

DS1 : Ondes – corrigé

Problème 1 : MIRAGES ACOUSTIQUES (CCP 2016)

1 La propagation du son

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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

5. 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.
6. La distance L est donnée par $2L = c_{\text{mer}} \Delta t_e$, soit $L \simeq 29,1$ m

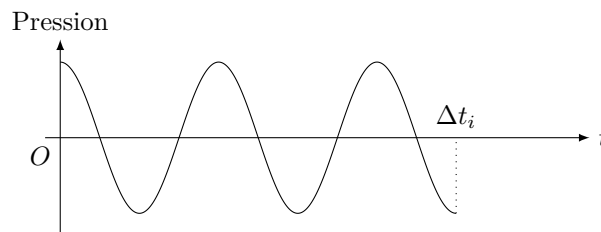


FIGURE 1 – Impulsion sinusoïdale correspondant au signal envoyé par le sonar

7. L'onde de la figure 1 comporte 2,5 période et dure $800 \mu\text{s}$. La durée d'une période est donc $T = 3,20 \times 10^{-4}$ s, et la fréquence est $f = 1/T = 3,12 \text{ kHz}$
8. La longueur spatiale Δx de l'impulsion est $\Delta x = c_{\text{mer}} \Delta t_i = 1,20$ m.
9. À $t = 12,0 \text{ ms}$, le début de l'onde (la partie émise en premier) se trouve en $x_1 = t c_{\text{mer}} = 18,00$ m et la fin de l'onde se trouve en $x_2 = x_1 - \Delta x = 16,80$ m
L'onde est représentée sur la figure 2.

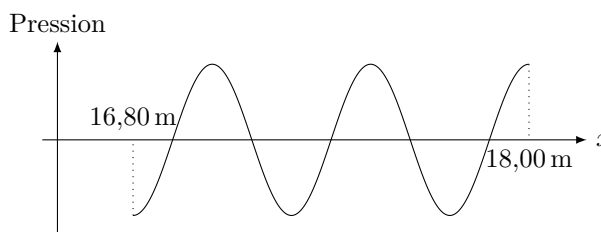


FIGURE 2 – Propagation spatiale

10. 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.

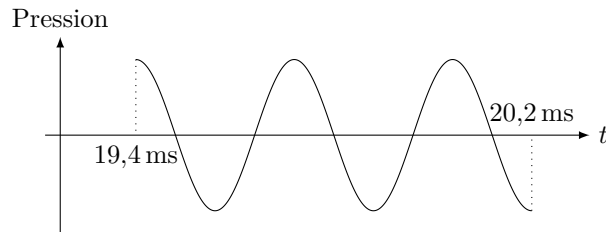
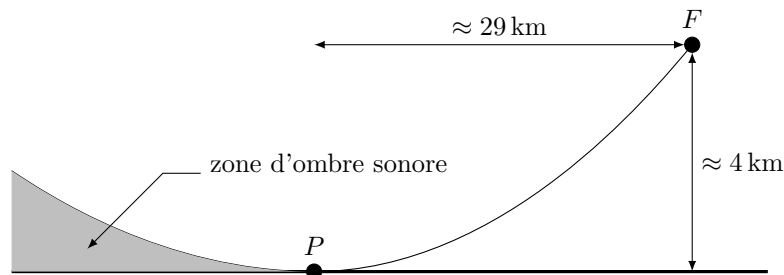


FIGURE 3 – Onde reçue par le second sous-marin

3 Son et température

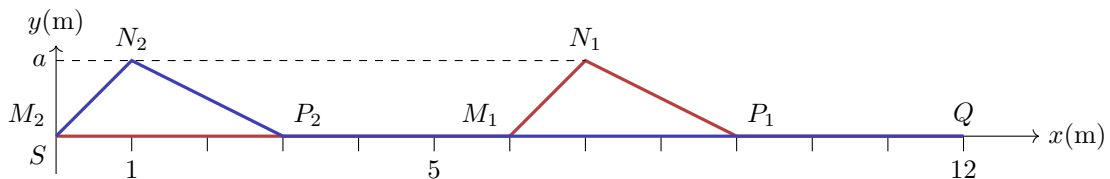
11. À la température $T_0 = 298 \text{ K}$, on a $c_0 = 347,0 \text{ m/s}$.
12. Lorsque la température augmente de 1 K , la vitesse du son vaut $c_1 = 347,6 \text{ m/s}$, et la variation de vitesse est donc $\Delta c = 0,6 \text{ m/s}$.

