

TP1.4 : MESURE D'UNE VITESSE PAR EFFET DOPPLER

Compétence(s)

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

L'effet Doppler ou effet Doppler-Fizeau est le décalage de fréquence d'une onde (onde mécanique, acoustique, électromagnétique, etc.) entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

Objectif

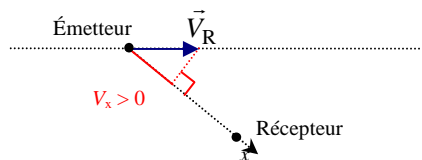
Mesurer la vitesse d'un objet se déplaçant à vitesse constante et émettant un son de fréquence constante grâce à l'effet Doppler.

Document 1 : Vitesse de l'émetteur et décalage en fréquence

Considérons un élément mobile ayant une vitesse V_x par rapport à l'origine du repère O. Cette vitesse est comptée positivement si l'émetteur se rapproche de O, négativement lorsqu'il s'en éloigne.

Si cet élément émet une onde de fréquence ν_e et dont la vitesse de propagation est c , la fréquence de l'onde perçue par un récepteur « immobile » ν_r est liée à ν_e et V_x par la relation :

$$\nu_r = \nu_e \cdot \left(1 + \frac{V_x}{c}\right)$$



$V_x > 0$ si l'émetteur se rapproche du récepteur. $\nu_r > \nu_e$.

$V_x < 0$ dans le cas contraire et $\nu_r < \nu_e$.

Matériel disponible

- Une vidéo montrant un vélo se déplaçant à vitesse à peu près constante et disposant d'une source sonore émettant à fréquence fixe.
- L'enregistrement à sonore du vélo passant à proximité de l'enregistreur.
- Un logiciel d'analyse de son (Audacity)
- Un logiciel d'analyse vidéo (Latis Pro)

Travail demandé

- Regarder la vidéo et écouter l'enregistrement correspondant.

Exploitation de l'effet Doppler

- Déterminer la fréquence reçue avant et après passage du vélo (attention, ne faire cette mesure que bien avant et bien après le passage du vélo).

Paramètres d'affichage du spectre : Hamming window, fréquence logarithmique, profondeur 4096.

Avant passage : 1185 Hz

Après passage : 1215 Hz

- Quelle sont les grandeurs connues ? Les grandeurs inconnues ?

On connaît les fréquences reçues ν_r (avant passage du vélo) et ν_r' (après passage du vélo). On connaît également la vitesse du son $c = 343 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

On ne connaît pas la fréquence émise ν_e et la vitesse V_x du vélo.

- Trouver la relation liant V_x (qui sera assimilée à la vitesse du vélo, car le récepteur se trouve sur la droite de déplacement du vélo) aux grandeurs connues.

On a deux inconnues et deux équations :

$$\nu_r = \nu_e \cdot \left(1 + \frac{V_x}{c}\right) \quad \text{et} \quad \nu_r' = \nu_e \cdot \left(1 - \frac{V_x}{c}\right)$$

Par substitution, on arrive à :

$$V_x = c \cdot \frac{\nu_r - \nu_r'}{\nu_r + \nu_r'}$$

- Créer un fichier Excel permettant le calcul automatique de V_x lorsque l'on rentre ν_r et ν_r' .

$V_x = 4,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Exploitation de la vidéo

- Grâce au logiciel Latis Pro, déterminer la vitesse du vélo à partir de l'enregistrement vidéo.

On pointe un point du cadre du vélo durant une dizaine d'image.

On modélise la position x de ce point en fonction du temps.

Le coefficient directeur de la droite obtenue est la vitesse : $4,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

- Comparer ces 2 vitesses en calculant le pourcentage d'écart qui les sépare.

Il y a environ 5 % d'écart.

Incertitude et sources d'erreur

- En tenant compte des incertitudes portant sur la mesure de fréquence du son, proposer un encadrement de la vitesse du vélo, puis écrire cette vitesse sous la forme $V_x \pm \Delta V_x$.

Considérons que la mesure de la fréquence soit à $\pm 1 \text{ Hz}$, alors :

$$V_{x \min} = 4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \quad \text{et} \quad V_{x \max} = 4,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Donc $V_x = 4,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ce qui est compatible avec la valeur trouvée par l'exploitation de la vidéo.

- Proposer des sources d'erreur dans l'expérience, et des moyens d'améliorer la mesure de vitesse par effet Doppler.

Sources d'erreur pour l'effet Doppler : imprécision d'Audacity pour déterminer la fréquence du son, coups de vent irréguliers lors de l'enregistrement, vitesse du vélo pas parfaitement constante.

Source d'erreur pour le pointage vidéo : imprécision du pointage, déformation de l'image

Améliorations possible : utiliser un logiciel spécialisé dans l'analyse de spectre sonore, opérer dans un endroit sans vent, stabiliser la vitesse du vélo grâce à un compteur de vitesse sur le vélo.