Correction de l'ex. n° 6 : De l'effet Doppler à ses applications

Corrigé réalisé par B. Louchart, professeur de Physique-Chimie

1. Mouvement relatif d'une source sonore et d'un détecteur

1.1.1. La fréquence f_0 de ce signal correspond au nombre de bips sonores par unité de temps.

1.1.2. La source et le détecteur sont immobiles, donc $T = T_0$

1.2. $T' = T_0\left(1 - \dfrac{v_S}{v_{son}}\right)$

Or $1 - \dfrac{v_S}{v_{son}} < 1$, donc $T' < T_0$

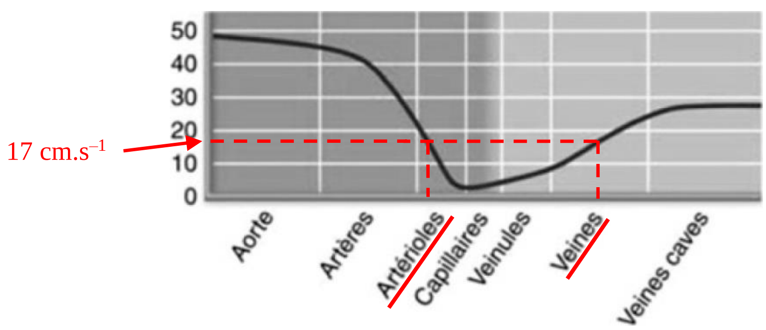
On en déduit que $\dfrac{1}{T'} > \dfrac{1}{T_0}$, donc que $f' > f_0$

2. La vélocimétrie Doppler en médecine

2.1. La vitesse des globules rouges dans le vaisseau sanguin vaut :

$$v = \frac{v_{ultrason}}{2\cos\theta}\cdot\frac{\Delta f}{f_E} = \frac{1{,}57\times10^3}{2\cos 45}\cdot\frac{1{,}5\times10^3}{10\times10^6} = 0{,}17\ \text{m.s}^{-1} = 17\ \text{cm.s}^{-1}$$

D'après le graphique de la figure 2, cela peut correspondre à une artériole ou à une veine.



2.2. $v = \dfrac{v_{ultrason}}{2\cos\theta}\cdot\dfrac{\Delta f}{f_E}$, donc $\Delta f = \dfrac{2\,f_E\,v\cos\theta}{v_{ultrason}}$

Ainsi, pour les mêmes vaisseaux sanguins et les mêmes conditions de mesure (v, θ et $v_{ultrason}$ constants), si on augmente la fréquence f_E, le décalage en fréquence Δf diminuera.

3. La vélocimétrie Doppler en médecine

3.1.

