

Chapitre 4 – Effet Doppler

Activité 1 : A propos de la sirène des pompiers

-
- Écouter l'extrait sonore diffusé dans la classe.
1. Si on ne considère que le « pin » du « pin-pon » joué par la sirène des pompiers (le son le plus aigu des deux), indiquer comment évolue sa hauteur entre le début et la fin de l'extrait sonore.
 2. En utilisant votre expérience personnelle, indiquer la différence entre le mouvement du camion par rapport au micro :
 - au début de l'extrait sonore
 - à la fin de cet extrait
 3. Exploiter les deux réponses précédentes pour établir un lien entre la fréquence du son perçu et le mouvement de la source.
 - Une fois votre réponse écrite, la vérifier en visionnant maintenant la vidéo.
 4. **Autre situation** : frapper un diapason et lui faire faire des allers et retours au voisinage de votre oreille (rapprocher puis éloigner le diapason de votre oreille). Décrire l'effet auditif produit et vérifier que l'effet décrit à la question (c) est bien reproduit ici.

Activité 2 : Trois marins voguent sur les vagues

.....

Trois marins, sur trois bateaux différents, utilisent leurs téléphones pour discuter de l'état de la mer.

Le premier marin a jeté l'ancre mais pas les deux autres.

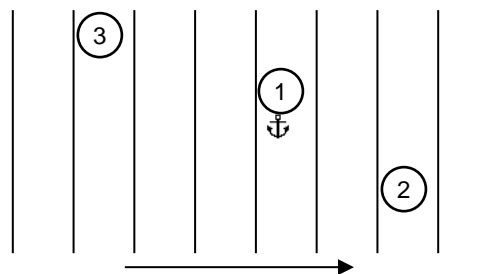
Le premier marin dit à ses collègues : « La mer est agitée. Les vagues n'arrêtent pas de taper, on prend une grosse secousse toutes les secondes ! »

Le deuxième marin lui répond : « Viens par ici car c'est plus tranquille pour moi, on a bien 2 secondes entre chaque secousse ! ».

Le troisième dit : « Moi j'ai le mal de mer... j'aimerais bien qu'il y ait moins de vagues que quand j'ai jeté l'ancre tout à l'heure... »

Pour comprendre cette conversation, on modélise les vagues comme des ondes mécaniques périodiques.

1. En utilisant les propos d'un des marins, déterminer la fréquence des vagues.
2. Le schéma ci-dessous représente les positions des bateaux vues de dessus avec les vagues, à un instant donné. Le bateau du premier marin est lié à une ancre pour indiquer qu'il est immobile par rapport à la terre ferme. Compléter le schéma en indiquant le sens de déplacement des deux bateaux en mouvement.



Sens de déplacement des vagues

3. Proposer une explication à la réponse du deuxième marin, qui fait intervenir le mouvement de son bateau.
4. Reformuler la phrase prononcée par le 3^e marin en utilisant un vocabulaire de la physique, emprunté au modèle des ondes mécaniques périodiques (période, fréquence, longueur d'onde, célérité, etc.)
5. Proposer une solution au 3^e marin, à propos du mouvement de son bateau, pour résoudre son problème.
6. La situation envisagée ici et celle de l'activité précédente présentent des similitudes et des différences. On souhaite les rassembler dans le tableau ci-dessous.



	situation de l'activité 2 (les trois marins)	situation de l'activité 1 (le camion de pompiers)
Types d'ondes	<ul style="list-style-type: none"> • Périodique • Non périodique 	<ul style="list-style-type: none"> • Périodique • Non périodique
Est-ce la source ou le récepteur qui se déplace ?	<ul style="list-style-type: none"> • Source • Récepteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Source • Récepteur
À quelle condition sur le mouvement relatif de la source et du récepteur la fréquence des ondes reçues augmente-t-elle ?	<ul style="list-style-type: none"> • Source et émetteur se rapprochent • Source et émetteur s'éloignent • Source et émetteur immobiles l'un par rapport à l'autre 	<ul style="list-style-type: none"> • Source et émetteur se rapprochent • Source et émetteur s'éloignent • Source et émetteur immobiles l'un par rapport à l'autre
À quelle condition sur le mouvement relatif de la source et du récepteur la fréquence des ondes reçues diminue-t-elle ?	<ul style="list-style-type: none"> • Source et émetteur se rapprochent • Source et émetteur s'éloignent • Source et émetteur immobiles l'un par rapport à l'autre 	<ul style="list-style-type: none"> • Source et émetteur se rapprochent • Source et émetteur s'éloignent • Source et émetteur immobiles l'un par rapport à l'autre