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

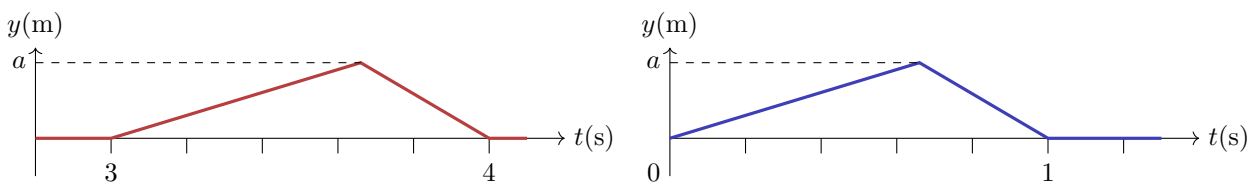
13. On a représenté sur la figure 4 l'allure de la trajectoire du son du tonnerre, dans le cas où il est à la limite d'être perçu par l'homme ainsi que la zone d'«ombre sonore», correspondant aux lieux où le tonnerre n'est pas perceptible. On appelle cela un mirage acoustique car comme pour les mirages optiques, le son ne se déplace pas en ligne droite et semble venir d'un endroit différent de sa source réelle.

Exercice 1 : ONDE PROGRESSIVE LE LONG D'UNE CORDE (ADAPTÉ DU TD1)

1. Au bout de 3 s le front d'onde a parcouru 9 m (P_1). Donc $c = 9/3 \simeq 3 \text{ ms}^{-1}$
2. La partie de la corde perturbée à une longueur de $\delta l = 3 \text{ m}$ ($M_1 P_1$), donc un point de la corde sera mis en mouvement pendant $\delta t = \delta l / c = 3/3 = 1 \text{ s}$.
3. Au temps t_1 , les points qui s'élèvent sont situés entre N_1 et P_1 , ceux qui descendent sont ceux entre M_1 et N_1 .
4. À $t_2 = 1 \text{ s}$, les points M , N , P se trouvent $(t_1 - t_2)c = 2 \times 3 \simeq 6 \text{ m}$ plus à gauche.

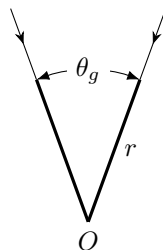


5. Évolution temporelle de la position de la corde aux points $Q(x = 12 \text{ m})$ et $S(x = 0 \text{ m})$.

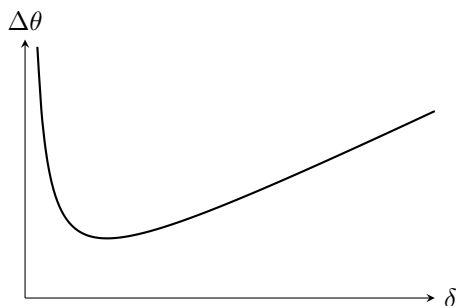


Exercice 2 : L'ŒIL COMPOSÉ

1. La longueur d'onde typique vue par l'abeille est $\lambda = 400 \text{ nm}$.
2. $\theta = \frac{\delta}{r}$
3. Si on néglige les effets de la diffraction, les rayons les plus extrêmes qui peuvent être captés par l'omatidie arrivent parallèlement aux parois et forment donc un angle θ entre eux. On a donc $\theta_g = \theta = \frac{\delta}{r}$



4. Pour que l'acuité visuelle de l'abeille soit maximale il faut que θ_g soit le plus petit possible et donc il faut choisir δ le plus petit possible.
5. Lorsqu'on réduit la taille δ de l'ouverture de l'omatidie, l'angle de diffraction augmente. On ne peut donc pas réduire arbitrairement δ pour augmenter la résolution angulaire de l'œil.
6. L'angle de diffraction est $\Delta\theta_d = \frac{\lambda}{\delta}$
7. Les deux effets s'additionnent donc la résolution angulaire totale est $\Delta\theta = \Delta\theta_g + \Delta\theta_d = \frac{\delta}{r} + \frac{\lambda}{\delta}$



On peut voir que les deux effets s'additionnent en considérant le rayon le plus incliné qui entre dans l'omatidie. L'angle maximum possible est l'angle $\theta_g/2$ additionné de l'angle de diffraction $\theta_d/2$. L'angle d'incidence total est la somme de ces deux angles.

8. Pour trouver le minimum de la fonction $\Delta\theta(\delta)$ on la dérive par rapport à δ et on cherche pour quelle valeur de δ la dérivée est nulle. $\frac{d\Delta\theta}{d\delta} = \frac{1}{r} - \frac{\lambda}{\delta^2} = 0$. On obtient alors $\delta = \sqrt{\lambda r}$
9. Pour $r = 3 \text{ mm}$ on trouve $\delta \simeq 34 \mu\text{m}$. La sélection naturelle est donc particulièrement efficace pour sélectionner la valeur de δ optimale !