

Écouter les baleines bleues dans l'Atlantique

Terminale spécialité Physique-Chimie · Ondes progressives, son, effet Doppler

1. Distance entre les deux hydrophones

Le retard est la durée mise par l'onde pour parcourir la distance $H_1 H_2$ à la célérité v . La célérité étant en m s^{-1} , on convertit d'abord le retard en secondes : $\tau = 22,0 \times 60 = 1,32 \times 10^3 \text{ s}$.

$$\tau = \frac{H_1 H_2}{v} \quad \Leftrightarrow \quad H_1 H_2 = v \tau,$$

$$H_1 H_2 = 1,50 \times 10^3 \times 1,32 \times 10^3 = 1,98 \times 10^6 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \boxed{H_1 H_2 \simeq 1,98 \times 10^3 \text{ km.}}$$

Vingt minutes, c'est bien le temps qu'il faut au son pour franchir deux mille kilomètres d'océan.

2. Période, fréquence et identification de l'espèce

Pour limiter l'incertitude, on mesure la durée de plusieurs motifs successifs avant de diviser par leur nombre. On pointe le premier et le sixième maximum, qui encadrent $N = 5$ périodes :

$$t_1 = 13 \text{ ms}, \quad t_2 = 276 \text{ ms}, \quad \Delta t = t_2 - t_1 = 263 \text{ ms}.$$

L'incertitude est ici celle du **pointage sur le graphique**, pas celle de l'acquisition numérique qui a servi à produire la courbe. D'après l'énoncé :

$$u(t_1) = u(t_2) = 2 \text{ ms}.$$

Les relations admises donnent alors :

$$u(\Delta t) = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2,83 \text{ ms}, \quad T = \frac{\Delta t}{N} = \frac{263}{5} = 52,6 \text{ ms}, \quad u(T) = \frac{2,83}{5} = 0,566 \text{ ms}.$$

Soit $T = 5,26 \times 10^{-2} \text{ s}$, puis

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5,26 \times 10^{-2}} = 19,01 \text{ Hz}, \quad \frac{u(f)}{f} = \frac{u(T)}{T} = \frac{0,566}{52,6} = 1,08 \times 10^{-2},$$

d'où $u(f) = 19,01 \times 1,08 \times 10^{-2} = 0,205 \text{ Hz}$. En arrondissant l'incertitude à un chiffre significatif par excès et la valeur au même rang :

$$\boxed{f = (19,0 \pm 0,3) \text{ Hz.}}$$

Il reste à confronter cette mesure aux deux fréquences de référence :

$$z_{\text{baleine bleue}} = \frac{|19,0 - 19|}{0,3} = 0,0 \leq 2, \quad z_{\text{rorqual commun}} = \frac{|19,0 - 25|}{0,3} = 20 > 2.$$

La mesure est compatible avec l'appel de la baleine bleue et incompatible avec l'impulsion du rorqual commun :

l'appel enregistré est celui d'une baleine bleue.

Le pointage sur cinq périodes réduit fortement l'incertitude sur T . Le choix de deux fréquences de référence suffisamment séparées rend en outre l'identification robuste à une lecture graphique légèrement différente.

3. Intensité sonore en H_1

On part de la définition du niveau sonore et on l'inverse :

$$L_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right) \iff \frac{L_1}{10} = \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right) \iff I_1 = I_0 \times 10^{L_1/10},$$

en utilisant $10^{\log x} = x$ pour $x > 0$. Numériquement :

$$I_1 = 1,0 \times 10^{-18} \times 10^{103/10} = 1,0 \times 10^{-18} \times 10^{10,3} \implies \boxed{I_1 \simeq 2,0 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}}.$$

4. Puissance acoustique du chant

L'énergie émise se répartit uniformément sur une sphère centrée sur la baleine. À la distance $D = 20 \text{ km} = 2,0 \times 10^4 \text{ m}$, cette sphère a pour aire $S = 4\pi D^2$, et l'intensité reçue vaut $I_1 = P/S$. Donc

$$\begin{aligned} P &= I_1 \times 4\pi D^2 = 2,0 \times 10^{-8} \times 4\pi \times (2,0 \times 10^4)^2 \\ &= 2,0 \times 10^{-8} \times 5,03 \times 10^9 \implies \boxed{P \simeq 1,0 \times 10^2 \text{ W}}. \end{aligned}$$

Une centaine de watts d'énergie acoustique : c'est considérable pour un animal, et cohérent avec les estimations faites sur la baleine bleue, l'un des animaux les plus sonores du règne animal.

