

DS1 : ondes – corrigé

Problème 1 : MIRAGES ACOUSTIQUES (CCP 2016)

1 La propagation du son

- Une onde correspond à la propagation dans l'espace (phénomène spatial) de la perturbation (phénomène temporel) d'une propriété physique d'un milieu.
Pour une onde acoustique, la propriété physique du milieu qui est perturbée est la pression de l'air (ou d'un autre milieu). On peut aussi décrire une onde acoustique par le déplacement des particules (atomes ou molécules) qui le constituent.
- Le milieu de propagation d'une onde mécanique est forcément un milieu matériel (pas le vide). Les tremblements de terre et les vagues sont deux autres exemples d'ondes mécaniques.
- Les fréquences audibles par l'homme ont des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz. Les ultrasons sont des ondes sonores de fréquence supérieure à 20 kHz. On utilise les ultrasons dans l'échographie médicale. On les utilise aussi pour nettoyer des objets.
- La vitesse de la lumière étant très supérieure à celle du son, on peut considérer que le temps de parcours de la lumière de l'éclair est négligeable. Le temps séparant l'éclair du tonnerre correspond alors au temps de parcours du son. L'énoncé indique qu'il faut diviser le temps par 3 pour obtenir la distance en km, donc le son parcourt $d = 1$ km en $\delta t = 3$ s. Ainsi on obtient $c_{\text{air}} = d/\Delta t \simeq 330 \text{ m s}^{-1}$.

2 Principe du sonar

- Un sonar émet une onde sonore qui est en partie réfléchiée par un obstacle qu'elle rencontre. En mesurant le temps séparant l'émission de l'onde de l'écho reçu le sonar peut déterminer la distance qui le sépare de l'obstacle.
- La distance L est donnée par $2L = c_{\text{mer}} \Delta t_e$, soit $L \simeq 29,1 \text{ m}$
- L'onde de la figure 1 comporte 2,5 période et dure $800 \mu\text{s}$. La durée d'une période est donc $T = 3,20 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, et la fréquence est $f = 1/T = 3,12 \text{ kHz}$
- La longueur spatiale Δx de l'impulsion est $\Delta x = c_{\text{mer}} \Delta t_i = 1,20 \text{ m}$.
- À $t = 12,0 \text{ ms}$, le début de l'onde (la partie émise en premier) se trouve en $x_1 = t c_{\text{mer}} = 18,00 \text{ m}$ et la fin de l'onde se trouve en $x_2 = x_1 - \Delta x = 16,80 \text{ m}$. L'onde est représentée sur la figure 2.

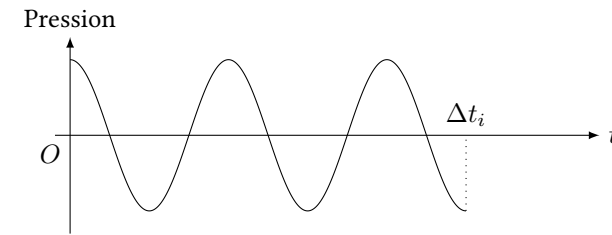


FIGURE 1 – Impulsion sinusoïdale correspondant au signal envoyé par le sonar

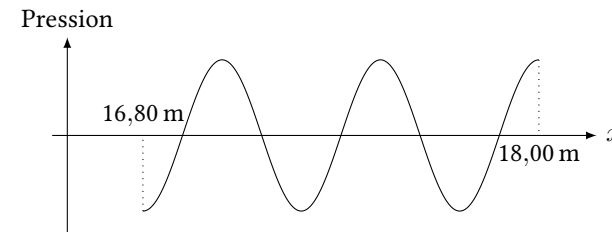


FIGURE 2 – Propagation spatiale

- Le détecteur placé sur le second sous-marin recevra l'onde émise par le premier avec un retard $\Delta t_p = L/c_{\text{mer}} = 19,4 \text{ ms}$ dû à la propagation de l'onde. La fin de l'onde est reçue $800 \mu\text{s}$ plus tard, soit à $t_f = 20,2 \text{ ms}$. L'onde reçue est représentée sur la figure 3.

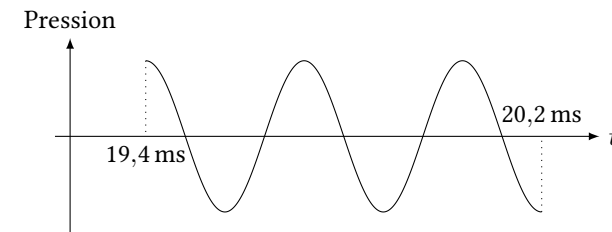


FIGURE 3 – Onde reçue par le second sous-marin

3 Son et température

- À la température $T_0 = 298 \text{ K}$, on a $c_0 = 347,0 \text{ m/s}$.

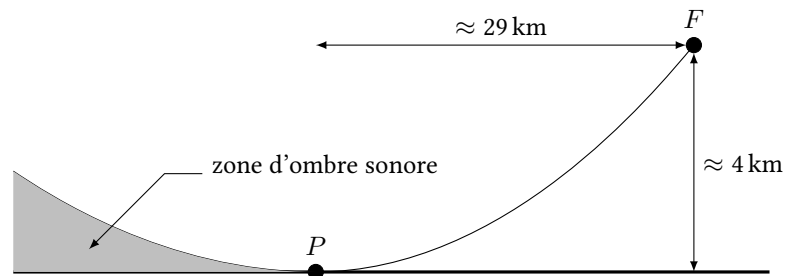


FIGURE 4 – Un orage silencieux. On représente la position d'une personne P et de la foudre F .

