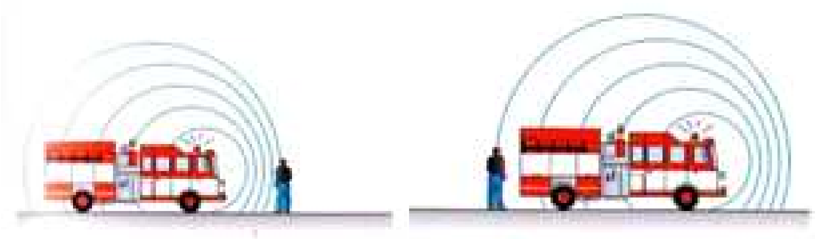
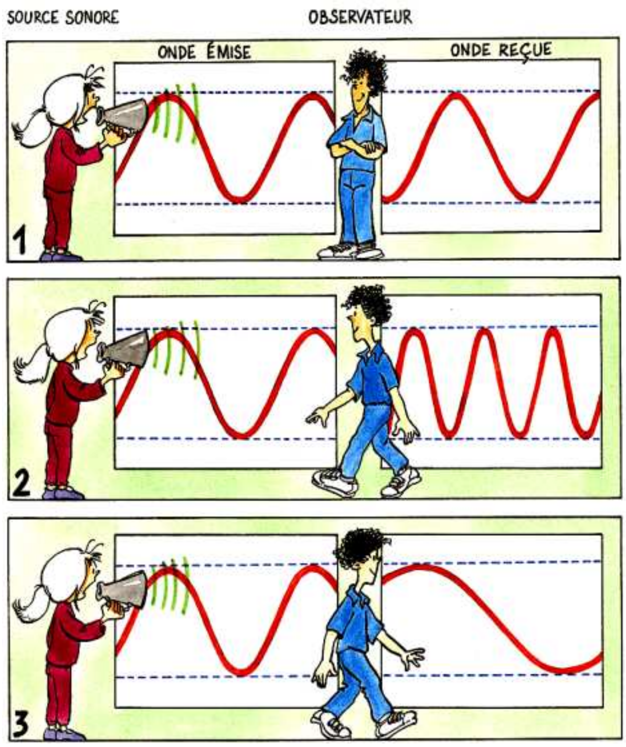
CHAPITRE N°6 **PARTIE A** **TS**

PROPRIETES DES ONDES partie 3
EFFET DOPPLER

I. Définition



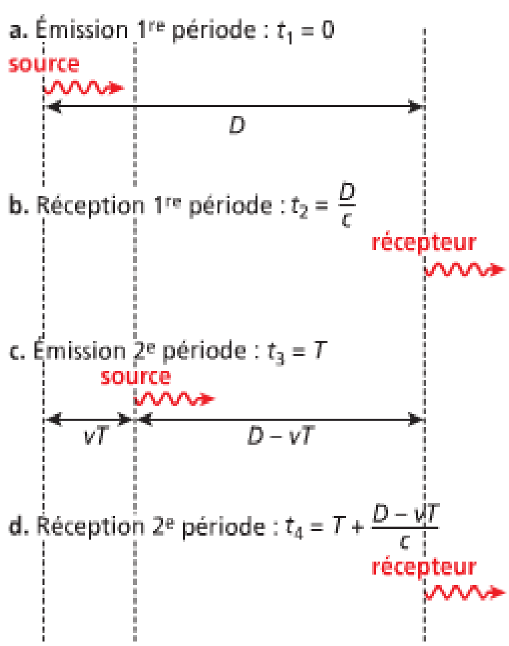


Lorsque la sirène d'un camion de pompier s'approche, le son perçu par un observateur fixe au bord de la route parait plus aigue, puis plus grave lorsque celle-ci s'éloigne

L'effet doppler se manifeste par un changement de fréquence, de période et de longueur d'onde de l'onde perçue par un observateur lorsque celui-ci s'éloigne ou se rapprochent l'un de l'autre
- **la fréquence augmente s'il se rapproche**
- **la fréquence diminue s'il s'éloigne**

II. Expression de la fréquence perçue

Soit une source qui émet des ondes périodique, de période **T**, se propageant dans le milieu à la célérité **c**
Elle se déplace à la vitesse **v** en direction d'un observateur fixe



- A la date $t_1 = 0$; la première période de l'onde est émise lorsque la source est à la distance D de l'observateur (a)
- Celui-ci la reçoit à la date $\mathbf{t_2 = \frac{D}{c}}$
- La deuxième période de l'onde est émise à la date $t_3=T$: la source ayant parcourue la distance v.T, elle se trouve à D-v.T de l'observateur (c)
- La durée de son trajet jusqu'à l'observateur est alors : $\frac{D-v.T}{c}$ L'observateur la reçoit donc à la date $\mathbf{t_4=T+\frac{D-v.T}{c}}$ (d)
- Pour l'observateur la période perçue de l'onde est alors : $\mathbf{T_{perçue}} = t_4-t_2$ soit $T_{perçue} = T - \frac{v.T}{c} = \mathbf{T.\left(1-\frac{v}{c}\right)}$

L'onde perçue peut aussi être caractérisée par sa fréquence $f_{perçue}$ ou sa longueur d'onde $\lambda_{perçue}$:

$$\begin{cases} f_{perçue} = \dfrac{1}{T_{perçue}} = \dfrac{1}{T.\left(1-\dfrac{v}{c}\right)} = \dfrac{f_{émise}}{\left(1-\dfrac{v}{c}\right)} = f_{émise}.\left(\dfrac{c}{c-v}\right) \\ \lambda_{perçue} = c.T_{perçue} = c.T.\left(1-\dfrac{v}{c}\right) = \lambda_{émise}.\left(1-\dfrac{v}{c}\right) \end{cases}$$

<u>Remarque :</u> si la source s'éloigne de l'observateur fixe, le raisonnement est identique. Il suffit de remplacer dans les expressions –v.T par +v.T puisqu'il y a éloignement.