5. Portée maximale de la communication

L'intensité minimale détectable se déduit de $L_{\min}$ par la même inversion qu'à la question 3 :

$$I_{\min} = I_0 \times 10^{L_{\min}/10} = 1,0 \times 10^{-18} \times 10^{6,9} = 7,9 \times 10^{-12} \text{ W m}^{-2}.$$

Cette intensité est atteinte à la distance $R_{\max}$ telle que $I_{\min} = P/(4\pi R_{\max}^2)$, soit

$$\begin{aligned} R_{\max} &= \sqrt{\frac{P}{4\pi I_{\min}}} = \sqrt{\frac{1,0 \times 10^2}{4\pi \times 7,9 \times 10^{-12}}} \\ &= \sqrt{1,0 \times 10^{12}} = 1,0 \times 10^6 \text{ m} \implies \boxed{R_{\max} \simeq 1,0 \times 10^3 \text{ km}}. \end{aligned}$$

6. Absorption de l'eau de mer

Distance de la baleine à H_2 . Les trois points étant alignés, la question 1 donne $R_2 = D + H_1 H_2 = 20 + 1,98 \times 10^3 = 2,00 \times 10^3$ km, soit $2,00 \times 10^6$ m : l'addition se fait au rang de la valeur la moins précise, celui des dizaines de kilomètres.

Ce que prévoit la seule dilution géométrique. Si l'énergie ne faisait que se répartir sur des sphères de plus en plus grandes, l'intensité reçue à cette distance serait

$$I_{\text{géo}} = \frac{P}{4\pi R_2^2} = \frac{1,0 \times 10^2}{4\pi \times (2,00 \times 10^6)^2} = 2,0 \times 10^{-12} \text{ W m}^{-2},$$

$$L_{\text{géo}} = 10 \log \left(\frac{2,0 \times 10^{-12}}{1,0 \times 10^{-18}} \right) = 10 \log (2,0 \times 10^6) \simeq 63,0 \text{ dB}.$$

Écart imputable à l'absorption. L'hydrophone H_2 ne relève en réalité que $L_2 = 57,0$ dB. La dilution géométrique étant déjà prise en compte dans $L_{\text{géo}}$, tout ce qui manque est absorbé par l'eau de mer.

$$\Delta L = L_{\text{géo}} - L_2 = 63,0 - 57,0 = 6,0 \text{ dB} \quad \text{sur} \quad R_2 = 2,00 \times 10^3 \text{ km}.$$

L'absorption étant proportionnelle à la distance parcourue :

$$\alpha = \frac{\Delta L}{R_2} = \frac{6,0}{2,00 \times 10^3} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\alpha \simeq 3,0 \times 10^{-3} \text{ dB km}^{-1}}.$$

L'absorption est donc **extrêmement faible** à 19 Hz : il faut plus de 300 km pour perdre 1 dB. C'est ce qui rend possible la communication à très longue distance des baleines, alors qu'un son aigu serait absorbé en quelques kilomètres.

Retour sur la portée de la question 5. Sur $1,0 \times 10^3$ km, l'absorption retire encore 3,0 dB : le niveau reçu n'y est que de 66 dB, sous le seuil L_{min} . La portée trouvée à la question 5 était donc surestimée ; la valeur réelle est de l'ordre de 8×10^2 km, conforme aux estimations publiées pour la baleine bleue. L'hydrophone H_2 , lui, ne reçoit que 57 dB à $2,00 \times 10^3$ km et détecte pourtant l'appel : un hydrophone est bien plus sensible que l'oreille d'une baleine, ce qui fait tout l'intérêt de la surveillance acoustique passive.