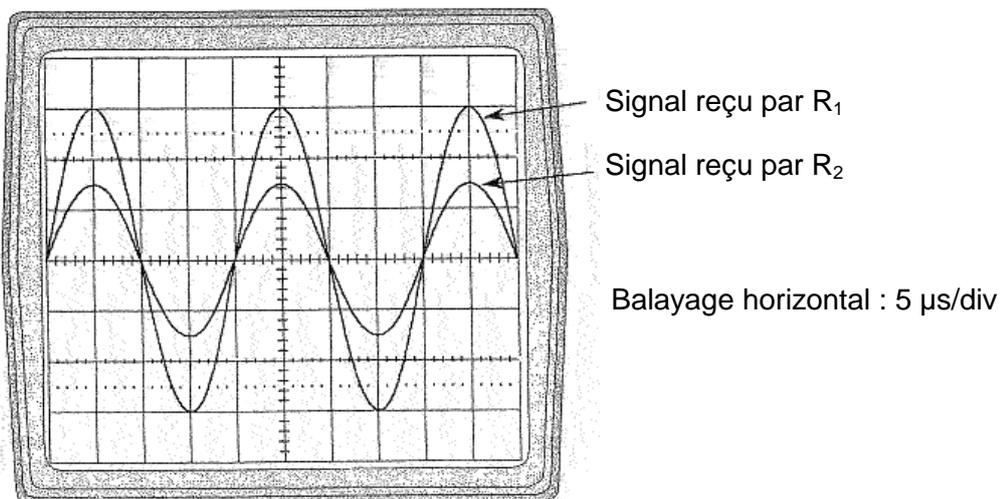


L'émetteur  $E$  génère une onde ultrasonore progressive sinusoïdale qui se propage dans l'air jusqu'aux récepteurs  $R_1$  et  $R_2$ . L'émetteur et les deux récepteurs sont alignés.

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

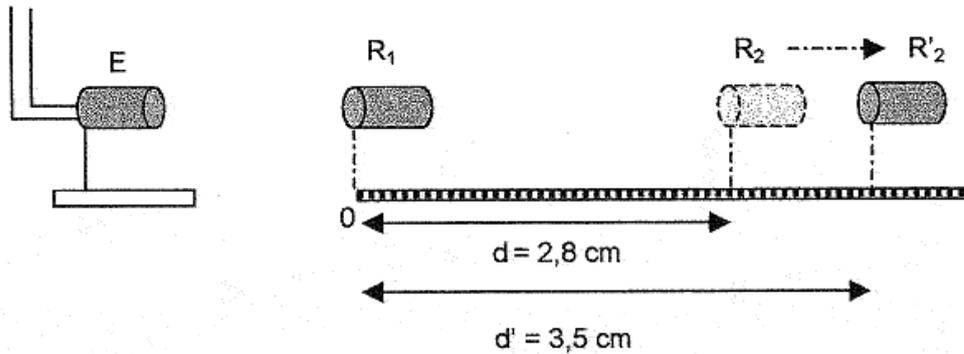
Les signaux captés par les récepteurs  $R_1$  et  $R_2$  sont appliqués respectivement sur les voies 1 et 2 d'un oscilloscope pour être visualisés sur l'écran de celui-ci.

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  $\lambda$  ; écrire la relation entre la longueur d'onde  $\lambda$ , 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  $\tau$  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.

