

Intensité sonore et Effet Doppler

Vidéo : [Accéder à la vidéo du cours](#)

Manuel : pages À compléter



Vidéo du cours



QR code intensité sonore



QR code Effet Doppler

10.1 Intensité sonore

Soit une onde sonore émise par une source en un point de l'espace à une certaine puissance P . La puissance transportée par l'onde émise par la source est répartie sur une surface de plus en plus grande, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source.

Σ ♥ Formule à connaître

L'intensité sonore correspond à la puissance répartie par mètre carré :

$$I = \frac{P}{S}$$

avec :

- I l'intensité sonore en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
- P la puissance de la source sonore en W
- S la surface de la sphère de propagation de l'onde sonore en m^2

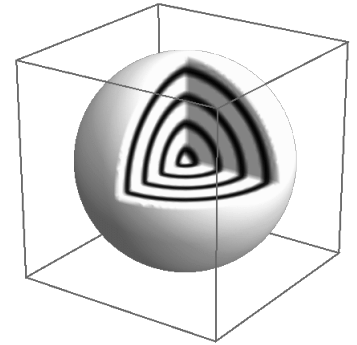


FIGURE 1 – Propagation de l'énergie sonore dans toutes les directions

La surface d'une sphère se détermine à l'aide de la formule : $S = 4\pi R^2$, il vient donc que :

$$I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

L'intensité sonore est inversement proportionnelle au carré de la distance par rapport à la source. Cela signifie que :

- Si la distance par rapport à la source est multipliée par deux, l'intensité sonore est divisée par quatre
- Si la distance par rapport à la source est multipliée par trois, l'intensité sonore est divisée par neuf

10.2 Le niveau d'intensité sonore

Afin de créer une échelle plus pratique à utiliser, on définit le niveau d'intensité sonore que l'on note L .

Σ ♥ Formule à connaître

Le niveau d'intensité sonore L s'exprime en décibel (dB) :

$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

avec :

- I l'intensité sonore en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
- I_0 l'intensité sonore de référence : $I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

Remarque

I_0 représente l'intensité sonore minimale pour qu'un son soit audible pour l'oreille humaine.

10.2.1 Comment évolue le niveau d'intensité sonore si l'intensité sonore est multipliée par deux?

Soit une enceinte qui produit un son d'une intensité égale à I_1 de niveau d'intensité sonore L_1 défini par $L_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$. Si l'on rajoute une deuxième enceinte de même intensité sonore de telle sorte que $I_{\text{total}} = 2 \times I_1$, alors :

$$\begin{aligned} L_{\text{total}} &= 10 \log \frac{2 \times I_1}{I_0} \\ &= \underbrace{10 \log 2}_{\approx 3} + \underbrace{10 \log \frac{I_1}{I_0}}_{L_1} \\ L_{\text{total}} &= 3 + L_1 \end{aligned}$$

Le niveau d'intensité sonore augmente de 3 décibels lorsque l'intensité sonore est multipliée par deux.

À retenir

Lorsqu'on additionne plusieurs sources sonores, il faut additionner les intensités sonores I mais surtout pas les niveaux d'intensité sonore L !

10.3 L'atténuation

À retenir

L'atténuation s'exprime en décibels et correspond à la variation du niveau d'intensité sonore entre deux points. C'est une grandeur positive que l'on note A .

On distingue deux types d'atténuation :

- **Géométrique** : la puissance est transportée sur une sphère de rayon R , plus l'on s'éloigne de la source sonore, plus l'atténuation est importante.
- **Par absorption** : Un milieu absorbe une partie de la puissance transportée par l'onde (exemple : un mur en béton, une porte en bois).

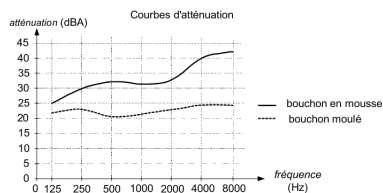


FIGURE 2 – Atténuation géométrique

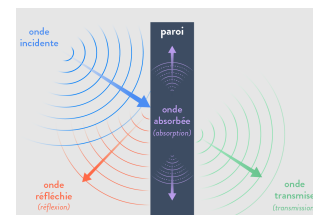


FIGURE 3 – Atténuation par absorption

10.4 L'effet Doppler

10.4.1 Qu'est-ce que l'effet Doppler?

À retenir

L'effet Doppler est la modification apparente de la fréquence d'une onde reçue lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre.

