

Effet Doppler.

Niveau T spé

Pré Requis : signal périodique, onde progressive, mécanique, électromagnétique

Introduction.

Dans l'enseignement de spé Phys.-Chimie de 1^{er} les ondes mécaniques sont étudiées

"double périodicité"

- fréquences

L'effet Doppler est ici expliqué et étudié pour déterminer une vitesse. Souvent introduit par l'exemple de l'ambulance.

1. Description et explication.

a) Historique

Effet Doppler : variation de fréquence (longueur d'onde) d'une onde mécanique ou électromagnétique en fonction de la vitesse relative de la source et du récepteur

→ Doppler : XIX^es Autrichien : observe le phénomène mais ne l'explique pas.

Effet Doppler Fizeau : pour les ondes lumineuses

→ Fizeau XIX^es Français

b) Analyse physique du phénomène

Source et récepteur sont en mouvement relatif $\Rightarrow f_R \neq f_S$

Décalage Doppler : $\Delta f = f_R - f_S$

$\Rightarrow$ Fréquence d'un signal périodique dépend du référentiel dans lequel il est observé

f_S ne varie pas dans son référentiel mais f_R qui

période détectée à la source est la période propre T

$$T = t_{e2} - t_{e1}$$

soit t_{e1} : instant de l'émission du signal i

période apparente $T_a = t_{R2} - t_{R1}$

or la distance source-récepteur varie $\Rightarrow$ tps de trajet entre la 1^{ère} émission

et sa réception et la 2^{ème} sont ≠

$$\Delta t_1 \neq \Delta t_2$$

$$T_a - T = \Delta t_2 - \Delta t_1$$

$$T_a = T + \Delta t_2 - \Delta t_1$$

⇒ Il faut étudier ≠ cas. - It immobile

- se s'approche
- se s'éloigne
- Sez immo et receveur s'approchant
- se et receveur mobile

⇒ pas traiter car hors programme

c) ≠ cas

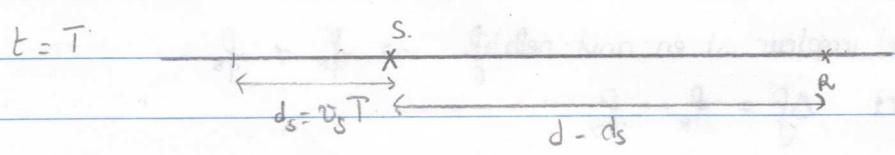
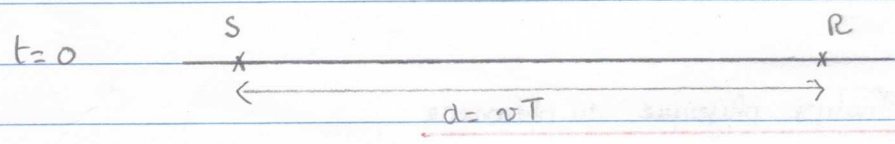
→ Tout immobile:

$$T = t_{re} - t_{se}$$

$$T_a = t_{R_2} - t_{R_1}$$

$$T_a = T \Rightarrow f_a = f$$

Source s'approchant du receveur immobile



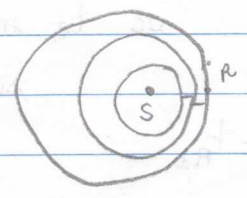
$$T_a = \frac{d - d_s}{v} = \frac{vT - v_s T}{v} = T \frac{(v - v_s)}{v}$$

$$f_a = f_a = f$$

$$f_a = f \frac{v}{v - v_s}$$

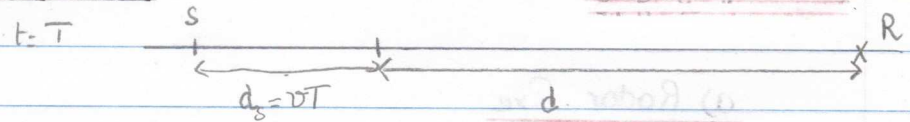
$$f_a < f$$

$$\frac{v - v_s}{v} = \frac{\Delta f}{f}$$



TP: petit train et détermination de sa vitesse

Source s'éloignant du récepteur.

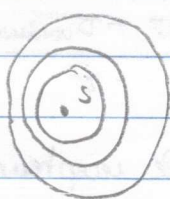


$$d_{12} = d_s + d = T(v + v_s)$$

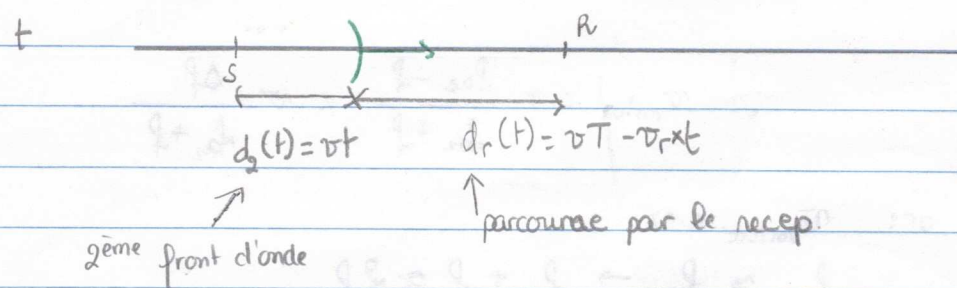
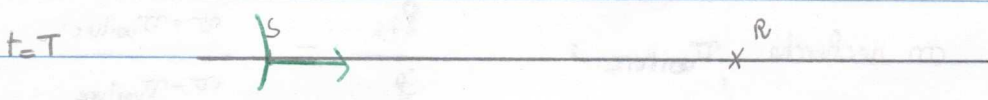
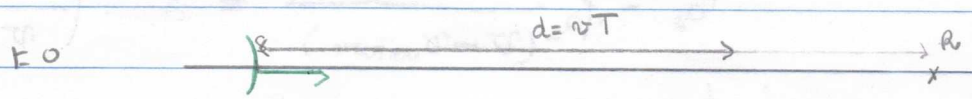
$$T_a = T \frac{v + v_s}{v}$$

$$f_a = f \frac{v}{v + v_s}$$

$$f_a < f$$



Source immobile et récepteur s'approchant (hors programme)



période apparente est l'instant où le front d'onde et le récepteur vont se rencontrer

$$vT_a = vT - v_r T_a$$

$$T_a = T \frac{v}{v + v_r}$$

$$f_a = f \frac{v + v_r}{v}$$

II7 Applications.

