

La physique des ondes

XIII

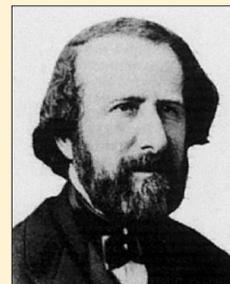
Effet Doppler

1. Historique

L'effet Doppler a été découvert en 1842 par Johann Christian Doppler (1803-1853 /Autrichien). Puis il a aussi été redécouvert 6 ans plus tard par Hippolyte Fizeau (1819-1896/Français), d'où cet effet porte aussi le nom d'effet Doppler-Fizeau.



Doppler



Fizeau

2. Expérience du diapason rotatif

Matériel : un diapason + un marteau

Mode opératoire :

- Frapper le diapason avec le marteau
- Faire tourner le diapason frappé

Observations :

Le son émis par le diapason devient plus aigu quand il s'approche de l'observateur et plus grave lorsqu'il s'éloigne.

Variante de cette expérience :

cette expérience est réalisable avec un haut-parleur à la place du diapason.

Avantage de cette variante :

le son est produit en continu et ne s'affaiblit pas au cours du temps.

3. Autres exemples illustrant l'effet Doppler

- Dans la vie de tous les jours, la sirène d'un véhicule de secours s'approchant/s'éloignant de nous émet un son plus aigu/grave que lorsqu'elle est au repos par rapport à nous.
- En astrophysique, le "redshift" (décalage en fréquence vers le rouge) et le "blueshift"

(décalage en fréquence vers le bleu) illustrent respectivement l'éloignement et le rapprochement des galaxies par rapport à nous.

- En médecine, le débitmètre sanguin mesure la vitesse du sang dans les artères grâce à l'effet Doppler.

4. Définition de l'effet Doppler

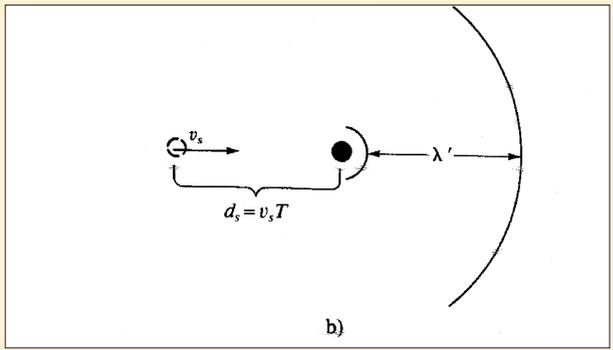
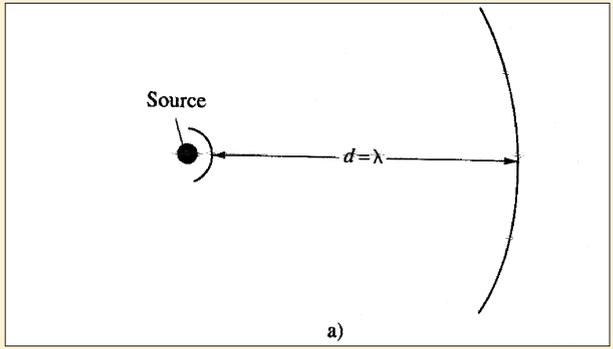
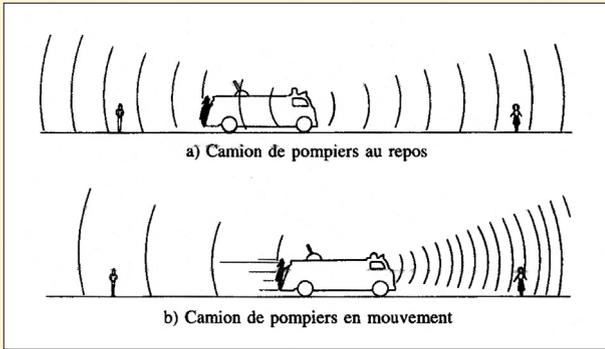
La variation de la fréquence observée lorsqu'il y a mouvement relatif entre la source et l'observateur est appelée effet Doppler.