⇒ Exemple avec une onde sonore : Klaxon de voiture perçu par un piéton fixe au bord de la chaussée.

<https://www.youtube.com/watch?v=ffg4T0pXZyg>

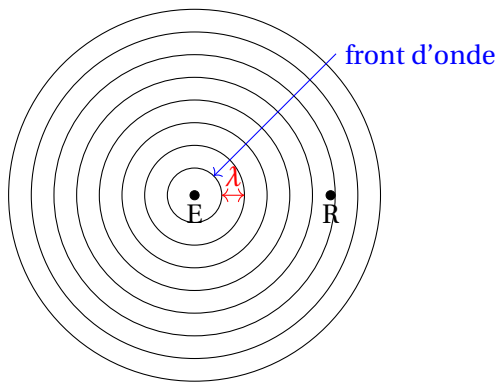
⇒ Exemple avec les ondes lumineuses : La couleur des galaxies observées présente un petit décalage vers le rouge appelé **Redshift**. La mesure de ce décalage permet de déterminer la vitesse d'éloignement des galaxies par rapport à nous.



10.4.2 Explication qualitative

Source fixe

Prenons l'exemple d'une voiture qui émet un son de fréquence constante. Comment ce son est-il perçu lorsque la **voiture est à l'arrêt par rapport au récepteur**?



On rappelle que la fréquence perçue par le récepteur est inversement proportionnelle à la longueur d'onde :

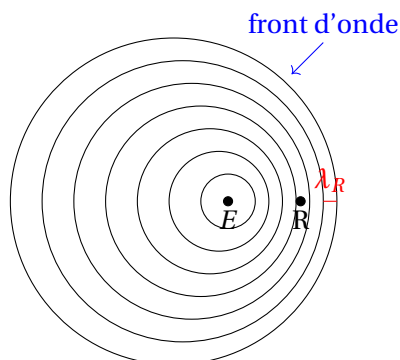
$$f = \frac{v_{\text{onde}}}{\lambda}$$

Remarque

Lorsque le récepteur et l'émetteur sont immobiles l'un par rapport à l'autre, la longueur d'onde perçue est identique à la longueur d'onde émise. Le récepteur entend donc le son à sa fréquence « normale ».

Source en mouvement

Toujours avec le même exemple, comment ce son est-il perçu lorsque la **voiture avance vers le récepteur**?



À retenir

La longueur d'onde perçue λ_R est plus faible que la longueur d'onde initiale. La fréquence perçue est donc plus élevée : on entend un son plus aigu lorsque la source se rapproche.

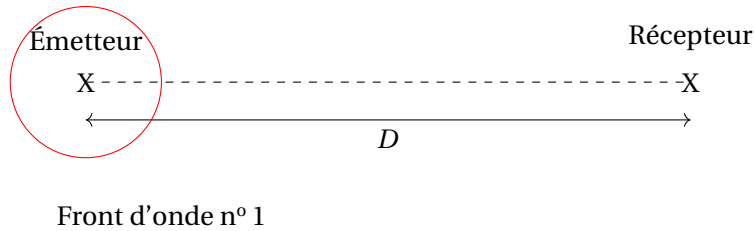
10.4.3 Démonstration

Remarque

La démonstration est longue. Pour une bonne compréhension, il est recommandé de réaliser 4 schémas différents aux 4 dates utilisées.