On a donc la fréquence de l'onde perçue par l'observateur qui est égale à :

→ $\boxed{f_{perçue} = f_{émise}.\left(\dfrac{c}{c-v}\right)}$ **lorsque la source et le récepteur se rapprochent**

→ $\boxed{f_{perçue} = f_{émise}.\left(\dfrac{c}{c+v}\right)}$ **lorsque la source et le récepteur s'éloignent**

Avec :
- $f_{perçue}$: la fréquence de l'onde perçue par l'observateur (Hz)
- $f_{émise}$: la fréquence de l'onde émise par l'objet (Hz)
- v : vitesse de l'objet par rapport à l'observateur ($m.s^{-1}$)
- c : célérité de l'onde émise par l'objet dans le milieu ($m.s^{-1}$)

III. <u>Applications</u>

L'effet Doppler permet de mesurer la vitesse d'une source, en mesurant l'écart de fréquences $\delta f = f\dfrac{v}{c}$ entre l'onde émise et l'onde perçue par l'observateur.

En astronomie, l'analyse du spectre de la lumière émise par un astre permet de déceler un décalage en fréquence par rapport au spectre obtenu au laboratoire. Ce décalage est dû au fait que l'astre se déplace par rapport à la Terre. Si l'astre se rapproche de la Terre, la fréquence augmente (décalage vers le bleu) ; elle diminue si l'astre s'éloigne (décalage vers le rouge) (Fig. 20).

La mesure du décalage permet d'estimer la vitesse de l'astre : par exemple s'il s'éloigne de nous, la fréquence d'une raie d'absorption qui, pour une source immobile, a la valeur f, prend une valeur diminuée de $\delta f = f\dfrac{v}{c}$, ce qui permet de calculer $v = c\dfrac{\delta f}{f}$.

L'effet Doppler est aussi utilisé en médecine pour mesurer la vitesse du sang et ainsi connaître son débit, en utilisant des ondes ultrasonores (Fig. 21).

C'est également le principe de certains radars : une onde est émise en direction d'un objet en déplacement sur lequel elle se réfléchit. L'émetteur étant également le récepteur, la comparaison entre la fréquence de l'onde émise et celle de l'onde reçue permet d'en déduire la vitesse de l'objet en déplacement. Les radars balistiques, de contrôle routier ou aérien fonctionnent ainsi.

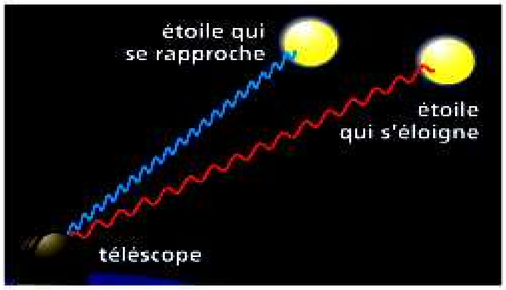
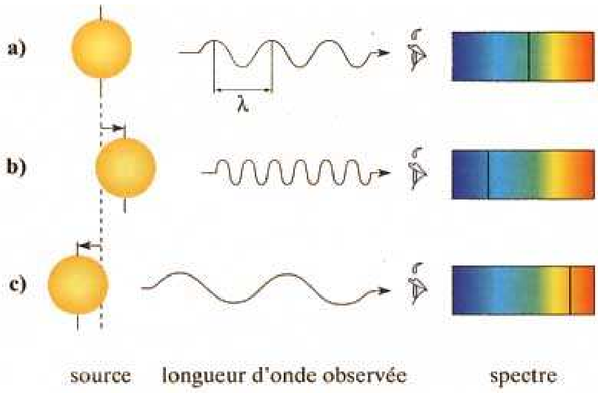


Fig. 20 Décalage vers le bleu ou le rouge selon que l'étoile se rapproche ou s'éloigne.


Fig. 21 Mesure de la vitesse du sang par effet Doppler.



Dans le cas ou la vitesse de la source v est faible par rapport à la célérité de l'onde, l'expression de la fréquence perçue se simplifie :

$$f_{perçue} = \frac{f}{\left(1-\frac{v}{c}\right)} = f.\frac{\left(1+\frac{v}{c}\right)}{\left(1+\frac{v}{c}\right).\left(1-\frac{v}{c}\right)} = f.\frac{\left(1+\frac{v}{c}\right)}{1^2+\left(\frac{v}{c}\right)^2} = f.\frac{\left(1+\frac{v}{c}\right)}{1^2+0} = f.\left(1+\frac{v}{c}\right)$$

En effet si v est faible devant c alors v² est encore plus faible devant c² et v²/c² tend vers 0

On a donc la fréquence de l'onde perçue par l'observateur qui est égale à :

→ $\boxed{\mathbf{f_{perçue} = f_{émise} . \left(1+\frac{v}{c}\right)}}$ **lorsque la source et le récepteur se rapprochent**

→ $\boxed{\mathbf{f_{perçue} = f_{émise} . \left(1-\frac{v}{c}\right)}}$ **lorsque la source et le récepteur s'éloignent**

Avec :
- $f_{perçue}$: la fréquence de l'onde perçue par l'observateur (Hz)
- $f_{émise}$: la fréquence de l'onde émise par l'objet (Hz)
- v : vitesse de l'objet par rapport à l'observateur ($m.s^{-1}$)
- c : célérité de l'onde émise par l'objet dans le milieu ($m.s^{-1}$)