La variation d'intensité n'a rien à voir avec l'effet Doppler !

Elle est juste due au rapprochement/éloignement de la source par rapport à l'observateur.

La physique des ondes

5. Observateur immobile – Source en mouvement



- Considérons un véhicule de secours au repos dont la sirène (source) émet dans toutes les directions un son d'une fréquence déterminée.
- Quand le véhicule roule, la sirène émet un son de même fréquence qu'avant mais les ondes sonores qu'elle émet vers l'avant sont maintenant plus proches les unes des autres. Cela est dû au fait que le véhicule poursuit les ondes émises précédemment. Un piéton (observateur) sur le trottoir captera plus de crêtes d'ondes par seconde et donc la fréquence perçue par le piéton est plus élevée.
- Les ondes émises vers l'arrière du véhicule seront au contraire plus éloignées qu'avant les unes des autres parce que le véhicule fuit les ondes émises. Un piéton à l'arrière du camion captera moins de crêtes d'ondes par seconde et donc la fréquence perçue par ce piéton sera moins élevée.

⇒ La source se rapproche de l'observateur

$$\begin{aligned} \lambda' &= d - d_s \\ &= \lambda - v_s T \\ &= \lambda - v_s \frac{\lambda}{v} \\ &= \lambda \left(1 - \frac{v_s}{v} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f' &= \frac{v}{\lambda'} \\ &= f \left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}} \right) \end{aligned}$$

⇒ La source s'éloigne de l'observateur

$$\begin{aligned} \lambda' &= d + d_s \\ f' &= f \left(\frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}} \right) \end{aligned}$$

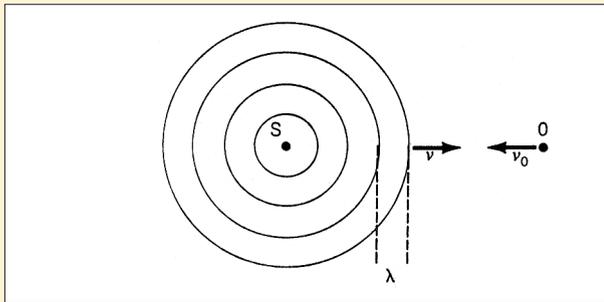
v = vitesse du son dans l'air
 v_s = vitesse de la source
 v_o = vitesse de l'observateur
 f = fréquence du son émis par la sirène
 f' = fréquence effective du son perçue par l'observateur
 λ = longueur d'onde du son émis par la sirène
 λ' = longueur d'onde effective perçue par l'observateur

Toutes ces vitesses sont mesurées par rapport au sol.

La physique des ondes

XV

6. Source immobile – Observateur en mouvement



La distance entre les crêtes, la longueur d'onde λ **ne change pas**.
Mais la **vitesse des crêtes par rapport à l'observateur change!**

⇒ L'observateur se rapproche de la source

$$f' = \frac{v'}{\lambda}$$

$$f' = f \left(1 + \frac{v_o}{v} \right)$$

⇒ L'observateur s'éloigne de la source

$$f' = f \left(1 - \frac{v_o}{v} \right)$$

7. Conclusions

$$f' = f \left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} \right)$$

Tout mouvement relatif qui **rapproche** la source de l'observateur a tendance à **augmenter** la fréquence.

Tout mouvement relatif qui **éloigne** la source de l'observateur a tendance à **diminuer** la fréquence.

Attention !

⇒ Les phénomènes ne sont pas symétriques.

Quantitativement, la variation de fréquence n'est pas la même dans les 2 situations. En effet, un observateur dont une source approche à la vitesse v percevra un son plus aigu que si lui-même va vers la source immobile à cette même vitesse v .

⇒ L'effet Doppler peut se produire pour toutes les sortes d'ondes.