



Activités de la séquence n°10

Mesurer des vitesses à l'aide de l'effet Doppler



Fiches de synthèse mobilisées :

Fiche n°3 : les ondes périodiques

Fiche n°10 : l'effet Doppler



Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 :	la sirène du camion de pompiers	1
ACTIVITÉ 2 :	la voiture était-elle en excès de vitesse ?	2
ACTIVITÉ 3 :	illustration expérimentale du principe d'un vélocimètre	3

ACTIVITÉ 1 : la sirène du camion de pompiers

🎵 Écouter l'extrait sonore diffusé dans la salle de classe (disponible sur le site des collections numérique).

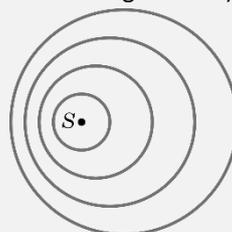
1. Si on ne considère que le « pin » du « pin-pon » joué par la sirène des pompiers, comment sa hauteur évolue-t-elle entre le début et la fin de l'extrait sonore ?
2. En utilisant votre expérience personnelle, que se passe-t-il au moment où la hauteur du son de la sirène est modifiée ?
3. Exploiter les deux réponses précédentes pour établir un lien entre la fréquence du son perçu et le mouvement de la source.
4. Le document 2 donne une modélisation de ce qu'il se passe lorsque le camion avance. Dans quel sens se déplace la source ?
5. Exploiter le document 2 pour justifier l'observation faite à la question 2.

DOCUMENT 1 : sons graves et sons aigus, rappels

Le fait qu'un son soit aigu ou grave est appelé la hauteur du son. Il s'agit d'une propriété liée à la perception du son. La grandeur physique qui détermine la hauteur d'un son est sa fréquence. Plus une onde sonore a une fréquence élevée, plus le son est perçu comme aigu.

DOCUMENT 2 : représentation des fronts d'onde

En admettant que la source soit petite, on peut la représenter par un point S. La figure ci-dessous donne une représentation des fronts d'onde (maxima du signal émis) de l'onde sonore émise par la sirène :





ACTIVITÉ 2 : la voiture était-elle en excès de vitesse ?

DOCUMENT 1 : calcul approché du décalage Doppler

On appelle décalage Doppler la différence (en valeur absolue) entre les fréquences des sons émis et reçus :

$$\Delta f = |f_R - f_E|$$

Si la vitesse v de la source par rapport au récepteur est très inférieure à la célérité de l'onde, on pourra utiliser l'expression approchée :

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

DOCUMENT 2 : ouverture d'un fichier son « .wav » sous Latis Pro

Voici comment obtenir une représentation temporelle du signal à partir d'un fichier sonore « .wav » avec le logiciel Latis Pro :

- Ouvrir Latis Pro.
- Cliquer sur « Fichier » puis « Importation ».
- Dans le menu déroulant en bas de la fenêtre qui s'ouvre, choisir « Fichier son *.wav ».
- Sélectionner le fichier à importer.
- Dans la fenêtre qui s'ouvre, faire glisser « son » dans le cadre « ordonnée » et « temps » dans le cadre « abscisse ».

Cliquer sur OK : la courbe n'a plus qu'à être affichée.

Problème à résoudre :

La voiture dont le son du klaxon a été enregistré circulait sur une portion de route limitée à 50 km/h. Était-elle en excès de vitesse ?

Pour résoudre ce problème on dispose de deux enregistrements (disponibles sur le site des collections numériques) :

- le son du klaxon enregistré depuis le trottoir dans le fichier « klaxon.wav » ;
- le son du klaxon enregistré lorsque la voiture est à l'arrêt dans le fichier « klaxon_arret.wav ».

1. Écrire le protocole détaillé à suivre pour répondre au problème posé.
2. Avec l'accord de l'enseignant, réaliser ce protocole, rendre compte des mesures et calculs effectués (en distinguant bien les deux) et répondre à la question posée.

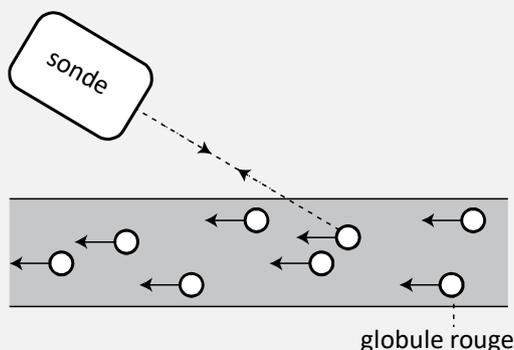
ACTIVITÉ 3 : illustration expérimentale du principe d'un vélocimètre

Dans cette activité nous allons réaliser et exploiter une maquette permettant de représenter la manière dont est mesurée la vitesse des globules rouges dans les veines et les artères : cette technique s'appelle la vélocimétrie par effet Doppler (ou « vélocimétrie Doppler »).

