



Chapitre B4 – L'effet Doppler



Se positionner

- 1 . Une source sonore en mouvement émet un son de vitesse plus grande dans le sens de son déplacement que si elle était immobile.
① VRAI ② FAUX
- 2 . Si la fréquence d'un son augmente, le son est perçu
① plus aigu
② plus grave
③ plus fort
④ moins fort
- 3 . Si la fréquence d'un son augmente, sa vitesse
① augmente ② diminue ③ ne change pas
- 4 . Si la fréquence d'un son augmente, sa longueur d'onde
① augmente ② diminue ③ ne change pas

Activité 1. À propos de la sirène des pompiers

Écouter l'extrait sonore diffusé dans la salle de classe.

On ne s'intéresse qu'au « pin » (c'est le son le plus aigu de la sirène des pompiers).

1. Comment sa hauteur évolue-t-elle entre le début et la fin de l'extrait sonore ?
2. En utilisant votre expérience personnelle, à quoi est due cette évolution ?

Vérification à l'aide de la vidéo...

3. En déduire le lien entre la fréquence du son perçu et le mouvement de la source

Vérification avec deux autres situations :

- le professeur fait tourner son smartphone émettant un son autour de sa tête.
- frapper un diapason et lui faire faire des allers et retours au voisinage de votre oreille

Les perceptions sonores confirment-elles la réponse à la question précédente ?



Activité 2. Les trois marins

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 ! »

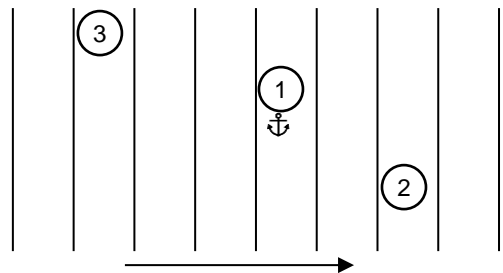
Le deuxième marin lui répond : « Viens par ici car c'est plus tranquille pour moi, on a bien 2 secondes entre chaque secousse ! ».

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-contre 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. Barrer toutes les propositions qui ne conviennent pas.

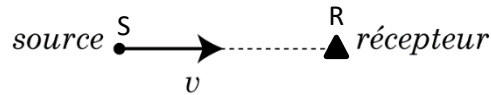
	situation de l'activité 2 (les trois marins)	situation de l'activité 1 (le camion de pompiers)
Types d'ondes	<ul style="list-style-type: none"> • Périodique • Non périodique 	<ul style="list-style-type: none"> • Périodique • Non périodique
Est-ce la source ou le récepteur qui se déplace ?	<ul style="list-style-type: 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

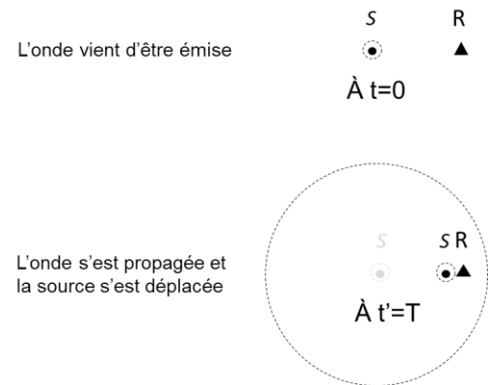
**Activité 3. L'effet Doppler, comment ça marche ?**

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.



À $t=0$ 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 3 figures qui permettent de comprendre l'effet Doppler.

Figure 1 : la source est immobile

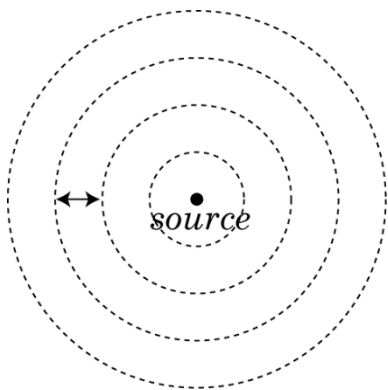


Figure 2 : la source est en mouvement vers la droite

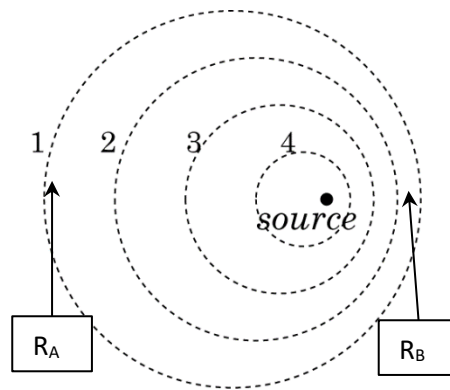
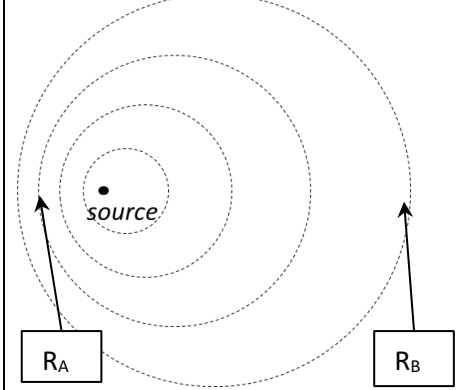


Figure 3 : la source est en mouvement vers la gauche



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.