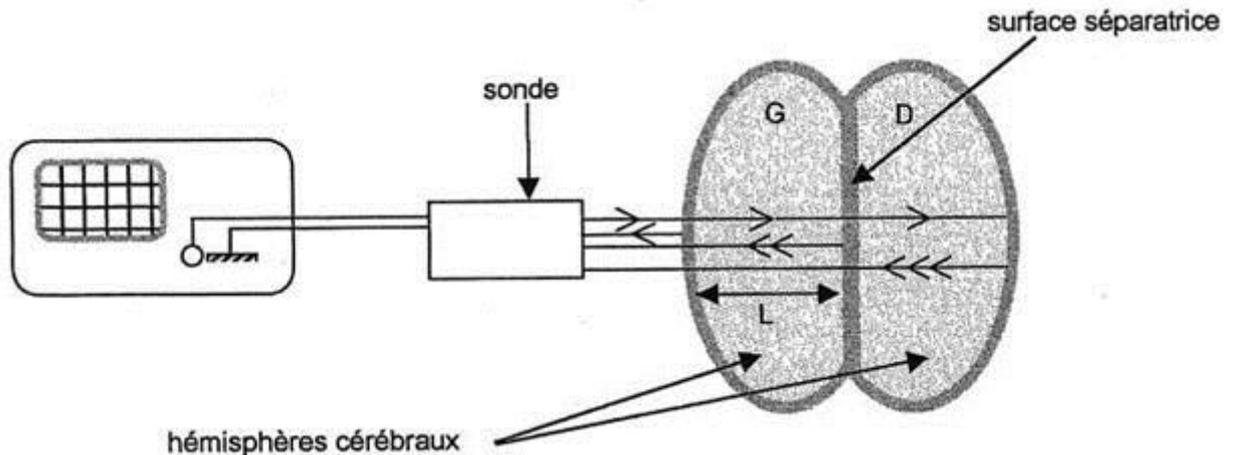
2.2. S'agit-il d'une onde longitudinale ou transversale ?

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

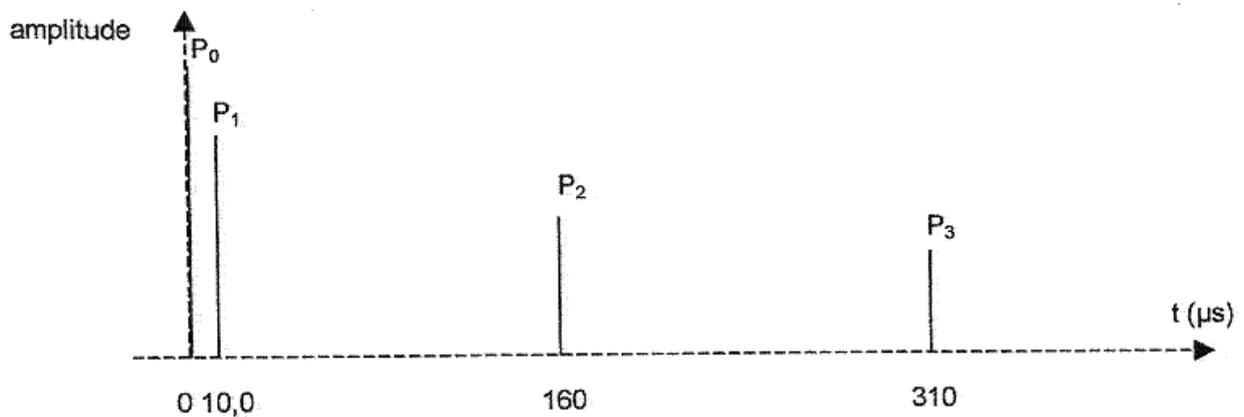
Données :  
 - la température d'ébullition d'un liquide diminue quand la pression diminue.  
 - définition d'une implosion : écrasement brutal d'un corps creux sous l'effet d'une pression extérieure supérieure à la pression intérieure.

### 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  $v = 1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

3.1. Quelle est la durée  $\Delta t$  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.

Aide au calcul :  $15 \times 15 = 225$

## Comment déterminer le relief du fond marin avec un sondeur ? (5,5 points)

Les trois parties de l'exercice sont indépendantes

### 1. Étude de l'onde ultrasonore dans l'eau de mer.

1.1 Définir une onde mécanique progressive.

1.2 L'onde ultrasonore est-elle une onde longitudinale ou transversale ? Justifier la réponse.

1.3 La lumière est une onde progressive périodique mais elle n'est pas mécanique.

1.3.1 Citer un fait expérimental qui permet de décrire la lumière comme une onde.

1.3.2 Quelle observation permet de montrer que la lumière n'est pas une onde mécanique ?

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

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

Un émetteur produit simultanément des salves d'ondes ultrasonores dans un tube rempli d'eau de mer et dans l'air (voir figure 1). À 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.

