

# Effet Doppler

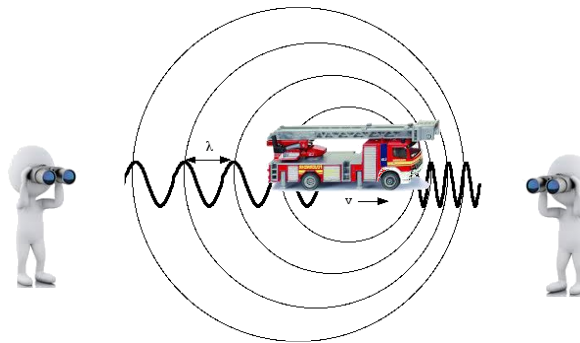
## I. Mise en évidence et définition de l'effet Doppler

Sirène de pompier : [https://www.youtube.com/watch?v=w\\_KXH0Q8iJY](https://www.youtube.com/watch?v=w_KXH0Q8iJY)  
klaxon : <https://www.youtube.com/watch?v=a3RfULw7aAY>  
Trompette : <https://www.youtube.com/watch?v=8WgSQLRymwE>  
Modélisation : [http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Ondes/son/doppler.php](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/son/doppler.php)

Définition :

**L'effet Doppler est un phénomène qui a lieu lorsqu'un émetteur d'ondes (sonore, ultrasonore, lumineuse...) est en mouvement relatif par rapport à un récepteur (capteur, observateur...)**  
**Il résulte de ce mouvement un décalage entre la fréquence émise par la source  $f_s$  et la fréquence perçue par le récepteur  $f_r$ .**

Lorsque la source s'éloigne du récepteur :  
 $\Delta f = f_r - f_s < 0$   
Le son est plus grave



Lorsque la source se rapproche du récepteur :  
 $\Delta f = f_r - f_s > 0$   
Le son est plus aigu

Document :

Soit  $f_s$  la fréquence de la source,  $f_r$  la fréquence perçue par l'observateur et  $c$  la vitesse de l'onde émise par la source.

- Si la source se rapproche de l'observateur à la vitesse  $v$ , alors :  $f_r = \frac{f_s}{(1 - \frac{v}{c})}$   
conséquence :  $f_r > f_s$  (son perçu plus aigu)
- Si la source s'éloigne de l'observateur à la vitesse  $v$  :  $f_r = \frac{f_s}{1 + \frac{v}{c}}$   
conséquence :  $f_r < f_s$  (son perçu plus grave)

## II. TP : Mesure de vitesse en utilisant l'effet Doppler

En utilisant une interface d'acquisition (Latispro ou phybox), proposer un protocole pour déterminer la vitesse en km/h de la voiture dans laquelle le trompettiste joue (acquisitions, mesures et calcul à réaliser). Mettre en œuvre le protocole.

On prendra : vitesse du son :  $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

## III. Application de l'effet Doppler à la vélocimétrie : radar Doppler

La mesure de vitesse intervient dans un très grand nombre de procédés technologiques dans des domaines très variés : industrie, médecine, sport, transport, aérospatiale, ...

### 1. Vélocimétrie et sécurité routière

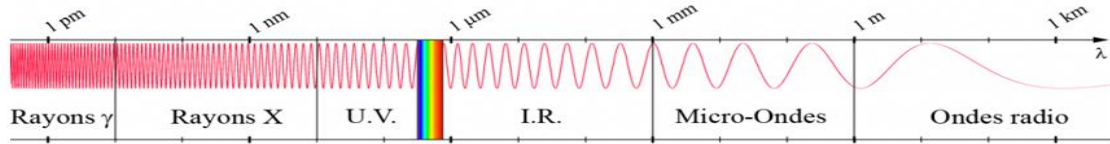
La police et la gendarmerie peuvent utiliser des radars portatifs pour réaliser des contrôles de vitesse des véhicules. Le radar est alors pointé dans la direction de la voiture.

Le manuel du radar portatif indique que celui-ci envoie des ondes électromagnétiques haute fréquence ( $3,47 \times 10^{10}$  Hz) et mesure la différence de fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchi sur un objet en mouvement.

Radar portatif utilisé lors de la mesure de la vitesse (indiquée en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ).



