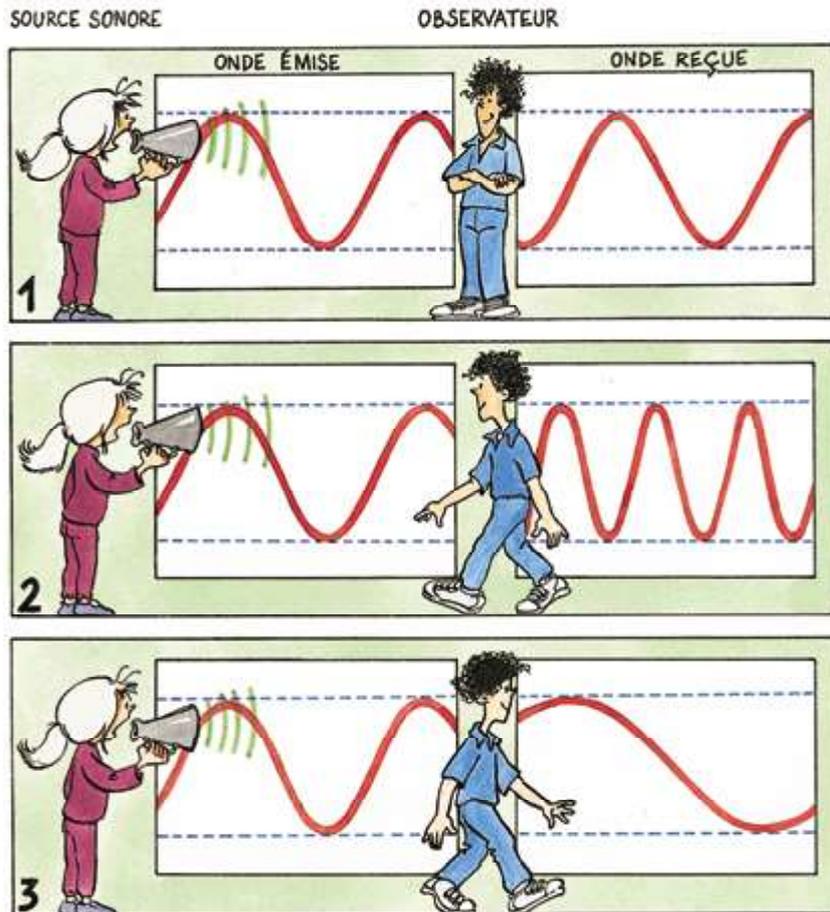


# EFFET DOPPLER

## 1. EFFET DOPPLER.

Le son d'un moteur ou d'une sirène est perçu plus aigu quand le véhicule qui l'émet s'approche d'un observateur et plus grave quand il s'en éloigne. Ce phénomène a été prévu par Doppler en 1842 puis confirmé expérimentalement par Ballot en 1845.

Une onde (sonore mais plus généralement mécanique ou électromagnétique) émise avec une fréquence  $f_E$  est perçue avec une fréquence  $f_R$  différente lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif: c'est l'effet Doppler