7. Pour conclure : identifier les deux conditions pour percevoir le phénomène étudié.

Compléter le paragraphe A du modèle



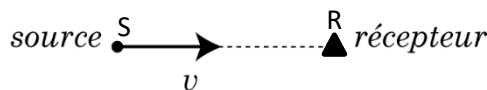
Pour faire le point...

Indiquer à quelle grandeur physique est associé le caractère aigu/grave d'un son.



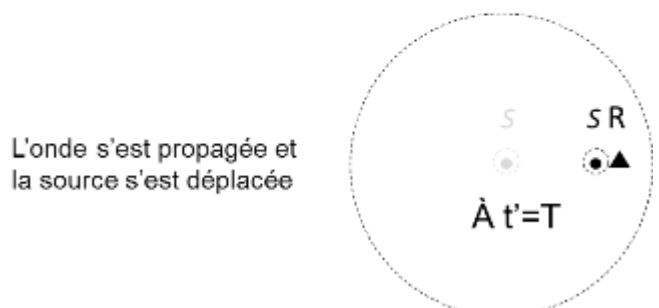
Activité 3 : A propos du klaxon

Dans la situation de la sirène des pompiers, on considère une source sonore émettant une onde sonore périodique, de fréquence f , de période T , de longueur d'onde λ et de célérité c . Cette source sonore est en mouvement rectiligne uniforme à la vitesse v par rapport à un récepteur. La source sonore est en mouvement vers le récepteur.



A $t=0$ et à $t'=T$, la source est dans le même état d'émission, comme le montre la figure ci-contre.

Les cercles en pointillés correspondent à des points dans le même état vibratoire.



**Partie 1 : Compréhension qualitative du phénomène**

Voici trois illustrations qui permettent de modéliser l'effet Doppler.

Figure 1 : la source est immobile

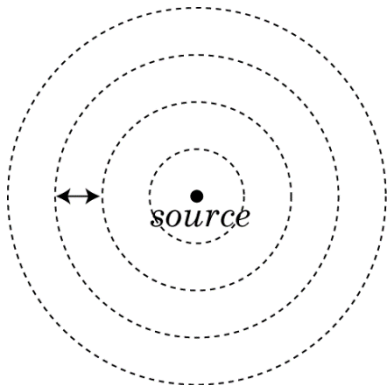


Figure 2 : la source est en mouvement vers la droite

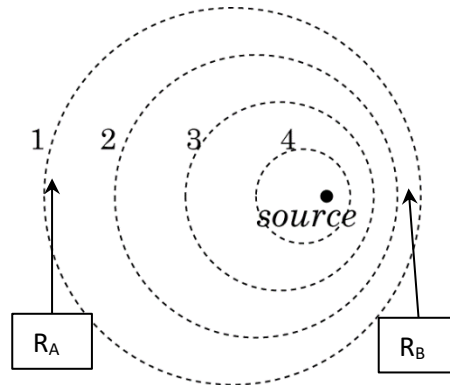
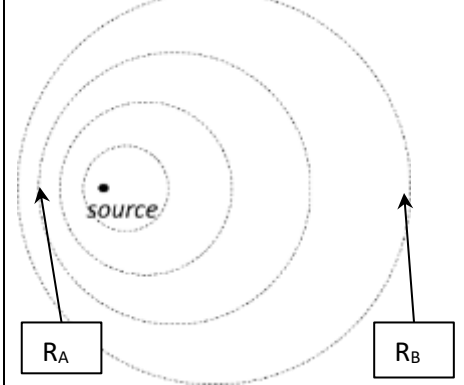


