Corrigés des exercices du chapitre 4 « Effet Doppler »

44 p 407

44 Doppler sanguin

a. Exprimons v en fonction de Δf à partir de l'expression proposée dans l'énoncé.

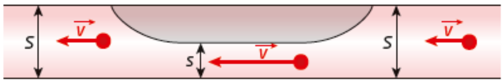
$$\Delta f = f_E - f_R = \frac{2\cos\alpha \times f_E \times v_G}{v} \Rightarrow v_G = v \times \frac{\Delta f}{2\cos\alpha \times f_E}$$

A.N. : $v_G = 1540 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \times \frac{5{,}0\times 10^3 \text{ Hz}}{2\times\cos(20°)\times 4{,}0\times 10^6 \text{ Hz}}$

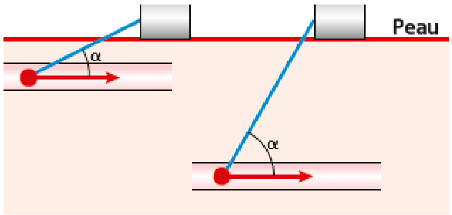
$v_G = 1{,}0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Cette vitesse est très grande ; elle correspond à la vitesse du sang dans une artère bouchée à 80 %.

b. L'énoncé indique que la vitesse est d'autant plus grande que la section de la veine est petite. Si on déplace la sonde le long de la veine, on mesure une vitesse constante. Si la vitesse mesurée augmente rapidement puis diminue pour reprendre sa valeur initiale, cela signifie qu'il y a une plaque d'athérome dans la veine qui diminue sa section.



c. Le cosinus d'un angle varie peu quand l'angle varie si l'angle reste petit.
Si α varie de 10° à 20° (du simple au double), le cosinus ne varie que de 0,985 à 0,940 soit une diminution de 4,6 %.
Au contraire lorsqu'on passe de 70° à 80° (variation de 14 %), le cosinus passe de 0,342 à 0,174 (du double au simple).
Lorsque la veine est proche de la peau, l'angle α reste petit alors qu'il devient plus grand si la veine s'éloigne, comme le montre le schéma ci-après.



Quand la veine est loin de la peau, une petite variation de l'angle entraîne une variation importante du cosinus, ce qui peut modifier la valeur de la vitesse sans qu'on sache si l'origine de cette variation est une plaque d'athérome ou une variation de l'angle. Le Doppler sanguin est donc inutilisable.

d. On calcule la vitesse pour ces deux valeurs de l'angle α.
Pour $\alpha = 20°$, le calcul a déjà été fait : $v_G = 1{,}0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
Pour $\alpha = 30°$:

$$v_G = 1540 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \times \frac{5{,}0\times 10^3 \text{ Hz}}{2\times\cos(30°)\times 4{,}0\times 10^6 \text{ Hz}} = 1{,}1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Ce qui fait une variation de vitesse de 10 %.
Cette variation de vitesse pourrait également s'expliquer par une variation de la section d'une veine de 10 %, ce qui est négligeable.
Pour les carotides par exemple, l'opération est proposée lorsque l'artère est bouchée à plus de 50 % pour les personnes ayant fait un AVC et à plus de 70 % pour les autres.

48 p 410

48 Déterminer la vitesse d'un hélicoptère par effet Doppler

1. a. Les deux figures sont réalisées à l'échelle 1/100 : 1,0 cm sur le schéma représente 1,0 m.
Sur la figure 1, les deux fronts de l'onde les plus éloignés sont distants de 2,2 cm soit 2, 2 m dans la réalité.

On en déduit : $5\lambda_0 = 2{,}2 \text{ m} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{2{,}2 \text{ m}}{5} = 0{,}44 \text{ m}$.

Sur la figure 2, les deux fronts de l'onde les plus éloignés sont distants de 1,85 cm soit 1,85 m dans la réalité.

On en déduit : $5\lambda' = 1{,}85 \text{ m} \Rightarrow \lambda' = \frac{1{,}85 \text{ m}}{5} = 0{,}37 \text{ m}$.

b. À partir de la figure 1, la fréquence de l'onde émise par l'hélicoptère étant $f_0 = 8{,}0\times 10^2$ Hz, on en déduit :
$v = \lambda_0\, f_0 = 0{,}44 \text{ m} \times 8{,}0\times 10^2 \text{ Hz} = 3{,}5\times 10^2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Compte-tenu de la faible précision de nos mesures, ce résultat est convenable.