a) Radar fixe

onde électromagnétique.

Se immobile mais récepteur est aussi fixe

→ micro-onde de freq f

signal réfléchi sur la voiture ac freq $\neq$

1) Fréquence apparente reçue par la voiture

$$f_{a_1} = f \times \frac{v + v_{\text{voiture}}}{v}$$

2) La source (voiture) est en mouvement et le récepteur (radar) immobile
réflexion ne modifie pas la fréquence → *mon loi de Doppler plus valable*

$$f_{a_2} = f_{a_1} \frac{v}{v - v_{\text{voiture}}} = f \left(\frac{v + v_{\text{voiture}}}{v - v_{\text{voiture}}} \right)$$

on cherche v_{voiture} :

$$\frac{f_{a_2}}{f} = \frac{v + v_{\text{voiture}}}{v - v_{\text{voiture}}}$$

$$v_{\text{voiture}} = v \frac{f_{a_2} - f}{f_{a_2} + f} = v \frac{\Delta f}{f_{a_2} + f}$$

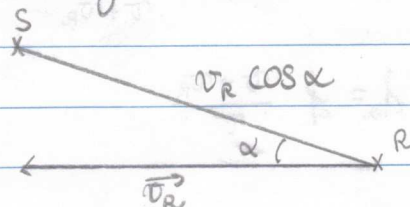
or: $v_{\text{voiture}} < v$

$$f_{a_2} \approx f \rightarrow f_{a_2} + f \approx 2f$$

$$v_{\text{voiture}} = v \frac{\Delta f}{2f}$$

faire une application numérique

mais ici! il y a un angle entre SR et vitesse de déplacement



→ freq des radars des gendarmes

$$v_R \cos \alpha = v \frac{\Delta f}{2f}$$

$$\Rightarrow v_{\text{voiture}} = \frac{v \Delta f}{\cos \alpha 2f}$$

α petit $\Rightarrow$ négligeable - car $\cos \alpha \approx 1$

hors programme

⑥

Phénomène de battement:

→ s'entend en musique, dû au mélange de 2 sons dont les fréq fond ~~est~~ sont voisines.

S'obtient en additionnant les 2 signaux de pulsations proches.

$$\omega_1 = 2\pi f_1 \text{ et } \omega_2 = 2\pi f_2$$

On suppose l'amplitude de 2 signaux A égales et déphasage nul

$$\begin{aligned} S(t) &= A \cos(\omega_1 t) + A \cos(\omega_2 t) \\ &= 2A \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right) \times \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right) \end{aligned}$$

$$S(t) = 2A \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right) \times \cos\left(\frac{\Delta\omega}{2} t\right) \quad \Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$$

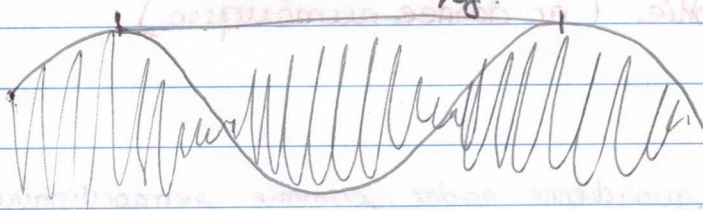
$$\omega_i = 2\pi f_i \text{ alors } S(t) = 2A \cos\left(\frac{f_1 + f_2}{2} 2\pi f t\right) \times \cos\left(\frac{\Delta f}{2} 2\pi t\right)$$

→ la Σ des 2 signaux $\Rightarrow$ sinusoïde de fréq égales à la moyenne des 2 fréq multipliée par une sinusoïde de fréq égale à $\frac{\Delta f}{2}$ modulée

Sur l'oscilloscope, on mesure la période de battement

$$T_B = \frac{2}{\Delta f}$$

$$T_B = 2/\Delta f$$



$$f_r = \frac{d_c}{1 - \frac{v_T}{v_c}}$$

$T_B = 416 \text{ ms}$
 $\Delta f = 1,181$
 $T_B = 150 \text{ ms}$

(7)

$$1 - \frac{v_T}{v_c} = \frac{d_c}{f_r}$$

$$\Delta f = f_r - f_c$$

$$- \frac{v_T}{v_c} = \frac{f_c}{f_r} - 1$$

$$= \frac{d_c - f_r}{f_r}$$

$$\frac{v_T}{v_c} = \frac{-\Delta f}{f_r}$$

$$v_T = v_c \left(\frac{-\Delta f}{f_r} \right)$$

$$= 355 \left(\frac{2,33}{2,33 \times 10^3} \right)$$

$$f_r = \Delta f + f_c$$

=

$$v_T = 0,020 \text{ m s}^{-1}$$

$$4,3 \text{ cm s}^{-1}$$

$$11,8 \text{ cm s}^{-1}$$

$$v_T = v_c \frac{\Delta f}{f_r}$$

=