Figure 3 : la source est en mouvement vers la gauche



1. Sachant que les cercles en pointillés représentent les points du milieu dans le même état vibratoire, identifier la longueur particulière qui est représentée par une double flèche sur la figure 1.
2. Sur la figure 2, représenter par des points S_1 , S_2 , S_3 et S_4 les positions successives de la source aux moments où elle a généré les perturbations 1, 2, 3 et 4.
3. Sur la figure 2 sont placés deux récepteurs (R_A et R_B). Indiquer celui qui reçoit le son de plus petite longueur d'onde. Justifier.
4. En déduire celui qui reçoit le son le plus aigu. Justifier en utilisant ses connaissances sur les ondes.
5. Reprendre les questions 3. et 4. dans le cas de la figure 3.

Partie 2 : Obtention d'une relation entre les fréquences des ondes émise et reçue (à savoir refaire !)

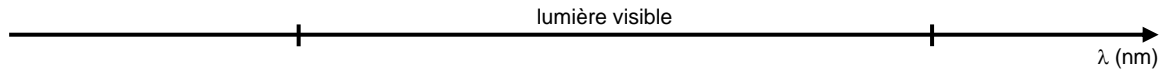
6. a. Exprimer la distance d sur laquelle l'onde s'est propagée pendant une période T de l'onde.
b. La représenter sur la figure 2 par une flèche double \leftrightarrow .
7. a. Exprimer la distance d' parcourue par la source pendant cette même durée T .
b. La représenter sur la figure 2 par une flèche double \leftrightarrow .
8. a. La longueur d'onde de l'onde reçue est notée λ' . La représenter sur la figure 2 par une flèche double \leftrightarrow .
b. Établir une relation entre d , d' et λ' puis en déduire que λ' s'exprime :

$$\lambda' = \lambda - vT$$
9. En déduire que la relation entre la fréquence f' de l'onde reçue et la fréquence f de l'onde émise est : $f' = f \frac{c}{c-v}$
10. Vérifier en comparant les termes c et $c-v$ que cette relation rend bien compte de ce que nous avons entendu précédemment : le son perçu est plus aigu lorsque la source se rapproche du récepteur.
11. Montrer que le décalage Doppler $\Delta f = f' - f$ s'exprime grâce à la relation : $\Delta f = f \frac{v}{c-v}$
12. Reprendre les questions 8 à 11 dans le cas où la source s'éloigne du récepteur.
13. Un camion de pompier qui se déplace à 50 km/h a une vitesse très petite devant la célérité du son. En déduire une expression approchée du décalage Doppler dans le cas d'un rapprochement et d'un éloignement.

Lire le paragraphe B du modèle et le compléter.

**Pour faire le point...**

1. Placer sur l'axe ci-dessous les valeurs des longueurs d'onde limites du domaine de la lumière visible.



2. Noter les couleurs associées.
3. Rappeler le lien entre longueur d'onde et fréquence.
4. Tracer sous l'axe de longueurs d'onde un axe de fréquences.

**Activité 4 : Redshift**

En astronomie, le décalage vers le rouge (ou *redshift*) est une augmentation de la longueur d'onde de la lumière causée par le mouvement de la source lumineuse qui s'éloigne de l'observateur du fait de l'expansion de l'univers en cosmologie.

Source : futura-science

1. Indiquer la nature de l'onde.
2. Identifier le phénomène physique à l'origine du redshift lié à l'expansion de l'univers.
3. Justifier que le redshift correspond bien à un éloignement entre la source et l'observateur.

Activité 5 : Un petit tour de manège

Sur un manège à sensation une personne pousse un cri strident et continu. Ce manège tourne-t-il si vite ? **Quelle est la vitesse d'une personne sur le manège ?**



Lire le paragraphe B du modèle.

Mise en situation : On dispose d'un émetteur produisant une onde sonore sinusoïdale de fréquence f et de célérité $c = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, qui modélise une personne en train de crier sur le manège.

Cet émetteur est mis en rotation à la vitesse v , décrivant ainsi un cercle de rayon $R = (0,40 \pm 0,01) \text{ m}$, qui modélise le mouvement de la personne sur le manège.