Activité 3 - Partie 2 : Obtention d'une relation entre les fréquences des ondes émises et reçues

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 par le récepteur R_B (la source se rapproche) 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 le raisonnement pour indiquer la relation obtenue lorsque la source s'éloigne du récepteur (récepteur R_A).

Pour aller plus loin...

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.

Activité 4. L'effet Doppler pour connaître la vitesse d'un pendule

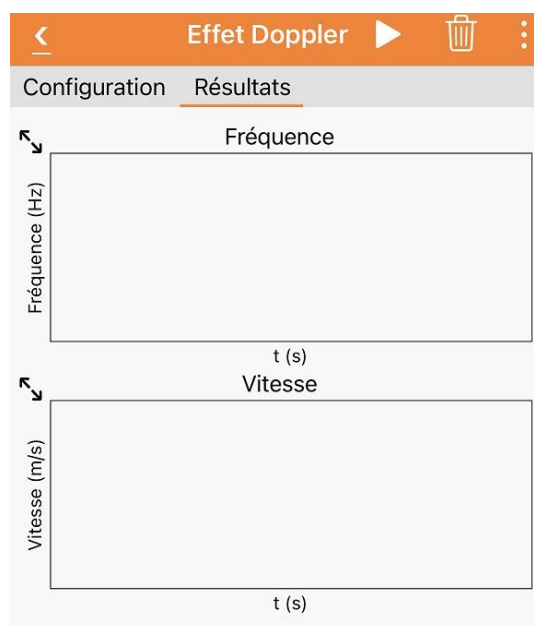
L'effet Doppler peut être utilisé pour étudier précisément des phénomènes vibratoires, même à haute fréquence, en envoyant une onde sonore sur une surface vibrante puis en analysant le son réfléchi (la surface vibrant se comportant comme un émetteur).

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 ».

Effet Doppler	
Configuration	Résultats
Fréquence de référence	440 Hz
Plage de fréquences	10 Hz
Pas en temps	20 ms
vitesse du son	340 m/s



Après validation par le professeur, faire l'enregistrement.

Avec les outils graphiques de *Phyphox*, déterminer :

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

**Activité 5. Détermination de la vitesse d'une voiture grâce à l'effet Doppler****Document 1 : l'effet Doppler**

L'effet Doppler ou effet Doppler-Fizeau est le décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique 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.

Cet effet fut présenté par Christian Doppler en 1842 dans l'article *Sur la lumière colorée des étoiles doubles et de quelques autres astres du ciel*, confirmé sur les sons par le chercheur néerlandais Christoph Buys Ballot, et fut également proposé par Hippolyte Fizeau pour les ondes électromagnétiques en 1848.

Document 2 : lien entre vitesse de la source et fréquence du son perçu

On note f la fréquence du signal émis par la source lorsqu'elle est immobile, v la vitesse de la source et c la vitesse de propagation de l'onde.

Pour un observateur fixe, lorsque la source **se rapproche**, la fréquence du son perçu est $f_1 = \frac{f}{1 - \frac{v}{c}}$

Pour un observateur fixe, lorsque la source **s'éloigne**, la fréquence du son perçu est $f_2 = \frac{f}{1 + \frac{v}{c}}$.

Document 3 : valeur de la célérité du son

La célérité du son dans l'air à 20°C vaut 340 m.s⁻¹.

Document 4 : enregistrements sonores

Vous disposez des enregistrements sonores d'un avertisseur émis par une voiture :

- à l'arrêt (arret.wav)
- en mouvement (mouvement.wav). L'enregistrement lorsque la voiture est en mouvement est réalisé avec un micro positionné au niveau d'un radar.

Document 5 : notice d'utilisation de Regressi pour faire l'analyse spectrale d'un son**Problème à résoudre :****Si la vitesse est limitée à 50 km/h, la voiture est-elle en excès de vitesse ?**

- 1- Proposer une méthode détaillée et un protocole afin de résoudre le problème posé (≈ 10 minutes conseillées).




Appeler le professeur pour lui présenter votre protocole.

- 2- Réaliser le protocole validé par le professeur
- 3- Répondre au problème posé en indiquant :
 - La méthode utilisée
 - La ou les mesure(s) réalisée(s)
 - La réponse au problème : on discutera la réponse... et la méthode.

(≈ 20 minutes conseillées).



Appeler le professeur pour lui présenter vos résultats.

Pour aller plus loin... En analysant le son d'une sirène de camion de pompiers (sirène_pompiers.wav) passant devant un micro à l'aide de la fonction Sonagramme de Regressi , estimer la vitesse du camion.



Une activité pour aller plus loin... et pour faire le lien avec les mathématiques !

Retrouver graphiquement l'expression du décalage Doppler...

On peut représenter dans un repère dit "espace-temps" les évolutions de la distance parcourue par le récepteur R (de vitesse v , qui s'éloigne de la source) et les distances parcourues à la célérité c par deux "tops" séparés d'une période du signal émis. On note T_E la période du signal émis et T_R la période du signal reçu.

1. Faire un schéma de la situation en indiquant l'émetteur E, le récepteur R et les deux vitesses par deux flèches.
2. Représenter sur le graphe la durée T_R puis la distance Δx parcourue par R pendant T_R .
3. En exprimant Δx de deux façons différentes, exprimer T_R en fonction de T_E .