DOCUMENT 1 : mesure « Doppler » d'un débit sanguin

La vélocimétrie par effet Doppler (souvent appelée « le Doppler » par les médecins) est une technique très utilisée pour mesurer la vitesse à laquelle le sang s'écoule dans les vaisseaux. Le principe est le suivant :

- une sonde émet une onde ultrasonore en direction du vaisseau ;
- l'onde ultrasonore est réfléchiée par les globules rouges mais avec une fréquence légèrement modifiée par l'effet Doppler ;
- la sonde reçoit l'onde réfléchiée : la différence entre la fréquence émise et la fréquence reçue (que l'on appelle « décalage Doppler ») permet de déterminer la vitesse des globules.



DOCUMENT 2 : effet Doppler et réflexion des ondes

Si une onde est émise avec une fréquence $f_{\text{émise}}$ et réfléchiée par un obstacle en mouvement à la vitesse v , la fréquence de l'onde réfléchiée est modifiée par effet Doppler.

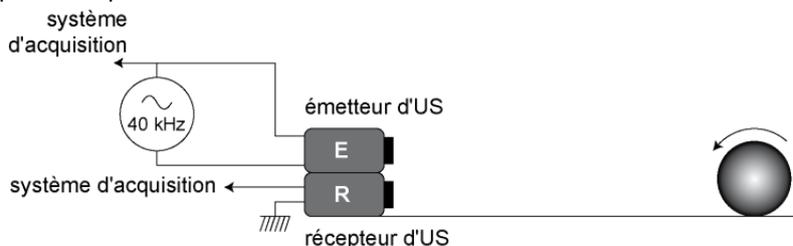
Expression du décalage Doppler :

Si un récepteur est fixe et placé dans la direction du mouvement de l'obstacle réfléchissant, l'onde réfléchiée a une fréquence $f_{\text{réfléchiée}}$ telle que :

$$\delta f = |f_{\text{émise}} - f_{\text{réfléchiée}}| = f_{\text{émise}} \frac{2v}{c}$$

Questions préliminaires : compréhension de l'expérience

Voici le schéma de l'expérience que nous allons faire.



1. Qu'est-ce qui représente, dans notre expérience, un globule rouge ? Qu'est-ce qui représente la sonde ?
2. Quelle(s) grandeur(s) physique(s) devons-nous mesurer avant d'accéder à la valeur de la vitesse de la balle ?
3. Exploiter le document 2 pour établir la relation qui, une fois réalisées les mesures citées à la question précédente, conduira à la vitesse de la balle.



Protocole de l'expérience à réaliser :

Le protocole suivant permet d'enregistrer l'onde ultrasonore émise en même temps que l'onde réfléchi par un objet en mouvement (une balle de ping-pong par exemple).

■ Préparation du dispositif :

Le but des réglages qui suivent est de programmer un déclenchement permettant au système d'acquisition d'enregistrer le signal émis et celui réfléchi par la balle lorsque celle-ci se trouve à environ 10 cm de l'ensemble émetteur + récepteur.

- À une extrémité d'un banc d'optique, fixer un récepteur et un émetteur d'ultrasons côte à côte.
- Alimenter l'émetteur afin qu'il délivre une onde ultrasonore de fréquence voisine de 40 kHz.
- Connecter le récepteur à un dispositif d'acquisition.
- Régler le logiciel Latis Pro pour enregistrer une vingtaine de périodes du signal : durée totale de l'acquisition : 500 μ s, 500 points.
- Poser la balle de ping-pong à 10 cm de l'ensemble récepteur + émetteur.
- Faire une acquisition des deux signaux et mesurer l'amplitude **du signal reçu par réflexion** sur la balle.
- Programmer un déclenchement sur le signal reçu avec un seuil égal à la valeur de l'amplitude mesurée précédemment : ainsi l'enregistrement se déclenchera lorsque la balle arrivera à une dizaine de cm du récepteur.

■ Enregistrement des signaux lorsque la balle est en mouvement :

- Lancer l'acquisition : Latis attend le déclenchement.
- Lancer la balle avec la vitesse la plus élevée possible. Si l'enregistrement n'a pas démarré, recommencer en abaissant un peu la valeur du seuil de déclenchement.

Exploitation de l'acquisition

4. Dans un même repère, réaliser le spectre des deux ondes enregistrées (émise et réfléchi).
5. Réaliser les mesures nécessaires pour déterminer la vitesse qu'avait la balle à l'approche de l'ensemble émetteur + récepteur. Les mesures et calculs seront clairement détaillés.