1. Faire un schéma de la situation.

Mesure de la vitesse en utilisant l'effet Doppler

Le son produit par l'émetteur immobile a été enregistré à l'aide d'un micro et du logiciel Audacity dans le fichier **émetteur_immobile.aup** qui se trouve dans votre dossier de classe.

2. Déterminer la valeur de fréquence f en suivant le protocole dans l'encadré en fin de page.

Le système est ensuite mis en rotation à vitesse constante. On enregistre de nouveau le signal produit par l'émetteur (fichier **émetteur_mouvement.aup**). On note f' la fréquence du signal reçu juste avant le passage de l'émetteur devant le micro.

3. D'après vos connaissances, indiquer si f' sera plus grande ou plus petite que f . Justifier.

Après avoir ajusté la fenêtre pour voir correctement le signal (comme ci-contre), repérer sur l'enregistrement le moment où le micro est le plus proche de l'émetteur.

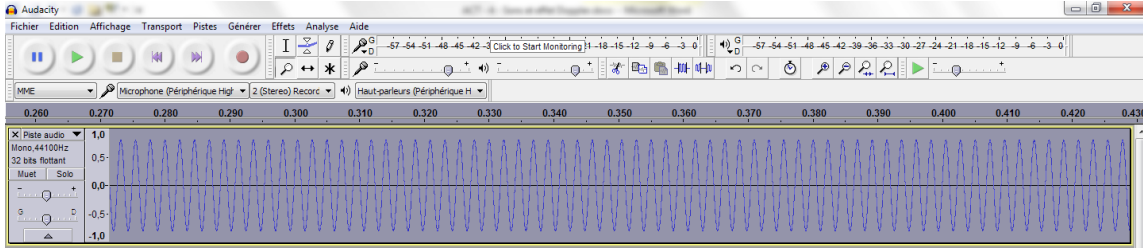
4. Déterminer la valeur de f' à l'aide du logiciel Audacity (vous sélectionnez bien une cinquantaine de périodes juste avant que l'émetteur ne passe devant le micro !).



5. En déduire la valeur de v .

**Protocole pour déterminer la fréquence f d'un signal sonore avec Audacity**

- Ouvrir le fichier qui vous intéresse dans le logiciel Audacity (ici il s'agit d'un son produit par un diapason).
- Ajuster la fenêtre en vous servant de l'outil zoom pour voir une cinquantaine de périodes à l'écran.

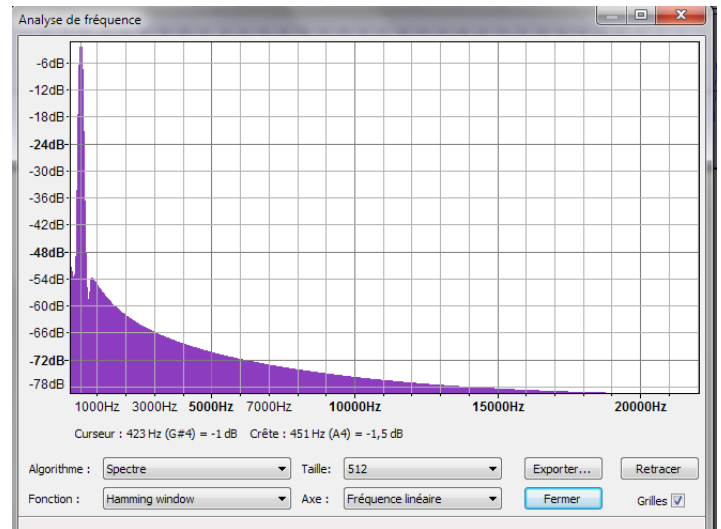


Pour zoomer verticalement, cliquer sur l'axe des ordonnées avec l'outil zoom sélectionné ; pour zoomer horizontalement, cliquer sur l'axe des abscisses. Pour dézoomer, cliquer sur le bouton droit de la souris.

- Sélectionner cette cinquantaine de périodes avec l'outil sélection.



- Choisir « Analyse » puis « Tracer le spectre »
- Placer le curseur en haut du plus haut pic et lire la valeur crête : c'est la fréquence du signal



Pour aller plus loin...

