

TP31 : Effet Doppler

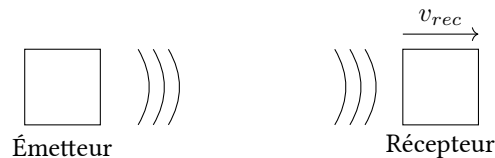
MATÉRIEL : Émetteur et récepteur ultrasons, GBF, réglette support, webcam, oscilloscope, multiplieur analogique, fils.

1 Objectif du TP

L'objectif de ce TP est de présenter le principe de la mesure de vitesse par effet Doppler (radars de vitesse, échographie Doppler pour mesurer la vitesse de l'écoulement du sang).

Ne pas oublier qu'une mesure physique doit toujours être associée à une incertitude expérimentale. Penser à lire la notice des appareils pour connaître l'incertitude liée aux valeurs qu'ils fournissent.

2 Principe

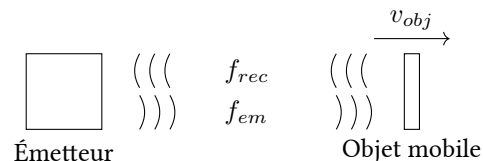


L'effet Doppler est responsable de la variation de la fréquence d'une onde lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement relatif. Considérons une source immobile qui émet une onde de célérité c dans la direction Ox à une fréquence f_{em} . Le récepteur se déplace également dans la direction Ox avec une vitesse v_r . La fréquence de l'onde reçue par le récepteur est alors :

$$f_{rec} = \left(1 - \frac{v_r}{c}\right) f_{em} \quad (1)$$

Dans le cas où l'onde est réfléchi sur un objet en mouvement, celui-ci reçoit une onde de fréquence $f_{obj} = (1 - v_{obj})f_{em}$ qu'il ré-émet mais comme cette fois l'émetteur est en mouvement relatif par rapport à l'objet, il reçoit l'onde réfléchi à la fréquence

$$f_{rec} = \left(1 - \frac{v_{obj}}{c}\right)^2 f_{em} \quad (2)$$



3 Mesure du décalage de fréquence

Le signal reçu réfléchi par l'objet mobile est souvent très faible et il peut être difficile de déterminer sa fréquence. Pour mesurer la différence de fréquence entre deux signaux sinusoïdaux, on utilise le principe de la *détection synchrone*.

Étant donnés deux signaux $u(t) = u_0 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$ et $v(t) = v_0 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$, on calcule le signal $w(t) = u(t) \times v(t)$. On a alors :

$$w(t) = \frac{u_0 v_0}{2} [\cos((\omega_1 + \omega_2)t + \varphi_1 + \varphi_2) + \cos((\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_1 - \varphi_2)]$$

Le signal $w(t)$ comporte donc deux composantes, l'une qui oscille à la pulsation $\omega_1 + \omega_2$ (haute fréquence) et l'autre à la pulsation $\omega_1 - \omega_2$ (basse fréquence).

En faisant passer ce signal dans un filtre passe-bas, on supprime la composante haute fréquence et il ne reste plus qu'un signal de pulsation $\omega_1 - \omega_2$. La mesure de la fréquence de ce signal permet de déterminer le décalage de fréquence des signaux d'origine.

4 Manipulations

On propose de mettre en évidence l'effet Doppler simple (récepteur en mouvement) et l'effet Doppler double (objet en mouvement) sur des ultrasons.

- Mettre en évidence le décalage de fréquence lorsque le récepteur est en mouvement par rapport à l'émetteur.
- Mettre en évidence le décalage de fréquence lorsque les ultrasons sont réfléchis sur un objet en mouvement, le récepteur étant au même niveau que l'émetteur (radar de vitesse)
- Dans l'une des deux situations (ou les deux !) mesurer simultanément le décalage de la fréquence reçue par rapport à la fréquence émise pour différentes vitesses de déplacement du récepteur ou de l'objet.
- Vérifier que les mesures expérimentales sont en accord avec les prévisions théoriques. (On pourra déterminer la vitesse de propagation des ultrasons dans l'air expérimentalement)