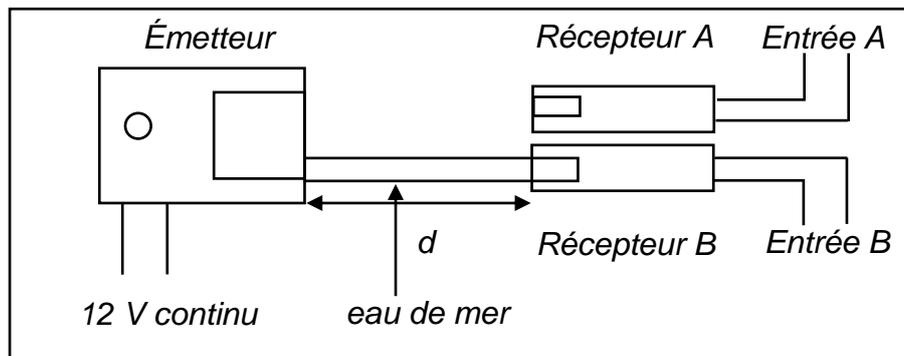
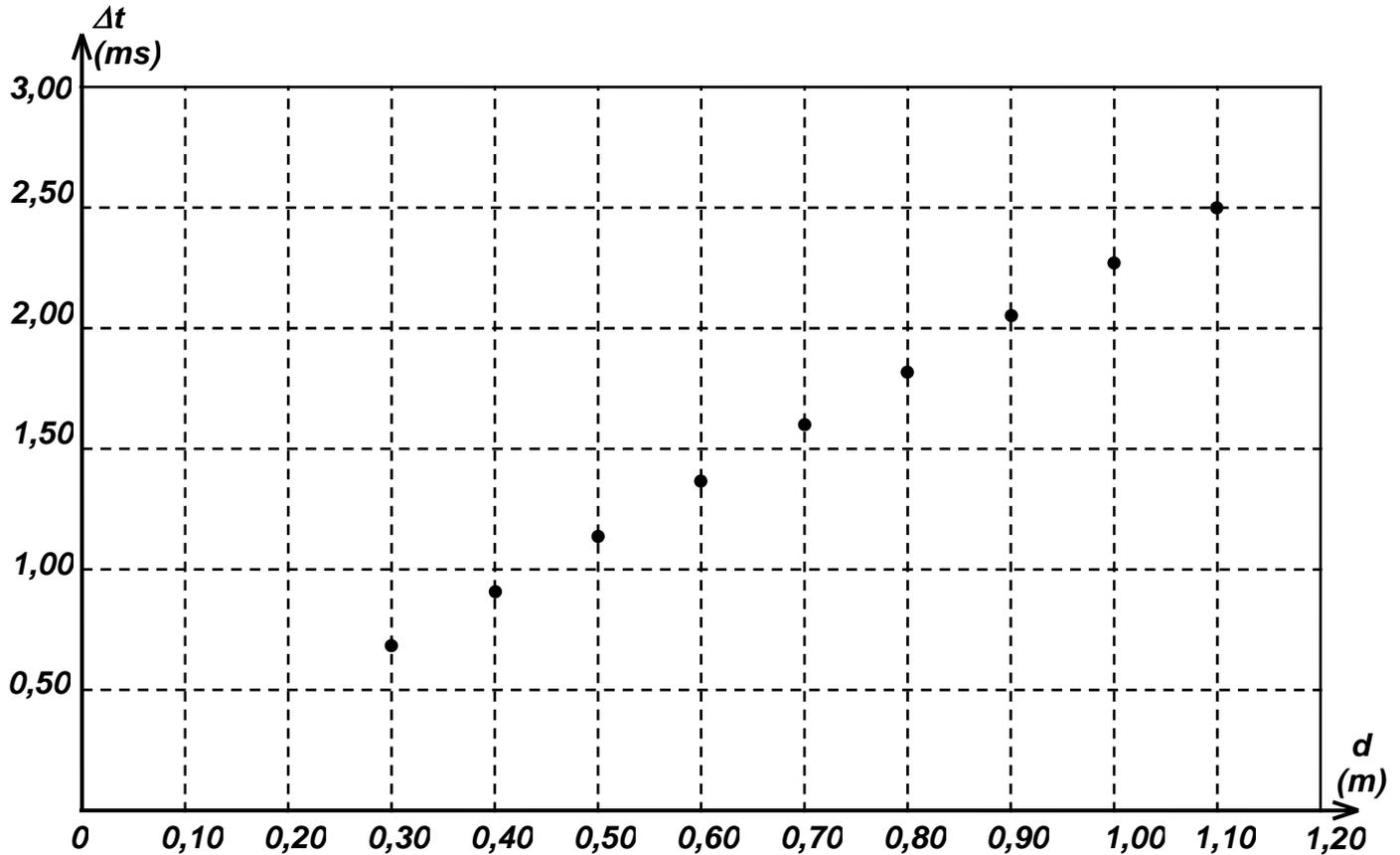