- 1.1. Identifier le domaine des ondes électromagnétiques émises par ce radar portatif. Justifier par un calcul.
- 1.2. Nommer le phénomène à l'origine de la différence de fréquence entre les ondes émises et reçues par le radar portatif.
- 1.3. Le radar portatif est positionné face à la voiture. La fréquence de l'onde reçue est-elle inférieure ou supérieure à celle de l'onde émise ? Justifier.
- 1.4. Dans les mêmes conditions de mesure que pour la question 1.3, le décalage  $\Delta f$  entre la fréquence  $f_{\text{émise}}$  de l'onde émise et la fréquence  $f_{\text{reçue}}$  de l'onde reçue vérifie la relation
 
$$|\Delta f| = |f_{\text{reçue}} - f_{\text{émise}}| = \frac{2v_0 \cdot f_{\text{émise}}}{c}$$
 Le décalage  $|\Delta f|$  mesuré par le radar portatif est 4,86 kHz. En déduire la valeur de la vitesse de la voiture. Vérifier l'accord avec l'indication de l'écran du radar portatif de la figure.



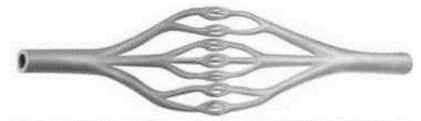
## 2. La vélocimétrie Doppler en médecine

La médecine fait appel à l'effet Doppler pour mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les vaisseaux sanguins (figure 2).

Un émetteur produit des ondes ultrasonores qui traversent la paroi d'un vaisseau sanguin. Pour simplifier, on suppose que lorsque le faisceau ultrasonore traverse des tissus biologiques, il rencontre :

- des cibles fixes sur lesquelles il se réfléchit sans modification de la fréquence ;
- des cibles mobiles, comme les globules rouges du sang, sur lesquelles il se réfléchit avec une modification de la fréquence ultrasonore par effet Doppler (figure 3).

différents vaisseaux du lit vasculaire



vitesse de l'écoulement sanguin (cm/s)

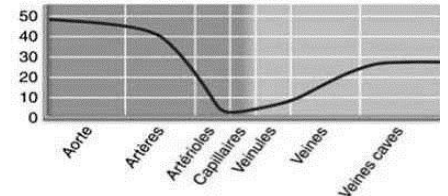


Figure 2. Vitesse moyenne du sang dans différents vaisseaux sanguins. ©2011

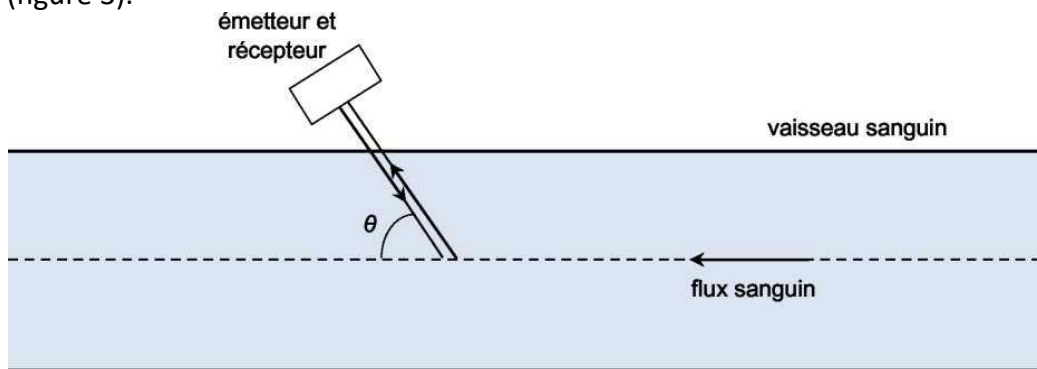


Figure 3. Principe de la mesure d'une vitesse d'écoulement sanguin par effet Doppler (échelle non respectée).

L'onde ultrasonore émise, de fréquence  $f_E = 10$  MHz, se réfléchit sur les globules rouges qui sont animés d'une vitesse  $v$ . L'onde réfléchie est ensuite détectée par le récepteur.

La vitesse  $v$  des globules rouges dans le vaisseau sanguin est donnée par la relation  $v = \frac{v_{\text{ultrason}}}{2 \cos \theta} \cdot \frac{\Delta f}{f_E}$

Où  $\Delta f$  est le décalage en fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchie,  $v_{\text{ultrason}}$  la célérité des ultrasons dans le sang et  $\theta$  l'angle défini sur la figure 3.

On donne  $v_{\text{ultrason}} = 1,57 \times 10^3$  m.s<sup>-1</sup> et  $\theta = 45^\circ$ .

- 2.1. Le décalage en fréquence mesuré par le récepteur est de 1,5 kHz. Identifier le(s) type(s) de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.
- 2.2. Pour les mêmes vaisseaux sanguins et dans les mêmes conditions de mesure, on augmente la fréquence des ultrasons émis  $f_E$ . Indiquer comment évolue le décalage en fréquence  $\Delta f$ . Justifier.