De l'effet Doppler à ses applications

Bac S 2016 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1.1 Définir par une phrase, en utilisant l'expression « bips sonores », la fréquence f_0 du signal périodique.

La fréquence f_0 est le nombre de bips sonores émis par la source en une seconde ; elle s'exprime en hertz et $f_0 = \dfrac{1}{T_0}$.

PIÈGE
Confondre avec la fréquence du son de chaque bip (sa hauteur). Ici, le phénomène périodique est la répétition des bips.

1.1.2 Comparer la période T des bips sonores perçus par le détecteur à la période d'émission T_0 (cas A, source immobile).

La source et le détecteur sont immobiles : chaque bip parcourt la même distance d à la même célérité, donc arrive avec le même retard $\tau = \dfrac{d}{v_{son}}$.

Deux bips émis aux dates t et $t + T_0$ sont reçus aux dates $t + \tau$ et $t + T_0 + \tau$: l'écart entre eux est conservé.

$T = T_0$: la période perçue est égale à la période d'émission.

COMPRENDRE
Le retard décale tous les bips de la même durée ; il ne change pas leur espacement. L'effet Doppler n'apparaît que si la distance source-détecteur varie.

1.2 Cas B (source s'approchant du détecteur) : indiquer si la fréquence f' des bips perçus est inférieure ou supérieure à f_0. Justifier.

Données utiles $T' = T_0\left(1 - \dfrac{v_S}{v_{son}}\right)$; $0 < v_S < v_{son}$

Comme $0 < v_S < v_{son}$, on a $0 < \dfrac{v_S}{v_{son}} < 1$, donc $0 < 1 - \dfrac{v_S}{v_{son}} < 1$.

La période T_0 est multipliée par un facteur positif plus petit que 1 : $T' < T_0$.

Or $f' = \dfrac{1}{T'}$ et $f_0 = \dfrac{1}{T_0}$; l'inverse d'une durée plus courte est plus grand.

$f' = \dfrac{f_0}{1 - \dfrac{v_S}{v_{son}}} > f_0$: la fréquence perçue est supérieure à la fréquence d'émission.

PIÈGE
Conclure sur les périodes sans passer aux fréquences. La question porte sur f' : période plus courte signifie fréquence plus grande.

COMPRENDRE
Entre deux bips, la source s'est rapprochée de $v_S T_0$: le second bip a moins de chemin à parcourir et arrive plus tôt. Les bips sont donc reçus plus rapprochés.

2.1 Le décalage en fréquence mesuré est de 1,5 kHz. Identifier le ou les types de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.

Données utiles $v = \dfrac{v_{ultrason}}{2\cos\theta} \cdot \dfrac{\Delta f}{f_E}$; $v_{ultrason} = 1{,}57 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\theta = 45^\circ$; $f_E = 10$ MHz ; $\Delta f = 1{,}5$ kHz

Avec $\Delta f = 1{,}5 \times 10^3$ Hz et $f_E = 10 \times 10^6$ Hz :

$$v = \frac{1{,}57 \times 10^3}{2 \times \cos 45^\circ} \times \frac{1{,}5 \times 10^3}{10 \times 10^6} = 0{,}17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

soit $v = 17 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Sur la figure 2, la vitesse moyenne du sang vaut $17 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ en deux endroits de la courbe : dans la partie descendante, au niveau des artérioles, et dans la partie montante, au niveau des veines.

$v = 17 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$: il peut s'agir d'artérioles ou de veines.

PIÈGE
Laisser Δf en kHz et f_E en MHz : le rapport serait faux d'un facteur 1000. Vérifier aussi que la calculatrice est en degrés.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme Δf et f_E, les données les moins précises. La figure 2 est graduée en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$: il faut convertir avant de lire.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$$\frac{\frac{1.57 \times 10^3}{2 \times \cos(45°)} \times 1.5 \times 10^3}{10 \times 10^6} \approx 0.1665236$$

2.2 Pour les mêmes vaisseaux et dans les mêmes conditions, on augmente la fréquence f_E des ultrasons émis. Indiquer comment évolue le décalage en fréquence Δf. Justifier.