Figure 1

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

2.2 Donner l'expression du retard  $\Delta t$  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.

2.3 On détermine  $\Delta t$  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-dessous.



$$\Delta t = f(d)$$

2.3.1 Donner l'expression de  $\Delta t$  en fonction de  $d$ ,  $v_{air}$ ,  $v_{eau}$ .

2.3.2 Justifier l'allure de la courbe obtenue.

2.3.3 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  $v_{air} = 340 \text{ m.s}^{-1}$ .

### 3. Détermination du relief des fonds marins.

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

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  $x_A = 0 \text{ m}$  jusqu'au point B  $x_B = 50 \text{ m}$  (figure 2).

Le sondeur émet des salves d'ultrasons à intervalles de temps égaux, on mesure à l'aide d'un oscilloscope la durée  $\Delta t$  séparant l'émission de la salve de la réception de son écho.

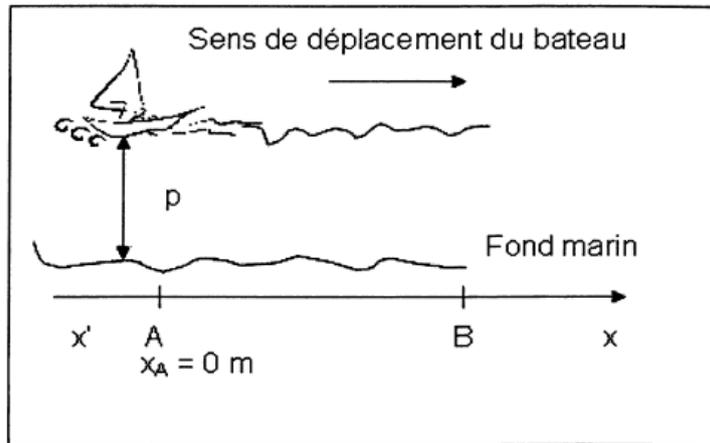
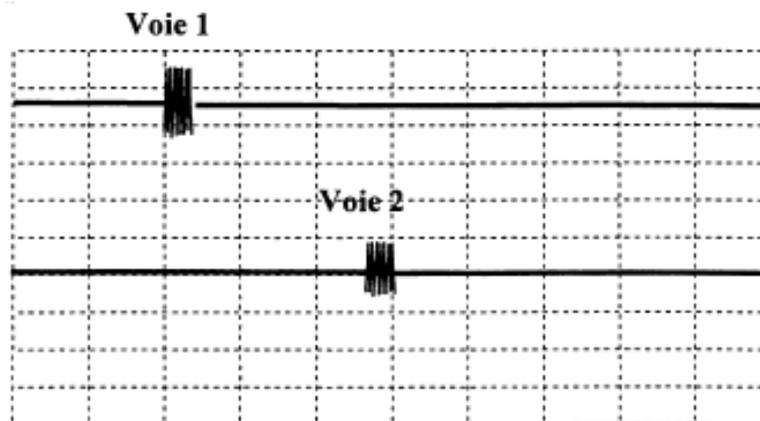


Figure 2

- 3.1 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.

