- Décrire et interpréter qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler.
- Établir l'expression du décalage Doppler dans le cas d'un observateur fixe, d'un émetteur mobile et dans une configuration à une dimension.
- Exploiter l'expression du décalage Doppler dans des situations variées utilisant des ondes acoustiques ou électromagnétiques.

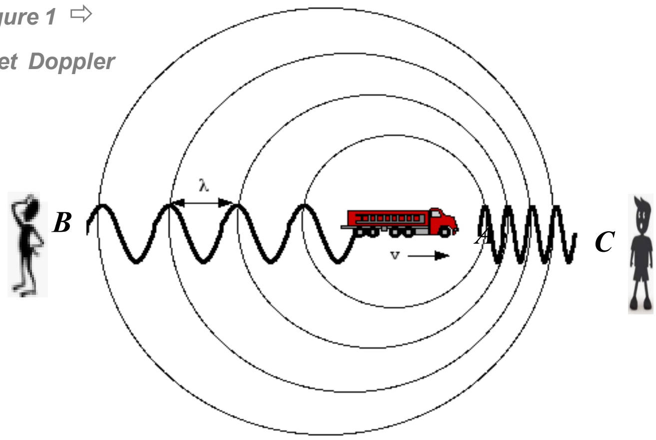
Chapitre 19

Effet Doppler

I. Définition

Figure 1 ⇨

L'effet Doppler



Un véhicule roule à vitesse constante.

- A est le chauffeur du camion des pompiers.
- L'observateur B est immobile et voit le véhicule s'éloigner de lui.
- L'observateur C est immobile et voit venir le véhicule vers lui.

Comme la hauteur d'un son dépend de sa fréquence, les observateurs A, B et C ne perçoivent pas la même note.

B perçoit une note plus grave que *A* car la fréquence du signal sonore qu'il reçoit est inférieure à la fréquence de la source : $f_B < f_A$

A l'inverse, C capte un son plus aigu que le son de la source car $f_C > f_A$.

- Une onde mécanique ou électromagnétique de fréquence au repos f_e est perçue avec une fréquence f(approche) plus élevée lorsqu'elle s'approche du lieu de réception : **f(approche) > f_e**
- une fréquence f(éloigne) plus faible lorsqu'elle s'éloigne du lieu de réception : **f(éloigne) < f_e**

  Cette effet est appelé l'**effet Doppler**
- Plus la vitesse relative est grande, plus le décalage en fréquence Δf est important.

II. Démonstration de l'effet Doppler

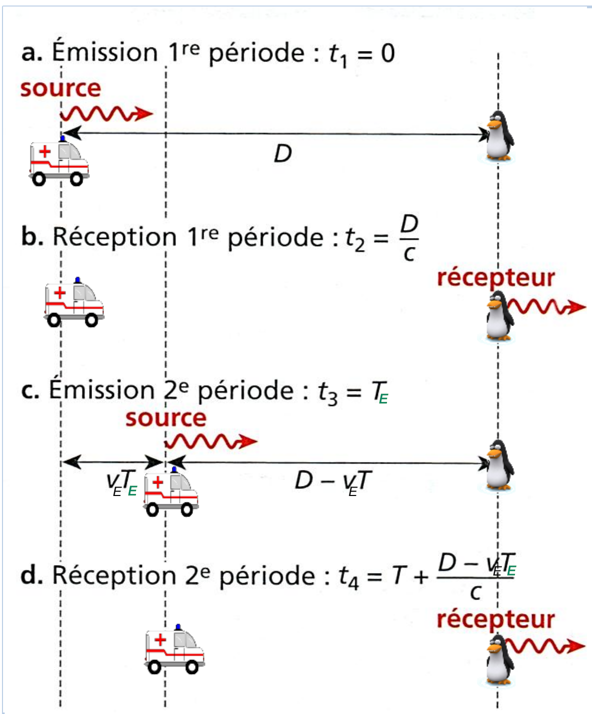
Soit une ambulance (émetteur) qui se déplace à la vitesse v_E (vitesse de l'ambulance) en direction d'un récepteur fixe (pingouin).

Elle émet des ondes périodiques, de période T_E, se propageant dans le milieu à la célérité c (vitesse du son dans l'air).

⇒ **La première période de l'onde est émise à la date $t_1 = 0$:**
L'ambulance est à la distance D du récepteur (figure a).
Cette onde parcourt cette distance à la vitesse c, le récepteur la reçoit à la date : $\boxed{t_2 = \frac{D}{c}}$ (figure b).