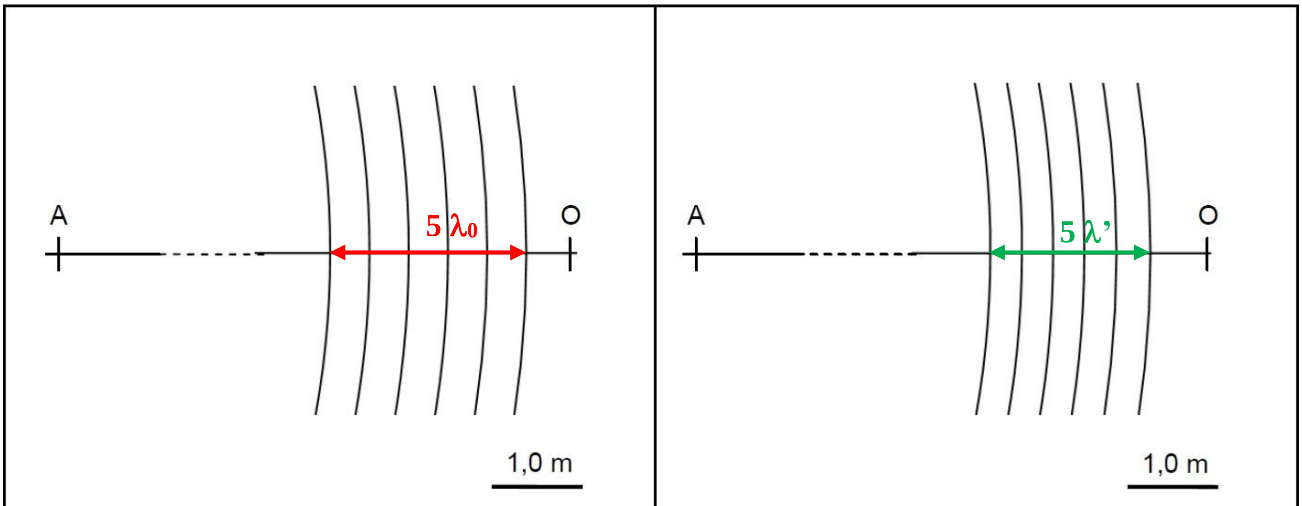


Figure 4. L'hélicoptère est immobile.

Figure 5. L'hélicoptère est en mouvement.

	sur la feuille	en réalité
échelle	1,2 cm	1,0 m
5 longueurs d'onde (hélicoptère immobile)	2,6 cm	$5\ \lambda_0 = ?$
5 longueurs d'onde (hélicoptère en mouvement)	2,1 cm	$5\ \lambda' = ?$

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

$$5\ \lambda' = \frac{2{,}1 \times 1{,}0}{1{,}2} = 1{,}8 \text{ m}, \quad \text{donc} \quad \lambda' = \frac{1{,}8}{5} = 0{,}35 \text{ m}$$

3.2. $\lambda_0 = v_{son} \times T_0 = \dfrac{v_{son}}{f_0}$

Donc $v_{son} = \lambda_0 \times f_0 = 0{,}43 \times 8{,}1\times10^2 = 3{,}5\times10^2 \text{ m.s}^{-1}$

Cette valeur est proche de celle de la célérité du son dans l'air à 20°C ($3{,}4\times10^2$ m.s^{-1}).
Le résultat obtenu semble donc cohérent.

3.3. $\lambda' = v_{son} \times T = \dfrac{v_{son}}{f'}$

Donc $f' = \dfrac{v_{son}}{\lambda'} = \dfrac{3{,}5\times10^2}{0{,}35} = 1{,}0\times10^3 \text{ Hz} = 1{,}0 \text{ kHz}$

$1{,}0\times10^3 \text{ Hz} > 8{,}1\times10^2 \text{ Hz}$

Quand l'hélicoptère se rapproche de l'émetteur, on obtient bien $f' > f_0$, conformément au résultat de la question 1.2.

$f' > f_0$, donc le son perçu est plus aigu que quand l'hélicoptère était immobile.

3.4. $T' = T_0\left(1 - \dfrac{v_S}{v_{son}}\right)$

Or $T' = \dfrac{1}{f'}$ et $T_0 = \dfrac{1}{f_0}$, donc $\dfrac{1}{f'} = \dfrac{1}{f_0}\left(1 - \dfrac{v_S}{v_{son}}\right)$

On obtient : $1 - \dfrac{v_S}{v_{son}} = \dfrac{f_0}{f'}$

c'est-à-dire : $\dfrac{v_S}{v_{son}} = 1 - \dfrac{f_0}{f'}$

Finalement, $v_S = v_{son}\left(1 - \dfrac{f_0}{f'}\right) = 3{,}5\times10^2 \times \left(1 - \dfrac{8{,}1\times10^2}{1{,}0\times10^3}\right) = 68 \text{ m.s}^{-1}$

Convertissons ce résultat en km.h^{-1}.
$v_S = 68\times3{,}6 \text{ km.h}^{-1} = 2{,}4\times10^2 \text{ km.h}^{-1}$

Cette valeur paraît réaliste pour un hélicoptère.