**Sensibilité  
 Horizontale :**  
 10 ms / div



Oscillogramme

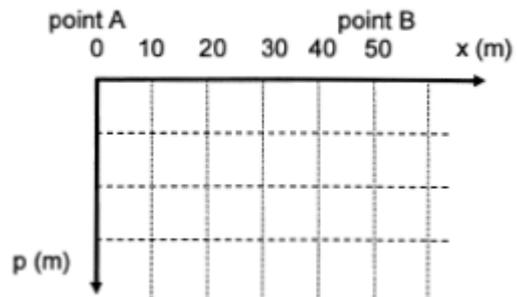
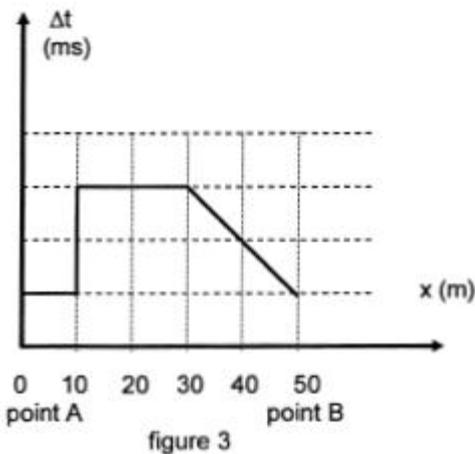
La figure 3 se trouvant sur l'annexe à rendre avec la copie représente  $\Delta t = f(x)$  lorsque le bateau se déplace de A vers B.

- 3.1.1 Identifier les signaux observés sur chaque voie, en justifiant.
- 3.1.2 À partir de l'oscillogramme, déterminer la durée  $\Delta t$  entre l'émission de la salve et la réception de son écho.
- 3.1.3 En déduire la graduation de l'axe des ordonnées de la figure 3 se trouvant sur l'annexe à rendre avec la copie représentant la durée  $\Delta t$  en fonction de la position  $x$  du bateau.

- 3.2 Déterminer la relation permettant de calculer la profondeur  $p$  en fonction de  $\Delta t$  et  $v_{eau}$ .
- 3.3 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.
- 3.4 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 à rendre avec la copie

Question 3.1.3 et 3.3



## L'ENREGISTREMENT EN STUDIO D'UN GROUPE DE MUSIQUE (4 points)

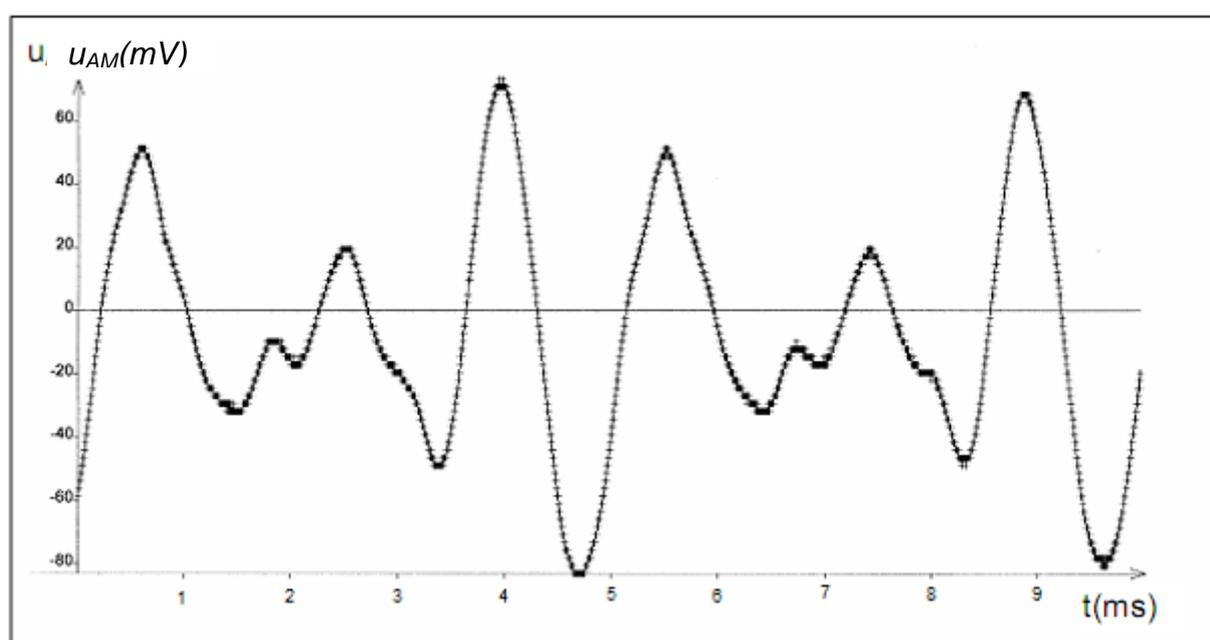
Un groupe de musique composé d'un chanteur, de deux guitaristes, d'un violoniste, d'un bassiste et d'un batteur se prépare à un enregistrement en studio.

