

TP 7 – Comment mesurer la vitesse d’un véhicule par effet Doppler ?

S'approprier	Analyser	Réaliser	Valider	Communiquer



OBSERVER Ondes et matière.

- Caractéristiques et propriétés des ondes.
- Propriétés des ondes.

Effet Doppler

Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler.



Matériel nécessaire :

Un véhicule électrique pouvant rouler sur rails à vitesse constante (ici train Fisher Price©).

Un morceau de carton scotché sur le véhicule jouant le rôle de réflecteur.

2 récepteurs d'onde ultrasonore (ici MODUSON de chez Jeulin©).

1 GBF.

1 Oscilloscope (numérique si on souhaite enregistrer les courbes obtenues).

Des fils électriques.

Principe de la mesure :

L'idée est de mesurer le décalage Doppler en fréquence Δf dû à la vitesse du train entre la fréquence émise par l'émetteur d'ultrasons et la fréquence reçue par le récepteur d'ultrasons après réflexion de l'onde ultrasonore sur le train.

L'étude théorique permet de montrer que la vitesse du train s'écrit :

$$v_{\text{train}} = \frac{(f_{\text{reçu}} - f_{\text{émis}}) \times v_{\text{son}}}{2 \times f_{\text{émis}}} = \Delta f \times \frac{v_{\text{son}}}{2 \times f_{\text{émis}}}$$

La fréquence des ondes US émises $f_{\text{émis}}$ est imposée par le GBF (voisine de 40 kHz).

La célérité des ondes US v_{son} dans l'air est connue en fonction de la température.

Reste à mesurer le décalage Doppler $\Delta f = f_{\text{reçu}} - f_{\text{émis}}$

Pour mesurer le décalage Doppler Δf en fréquence, nous allons créer des battements (superposition de 2 ondes de fréquences différentes mais relativement proches) en additionnant à l'oscilloscope deux signaux sinusoïdaux :

1) le signal émis par le GBF de fréquence $f_{\text{émis}}$,

2) le signal reçu par le récepteur, après réflexion sur le train, de fréquence $f_{\text{reçu}}$.

L'addition de deux fonctions cosinus est donnée par :

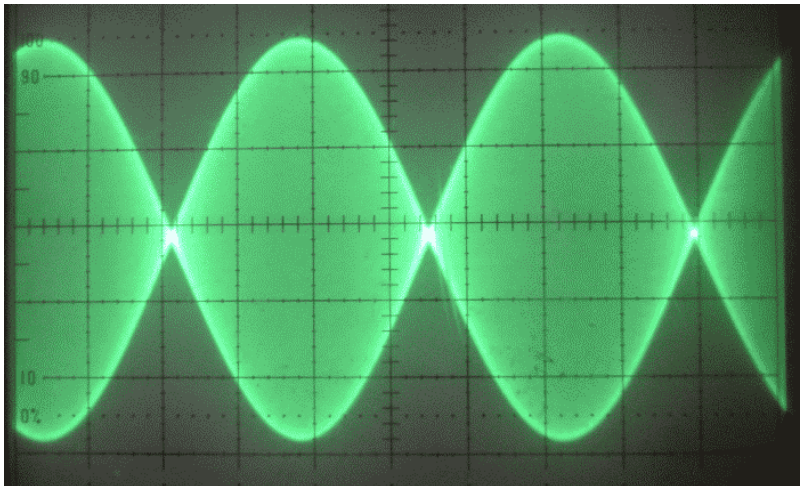
$$\cos a + \cos b = 2 \times \cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \times \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

$$\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t) = 2 \times \cos\left(2\pi \frac{(f_1 + f_2)}{2} t\right) \times \cos\left(2\pi \frac{(f_1 - f_2)}{2} t\right)$$

L'enveloppe d'un tel signal présente des battements dont la fréquence est $(f_1 - f_2)$. Dans notre cas elle sera de

$$\Delta f = f_{\text{reçu}} - f_{\text{émis}}$$

La mesure de Δf sur l'oscilloscope nous permettra de calculer la vitesse du train !