On isole Δf dans la relation donnée :

$$\Delta f = \frac{2\,v\cos\theta}{v_{ultrason}}\,f_E$$

La vitesse v du sang, l'angle θ et la célérité $v_{ultrason}$ ne changent pas : Δf est proportionnel à f_E.

Si f_E augmente, le décalage en fréquence Δf augmente dans la même proportion.

MÉTHODE
Pour prévoir une évolution, isoler la grandeur étudiée, puis repérer ce qui reste constant et la place (numérateur ou dénominateur) de ce qui varie.

3.1 Déterminer, avec un maximum de précision, la longueur d'onde λ_0 de l'onde perçue lorsque l'hélicoptère est immobile, puis la longueur d'onde λ' lorsqu'il est en mouvement rectiligne uniforme.

Données utiles figures 4 et 5 ; échelle : le segment « 1,0 m » mesure 1,2 cm sur le sujet imprimé

La longueur d'onde est la distance entre deux maxima successifs. Pour gagner en précision, on mesure le long de l'axe la distance entre le premier et le sixième maximum, soit 5λ.

Figure 4 : $5\lambda_0$ est représenté par 2,6 cm.

$$\lambda_0 = \frac{2{,}6}{5} \times \frac{1{,}0}{1{,}2} = 0{,}43\ \text{m}$$

Figure 5 : $5\lambda'$ est représenté par 2,1 cm.

$$\lambda' = \frac{2{,}1}{5} \times \frac{1{,}0}{1{,}2} = 0{,}35\ \text{m}$$

$\lambda_0 = 0{,}43$ m et $\lambda' = 0{,}35$ m

PIÈGE
Six maxima délimitent cinq longueurs d'onde, pas six. Ne pas oublier l'échelle : 0,52 cm est une longueur sur le papier, pas λ_0.

COMPRENDRE
Les longueurs en centimètres dépendent de l'impression du sujet ; seul leur rapport à la longueur du segment d'échelle compte. La règle est lue au millimètre : deux chiffres significatifs.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{\frac{2.6}{5} \times 1.0}{1.2} \approx 0.4333333$$

$$\frac{\frac{2.1}{5} \times 1.0}{1.2} \approx 0.35$$

Figure 4 : hélicoptère immobile

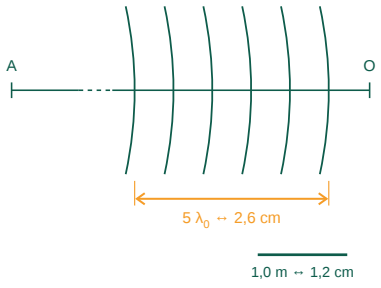
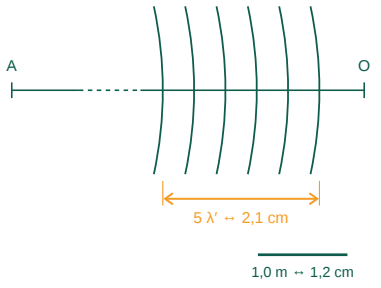


Figure 5 : hélicoptère en mouvement



3.1 · Mesure de cinq longueurs d'onde sur chaque figure (six maxima successifs)

3.2 En déduire une estimation de la valeur de la célérité de l'onde sonore. Commenter la valeur obtenue.

Données utiles $f_0 = 8{,}1 \times 10^2$ Hz ; $\lambda_0 = 0{,}43$ m (3.1)

Lorsque l'hélicoptère est immobile, l'onde perçue a la fréquence d'émission f_0 et la longueur d'onde λ_0 :

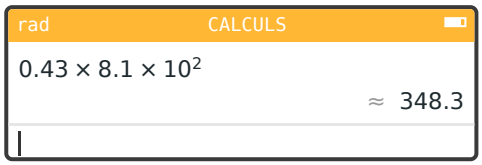
$$v_{son} = \lambda_0 \, f_0 = 0{,}43 \times 8{,}1 \times 10^2 = 3{,}5 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Cette valeur est très proche de la célérité du son dans l'air à température ambiante, environ $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. L'écart, de l'ordre de 2 %, s'explique par l'incertitude de la mesure sur la figure (un millimètre sur 2,6 cm représente déjà 4 %).