Lors de la « balance » (moment préalable à un enregistrement ou à un concert) l'ingénieur du son réalise séparément pour chaque instrument des enregistrements à l'aide de micros reliés à un système informatisé.

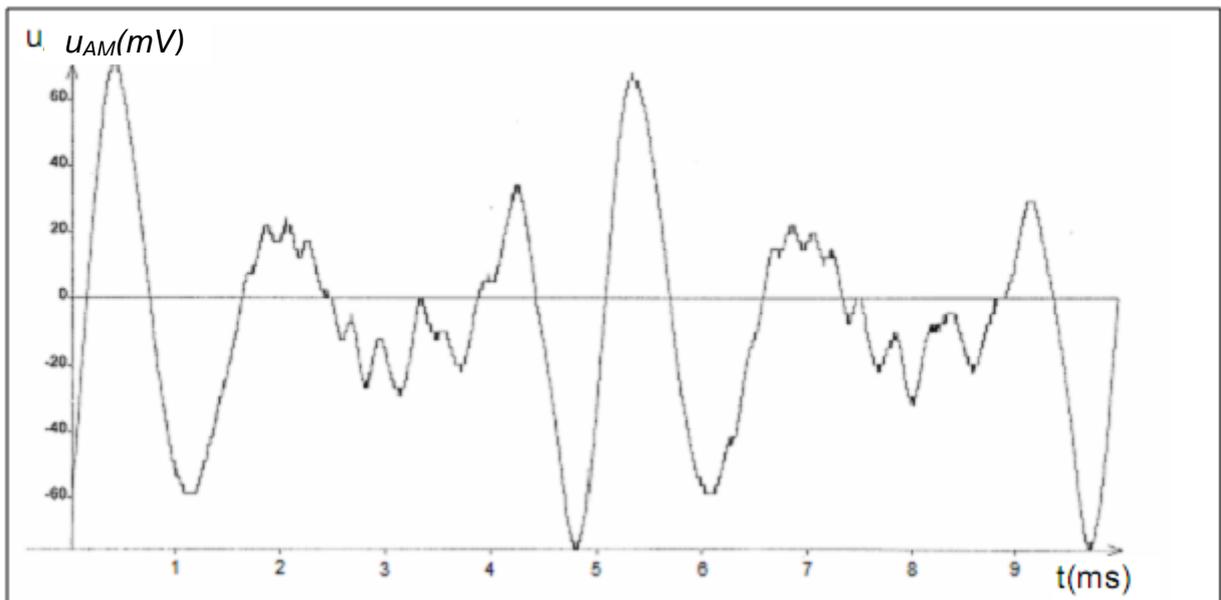
La tension électrique notée  $U_{AM}$  en mV, détectée au niveau de l'interface informatique, est proportionnelle à la pression acoustique du son ou encore à l'intensité sonore. Cette tension en fonction du temps est représentée ci-dessous.