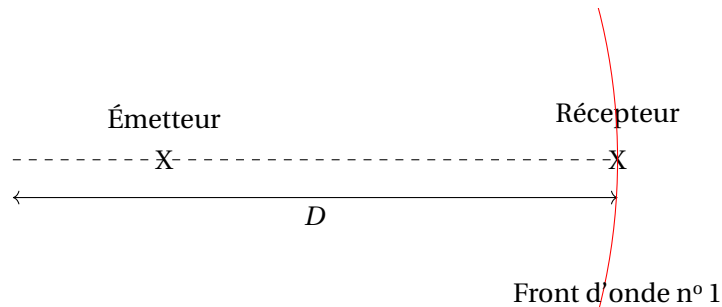
Date $t_0 = 0$

⇒ Émission d'un premier front d'onde par l'émetteur



Date t_1

⇒ Le front d'onde n° 1 arrive au niveau du récepteur à la date t_1



L'onde a parcouru la distance D pendant une durée égale à $\Delta t = t_1 - t_0 = t_1$. On a donc :

$$v_{\text{onde}} = \frac{D}{\Delta t} = \frac{D}{t_1}$$

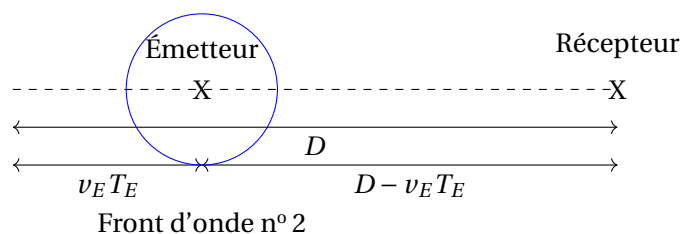
Date t_2

⇒ Le deuxième front d'onde est émis par l'émetteur à la date t_2

⇒ La durée entre l'émission des deux fronts d'onde correspond à la période temporelle de l'onde émise, notée T_E :

$$T_E = t_2 - t_0 = t_2$$

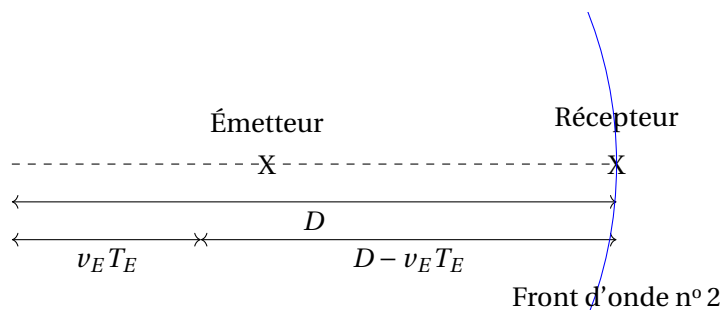
⇒ L'émetteur a parcouru une distance égale à $v_E \times T_E$



Date t_3

- Le deuxième front arrive au récepteur à la date t_3
- La durée entre la réception des deux fronts d'onde correspond à la période temporelle de l'onde reçue, notée T_R :

$$T_R = t_3 - t_1$$



Le front d'onde n° 2 a parcouru une distance égale à $D - v_E T_E$ pendant une durée égale à $t_3 - t_2$ à la vitesse v_{onde} , il vient donc que :

$$t_3 - t_2 = \frac{D - v_E T_E}{v_{\text{onde}}}$$

or $t_2 = T_E$ d'où :

$$t_3 = \frac{D - v_E T_E}{v_{\text{onde}}} + T_E$$

On sait également que $T_R = t_3 - t_1$ or $t_1 = \frac{D}{v_{\text{onde}}}$

Il vient donc que :

$$\begin{aligned} T_R &= \frac{D - v_E T_E}{v_{\text{onde}}} + T_E - \frac{D}{v_{\text{onde}}} \\ T_R &= \frac{D}{v_{\text{onde}}} - \frac{v_E T_E}{v_{\text{onde}}} + T_E - \frac{D}{v_{\text{onde}}} \\ T_R &= T_E \left(1 - \frac{v_E}{v_{\text{onde}}} \right) \\ T_R &= T_E \left(\frac{v_{\text{onde}} - v_E}{v_{\text{onde}}} \right) \\ f_R &= f_E \left(\frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v_E} \right) \quad \text{car} \quad f = \frac{1}{T} \end{aligned}$$



Formule à savoir utiliser

La fréquence reçue lorsque la source se rapproche du récepteur est :

$$f_R = f_E \left(\frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v_E} \right)$$

Comme $\frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v_E} > 1$, on a $f_R > f_E$.



