



Chapitre A6 – L'effet Doppler

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 une autre situation** : vérifier votre réponse précédente en rapprochant rapidement de votre oreille, puis un éloignant rapidement, une source sonore disponible (diapason, buzzer, smartphone).

Source Ministère de l'ÉQUIPEMENT.

Arrêtés des 30 octobre, 2 et 3 novembre 1987

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

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 : « La mer est agitée. Les vagues n'arrêtent pas de taper, on prend une grosse secousse 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 : « Moi j'ai le mal de mer... j'aimerais bien qu'il y ait moins de vagues... »

- 1) Pour comprendre cette conversation, on modélise les vagues comme des ondes mécaniques périodiques. Que vaut leur fréquence ?
- 2) Proposer une explication à la réponse du second matelot, qui fait intervenir le mouvement de son bateau.
- 3) Reformuler la phrase prononcée par le 3^{ème} matelot en utilisant un vocabulaire de physique, emprunté au modèle des ondes mécaniques périodiques. Que peut-on lui suggérer pour résoudre son problème ?
- 4) 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 2 (les trois matelots)	situation de l'activité 1 (le camion de pompiers)
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 4 : Détermination de la vitesse d'un véhicule par exploitation de 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, d'une part à l'arrêt (arret.wav), d'autre part 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 ?

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



Appeler le professeur pour lui présenter votre protocole.


- Réaliser le protocole validé par le professeur
- Répondre au problème posé en réalisant un poster 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.

**Activité 3 L'effet Doppler, comment ça marche ?****1^{ère} partie :****Interprétation qualitative**

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

Figure 1 : la source est immobile

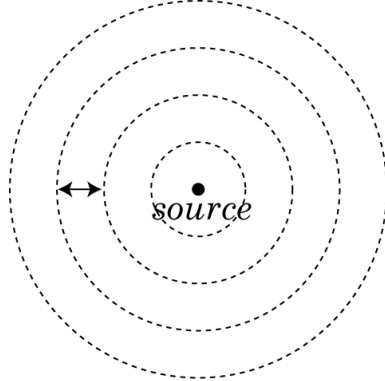
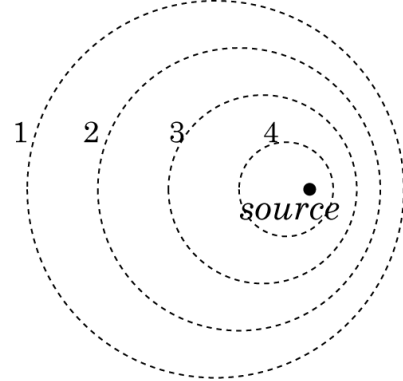


Figure 2 : la source est en mouvement



- 1) Que représente la double flèche sur la figure 1 ?
- 2) Sur la figure 2, représenter par des points S1, S2, S3 et S4 les positions successives de la source lorsqu'elle a généré les perturbations 1, 2, 3 et 4.
- 3) Sur la figure 2, indiquer dans quelle zone le son perçu est le plus grave et dans quelle zone il est le plus aigu.

Activité 3 - 2^{ème} partie : 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.



- 1) Exprimer la distance de propagation de l'onde pendant une période T .
- 2) Exprimer la distance parcourue par la source pendant cette même durée T .
- 3) La longueur d'onde de l'onde reçue est notée λ' . Montrer que λ' s'exprime par :

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

$$f' = f \frac{c}{c - v}$$
- 5) Expliquer pourquoi cette relation rend bien compte de l'observation « le son perçu est plus aigu lorsque la source se rapproche du récepteur ».
- 6) Que devient la relation de la question 4) lorsque la source s'éloigne du récepteur ? Interpréter alors la modification de la hauteur du son perçu dans un tel cas.

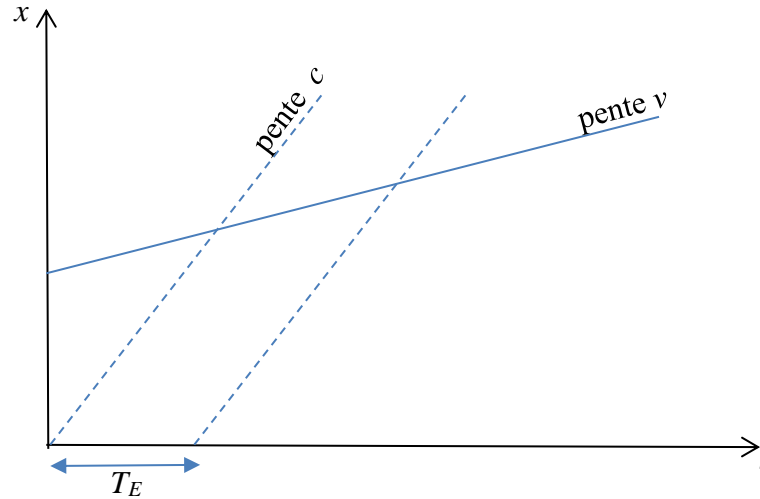
On appelle « décalage Doppler » la différence δf entre la fréquence de l'onde sonore émise par la source en mouvement et celle de l'onde reçue. Si la vitesse de la source est très faible devant la célérité des

ondes sonores, le décalage Doppler vaut, en valeur absolue : $|\delta f| \approx f \frac{v}{c}$

