Autour du papillon

Bac S 2018 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

1.1.1 À quel domaine de fréquence appartient l'onde émise par la chauve-souris ?

Données utiles $f_e = 50{,}0$ kHz

L'oreille humaine perçoit les sons de fréquence comprise entre 20 Hz et 20 kHz. Ici $f_e = 50{,}0\ \text{kHz} > 20\ \text{kHz}$.

L'onde émise appartient au domaine des **ultrasons**.

1.1.2 Est-ce une onde mécanique ou électromagnétique ? Justifier.

Une onde ultrasonore est une onde sonore : elle se propage par compression et dilatation de proche en proche d'un milieu matériel (ici l'air) et ne peut pas se propager dans le vide.

C'est une onde **mécanique**.

PIÈGE
La justification attendue est le besoin d'un milieu matériel. Dire seulement « c'est un son » ne suffit pas ; une onde électromagnétique, elle, se propage aussi dans le vide.

1.1.3 Cette onde est-elle transversale ou longitudinale ? Justifier.

Les tranches d'air se déplacent, autour de leur position d'équilibre, dans la direction selon laquelle l'onde se propage : la perturbation est parallèle à la direction de propagation.

L'onde est **longitudinale**.

COMPRENDRE
La distinction transversale / longitudinale était attendue dans l'ancien programme ; elle n'est plus exigible dans le programme actuel de spécialité. Exemple d'onde transversale : une ride à la surface de l'eau.

1.2.1 Montrer que la valeur de la vitesse v_{CS} de la chauve-souris est proche de $19\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Données utiles $f_e = 50{,}0$ kHz ; $f_r = 50{,}8$ kHz ; $v_{\text{onde}} = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f_r = f_e \times \dfrac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v_{\text{émetteur}}}$

L'émetteur est la chauve-souris : $v_{\text{émetteur}} = v_{CS}$. On isole v_{CS} :

$f_r\,(v_{\text{onde}} - v_{CS}) = f_e\,v_{\text{onde}}$, donc $f_r\,v_{CS} = v_{\text{onde}}\,(f_r - f_e)$, soit

$$v_{CS} = v_{\text{onde}} \times \frac{f_r - f_e}{f_r}$$

$$v_{CS} = 340 \times \frac{50{,}8 - 50{,}0}{50{,}8} = 5{,}35\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

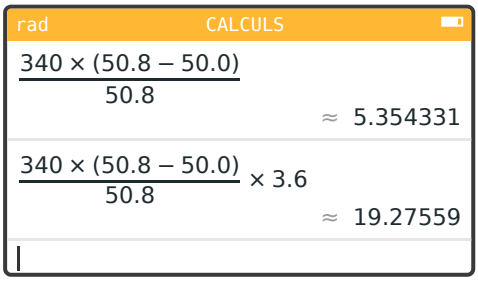
Conversion : $5{,}35 \times 3{,}6 = 19{,}3\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

$v_{CS} = 5{,}35\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 19{,}3\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, valeur bien proche de $19\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : la différence $f_r - f_e = 0{,}8$ kHz n'en a qu'un seul, le résultat est donc peu précis. C'est pourquoi l'énoncé dit « proche de ». On garde $5{,}35\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour la suite.

MÉTHODE
Les fréquences interviennent par un rapport : on peut les laisser en kHz. Pour passer des $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ aux $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, on multiplie par 3,6.

À LA CALCULATRICE



1.2.2 Comparer v_{onde} et v_{CS}. Expliquer en quoi ce résultat est important pour le déplacement ou la chasse de la chauve-souris.

Données utiles $v_{\text{onde}} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_{CS} = 5{,}35\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (1.2.1)

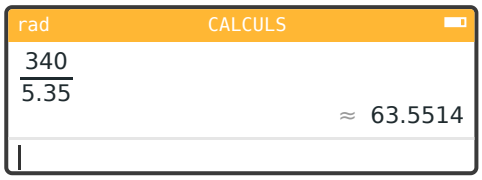
$\dfrac{v_{\text{onde}}}{v_{CS}} = \dfrac{340}{5{,}35} \approx 64$: l'onde se propage environ 64 fois plus vite que la chauve-souris ne vole.

L'écho revient donc à la chauve-souris alors qu'elle ne s'est presque pas déplacée : elle connaît la position d'un obstacle ou d'une proie bien avant de l'atteindre et a le temps de réagir. Si les deux vitesses étaient voisines, elle arriverait sur l'obstacle presque en même temps que l'information.