⇒ **La deuxième période de l'onde est émise à la date $t_3 = T_E$:**
L'ambulance ayant parcouru la distance $v_E.T_E$ depuis la date t = 0, elle se trouve à $D - v_E.T_E$ du récepteur (figure c).
L'onde parcourt cette distance pendant la durée : $\frac{D - v_E.T_E}{c}$

donc le récepteur la reçoit à la date : $\boxed{t_4 = T_E + \frac{D - v_E T_E}{c}}$



⇒ **Pour le récepteur, la période est alors :**

$$T_R = t_4 - t_2 = T_E + \frac{D - v_E.T_E}{c} - \frac{D}{c} = T_E - \frac{v_E.T_E}{c} = T_E\left(1 - \frac{v_E}{c}\right)$$

⇒ **L'onde perçue par le récepteur peut aussi être caractérisée par sa fréquence f_R :**

$$f_R = \frac{1}{T_R} = \frac{1}{T_E\left(1 - \frac{v_E}{c}\right)} = f_E \frac{1}{\left(1 - \frac{v_E}{c}\right)} = f_E \frac{c}{c - v_E}$$

⇒ **Si la source s'éloigne du récepteur fixe, le raisonnement est identique**, il suffit de remplacer dans les expressions précédentes v_E par $-v_E$ puisqu'il y a éloignement.

Cela donne : $f_R = \frac{1}{T_R} = f_E \frac{c}{c + v_E}$

La fréquence de l'onde reçue f_R par le récepteur est telle que :

$\boxed{f_R = f_E \frac{c}{c - v_E}}$ si l'émetteur s'approche du récepteur ($f_R > f_E$)

$\boxed{f_R = f_E \frac{c}{c + v_E}}$ si l'émetteur s'éloigne du récepteur ($f_R < f_E$)

avec : c = célérité de l'onde émise par l'émetteur
v_E = vitesse de l'émetteur ($v_E < c$)

Expression du décalage en fréquence Δf

Les formules suivantes ne sont pas à connaitre mais il faut savoir les démontrer !

Soit un émetteur produisant une onde fréquence f_E se déplaçant à une vitesse v sur un axe. La célérité de l'onde sera notée v(onde). Un récepteur, fixe sur cet axe reçoit l'onde avec une fréquence f_R.

- Lorsque l'émetteur se rapproche du récepteur, Le décalage Doppler en fréquence vaut :

$$\Delta f = f_R - f_E = f_E \times \left(\frac{c}{c - v_E}\right) - f_E = f_E \times \left(\frac{v_E}{c - v_E}\right)$$

- lorsque l'émetteur s'éloigne du récepteur, Le décalage Doppler en fréquence vaut :

$$\Delta f = f_R - f_E = f_E \times \left(\frac{c}{c + v_E}\right) - f_E = -f_E \times \left(\frac{v_E}{c + v_E}\right)$$

Lorsque la vitesse de l'onde c est très supérieure à la vitesse v de déplacement de l'émetteur :

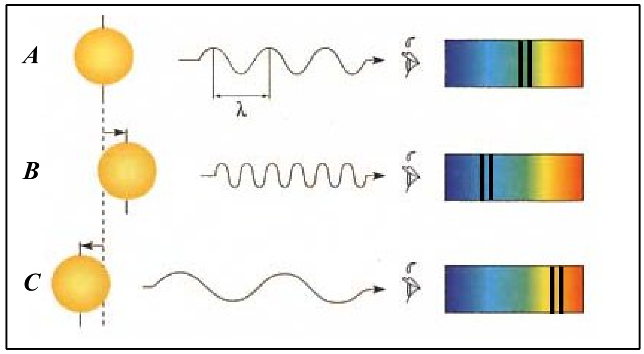
- en approche $\Delta f = f_R - f_E = f_E \times \left(\frac{v}{c}\right)$
- en éloignement $\Delta f = f_R - f_E = -f_E \times \left(\frac{v}{c}\right)$

II. Application à l'astronomie

Le spectre de la lumière émise par une étoile comporte des raies d'absorption caractéristiques des éléments présents dans l'atmosphère qui l'entoure.

- En appliquant les travaux de Christian DOPPLER à la lumière, Hippolyte FIZEAU a postulé que :

  - si une étoile s'approche d'un observateur, les raies d'absorption de son spectre doivent apparaître décalées vers les petites longueurs d'onde (blueshift).
  - Inversementsi l'étoile s'éloigne de l'observateur, les raies d'absorption de son spectre doivent apparaître décalées vers les grandes longueurs d'onde **s** (redshift).
  - La mesure de ce décalage de longueur d'onde $\Delta\lambda$ permettrait de calculer la vitesse radiale de l'étoile.



⇧ ***Figure 10 : Effet Doppler – Fizeau***

A : Etoile immobile par rapport à l'observateur
B : Etoile qui s'approche de l'observateur C : Etoile qui s'éloigne de l'observateur

	Décalage vers basses fréquences	***Décalage vers hautes fréquences***
Pour le son	*Son plus grave*	*Son plus aigu*
Pour la lumière	*Lumière plus rouge*	*Lumière plus bleutée*

Le décalage de longueur d'onde du à l'effet Doppler- Fizeau permet de calculer la vitesse d'éloignement ou de rapprochement d'une étoile par rapport à la Terre.

<u>A noter :</u>

Edwin Hubble remarque en 1929 que plus une galaxie est distante de nous, plus son spectre apparaît décalé vers le rouge.
Il en conclut que plus une galaxie est distante plus elle s'éloigne vite de nous.

Cette observation est à l'origine de la découverte de l'expansion de l'Univers et est la première observation directe en faveur de la théorie du ***Big Bang***.