Protocole :

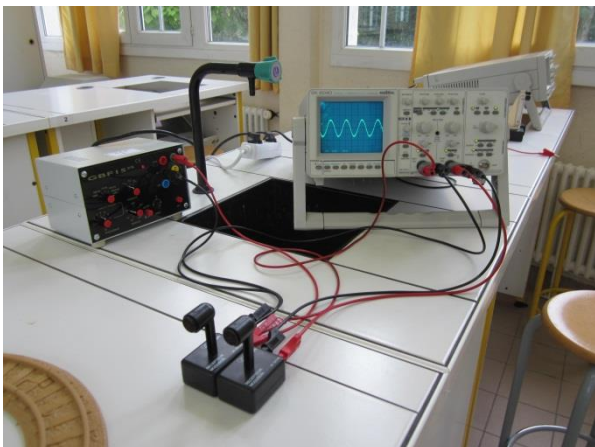
On utilise un premier récepteur d'US que l'on utilise comme émetteur en le reliant directement au GBF.

- Choisir un signal sinusoïdal de fréquence voisine de 40 kHz et envoyer ce signal sur la Voie 1 de l'oscilloscope. Par conséquent, la Voie 1 permet de visualiser le signal émis vers le train (**signal 1 de fréquence $f_{\text{émis}}$**).

- Le second récepteur est relié à la Voie 2 de l'oscilloscope de manière à visualiser sur cette voie le signal reçu par ce récepteur après réflexion sur le train (**signal 2 de fréquence $f_{\text{reçu}}$**).

- L'émetteur et le récepteur sont placés côte à côte face au train pour la mesure.

- Pour les réglages des voies, le train est immobile face à l'émetteur et au récepteur.

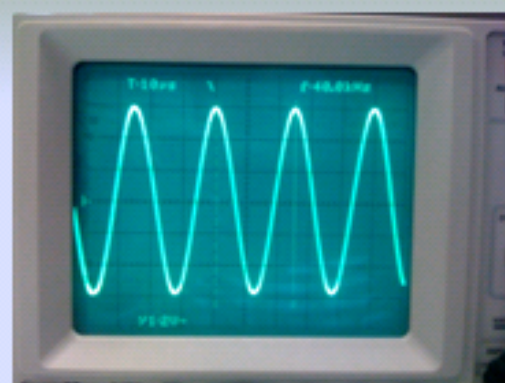


Voie 1

Visualisation du signal émis par l'émetteur :

Base de temps : $b = 10 \mu\text{s/div}$
Sensibilité verticale : $S_1 = 2 \text{ V/div}$

L'onde ultrasonore émise est sinusoïdale de fréquence $f_{\text{émis}} = 40,0 \text{ kHz}$

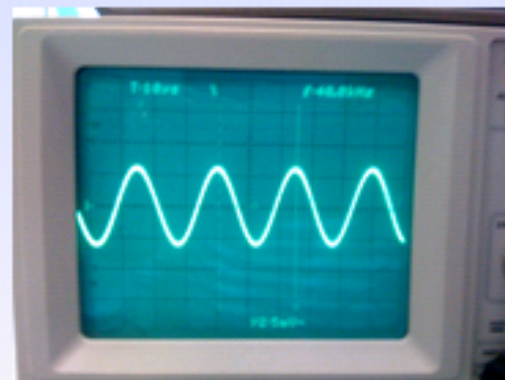


Voie 2

Visualisation du signal reçu par le récepteur :

Base de temps : $b = 10 \mu\text{s/div}$
Sensibilité verticale : $S_2 = 5 \text{ mV/div}$

L'onde ultrasonore reçue est sinusoïdale de fréquence $f_{\text{émis}} = 40,0 \text{ kHz}$ (train immobile), amplitude plus faible que l'onde émise.



Mode DUAL

Passer en Mode **DUAL** pour visualiser les deux courbes à l'écran.

Modifier la sensibilité de la Voie 1 pour que les deux courbes aient une amplitude « **apparente** » identique sur l'écran de l'oscilloscope.