$v_{son} = \lambda_0 \, f_0 = 3{,}5 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, valeur cohérente avec la célérité du son dans l'air.

PIÈGE
Utiliser λ' avec f_0 : la fréquence f_0 n'est associée à λ_0 que lorsque la source est immobile.

À LA CALCULATRICE



3.3 Déterminer la fréquence du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement. Cette valeur est-elle en accord avec le résultat de la question 1.2 ? Comment la perception du son est-elle modifiée ?

Données utiles $\lambda' = 0{,}35$ m (3.1) ; $v_{son} = \lambda_0 f_0$ (3.2)

La célérité du son ne dépend pas de la fréquence : l'onde perçue se propage encore à v_{son}, avec la longueur d'onde λ'.

$$f' = \frac{v_{son}}{\lambda'} = \frac{\lambda_0 \, f_0}{\lambda'} = \frac{0{,}43 \times 8{,}1 \times 10^2}{0{,}35} = 1{,}0 \times 10^3 \text{ Hz}$$

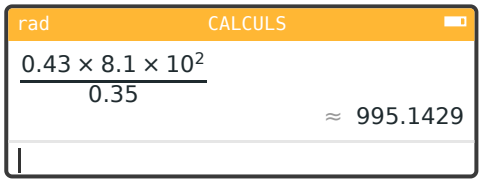
On trouve $f' > f_0$: c'est en accord avec la question 1.2, où la source s'approche du détecteur.

Une fréquence plus élevée correspond à un son plus aigu.

$f' = 1{,}0 \times 10^3$ Hz $> f_0$: accord avec 1.2 ; le son perçu est plus aigu que le son émis.

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie de v_{son} (ou son expression $\lambda_0 f_0$) dans le calcul suivant : on évite de cumuler les arrondis.

À LA CALCULATRICE



3.4 En déduire la valeur de la vitesse de l'hélicoptère. Cette valeur paraît-elle réaliste ?

Données utiles $T' = T_0\left(1 - \frac{v_S}{v_{son}}\right)$; $\lambda_0 = 0{,}43$ m et $\lambda' = 0{,}35$ m (3.1) ; $v_{son} = \lambda_0 f_0$ (3.2)

La relation de la partie 1 donne $\frac{T'}{T_0} = 1 - \frac{v_S}{v_{son}}$, soit

$$v_S = v_{son}\left(1 - \frac{T'}{T_0}\right) = v_{son}\left(1 - \frac{f_0}{f'}\right)$$

Comme $f_0 = \frac{v_{son}}{\lambda_0}$ et $f' = \frac{v_{son}}{\lambda'}$, on a $\frac{f_0}{f'} = \frac{\lambda'}{\lambda_0}$:

$$v_S = \lambda_0 f_0\left(1 - \frac{\lambda'}{\lambda_0}\right) = 0{,}43 \times 8{,}1 \times 10^2 \times \left(1 - \frac{0{,}35}{0{,}43}\right) = 65\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

soit $v_S = 65 \times 3{,}6 = 2{,}3 \times 10^2\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Un hélicoptère vole couramment entre 200 et 300 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: la valeur est réaliste.

$v_S = 65\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 2{,}3 \times 10^2\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, vitesse réaliste pour un hélicoptère.

PIÈGE

Inverser le rapport et écrire $1 - \frac{f'}{f_0}$: la vitesse serait négative. Contrôler le signe : $f' > f_0$ donne bien $v_S > 0$.

COMPRENDRE

Le résultat repose sur l'écart $\lambda_0 - \lambda' = 0{,}08$ m, connu à un chiffre significatif : c'est un ordre de grandeur. Avec les valeurs arrondies $3{,}5 \times 10^2$ et $1{,}0 \times 10^3$, on obtient $67\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE

