Communication sous-marine

Bac S 2018 Asie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Lors de l'expérience de 1825, pourquoi le premier expérimentateur lance-t-il une fusée ?

La fusée est un signal lumineux lancé au moment où le son est produit dans l'eau. La lumière se propage beaucoup plus vite que le son : sur 1000 m, elle arrive de façon quasi instantanée au second bateau.

La fusée indique au chronométreur l'instant d'émission du son : il déclenche le chronomètre en la voyant.

COMPRENDRE
Dans l'air, la lumière parcourt 1000 m en environ 3×10^{-6} s, durée négligeable devant celle du son dans l'eau, inférieure à la seconde mais mesurable.

1.2 Identifier au moins deux sources d'erreurs sur la mesure de la vitesse du son dans l'expérience de 1825.

La vitesse est calculée par $v = \dfrac{d}{\Delta t}$: toute erreur sur d ou sur Δt se retrouve sur v.

- Distance : elle n'est connue qu'approximativement (« environ 1000 m »).
- Départ du chronomètre : le son et la fusée ne partent pas exactement ensemble, et le chronométreur réagit avec retard.
- Arrêt du chronomètre : il passe par un geste du bras, ce qui ajoute le temps de réaction de deux personnes.
- Chronomètre : il n'indique que les quarts de seconde, alors que la durée mesurée est inférieure à une seconde.

Sources d'erreurs : distance mal connue, temps de réaction des expérimentateurs et chronomètre peu précis.

PIÈGE
Répondre « erreurs humaines » sans préciser. Il faut nommer la grandeur touchée, distance ou durée, et la cause de l'erreur.

1.3 Quelles améliorations du deuxième protocole ont permis de réduire l'incertitude ?

- Le signal lumineux est déclenché par le coup donné sur la cloche : lumière et son partent au même instant.
- Un seul expérimentateur voit la lumière et entend le son grâce au tube : il n'y a plus de signe du bras ni de troisième personne.
- La distance est bien plus grande et mieux connue (13 487 m à 20 m près) : la durée mesurée passe à plusieurs secondes, si bien que le quart de seconde du chronomètre pèse beaucoup moins.

Émission synchronisée, un seul observateur, distance plus grande et mieux mesurée : l'incertitude relative sur d et sur Δt diminue.

COMPRENDRE
Avec le même chronomètre, l'incertitude sur la durée reste de 0,25 s. C'est l'incertitude relative $U(\Delta t)/\Delta t$ qui diminue quand la durée mesurée augmente.

1.4 À l'aide de l'expression de l'incertitude relative sur v, donner un encadrement de la valeur de la vitesse du son dans l'eau.

Données utiles $d = 13\,487$ m ; $U(d) = 20$ m ; $\Delta t = 9{,}4$ s ; $U(\Delta t) = 0{,}25$ s

Vitesse du son : $v = \dfrac{d}{\Delta t} = \dfrac{13\,487}{9{,}4} = 1{,}435 \times 10^3$ m · s^{-1} (valeur non arrondie gardée pour la suite).

Incertitude relative :

$$\frac{U(v)}{v} = \sqrt{\left(\frac{20}{13\,487}\right)^2 + \left(\frac{0{,}25}{9{,}4}\right)^2} = 0{,}0266$$

d'où $U(v) = 0{,}0266 \times 1435 = 38$ m · s^{-1}.

On arrondit l'incertitude par excès à un chiffre significatif : $U(v) = 4 \times 10^1$ m · s^{-1}. La vitesse s'arrondit alors à la dizaine : $v = (1{,}43 \pm 0{,}04) \times 10^3$ m · s^{-1}.

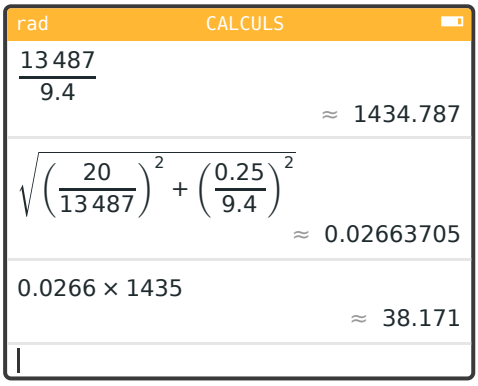
$$1{,}39 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \leqslant v \leqslant 1{,}47 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

PIÈGE
Écrire $v = 1434{,}8 \pm 38{,}2$ m · s^{-1} : les chiffres placés après le rang de l'incertitude n'ont aucun sens.

