

# LP 19 : L'effet Doppler.

Niveau: Supérieur

- Pré requis:
- Ondes, surfaces d'ondes, propagation
  - Analyse spectrale par transformée de Fourier
  - Développement limité
  - Incertitudes
  - Trigonométrie
  - Filtrage passe-bas.

- Intro péda: → Notion déjà vue au lycée par les élèves de filière S. Formule connue mais pas sa démonstration.
- Aborder en BCPST 2 dans le thème signal et rayonnement
  - Compétences exigibles : démonstration + mesure de vitesse (compétence expérimentale)
  - Exemple au programme : l'échographie Doppler.

- Objectifs:
- \* Démontrer la formule qui leur est connue
  - \* Mettre en application un protocole de mesure de vitesse par effet Doppler.

TD: étude de l'effet Doppler - fizeau

TP: utilisation du banc Doppler.

Intro: → Son d'une ambulance en mouvement.

⇒ la fréquence perçue change lorsque l'ambulance est en mouvement:

- plus aigu quand elle se rapproche
- plus grave quand elle s'éloigne.

C'est l'effet Doppler = décalage en fréquence entre onde émise par la source et onde reçue par le récepteur lorsqu'ils sont en mouvement relatif.

→ Historique: - découvert en 1842 par Johann Doppler  
HECHT p. 517 - vérifié par Ballot en 1845

Objectifs: \* Savoir démontrer la formule de l'effet Doppler

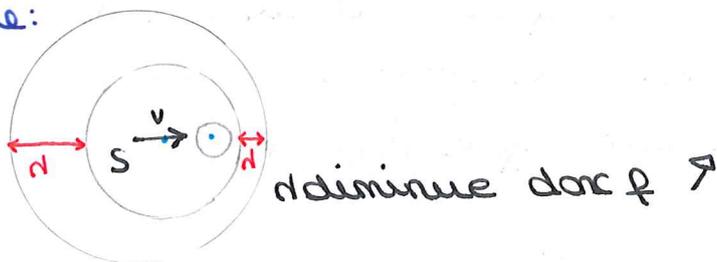
\* Mettre en œuvre un protocole de mesure de vitesse

## 1 - Description de l'effet Doppler

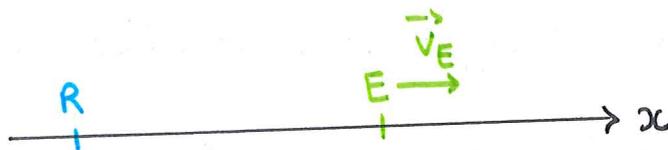
### A) Lien entre vitesse et décalage en fréquence

→ Mise en évidence:

slide:



→ Démonstration:



Hyp:  
 $v_E \ll c$ .

$$T_R = t_2 - t_1 = T_E + \frac{d + v_E T_E}{c} - \frac{d}{c} = T_E \left( 1 + \frac{v_E}{c} \right)$$

$$\text{Donc } f_R = f_E \left( 1 + \frac{v_E}{c} \right)^{-1} \underset{\text{DL1}}{\approx} f_E \left( 1 - \frac{v_E}{c} \right)$$

→ Généralisation:  $f_R = f_E \left( 1 - \frac{v}{c} \right)$  avec  $v$  la vitesse relative algébrique:

GRECIAS ROSE p. 391

$$\Delta f = \frac{v}{c} f_E$$

\*  $v > 0$  si éloignement

\*  $v < 0$  si rapprochement

Tr:  $v \ll c$  donc  $\Delta f / f_E$  est très faible. Comment se mesurer?

## B) Mise en pratique: mesure d'une vitesse.

**Expérience:** Mesure directe avec le banc  $\Rightarrow$  trop d'incertitudes.

→ Utilisation d'un multiplicateur:

$$\left. \begin{array}{l} s_e(t) = s_e^0 \cos(2\pi f_e t) \\ s_r(t) = s_r^0 \cos(2\pi f_r t) \end{array} \right\} s_m(t) = \frac{1}{2} s_e^0 s_r^0 \left[ \cos(2\pi (f_e - f_r) t) + \cos(2\pi (f_e + f_r) t) \right]$$

**Expérience:** Mesure avec juste le multiplicateur + TF  
 $\Rightarrow$  2 signaux de fréquences différentes

→ Utilisation d'un filtre passe-bas (RC):

Ne laisse passer que des fréquences  $> f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

**Expérience:** Mesure avec multiplicateur + filtre RC + TF  
 (signal aux bornes de C).

$\Rightarrow$  1 signal de fréquence  $\Delta f$ .

→ En préparation: le faire avec plusieurs vitesses  $\Rightarrow$  droite d'étalonnage

En leçon: avec une vitesse inconnue.

Tr: Montage permettant de mesurer des vitesses faibles

$\Rightarrow$  application médicale.

## II - Ecographie Doppler.

### A) Calcul de la vitesse du sang.

→ Slide avec schéma.

GRECIAS ROSE p. 12, BUP 798 p. 1927

Sonde = émetteur et récepteur

Réflexion par les hématies.