*Préambule : compte tenu de l'imprécision des graphiques, une certaine incertitude sera acceptée pour les résultats.*

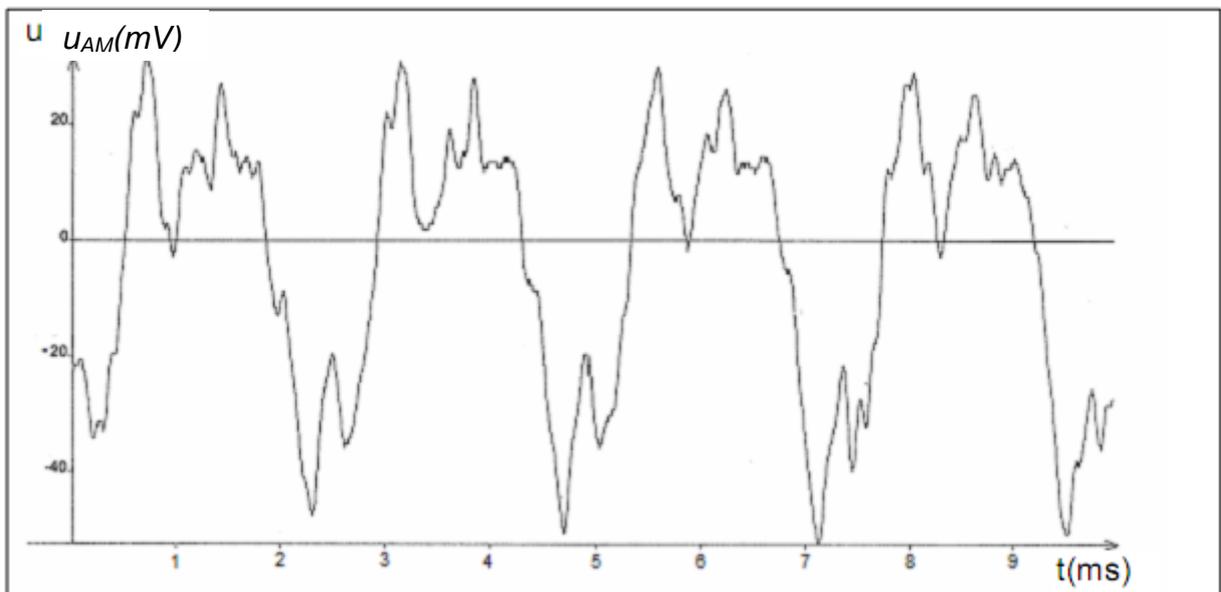
*Une différence de un à deux hertz ne doit pas être comptabilisée comme un écart significatif lors d'une comparaison de fréquences par exemple.*



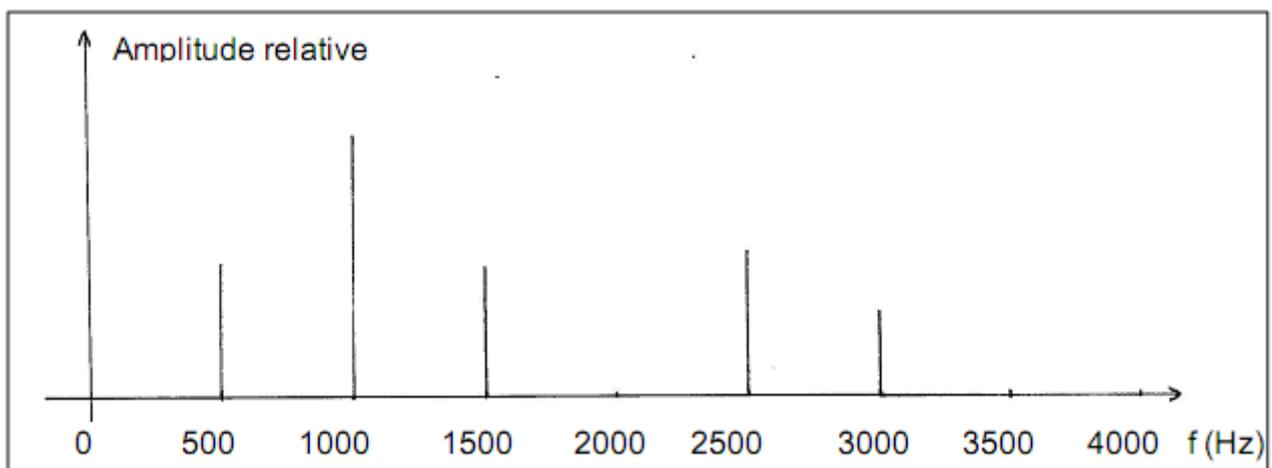
Document 1 : enregistrement numérique d'un son de la guitare.