COMPRENDRE
L'incertitude se donne avec un seul chiffre significatif, arrondie par excès. Le résultat s'arrête ensuite au même rang qu'elle : ici la dizaine de m · s^{-1}.

COMPRENDRE
Le programme actuel note $u(v)$ l'incertitude-type. La formule de composition, fournie par l'énoncé, s'utilise de la même façon.

À LA CALCULATRICE



1.5 Colladon affirme que l'erreur possible ne dépasse pas 1/60 de la valeur véritable. Est-ce cohérent avec le résultat de la question 1.4 ? Justifier.

Données utiles $U(v) = 4 \times 10^1$ m · s^{-1} et $v = 1{,}43 \times 10^3$ m · s^{-1} (1.4)

Incertitude relative obtenue à la question 1.4 : $\dfrac{U(v)}{v} = \dfrac{4 \times 10^1}{1{,}43 \times 10^3} = 0{,}03$.

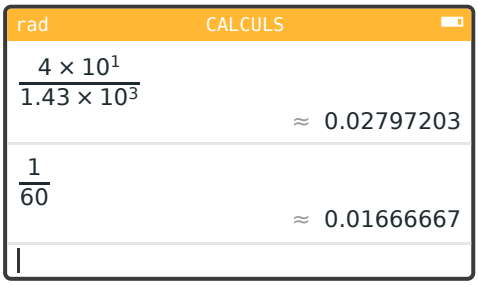
Affirmation de Colladon : $\dfrac{1}{60} = 0{,}017$.

Comme $0{,}03 > 0{,}017$, l'incertitude relative trouvée est presque deux fois plus grande que celle annoncée.

L'affirmation n'est pas cohérente avec la question 1.4 : l'erreur possible vaut environ 3 % de v, et non $\dfrac{1}{60} \approx 1{,}7$ %.

MÉTHODE
Pour comparer deux précisions, tout ramener à une incertitude relative, sans unité. On peut aussi comparer $U(v)$ à $v/60 \approx 24$ m · s^{-1}.

À LA CALCULATRICE



2.1 À l'aide de l'enregistrement du signal émis par le sonar, vérifier que la fréquence d'émission f vaut 12 kHz.

Le signal part de zéro en croissant à $t = 0$ et repasse par zéro en croissant, pour la troisième fois, à $t = 250$ µs : trois périodes durent 250 µs.

$$T = \frac{250}{3} = 83{,}3 \text{ µs} = 8{,}33 \times 10^{-5} \text{ s}$$

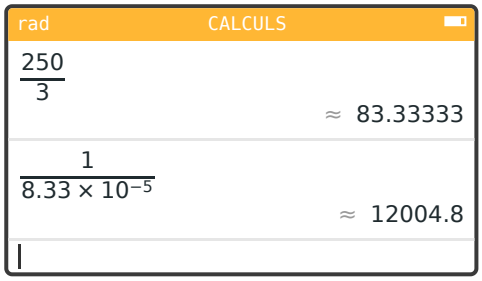
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8{,}33 \times 10^{-5}} = 1{,}20 \times 10^{4} \text{ Hz}$$