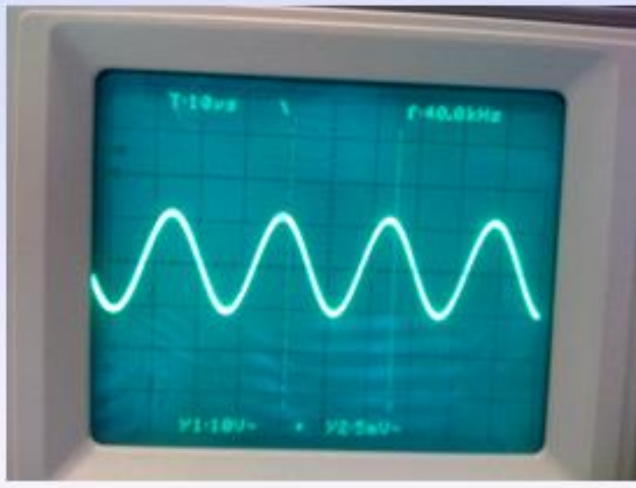
Sur la photo ci-contre les signaux sont superposés :

Base de temps : $10 \mu\text{s/div}$
Sensibilité verticale : $S_1 = 10 \text{ V/div}$
Sensibilité verticale : $S_2 = 5 \text{ mV/div}$



Mode ADD

Les courbes étant centrées et d'amplitudes « apparentes » identiques, utiliser le Mode ADD de l'oscilloscope (l'oscilloscope ajoute alors les deux courbes point par point : addition algébrique des deux signaux)



Il faut changer la base de temps (10 ms) pour le mode ADD, puis mettre le train en route !

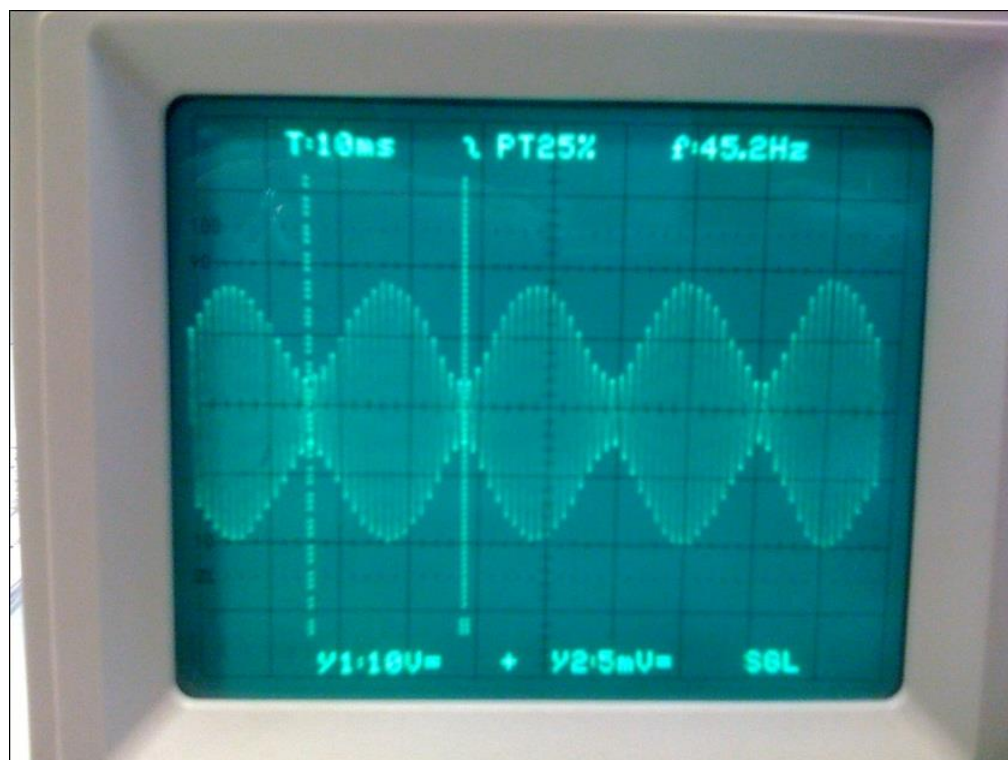
Il reste à mesurer le temps entre 2 battements ;

Nous avons mesuré: $\Delta f =$ Hz et on sait que la célérité du son à 20°C est $v_{\text{son}} = 343\text{m/s}$

Fréquence du signal émis : $f_{\text{émis}} = 40 \text{ kHz}$

On calcule :

$$v_{\text{train}} = \text{m/s}$$



Vérification de la valeur trouvée en mesurant la vitesse moyenne du train en ligne droite sur une table :