$v_{\text{onde}} \approx 64\, v_{CS}$: la chauve-souris est informée bien avant d'arriver sur l'obstacle ou la proie.

PIÈGE
« Comparer » demande un rapport chiffré, pas seulement « v_{onde} est plus grande ».

À LA CALCULATRICE



1.3 Le signal émis revient à la chauve-souris après une durée τ. Estimer la distance qui sépare la chauve-souris du papillon.

Données utiles $\tau = 16{,}7\ \text{ms}$; $v_{\text{onde}} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

On note D la distance cherchée. Pendant la durée τ, l'onde fait un aller-retour : elle parcourt $2D$. On néglige le déplacement de la chauve-souris pendant cette durée ($v_{CS} \ll v_{\text{onde}}$).

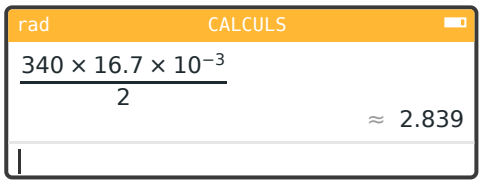
$$v_{\text{onde}} = \frac{2D}{\tau} \quad \text{donc} \quad D = \frac{v_{\text{onde}} \times \tau}{2}$$

$$D = \frac{340 \times 16{,}7 \times 10^{-3}}{2} = 2{,}84\ \text{m}$$

$D = 2{,}84\ \text{m}$

PIÈGE
Oublier l'aller-retour (on trouverait 5,68 m) ou laisser τ en millisecondes.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}_G$ du papillon en appliquant la deuxième loi de Newton au système {papillon} dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Système : {papillon}, de masse m constante. Référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces : les frottements et la poussée d'Archimède sont négligés, il ne reste que le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ (chute libre).

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}_G$, donc $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}_G$.

$\vec{a}_G = \vec{g}$, soit dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{k})$: $a_x = 0$ et $a_z = -g$.

PIÈGE
L'axe (Oz) est orienté vers le haut alors que $\vec{g}$ est vers le bas : $a_z = -g$, et non $+g$.

2.1.2 Établir l'équation horaire $z(t)$ du mouvement du point G.

Données utiles à $t = 0$: papillon immobile à l'altitude $z = h$

$a_z = \dfrac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} = -g$. Par intégration : $v_z(t) = -g\,t + C_1$. Le papillon est immobile à $t = 0$: $v_z(0) = 0$, donc $C_1 = 0$ et $v_z(t) = -g\,t$.

$v_z = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t} = -g\,t$. Par intégration : $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + C_2$. Or $z(0) = h$, donc $C_2 = h$.

$$z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + h$$

MÉTHODE
Deux intégrations successives, et à chaque fois une constante fixée par une condition initiale écrite explicitement : vitesse nulle, puis altitude h .

2.1.3 En déduire que la durée de chute correspondant à l'arrivée du papillon au niveau du sol s'écrit $\Delta t_{\text{chute}} = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$.

Le papillon arrive au sol à la date t_{chute} telle que $z(t_{\text{chute}}) = 0$:

$-\dfrac{1}{2} g\, t_{\text{chute}}^2 + h = 0$, donc $t_{\text{chute}}^2 = \dfrac{2h}{g}$, et, comme $t_{\text{chute}} > 0$, $t_{\text{chute}} = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$.

La chute commence à $t = 0$: la durée de chute est $\Delta t_{\text{chute}} = t_{\text{chute}} - 0$.

$$\Delta t_{\text{chute}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

2.1.4 Vérifier que l'expression $\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$ est bien homogène à un temps.

h est une longueur, en m ; g est une accélération, en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; le facteur 2 est sans unité.

Unité de $\dfrac{2h}{g}$: $\dfrac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{s}^{-2}} = \text{s}^2$. La racine carrée s'exprime donc en $\sqrt{\text{s}^2} = \text{s}$.

$\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$ s'exprime en secondes : l'expression est homogène à un temps.

MÉTHODE

Pour vérifier une homogénéité, on remplace chaque grandeur par son unité du Système international, on simplifie, puis on compare à l'unité attendue.

2.1.5 Calculer la durée nécessaire au papillon pour arriver au niveau du sol (point A) et ainsi être protégé.

Données utiles $h = 1{,}2$ m ; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

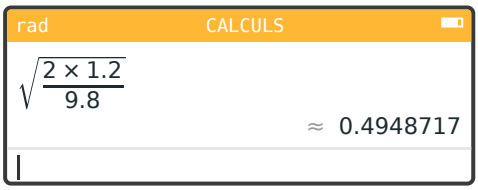
$$\Delta t_{\text{chute}} = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}2}{9{,}8}} = 0{,}49 \text{ s}$$

$\Delta t_{\text{chute}} = 0{,}49$ s

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme h et g. La masse du papillon n'intervient pas : en chute libre, la durée de chute ne dépend pas de la masse.