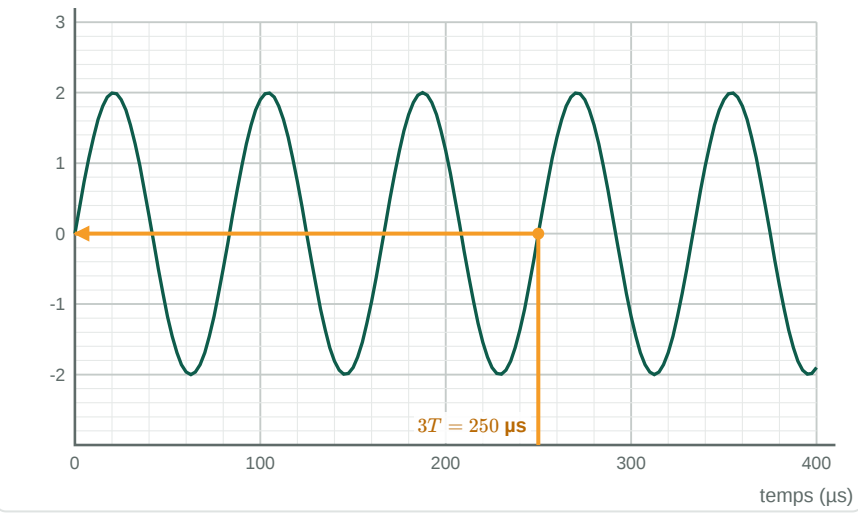
$f = 12{,}0$ kHz : on retrouve bien la valeur annoncée de 12 kHz.

PIÈGE
Laisser T en microsecondes dans $f = 1/T$. Il faut des secondes pour obtenir des hertz : $1 \text{ µs} = 10^{-6}$ s.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes, entre deux points faciles à repérer sur le quadrillage, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur le nombre de périodes.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Signal du sonar : trois périodes durent 250 µs

2.2 Ce signal appartient-il au domaine audible des êtres humains ?

Données utiles $f = 12$ kHz (2.1)

L'oreille humaine perçoit les sons de fréquence comprise entre 20 Hz et 20 kHz environ.

Or $20 \text{ Hz} < 12 \text{ kHz} < 20 \text{ kHz}$.

Oui : avec $f = 12$ kHz, le signal du sonar appartient au domaine audible de l'être humain.

COMPRENDRE
Au-delà de 20 kHz, on parle d'ultrasons, et en dessous de 20 Hz, d'infrasons. Ces bornes sont à connaître.

2.3 a. Calculer l'intensité sonore maximale à 1 m du sonar. b. Montrer que la puissance de la source vaut $8{,}80 \times 10^8$ W. c. En déduire que le niveau d'intensité sonore à 65 km vaut 144 dB. d. Estimer la perte de niveau due à l'absorption, en précisant l'approximation.

Données utiles $L = 240$ dB à $R = 1$ m ; $I_0 = 7{,}00 \times 10^{-17}$ W · m^{-2} ; $I = \dfrac{P}{4\pi R^2}$; $R' = 65$ km ; tableau : $\alpha = 1$ dB · km^{-1} à 10 kHz et 5 dB · km^{-1} à 30 kHz

2.3.a. Le niveau d'intensité sonore est $L = 10\log\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$, donc $I = I_0 \times 10^{L/10}$.

$I = 7{,}00 \times 10^{-17} \times 10^{240/10} = 7{,}00 \times 10^{-17} \times 10^{24}$

2.3.a. $I = 7{,}00 \times 10^{7}$ W · m^{-2}

2.3.b. De $I = \dfrac{P}{4\pi R^2}$ on tire $P = 4\pi R^2 I$, avec $R = 1$ m :

$P = 4\pi \times 1^2 \times 7{,}00 \times 10^7 = 8{,}80 \times 10^8$ W

2.3.b. $P = 8{,}80 \times 10^8$ W : c'est la valeur attendue.

2.3.c. À $R' = 65$ km $= 65 \times 10^3$ m, la même puissance est répartie sur une sphère plus grande :

$$I' = \frac{P}{4\pi R'^2} = \frac{8{,}80 \times 10^8}{4\pi \times (65 \times 10^3)^2} = 1{,}66 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$L' = 10\log\left(\frac{I'}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{1{,}66 \times 10^{-2}}{7{,}00 \times 10^{-17}}\right) = 143{,}7 \text{ dB}$$

2.3.c. $L' \approx 144$ dB : c'est la valeur attendue.

2.3.d. La fréquence du sonar, 12 kHz, ne figure pas dans le tableau. Approximation : on prend le coefficient de la fréquence la plus proche, 10 kHz, soit $\alpha \approx 1$ dB · km^{-1}.

Perte par absorption : $\alpha R' = 1 \times 65 = 65$ dB

2.3.d. L'absorption fait perdre environ 65 dB sur 65 km.