Fréquence reçue et émise par les hématies :  $f_r = f_e \left(1 - \frac{v \cos \theta}{c}\right)$

Fréquence reçue par la sonde :  $f_r' = f_e \left(1 - \frac{2v \cos \theta}{c}\right)$

$$\Rightarrow \Delta f = 2f_e \frac{v \cos \theta}{c}$$

→ calcul : GRECIAS p. 412

$f_e = 3 \text{ MHz}$ ,  $f_r - f_e = 1,5 \text{ kHz}$  et  $c = 1,5 \text{ km.s}^{-1}$  et  $\theta = 0$

$$\Rightarrow v = 0,37 \text{ m.s}^{-1} = 37 \text{ cm.s}^{-1}$$

### B) Limites de l'échographie Doppler continue.

→ les anomalies de vitesse circulatoire (sténose) non retrouvées

→ manque de précision sur  $\theta$  et donc sur  $\vec{v}$ .

→ Pas d'info sur le diamètre des vaisseaux.

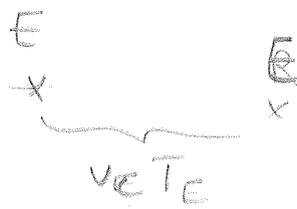
Conclusion : → Effet Doppler pour la mesure de vitesse puisque  $\Delta f$  est lié à  $v$ .

ouverture : pas limité aux ondes sonores. Effet Doppler - Fizeau pour les radars

Bibliographie : - Grecias BCPST 2

- BUP 798

- HECHT Physique.



À  $t=0$  : E émet

À  $t_0$  : R reçoit

$$t_0 = \frac{d}{c}$$

$$f_E = \frac{1}{T_E}$$

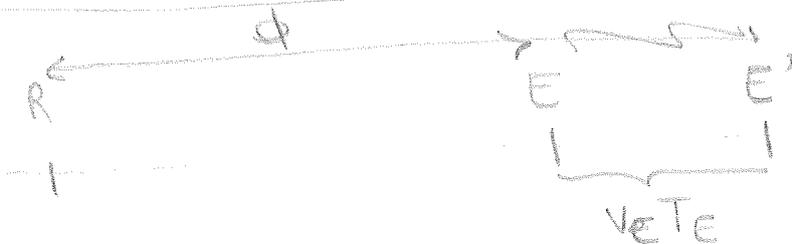
À  $T_E$  : E émet

$$f_R = \frac{c}{v_E} \times f_E$$

À  $t_1 = \frac{d + v_E T_E}{c} + T_E$  R reçoit

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

$$T_R = t_1 - t_0 = \frac{d + v_E T_E}{c} + T_E$$



À  $t=0$  : émission

Réception à  $t_1 = \frac{d}{c}$

Emission n°2 à  $t = T_E$

2° réception à  $t_2 = T_E + \frac{d + v_E T_E}{c}$

$$T_R = t_2 - t_1 = T_E \left( 1 + \frac{v_E}{c} \right)$$

$$f_R = \frac{1}{T_E \left( 1 + \frac{v_E}{c} \right)} = \frac{f_E}{\left( 1 + \frac{v_E}{c} \right)} \stackrel{DL1}{=} f_E \left( 1 - \frac{v_E}{c} \right)$$

Généralisation :  $f_R = f_E \left( 1 - \frac{v}{c} \right)$

avec  $v$  la  
vitesse algébrique  
relative  
du récepteur - émetteur



$$t_1 = \frac{d}{c} \quad t_2 = T_E + \frac{d + vT_E}{c}$$

$$t_R = T_E \left( 1 + \frac{v}{c} \right)$$

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \quad f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$f_c = 10 \text{ kHz}$$

$$RC = \frac{1}{2\pi f_c} = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

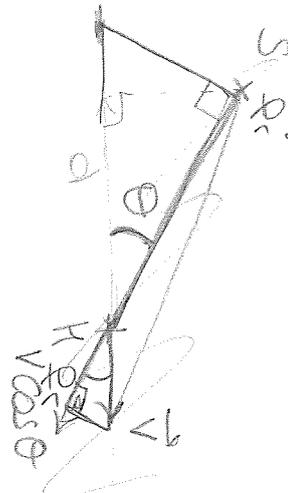
$$R = 100 \Omega$$

$$R = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 1,6 \cdot 10^{-8} = 20 \text{ nF}$$

$$t_R = \frac{d \cos \theta}{c \cos \theta} \quad t_2 = T_E + \frac{d + vT_E \cos \theta}{c \cos \theta}$$

$$T_R = T_E + \frac{vT_E \cos \theta}{c \cos \theta} = T_E \left( 1 + \frac{v \cos \theta}{c} \right)$$



$$t_R' = T_E \left( 1 + \frac{v \cos \theta}{c} \right)$$

$$t_R'' = T_E \left( 1 + \frac{v \cos \theta}{c} \right)^2$$

$$t_R''' = T_E \left( 1 - \frac{2v \cos \theta}{c} \right)$$

$$t_R'''' = T_E - \frac{2v \cos \theta}{c} T_E$$