

**Problème 1 : Système de sonar de profondeur.**

**a. Généralité.**

1. Donner la définition d'une onde.
2. Donner les deux expressions générales du signal  $s(x,t)$  associée à une onde progressive unidimensionnelle non dispersive dans la direction et le sens de l'axe Ox (la première en fonction d'une variable spatiale et la seconde en fonction d'une variable temporelle). Nommer le paramètre introduit dans les expressions données et préciser l'interprétation de ce paramètre en effectuant une représentation du signal à deux instants  $t_1$  et  $t_2$ .
3. Dans le cas où on étudie une onde sinusoïdale, donner l'expression du signal  $s_H(x,t)$  en faisant utiliser la période temporelle et la période spatiale. Démontrer le lien entre ces deux périodes.

**b. Le sonar, un système employant des ondes acoustiques.**

4. Quelles grandeurs physiques sont associées aux ondes acoustiques ?
5. Donner la bande de fréquences à laquelle l'oreille humaine est sensible.
6. Donner les ordres de grandeur pour une de ces grandeurs physiques au seuil de détection et au seuil de douleur de ce récepteur. Expliquer alors la construction de l'échelle sonore en dB et préciser les valeurs du niveau sonore au seuil de détection et au seuil de douleur.

Le sonar utilisé est un système combinant un émetteur et un récepteur d'ultrasons disposés côte à côte qui permet de mesurer la profondeur d'eau sous le navire où il est embarqué. Le sonar est disposé à la surface et émet des ondes de fréquence  $f = 40,0 \text{ kHz}$  verticalement vers le fond de l'océan, il reçoit ensuite l'onde réfléchiée sur le fond.

Lorsque l'émission de l'onde débute, on lance un compteur permettant de déterminer le nombre de périodes écoulées au cours du temps. Lorsque le récepteur détecte l'onde réfléchiée, on stoppe le compteur qui affiche un nombre de périodes temporelles  $n$ .

Pour une profondeur d'eau connue  $h=20,0 \text{ m}$ , on réalise le calibrage du sonar. Le compteur affiche alors un nombre de périodes  $n=1100$ .

7. Exprimer en fonction de  $h$  et  $n$  la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde ultrasonore dans l'eau. Exprimer alors la célérité  $c_L$  de l'onde ultrasonore dans l'eau en fonction de  $h$ ,  $n$  et  $f$ . Evaluer numériquement  $c_L$ .
8. Lors d'une exploration marine, on obtient en un point la mesure  $n' = 8,50 \cdot 10^4$  sur le compteur. Evaluer numériquement la profondeur  $h'$  sous le navire à cet endroit.

Un modèle simple permet de déterminer que dans un gaz, la célérité du son est exprimable par la relation  $c_G = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$  où  $\gamma = 1,35$  (sans unité) ;  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ,  $T$  est la température absolue en Kelvin, et  $M$  la masse molaire du gaz étudié en  $\text{kg.mol}^{-1}$ . On prendra pour composition simplifiée de l'air 80% de  $\text{N}_2$  et 20% de  $\text{O}_2$ . On rappelle que  $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$  et que  $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$ .

9. Exprimer  $M_{\text{air}}$  la masse molaire moyenne de l'air en fonction de  $M(\text{N})$  et  $M(\text{O})$ . Faire l'application numérique.
10. Evaluer alors numériquement la célérité du son dans l'air pour une température de  $20,0^\circ\text{C}$ . Comparer là à celle dans l'eau.

L'amplitude de la pression lorsque l'onde a parcouru une distance  $L$  suit une loi de décroissance qu'on peut modéliser par  $P(L) = P_0 \exp(-\mu L)$  où  $P_0 = 10,0 \text{ Pa}$  est l'amplitude de la pression acoustique au niveau de l'émetteur et  $\mu = 2,50 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$  est le coefficient d'amortissement du milieu. Le seuil de détection du récepteur est fixé à  $P_{\min} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$ .

11. Exprimer la profondeur maximale théorique  $h_{\max}$  pour laquelle la mesure au sonar peut être employée. Effectuer l'application numérique et la comparer à la profondeur  $h'$ .
12. Quelle(s) hypothèse(s) ont été faites au cours de cet exercice par rapport à la réflexion de l'onde sur le fond marin ?
13. En situation réelle, ces hypothèses ne sont probablement pas entièrement vérifiées. Quelles conséquences cette observation aura-t-elle sur les performances du système de mesure décrit ?