À retenir

La fréquence de l'onde reçue est plus élevée que la fréquence émise lorsque la source se rapproche du récepteur. Pour une onde sonore, le son est donc plus aigu.

10.4.4 Décalage Doppler

Σ ♥ Formule à connaître

Le décalage Doppler représente l'écart de fréquence entre l'onde émise et la fréquence perçue :

$$\Delta f = f_R - f_E$$

Expression du décalage Doppler :

$$\begin{aligned}\Delta f &= f_R - f_E \\ &= f_E \left(\frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v_E} \right) - f_E \\ &= f_E \left(\frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v_E} - 1 \right) \\ &= f_E \left(\frac{v_{\text{onde}}}{v_{\text{onde}} - v_E} - \frac{v_{\text{onde}} - v_E}{v_{\text{onde}} - v_E} \right) \\ \Delta f &= f_E \left(\frac{v_E}{v_{\text{onde}} - v_E} \right)\end{aligned}$$

La mesure du décalage Doppler permet, si l'on connaît la célérité et la fréquence de l'onde émise, de connaître la vitesse de l'émetteur par rapport au récepteur.

✓ Exemple

Une ambulance en mouvement possède une sirène qui émet un signal sonore de fréquence égale à 680 Hz. Exprimer, puis calculer, en arrondissant à l'unité, la vitesse de l'ambulance qui se rapproche de l'observateur sachant que le décalage Doppler vaut 36 Hz.

Donnée : La célérité du son dans l'air à 15 °C vaut $v_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Application numérique :

$$\begin{aligned}\Delta f &= f_E \left(\frac{v_E}{v_{\text{son}} - v_E} \right) \\ (v_{\text{son}} - v_E) \Delta f &= f_E v_E \\ v_{\text{son}} \Delta f - v_E \Delta f &= f_E v_E \\ v_{\text{son}} \Delta f &= v_E (f_E + \Delta f) \\ v_E &= \frac{v_{\text{son}} \Delta f}{f_E + \Delta f}\end{aligned}$$

$$v_E = \frac{340 \times 36}{680 + 36} = 17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

La vitesse de l'ambulance est de $17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

10.4.5 Quelques applications

Sécurité routière

Le radar envoie une onde électromagnétique de fréquence f_E à la célérité de $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Cette onde est réfléchiée sur la voiture puis réceptionnée par le radar avec une fréquence reçue f_R qui dépend de la vitesse de la voiture.



Médecine

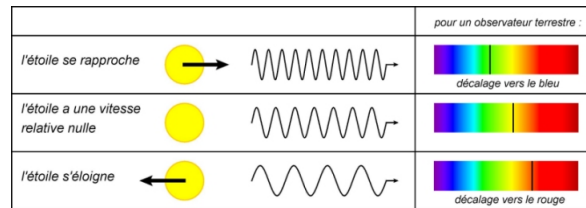
En imagerie médicale, le Doppler sanguin permet d'étudier le mouvement des fluides biologiques. Une sonde émet des ondes ultrasonores et ce sont les globules rouges qui font office d'obstacles et les réfléchissent. L'analyse de la variation de la fréquence des ondes réfléchies reçues par cette même sonde permet ainsi de déterminer la vitesse du sang dans les vaisseaux.



Astronomie

La mesure de ce décalage permet également de détecter la présence d'exoplanètes autour d'une étoile. En effet, la plupart des exoplanètes ne sont pas directement observables à cause de leur faible luminosité comparée à leur étoile.

L'étoile et la planète sont en rotation autour du centre de masse étoile/planète.



- ➡ Lorsque l'étoile s'éloigne : les fréquences composant l'onde lumineuse reçue diminuent, donc les longueurs d'onde des raies composant le spectre augmentent : Décalage vers le rouge → On parle de **Redshift**
- ➡ Lorsque l'étoile se rapproche : les fréquences composant l'onde lumineuse reçue augmentent, donc les longueurs d'onde des raies composant le spectre diminuent : Décalage vers le bleu → On parle de **Blueshift**