PIÈGE

Laisser 65 km en kilomètres dans $4\pi R'^2$: l'intensité serait fausse d'un facteur 10^6. En revanche, dans $\alpha R'$, la distance reste en km puisque α est en dB par km.

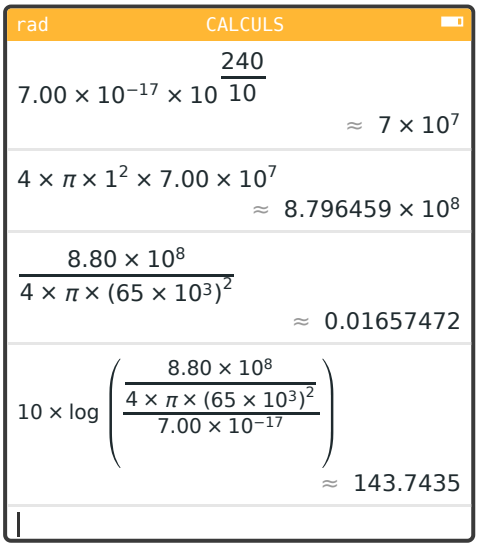
COMPRENDRE

Entre 1 m et 65 km, le niveau chute de 96 dB par simple dilution de l'énergie sur la sphère : c'est l'atténuation géométrique. L'absorption par l'eau s'y ajoute.

MÉTHODE

Raccourci pour vérifier le c : multiplier la distance par k retire $20\log k$ au niveau sonore, soit ici $240 - 20\log(65 \times 10^3) \approx 144$ dB.

À LA CALCULATRICE



2.4 D'après les données de l'exercice, les dauphins ont-ils pu percevoir l'émission du sonar du navire en 2008 ?

Données utiles $L' = 144$ dB à 65 km sans absorption (2.3.c) ; perte par absorption de 65 dB (2.3.d) ; $f = 12$ kHz ; courbe du seuil d'audition du dauphin

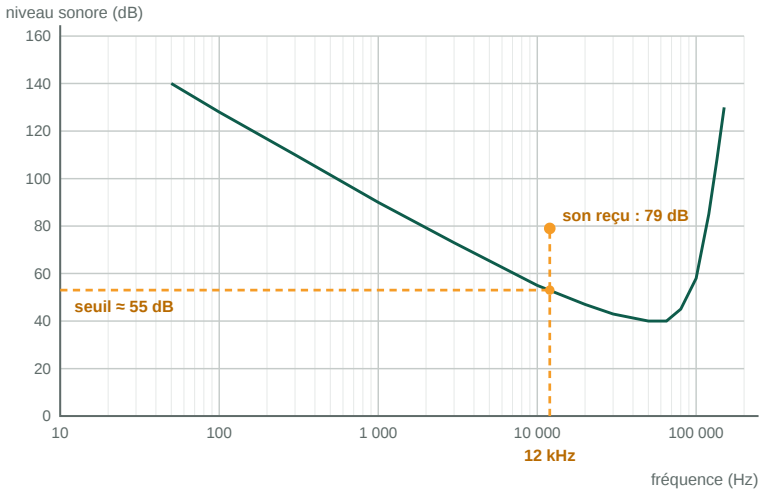
Niveau d'intensité sonore reçu par les dauphins à 65 km, absorption comprise :

$L_{\text{reçu}} = 144 - 65 = 79$ dB

Sur la courbe, à $f = 12\,\text{kHz} = 1{,}2 \times 10^4$ Hz, le niveau minimal audible par un dauphin est d'environ 55 dB.

Comme $79\ \text{dB} > 55\ \text{dB}$, le son reçu dépasse le seuil d'audition.

Oui : avec environ 79 dB reçus pour un seuil voisin de 55 dB, les dauphins ont pu percevoir le sonar.



2.4 · Seuil d'audition du dauphin et son reçu à 65 km, à 12 kHz

PIÈGE
L'axe des fréquences est logarithmique : 12 kHz se place juste après la graduation 10 000 Hz, et non au milieu de l'intervalle entre 10 000 et 100 000 Hz.

COMPRENDRE
La marge, plus de 20 dB, est assez large pour que la conclusion résiste aux approximations faites sur α et sur la lecture de la courbe.