12. Lorsque la température augmente de 1 K, la vitesse du son vaut $c_1 = 347,6$ m/s, et la variation de vitesse est donc $\Delta c = 0,6$ m/s.
13. On a représenté sur la figure 4 l'allure de la trajectoire du son du tonnerre, dans le cas où il est à la limite d'être perçu par l'homme ainsi que la zone d'«ombre sonore», correspondant aux lieux où le tonnerre n'est pas perceptible. On appelle cela un mirage acoustique car comme pour les mirages optiques, le son ne se déplace pas en ligne droite et semble venir d'un endroit différent de sa source réelle.

Problème 2 : DIRECTIVITÉ D'UN HAUT-PARLEUR

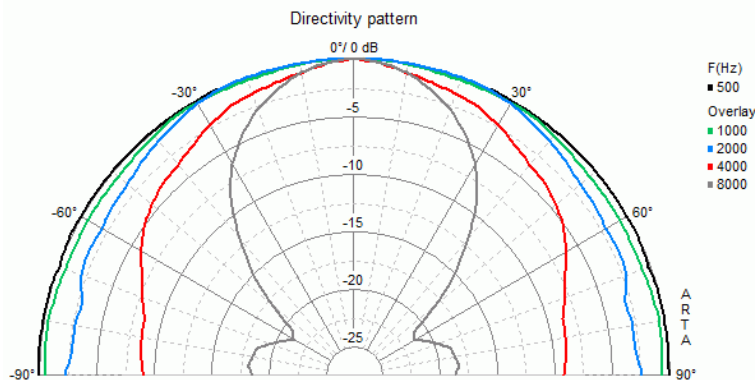


FIGURE 5 – Mesures de directivité du haut-parleur

1. Dans l'air, le son se propage à environ 340 m/s.

2. Les longueurs d'onde correspondant aux différentes fréquences sont données dans le tableau ci-dessous :

f (Hz)	500	1000	2000	4000	8000
λ (cm)	68	34	17	8,5	4,2
θ (deg)	433	216	108	54	27

3. L'angle de diffraction θ par une ouverture de $d = 9$ cm est donné par $\theta = \frac{\lambda}{d}$. Les valeurs numériques sont résumées dans le tableau précédent et elles sont plutôt compatibles (à un facteur 2 près) avec celles de la figure 5, surtout pour les 3 fréquences les plus élevées. Les deux fréquences les plus faibles donnant un angle supérieur à 180 degree l'onde sonore est émise dans toutes les directions, ce qui est également compatibles avec la figure 5.
4. Lorsque $d = 0$, l'angle de diffraction est très grand (180°) et $a \rightarrow \infty$ donc le haut-parleur n'est pas du tout directif. Lorsque $d \rightarrow \infty$, $\theta \rightarrow 0$ et $a \rightarrow 0$. Mais la zone couverte par l'onde sonore est tout de même très grande (d). Il existe donc forcément une valeur de d pour laquelle la zone couverte par l'onde sonore est minimale.
5. Un peu de trigo nous donne $a = D \tan \frac{\theta}{2}$. Si on fait l'approximation $\theta \ll 1$ on obtient $a = D \frac{\theta}{2}$.
6. Dans ces conditions, $L = d + 2a$, soit avec $\theta \simeq \frac{\lambda}{d}$:

$$L \simeq \frac{D\lambda}{d} + d \quad (1)$$

7. On cherche la valeur de x pour laquelle la fonction $f(x) = \frac{D\lambda}{x} + x$ est minimale. Pour cela on calcule sa dérivée $f'(x) = -\frac{D\lambda}{x^2} + 1$ et on cherche pour quelle valeur(s) de x cette dérivée s'annule.

$$f'(x) = 0 \Leftrightarrow x = \sqrt{D\lambda} \quad (2)$$

$$\text{Donc } d_{\text{opt}} = \sqrt{D\lambda}$$

8. Pour une fréquence $f = 1000$ Hz, et à une distance $D = 10$ m, la formule précédente nous donne une taille optimale de $d_{\text{opt}} = 1,8$ m, ce qui est vraiment très grand et pas forcément très réaliste. C'est pour cette raison que l'on utilise plutôt des ultrasons, par exemple avec une fréquence de 40 000 Hz et une distance de 10 m, la taille optimale du haut-parleur n'est que de 29 cm

Exercice 1 : BULLE DE SAVON

1. Les deux ondes réfléchies par les deux faces du film de savon se superposent en M et sont déphasées l'une par rapport à l'autre.
2. On a $\lambda_e = c_e/f = c/(n_e f) = 1/n_e \times c/f = \lambda/n_e$.

3. L'onde qui se réfléchit sur la première interface parcourt une distance $b + 2a$ dans l'air et a un déphasage de π supplémentaire. L'onde qui se réfléchit sur la seconde interface parcourt la même distance dans l'air et $2e$ dans l'eau. Elle n'a pas le déphasage de π supplémentaire.

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \times 2e/\lambda_e + \pi = 4\pi n_e e/\lambda - \pi$$

4. Interférences constructives : $\Delta\varphi = 2k\pi \Leftrightarrow \lambda = 4n_e e/(2k + 1) \quad k \in \mathbb{Z}$.
Interférences destructives : $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi \Leftrightarrow \lambda = 4n_e e/(2k) \quad k \in \mathbb{Z}$.
5. A.N. : Interférences constructives pour $\lambda = 467 \text{ nm}$. Interférences destructives pour $\lambda = 700 \text{ nm}$. La bulle est de couleur bleue car les grandes longueurs d'onde (rouge) sont éteintes.
6. Dans une bulle épaisse, il y a beaucoup de longueurs d'onde produisant des interférences constructives dans tout le spectre visible. La superposition de toutes ces couleurs produit une impression de blanc.