À LA CALCULATRICE



2.2 La vitesse de la chauve-souris est supposée constante et égale à v_{CS}. Conclure quant à l'efficacité de la tactique du papillon pour se protéger.

Données utiles $d = 2{,}8$ m ; $h = 1{,}2$ m ; $v_{CS} = 5{,}35\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.2.1) ; $\Delta t_{\text{chute}} = 0{,}49$ s (2.1.5)

Pour capturer le papillon avant qu'il soit au sol, la chauve-souris, partie de B, doit arriver au point A avant lui. Elle parcourt le segment [BA] en ligne droite, à vitesse constante.

Le triangle ABC est rectangle en C, avec $CA = h$ et $CB = d$. D'après le théorème de Pythagore : $BA = \sqrt{h^2 + d^2}$.

Durée du trajet de la chauve-souris :

$$\Delta t_{CS} = \frac{BA}{v_{CS}} = \frac{\sqrt{h^2 + d^2}}{v_{CS}} = \frac{\sqrt{1{,}2^2 + 2{,}8^2}}{5{,}35} = 0{,}57\ \text{s}$$

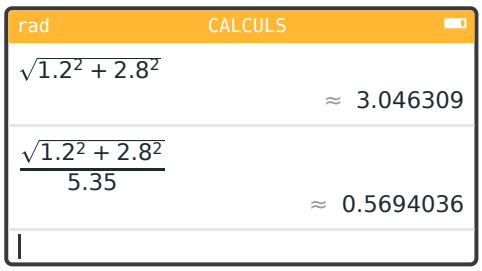
$\Delta t_{\text{chute}} = 0{,}49\ \text{s} < \Delta t_{CS} = 0{,}57\ \text{s}$: le papillon atteint le sol avant l'arrivée de la chauve-souris.

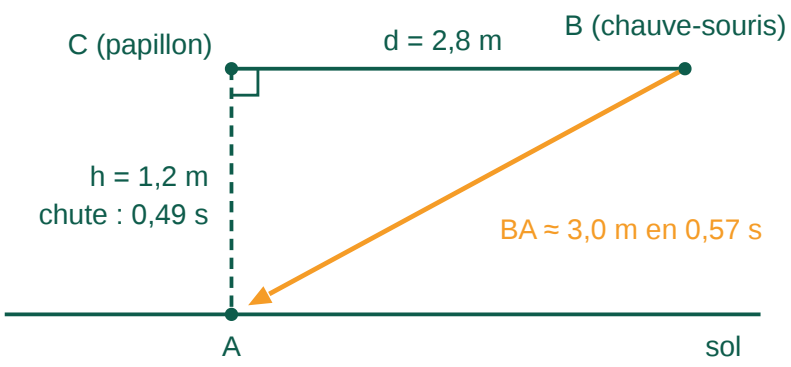
La tactique est efficace : le papillon est au sol environ 0,08 s avant que la chauve-souris n'arrive en A.

PIÈGE
La chauve-souris ne parcourt pas $d = 2{,}8$ m mais l'hypoténuse $BA \approx 3{,}0$ m. Et il faut comparer deux durées, pas une durée et une distance.

COMPRENDRE
L'écart est faible (moins d'un dixième de seconde) et v_{CS} n'est connue qu'approximativement : le papillon s'en sort de justesse, ce qui est cohérent avec les 7 % de papillons tout de même capturés.

À LA CALCULATRICE





2.2 · Trajets du papillon (de C vers A) et de la chauve-souris (de B vers A)

3.1 Pour une onde lumineuse monochromatique de période T, justifier qu'il y a interférences constructives pour $\tau = k \times T$ et destructives pour $\tau = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times T$, où k est un entier.

Les deux ondes ont la même période T ; l'une est en retard de τ sur l'autre.

- Si $\tau = kT$, le retard est un nombre entier de périodes : les deux ondes arrivent **en phase** sur la rétine (leurs maxima coïncident). Leurs amplitudes s'ajoutent : interférences constructives.
- Si $\tau = \left(k + \frac{1}{2}\right) T$, le retard contient une demi-période de plus : les deux ondes arrivent **en opposition de phase** (les maxima de l'une coïncident avec les minima de l'autre). Elles se compensent : interférences destructives.