**Activité 3 - 3e partie : 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.

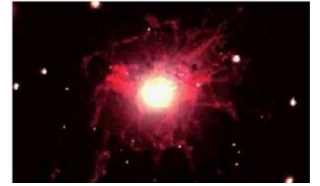
- 1) Faire un schéma de la situation en indiquant l'émetteur E, le récepteur R et les deux vitesses par deux flèches.
- 2) Représenter sur le graphe la durée T_R puis la distance Δx parcourue par R pendant T_R .
- 3) En exprimant Δx de deux façons différentes, exprimer T_R en fonction de T_E .





Activité 5 : l'effet Doppler, un moyen d'investigation en astrophysique

L'effet Doppler – Fizeau a été observé en astronomie dès les années 1850 : l'analyse fine des spectres de raies des étoiles montre l'existence de décalage des raies soit vers le rouge, soit vers le bleu, selon qu'elles s'éloignent ou se rapprochent de notre Soleil. La mise en évidence de ce décalage vers le rouge, dit « redshift » pour des objets plus lointains comme des galaxies, a montré que notre Univers n'est pas statique : les galaxies s'éloignent les unes des autres, ce qui a été interprété par HUBBLE dès les années 1930 comme la preuve de l'expansion de l'univers, fondement du modèle cosmologique du Big-Bang.



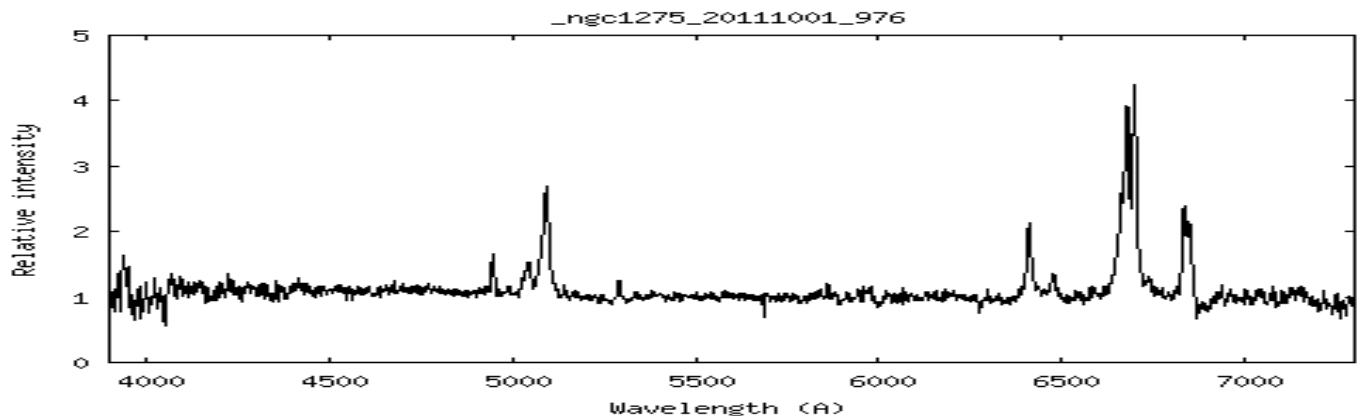
On pose en astrophysique $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$; z n'est égal à $\frac{v}{c}$ que si la vitesse d'éloignement de l'objet stellaire reste très faible devant la célérité de la lumière, ce qui n'est pas le cas de certains objets très éloignés comme les quasars, la vitesse radiale d'éloignement étant alors proportionnelle à la distance !

Le spectre d'émission de la galaxie NGC1275 est donné ci-dessous. L'émission de la raie alpha de l'hydrogène notée H_α est particulièrement intense. Pour H_α , on a $\lambda_0 = 656,3 \text{ nm}$.

1) Déterminer graphiquement la longueur d'onde λ de cette même raie sur le spectre de la galaxie et calculer la valeur de $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$.

Donnée : 1 Angström $\text{\AA} = 0,1 \text{ nm}$.

2) En déduire la vitesse d'éloignement de cette galaxie par rapport à notre système solaire.



Pour aller plus loin :

Hubble a établi empiriquement que la vitesse d'éloignement est proportionnelle à la distance. La constante de proportionnalité est appelée constante de Hubble H_0 et vaut approximativement $H_0 \approx 77 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}/\text{Mpc}$, où Mpc est l'unité de distance « megaparsec » telle que 1 megaparsec est égal à 3,26 millions d'années-lumière (a.l.) ou $3,085\,677\,58 \times 10^{22} \text{ m}$.

Calculer la distance qui nous sépare de cette galaxie.