Mesure de la vitesse en utilisant la période de rotation de l'émetteur

- Sur un troisième fichier, **émetteur_mouvement_bouffées.aup**, on a enregistré quatre passages successifs de l'émetteur devant le micro. Ajuster correctement le signal pour voir les 4 « bouffées » Doppler.
- Comment peut-on, avec le logiciel Audacity, déterminer la période de rotation T de l'émetteur (durée que met l'émetteur à faire un tour)?
- Donner l'expression de v en fonction de R et T .
- En déduire la valeur numérique de v .
- Calculer l'incertitude-type $u(v)$ sur la mesure de v sachant que :

$$\frac{u(v)}{v} = \sqrt{\left(\frac{u(R)}{R}\right)^2 + \left(\frac{u(T)}{T}\right)^2} \text{ avec } u(T) = 0,1 \text{ s.}$$

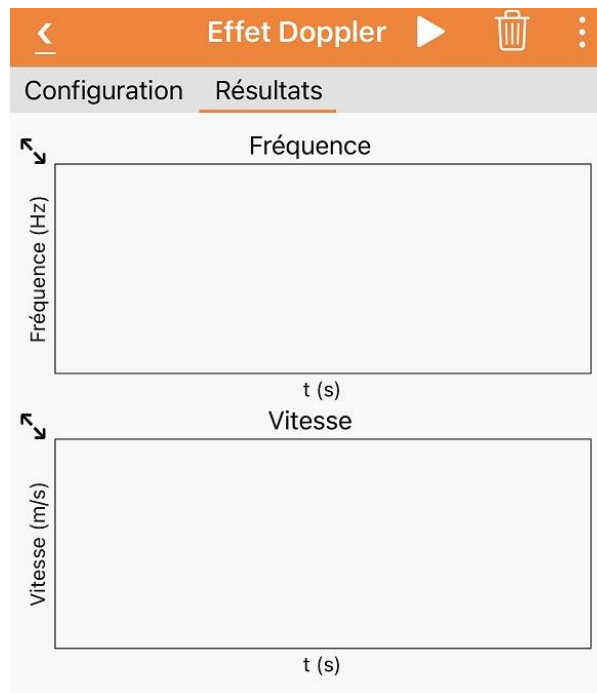
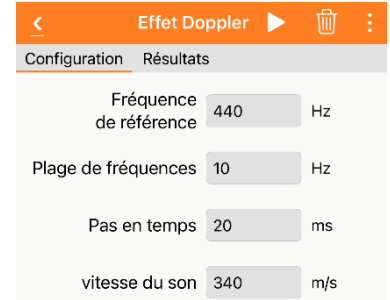
- Vérifier (ou non) que ce résultat est en accord avec la valeur obtenue en question 5.

**Activité 5bis (alternative à l'activité 5) : pendule + phyphox.**

L'effet Doppler peut être utilisé pour étudier précisément des phénomènes vibratoires, même à haute fréquence, en envoyant une onde sonore sur une surface vibrante puis en analysant le son réfléchi (la surface vibrant se comportant comme un émetteur).

On se propose ici de déterminer les variations de vitesse d'un pendule pesant en simplifiant le dispositif. C'est le pendule lui-même qui émet un son de fréquence bien déterminée (c'est un accordeur d'instrument). Pour mesurer la vitesse du pendule au cours du temps, on utilise l'expérience « Effet Doppler » de *Phyphox* : cette expérience enregistre le son, mesure la fréquence puis calcule la vitesse de l'émetteur (*Phyphox* doit donc connaître la fréquence du son émis, dite ici fréquence de référence, et la vitesse du son).

Le smartphone est disposé dans le plan d'oscillation du pendule, « face à l'émetteur ». Régler les paramètres comme indiqué ci-contre. Prévoir ci-dessous l'allure des deux courbes qu'on va probablement obtenir dans l'onglet « Résultats ».



Après validation par le professeur, faire l'enregistrement.

Avec les outils graphiques de *Phyphox*, déterminer :

- la vitesse maximale du pendule ;
- la période du pendule.