$\tau = kT$: ondes en phase, interférences constructives ; $\tau = \left(k + \frac{1}{2}\right) T$: ondes en opposition de phase, interférences destructives.

COMPRENDRE
C'est la même condition que celle écrite avec la différence de marche δ : comme $\delta = c\tau$ et $\lambda = cT$, $\tau = kT$ équivaut à $\delta = k\lambda$.

3.2.1 En incidence perpendiculaire, $\tau = \dfrac{2\,n\,e}{c} + \dfrac{T}{2}$. Quelles ondes monochromatiques peuvent conduire à des interférences constructives ?

Il y a interférences constructives si $\tau = k\,T$ (3.1), c'est-à-dire :

$\dfrac{2\,n\,e}{c} + \dfrac{T}{2} = k\,T$, donc $\dfrac{2\,n\,e}{c} = \left(k - \dfrac{1}{2}\right) T$, soit $T = \dfrac{2\,n\,e}{\left(k - \frac{1}{2}\right) c}$.

Or la longueur d'onde dans l'air est $\lambda = c\,T$. Les ondes concernées sont donc celles de longueur d'onde :

$$\lambda = \frac{2\,n\,e}{k - \dfrac{1}{2}}, \text{ avec } k \text{ entier supérieur ou égal à 1.}$$

PIÈGE
$k = 0$ (ou k négatif) donnerait une longueur d'onde négative : ces valeurs sont à écarter explicitement.

MÉTHODE
Une « onde monochromatique » se désigne par sa longueur d'onde : on égale les deux expressions de τ, on isole T, puis on passe à λ avec $\lambda = c\,T$.

3.2.2 En déduire la couleur qui sera principalement perçue par l'observateur.

Données utiles $e = 100$ nm ; $n = 1{,}5$; $\lambda = \dfrac{2\,n\,e}{k - \frac{1}{2}}$ (3.2.1) ; visible : de 380 nm à 780 nm ; orange : 590-625 nm

Avec $2\,n\,e = 2 \times 1{,}5 \times 100 = 3{,}0 \times 10^2$ nm :

- pour $k = 1$: $\lambda_1 = \dfrac{3{,}0 \times 10^2}{1 - 0{,}5} = 6{,}0 \times 10^2$ nm, dans le visible, domaine de l'orange (590-625 nm) ;
- pour $k = 2$: $\lambda_2 = \dfrac{3{,}0 \times 10^2}{2 - 0{,}5} = 2{,}0 \times 10^2$ nm, inférieure à 380 nm : ultraviolet, invisible ;
- pour $k > 2$: λ est encore plus petite, donc hors du visible.

Une seule radiation visible est renforcée par interférences constructives : $\lambda_1 = 6{,}0 \times 10^2$ nm.

L'observateur perçoit principalement la couleur **orange** ($\lambda = 6{,}0 \times 10^2$ nm).

PIÈGE
S'arrêter à $k = 1$ sans tester $k = 2$: il faut montrer qu'aucune autre longueur d'onde renforcée n'est dans le visible.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2 \times 1.5 \times 100}{1 - 0.5}$ ≈ 600

$\dfrac{2 \times 1.5 \times 100}{2 - 0.5}$ ≈ 200

3.3 Hors incidence perpendiculaire, $\tau = \dfrac{2\,n\,e\,\cos(\theta)}{c} + \dfrac{T}{2}$. Expliquer pourquoi la couleur de l'aile perçue par l'observateur sera différente s'il la regarde sous un autre angle.

Le retard τ dépend de l'angle θ par le terme en $\cos(\theta)$. Le même raisonnement qu'en 3.2.1 donne, pour les interférences constructives :

$$\lambda = \frac{2\,n\,e\,\cos(\theta)}{k - \dfrac{1}{2}}$$

Si l'observateur change d'angle de vue, θ change, donc $\cos(\theta)$ aussi : la longueur d'onde renforcée par interférences constructives n'est plus la même.

La longueur d'onde renforcée dépend de θ : la couleur perçue change avec l'angle d'observation (iridescence).

COMPRENDRE
Pour $k = 1$, $\lambda = 600 \times \cos(\theta)$ en nm : quand θ augmente, λ diminue et la teinte glisse de l'orange vers le jaune, puis le vert. Pour $\theta = 30^\circ$, on obtient environ 520 nm.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$600 \times \cos(30°)$ ≈ 519.6152