Document 2 : enregistrement numérique d'un son de la basse.



Document 3 : enregistrement numérique d'un son du violon



Document 4 : spectres de fréquences d'un son de violon.

## 1. Caractéristiques des sonorités instrumentales

1.1. L'enregistrement informatisé d'une note jouée par l'une des guitares du groupe est représenté par le **document 1** ci-dessus.

1.1.1. Le son joué par la guitare comporte-t-il des harmoniques ? Justifier.

1.1.2. À partir du **document 1**, déterminer la période de la note jouée par la guitare. En déduire sa fréquence.

1.2. Un son de basse a été enregistré dans les mêmes conditions que celui de la guitare.

1.2.1. Le son émis par la guitare (**document 1**) et celui émis par la basse (**document 2**) ont-ils approximativement la même hauteur ? Justifier.

1.2.2. A quoi reconnaît-on sur les documents que ces deux instruments n'ont pas le même timbre ?

1.3. La note émise par le violon (**document 3**) est-elle plus ou moins aiguë que celle émise par la guitare ? Justifier.

## 2. Analyse et synthèse des sons

2.1. On a mesuré la fréquence  $f_1$  d'une note émise par le violon :  $f_1 = 220$  Hz.

Parmi les fréquences suivantes, indiquer les fréquences qui correspondent à des «harmoniques» de la note émise par le violon :

$$f_2 = 110 \text{ Hz} \quad f_3 = 330 \text{ Hz} \quad f_4 = 440 \text{ Hz} \quad f_6 = 660 \text{ Hz}$$

2.2. L'analyse spectrale d'une autre note émise par le violon donne le spectre du **document 4**.

2.2.1. Quelle est la fréquence du fondamental ?

2.2.2. Quelles sont les fréquences des harmoniques présentes dans ce spectre ?

2.3. Pour l'introduction d'un morceau, un son synthétisé est ajouté au début de l'un des enregistrements. Pour synthétiser ce son, on a généré une tension, somme de trois tensions sinusoïdales, transmise ensuite à un haut-parleur.

L'expression de la tension générée est :

$$u(t) = 3 \sin(2\pi \times 200t) + 1,5 \sin(2\pi \times 400t) + 0,3 \sin(2\pi \times 800t).$$

2.3.1. Quelle est la fréquence du son généré ?

2.3.2. Tous les harmoniques de fréquence strictement inférieure à 1000 Hz sont-ils présents ?

## 3. Niveau sonore des instruments

3.1. On rappelle que le niveau sonore  $L$  est lié à l'intensité sonore  $I$  par la relation :

$$L = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad \text{avec } I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$$

À quoi correspond l'intensité  $I_0$  ?

3.2. La première guitare joue un premier thème. On enregistre son niveau sonore moyen  $L_G$  qui est de 60 dBA (décibel acoustique).

La deuxième guitare se joint à la première pour jouer à l'unisson (c'est à dire strictement le même enchaînement de notes) avec le même niveau sonore (60 dBA).

Quel niveau sonore moyen noté  $L_{2G}$  mesure-t-on lors de la prise de son lorsque les deux guitares jouent simultanément, sachant que l'intensité sonore totale est la somme des intensités sonores des deux instruments ?