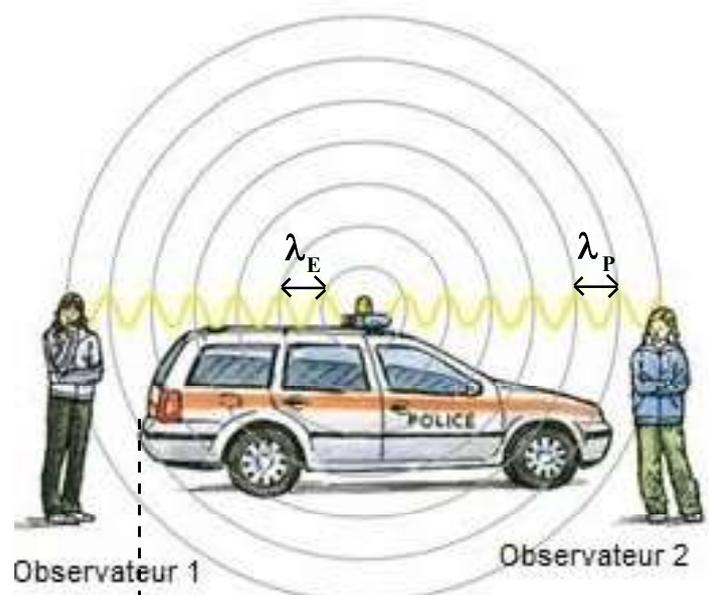


### 4.1. VITESSE RELATIVE D'UN ÉMETTEUR PAR RAPPORT A UN RECEPTEUR

Prenons le cas d'une sirène d'ambulance. Elle émet une onde sonore caractérisée par une longueur d'onde  $\lambda_E$ . Deux observateurs se situent de part et d'autre de l'ambulance. L'onde sonore perçue par les observateurs a pour longueur d'onde  $\lambda_P$ .

□ Lorsque l'ambulance est immobile, l'onde sonore perçue par les observateurs, a la même longueur d'onde que l'onde émise:

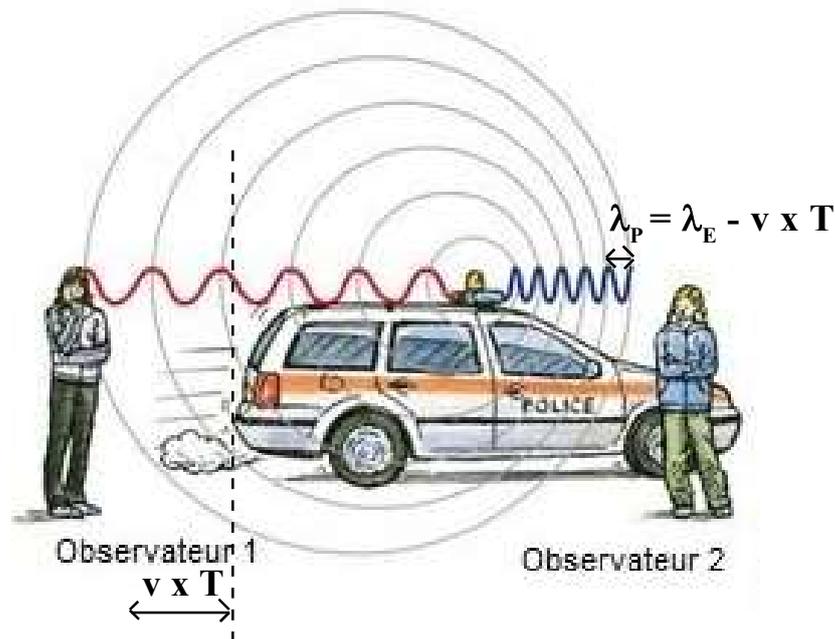
$$\lambda_P = \lambda_E$$



□ Lorsque l'ambulance se rapproche de l'observateur 2, l'onde sonore perçue n'a plus la même longueur d'onde que l'onde émise. Elle est «diminuée» de la distance parcourue  $d$  par le véhicule à la vitesse  $v$  du véhicule pendant le temps qui sépare deux émissions sonores, soit un temps  $T$  (période temporelle de l'onde). On aura alors

$$\lambda_p = \lambda_E - v \times T$$

C'est toute la clef de la suite !



□ A l'inverse, lorsque l'ambulance s'éloigne de l'observateur 1, l'onde sonore perçue n'a plus la même longueur d'onde que l'onde émise. Elle est «augmentée» de la distance parcourue  $d$  par le véhicule à la vitesse  $v$  du véhicule pendant le temps qui sépare deux émissions sonores, soit un temps  $T$  (période temporelle de l'onde). On aura alors

$$\lambda_p = \lambda_E + v \times T$$

□ On peut alors en déduire la fréquence perçue par l'observateur 1, en appliquant la relation  $c = \lambda \times F$  soit  $F_p = \frac{c}{\lambda_p}$

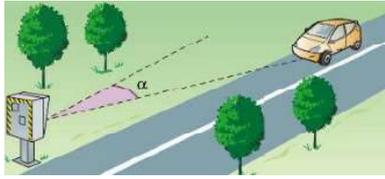
$$F_p = \frac{c}{\lambda_E - v \times T_E} = \frac{c}{T_E (\lambda_E/T_E - v)} = F_E \frac{c}{c - v}$$

