

**Extraits du programme :****Partie 2 - Formation expérimentale**

<b>Ondes</b> Mesure d'une célérité.	Mesurer la célérité d'une onde par diverses méthodes : étude d'ondes progressives en propagation libre, étude d'ondes stationnaires.
--	--

**Partie 3 - Formation disciplinaire : PHYSIQUE DES ONDES**

Effet Doppler.	<b>Mettre en œuvre une détection hétérodyne (=détection synchrone) pour mesurer une vitesse par décalage Doppler.</b>
----------------	---

**RADAR A EFFET DOPPLER**

Le but de ce travail consiste à mesurer la vitesse d'un mobile par effet Doppler grâce à des ondes acoustiques ultrasonores ; cela nécessite de connaître la vitesse des ultrasons utilisés que vous mesurerez d'abord.

**1. Préparation :****1.1 Mesure de c :**

On considère un émetteur E placé en  $x=0$  et relié à un générateur basse fréquence émettant un signal de fréquence  $f$  connue ; le signal émis s'écrit :

$$e(t) = E \cdot \cos(\omega t).$$

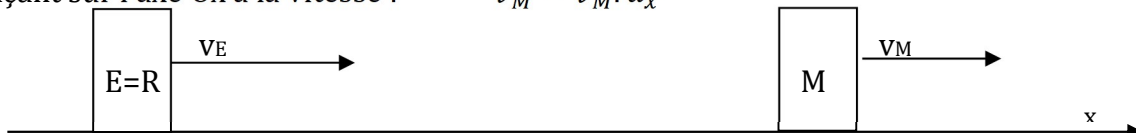
Le signal est reçu par un récepteur R placé à l'abscisse  $x$  ; il s'écrit :

$$s(t) = S \cdot \cos(\omega t - kx).$$

Pour quelles valeurs de  $x$  les signaux  $e(t)$  et  $s(t)$  sont-ils en phase ? Quelle distance sépare deux valeurs consécutives de  $x$  ? En déduire l'expression de  $c$  en fonction de cette distance et la fréquence. En déduire un protocole simple permettant de mesurer la célérité des ondes acoustiques dans l'air. Quelle valeur approximative attendez-vous ?

**1.2. Effet Doppler longitudinal :**

On considère un émetteur E, de vitesse :  $\vec{v}_e = v_e \cdot \vec{u}_x$  émettant une onde progressive de fréquence  $f_0$  se propageant à la célérité  $c$ , et un mobile M se déplaçant sur l'axe Ox à la vitesse :  $\vec{v}_M = v_M \cdot \vec{u}_x$



On montre que la fréquence perçue par le mobile M est :  $f_M = f_0 \frac{c - v_M}{c - v_e}$  avec  $v_e = 0$  ici.

Le mobile M réfléchit l'onde reçue et renvoie vers l'émetteur E une onde de fréquence  $f_M$ .

Un récepteur R, placé au même endroit que l'émetteur E, perçoit alors une fréquence  $f_R = f_0 \frac{c - v_M}{c + v_M}$ .

La fréquence Doppler est définie par  $f_{\text{Doppler}} = f_0 - f_R$ .

$$\text{Montrer que } f_{\text{Doppler}} = 2f_0 \frac{v_M}{c} \text{ avec } v_M \ll c.$$

La vitesse du  $v_M$  mobile peut donc se déduire de  $f_{\text{Doppler}}$ , connaissant  $c$ . On doit donc mesurer  $f_{\text{Doppler}}$ . Quel est l'ordre de grandeur de  $f_{\text{Doppler}}$ , sachant que les vitesses mesurées ne dépasseront pas le centième de la vitesse du son dans l'air ?  $f_0 \approx 40$  kHz.

Une méthode de mesure de  $f_{\text{Doppler}}$  consiste à mesurer  $f_R$  et  $f_0$ , et à faire la différence.

