



Chapitre B4 – L'effet Doppler



Se positionner

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

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

👁️ Vérification à l'aide de la vidéo...

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

Source Ministère de l'ÉQUIPEMENT.

Arrêtés des 30 octobre, 2 et 3 novembre 1987

Descriptif/Tonalité	POMPIERS	
1er ton	435 Hz \pm 2/100	
2ème ton	488 Hz \pm 2/100	
Cadence	25 à 30 cycles/ min.	
Niveau sonore	Jour	Nuit
en dB	110 dB	110 dB

👋 **Vérification avec une autre situation** : le professeur fait tourner son smartphone émettant un son autour de sa tête. La perception sonore confirme-t-elle la réponse à la question précédente ?

Activité 2. Première interprétation à l'aide d'une analogie

Trois matelots, sur trois bateaux différents, utilisent leurs téléphones pour discuter de l'état de la mer. Le premier matelot a jeté l'ancre mais pas les deux autres.



Le premier matelot dit à ses collègues : « Faites attention, c'est très agité. Les vagues n'arrêtent pas de taper, on prend une grosse secousse à peu près toutes les secondes ! »



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



Le troisième dit : « Pour moi c'est bien pire... j'aimerais bien n'en avoir qu'une chaque seconde... »

- Pour comprendre cette conversation, on modélise les vagues comme une onde mécanique périodique. Que vaut la fréquence de cette onde ?
- En faisant un schéma, proposer une explication à la réponse du second matelot, qui fait intervenir le mouvement de son bateau.
- Reformuler la phrase prononcée par le 3^{ème} matelot en utilisant un vocabulaire de physique. Que peut-on lui suggérer pour résoudre son problème ?
- La situation envisagée ici et celle de l'activité précédente présentent des similitudes et des différences. On souhaite les rassembler dans le tableau ci-après.



	situation de l'activité 1 (le camion de pompiers)	situation de l'activité 2 (les trois matelots)
Quelles ondes interviennent ?		
Est-ce la source ou le récepteur qui se déplace ?		
À quelle condition sur le mouvement relatif de la source et du récepteur la fréquence des ondes reçues augmente-t-elle ?		
À quelle condition sur le mouvement relatif de la source et du récepteur la fréquence des ondes reçues diminue-t-elle ?		

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

Interprétation qualitative

L'effet observé lors de l'activité 1, lorsqu'il concerne les ondes sonores, est appelé « effet Doppler ». Voici deux illustrations censées interpréter l'effet Doppler. Les cercles en pointillés représentent des "fronts d'onde", zones d'amplitude maximale.

Figure 1 : la source est immobile

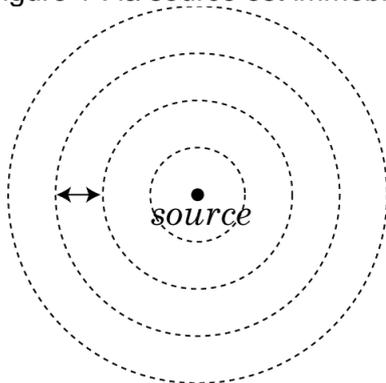
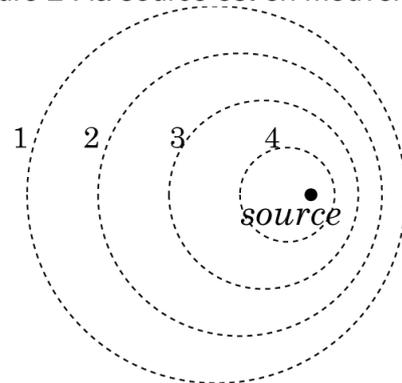


Figure 2 : la source est en mouvement



Pour répondre aux questions suivantes, on pourra s'aider de l'animation disponible sur www.prof-vince.fr.

1. Que représente la 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 lorsqu'elle a généré les perturbations 1, 2, 3 et 4.
3. Sur la figure 2, indiquer la zone où le son est perçu le plus grave et la zone où il est le plus aigu.

Des formules magiques ?

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.



4. Exprimer la distance de propagation de l'onde pendant une période T .
5. Exprimer la distance parcourue par la source pendant cette même durée T .
6. La longueur d'onde de l'onde reçue est notée λ' . Montrer que λ' s'exprime par :

$$\lambda' = \lambda - vT$$
7. En déduire la relation entre la fréquence f' de l'onde reçue et la fréquence f de l'onde émise :

$$f' = f \frac{c}{c - v}$$

8. Expliquer pourquoi cette relation rend bien compte de l'observation « le son perçu est plus aigu lorsque la source se rapproche du récepteur ».
9. Que devient la relation de la question 7 lorsque la source s'éloigne du récepteur ? Interpréter alors la modification de la hauteur du son perçu dans un tel cas.

**Pour aller plus loin...**

On appelle « décalage Doppler » la différence δf entre la fréquence de l'onde sonore émise par la source en mouvement et celle de l'onde reçue. Si la vitesse de la source est très faible devant la célérité des ondes sonores, le décalage Doppler vaut, en valeur absolue : $|\delta f| \approx f \frac{v}{c}$. Démontrer ce résultat.

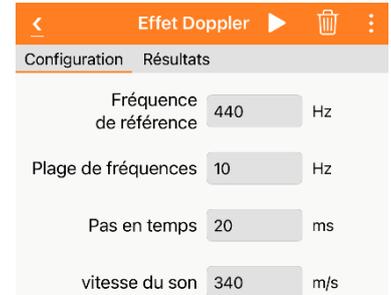
Activité 4. L'effet Doppler pour connaître la vitesse d'un pendule

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).

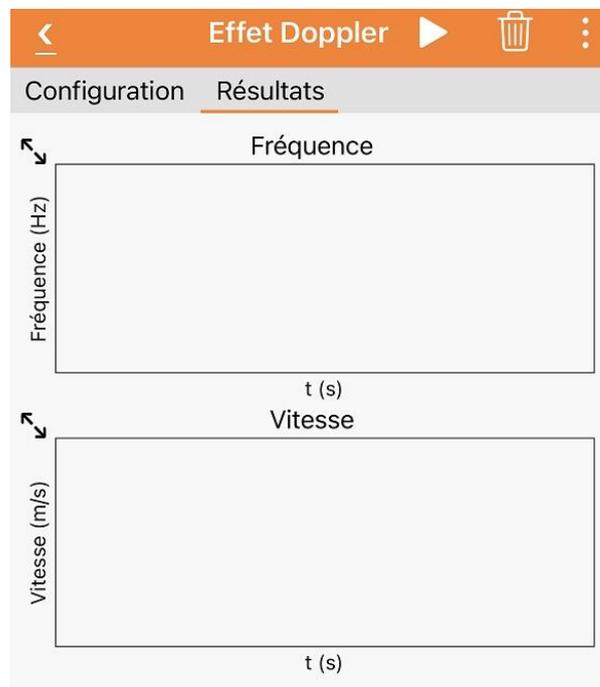
On se propose ici de déterminer les variations de vitesse d'un pendule pesant en simplifiant le dispositif. C'est le pendule lui-même qui émet un son de fréquence bien déterminée (c'est un accordeur d'instrument). Pour mesurer la vitesse du pendule au cours du temps, on utilise l'expérience « Effet Doppler » 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 ».



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 (sirene_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 .