On voit bien que dans cette formule le rapport  $\frac{c}{c - v} > 1$  soit  $F_p > F_E$  Le son perçue est plus aigü

□ Par un raisonnement analogue, on peut montrer que la fréquence perçue par l'observateur 2, vérifie la relation

$$F_p = F_E \frac{c}{c + v} \quad \text{soit une fréquence perçue plus grave.}$$

## 2. LES APPLICATIONS.



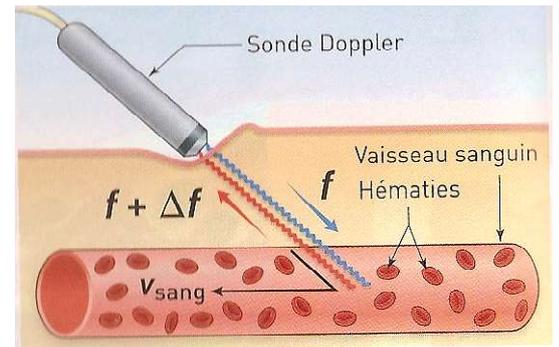
- ❑ Les radars routiers utilisent l'effet Doppler avec des ondes électromagnétiques pour mesurer la valeur de la vitesse des véhicules. Leur fonctionnement est différent de l'exemple de l'ambulance, car ils sont à la fois émetteur et récepteur de l'information.
- ❑ En imagerie médicale, la valeur de la vitesse de déplacement du sang peut être mesurée par effet Doppler.

L'écho doppler permet de visualiser le trajet des artères, leurs parois, leur lumière (diamètre) et la présence éventuelle de rétrécissements, dilatations, de caillots. Cet examen est particulièrement indiqué dans la maladie athéromateuse. Un écho doppler sera demandé par exemple face à des signes évoquant une ischémie : des douleurs des membres inférieurs apparaissant à la marche (signes d'une mauvaise circulation artérielle au niveau des membres inférieurs), des troubles de la vue, une perte de connaissance (qui seraient les signes d'une mauvaise circulation au niveau des artères allant au cerveau). Il est possible d'explorer les artères des membres inférieurs, celles des membres supérieurs, l'aorte et ses branches cervicales ainsi que les artères intra crâniennes par des techniques transcâniennes.



Propulsé par le coeur, le sang est un liquide continuellement en mouvement. La vitesse moyenne d'écoulement du sang est de 20 cm/s. La mesure de cette vitesse se fait par effet Doppler. Une vitesse trop élevée diagnostique une sténose (rétrécissement d'un vaisseau), une vitesse trop faible est le signe d'une thrombose (caillot dans la veine) en amont.

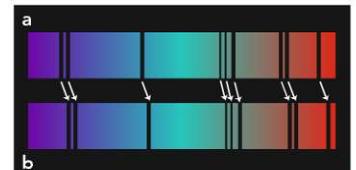
Une sonde Doppler émet des ultrasons de fréquence  $f$ , en direction du vaisseau. Ces ultrasons sont réfléchis sur les hématies du sang en mouvement et reviennent vers la sonde avec une fréquence  $f'$  différente. De la mesure de cette différence de fréquence on en déduit la vitesse du sang.



❑ Mais la plus grande application de l'effet Doppler est en astronomie. En effet, le spectre de la lumière émise par une étoile comporte des raies d'absorption caractéristiques des éléments de son atmosphère.

Or lorsqu'on observe le spectre d'une étoile ou d'une galaxie loin de la Terre, on observe un décalage des raies d'absorption vers les grandes longueurs d'onde (vers le rouge pour les raies du visible); ce décalage vers le rouge est appelé redshift.

Ce décalage ne peut s'expliquer que par le fait que les étoiles ou galaxies s'éloignent de la Terre. Cette observation confirme la notion de Big Bang. Aujourd'hui, la précision des appareils de mesure permet de calculer les valeurs des vitesses d'éloignement de ces astres.



Doc. 16 a. Spectre de référence obtenu avec une source immobile par rapport à l'observateur ;  
b. spectre obtenu avec une source s'éloignant de l'observateur.