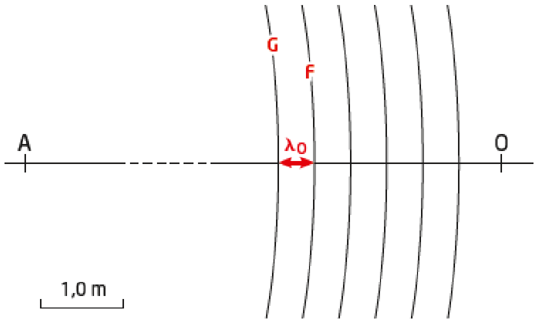
2. a. À partir de la figure 2, la célérité des ondes sonores étant connue maintenant, nous pouvons calculer la fréquence f' de l'onde sonore reçue par l'observateur.

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{3{,}5\times 10^2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{0{,}37 \text{ m}} = 9{,}5\times 10^2 \text{ Hz}.$$

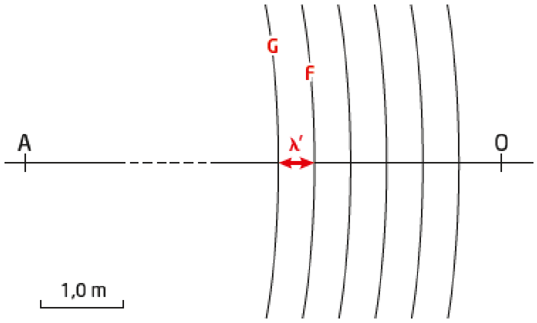
b. La fréquence de l'onde reçue étant plus grande que celle de l'onde émise, on peut affirmer que le son reçu par l'observateur est plus aigu que celui qu'entend le pilote.

3. a. La durée qui sépare les deux dates t et t' correspond à la période T de l'onde sonore.

b.



Hélicoptère immobile.



Hélicoptère en mouvement.

Lorsque l'hélicoptère est immobile, la distance qui sépare les deux trains d'onde F et G est égale à λ_0. Et $\lambda_0 = vT$.
Quand l'hélicoptère est en mouvement, les trains d'ondes sont plus serrés car pendant la durée T, la source a avancé d'une longueur $L = v_s T$. Les trains d'onde qui se propagent à la même célérité sont donc rapprochés de $v_s T$.
On a donc $\lambda' = \lambda_0 - L = \lambda_0 - v_s T$.

Avec $\lambda_0 = vT$: $\lambda' = \lambda_0 - \dfrac{v_s \times \lambda_0}{v} \Rightarrow \lambda_0 - \lambda' = \lambda_0 \times \dfrac{v_s}{v}$.

c. De la relation précédente, on peut extraire v_s :

$$v_s = v \times \frac{(\lambda_0 - \lambda')}{\lambda_0}$$

A.N. : $v_s = 3{,}5 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times \dfrac{0{,}44 \text{ m} - 0{,}37 \text{ m}}{0{,}44 \text{ m}} = 56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ou $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
Ce résultat est compatible avec les données de l'énoncé.

4. a. Puisque la source est isotrope et que l'atténuation par absorption est négligée, on peut écrire le niveau d'intensité sonore sous la forme : $L = 10 \log\left(\dfrac{\mathcal{P}}{4\pi d^2 I_0}\right)$ avec $L = 66$ dB et $d = 300$ m.
Appelons L' le niveau d'intensité sonore lorsque l'hélicoptère est à la distance $d' = 50$ m.

$$L' = 10 \log\left(\frac{\mathcal{P}}{4\pi d'^2 I_0}\right).$$

Utilisons les propriétés de la fonction logarithme décimal :

$$L' = 10 \log\left(\frac{\mathcal{P}}{4\pi d'^2 I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{\mathcal{P}}{4\pi d^2 I_0}\right) + 10 \log\left(\frac{d^2}{d'^2}\right)$$

$$L' = L + 20 \log\left(\frac{d}{d'}\right).$$

A. N. : $L' = 66 \text{ dB} + 20 \log \dfrac{300 \text{ m}}{50 \text{ m}} = 82$ dB.

b. Il s'agit de l'atténuation géométrique qui augmente avec la distance qui sépare la source du récepteur.