Que vaut dans ce cas l'incertitude-type sur  $f_{\text{Doppler}}$ , sachant que  $f_R$  et  $f_0$  sont de l'ordre de  $f_0 \approx 40$  kHz et sont connues au mieux à 1% près ?

En déduire que cette méthode n'est pas suffisamment précise pour mesurer  $f_{\text{Doppler}}$ . On utilisera une méthode de **détection synchrone**.

### 1.3 Principe de la détection synchrone :

Le signal émis par E est :

$$e(t) = E \cdot \cos(2\pi f_0 t)$$

Le signal reçu par R est :

$$s(t) = E' \cdot \cos(2\pi f_R t + \varphi)$$

On multiplie les deux signaux grâce à un multiplieur de facteur k. Le signal de sortie  $v_s(t)$  du multiplieur s'écrit alors :

$$V_s(t) = kEE' \cdot \cos(2\pi f_0 t) \cdot \cos(2\pi f_R t + \varphi) = kEE'/2 [ \cos(2\pi(f_0 - f_R)t - \varphi) + \cos(2\pi(f_0 + f_R)t + \varphi) ]$$

Quelles sont les composantes de fréquence présentes dans  $v_s(t)$  ?

Quel filtrage faut-il mettre en œuvre pour accéder au signal de fréquence  $f_{\text{Doppler}} = f_0 - f_R$  ?

Proposer un filtre et une valeur de sa fréquence de coupure sachant qu'on ne désire pas mesurer de vitesses supérieures à  $2 \text{ m.s}^{-1}$  ( $c \approx 340 \text{ m.s}^{-1}$  ;  $f_0 \approx 40 \text{ kHz}$  ).

Représenter le schéma électrique du montage à réaliser.

En fait, le signal  $e(t)$  est un carré de fréquence  $f_0$ ,  $s(t)$  étant toujours sinusoidal de fréquence  $f_R$ . Cela est-il gênant ? Pourquoi ?

## **2. Matériel :**

Vous disposez : d'un générateur d'ultrasons en continu, d'un couple émetteur et récepteur d'ultrasons de fréquence  $f_0 = 40 \text{ kHz}$ , d'une interface sysam connectée à un ordinateur ou d'un oscilloscope, d'un plateau gradué, d'un multiplieur sur plaquette, de composants électroniques divers, d'une alimentation  $\pm 15 \text{ V}$ , d'un écran réfléchissant sur un chariot, du capteur de position laser et du logiciel cassy lab.

## **3. Mesure de la célérité c :**

On rappelle qu'on dispose d'un émetteur d'ultrasons continus et non d'un générateur de salves ultrasonores. Mettre en œuvre le protocole de mesure de c avec son incertitude. (45 minutes maximum !)

L'étude des ondes acoustiques montre la célérité des ondes acoustiques dans un gaz est :  $c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

avec  $\gamma = C_p/C_v = 1,4$  pour l'air,  $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ ,  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$  ; T est la température en K.

Valider la mesure.

## **4. Principe du radar à effet Doppler :**

Le mobile réfléchissant (noté M dans la préparation) est un écran placé sur un chariot entraîné par un moteur.

Placer E et R côte à côte face au mobile.

Réaliser le circuit à mettre en œuvre pour mesurer la fréquence Doppler.

Appel professeur

Préparer l'oscilloscope ou latis pro pour une acquisition unique de 500 ms, puis mettre le mobile en mouvement.

Après avoir précisé le protocole utilisé, mesurer la fréquence du signal obtenu. Donner son incertitude.

En déduire la vitesse du mobile et son incertitude.

Comparer, après avoir expliqué le protocole de mesure, à la vitesse donnée par le capteur laser et le logiciel Cassy Lab.

Remarque : les radars de gendarmerie type « Mesta » fonctionnent sur le même principe, mais avec des ondes électromagnétiques centimétriques de fréquence proche de 24 GHz.