Sons et effet Doppler

Intensité sonore, niveau d'intensité sonore

Classe de Terminale — Spécialité SPC

Définition

onde = propagation d'une perturbation sans déplacement global de matière

- onde matérielle : perturbation temporaire du milieu (l'air pour le son, les roches du manteau pour les ondes sismiques)
- onde électromagnétique : propagation dans le vide

Ondes à la surface de l'eau (Wikipédia)

Onde solitaire en Angleterre (Wikipédia)

Si le milieu est non absorbant

Un point M reproduit le mouvement d'une source S avec un certain **retard** τ correspondant au temps de propagation de l'onde de S à M. Si la vitesse de propagation v de l'onde est constante, alors $\tau = SM/v$.

Phénomène périodique

Un phénomène est dit **périodique** s'il recommence à l'identique au bout d'un certain temps.
On appelle **période** T la plus petite durée au bout de laquelle le phénomène périodique recommence à l'identique.

Onde progressive

Une onde qui se propage est dite **progressive**. L'onde couple alors l'espace et le temps.

Onde progressive périodique

L'onde couplant l'espace et le temps, si elle est périodique, alors elle est périodique en espace et en temps !

- période temporelle T
- période spatiale : longueur d'onde λ

Pendant la durée T, l'onde progressive périodique avance de λ.
La vitesse de l'onde est $v = \lambda/T$ (éventuellement, v dépend de la fréquence).

Onde progressive périodique sinusoïdale OPPS

La perturbation $s(x,t)$ est représentée par une fonction sinus (ou cosinus)

$$s(x,t) = A\cos(\omega t - kx + \phi)$$
$$s(x,t) = A\sin(\omega t + kx)$$

Cachée derrière cette représentation, il y a un théorême mathématique qui dit que toute fonction périodique continue peut être représentée par une somme de sinus et/ou cosinus. Comprendre ce qui se passe pour une sinusoïde, permet par sommation de comprendre ce qui se passe pour l'onde entière.

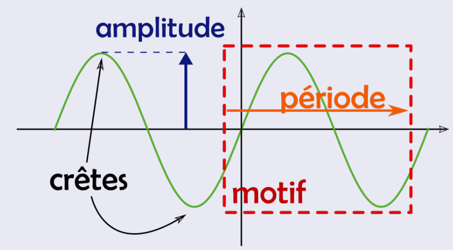
Pulsation ω

Par définition, $\omega = 2\pi f = 2\pi\nu = \dfrac{2\pi}{T}$

Nombre d'onde k

Par définition, $k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$

Amplitude A ($\neq$ amplitude crête à crête)



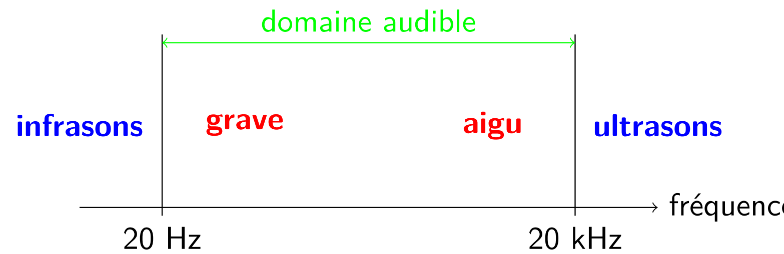
Animations

- perturbation locale et temporaire
- retard
- points vibrant en phase et en opposition de phase

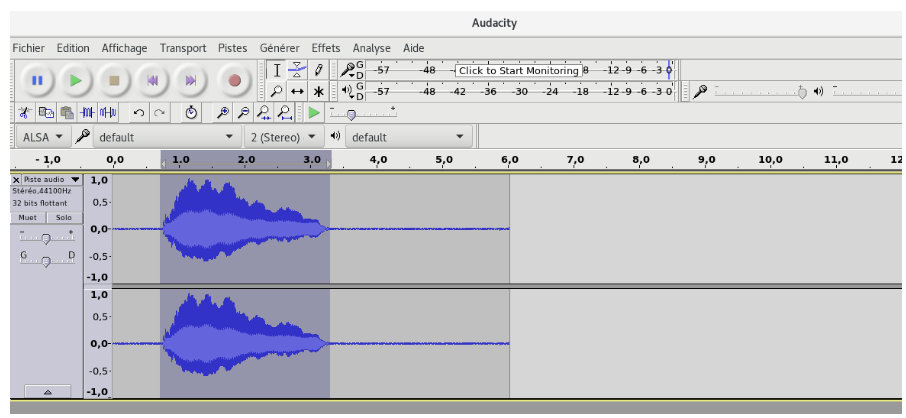
Le son est une onde sonore, qui se propage de proche en proche, par compression/dilatation.
Elle nécessite un support matériel (l'air), elle ne se propage pas dans le vide.
Sa vitesse de propagation dépend de la pression et de la température ($v \sim 340$ m.s^{-1}).

Similaire aux ondes sismiques P.

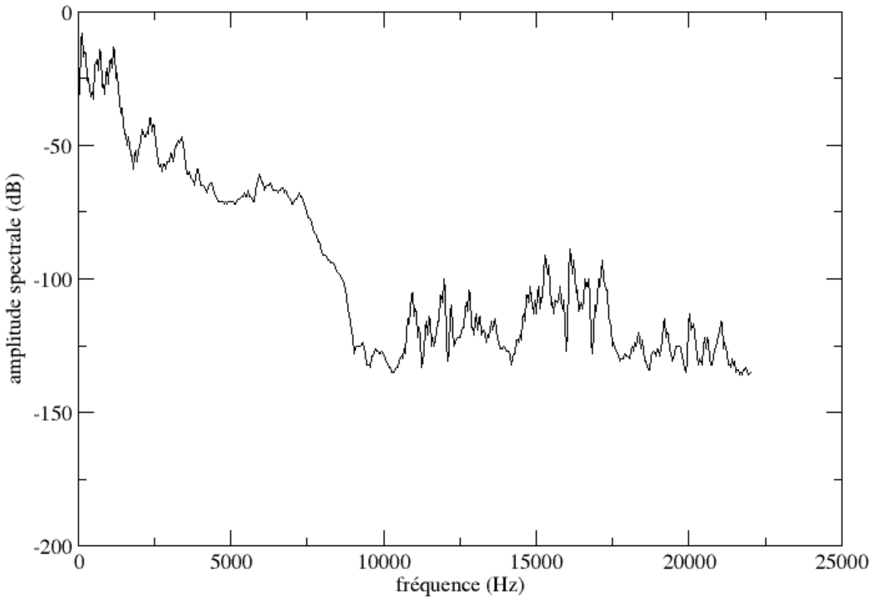
C'est une onde mécanique progressive, mais pas forcément sinusoïdale !
Une note de musique correspond à une onde sonore périodique (non sinusoïdale la plupart du temps).



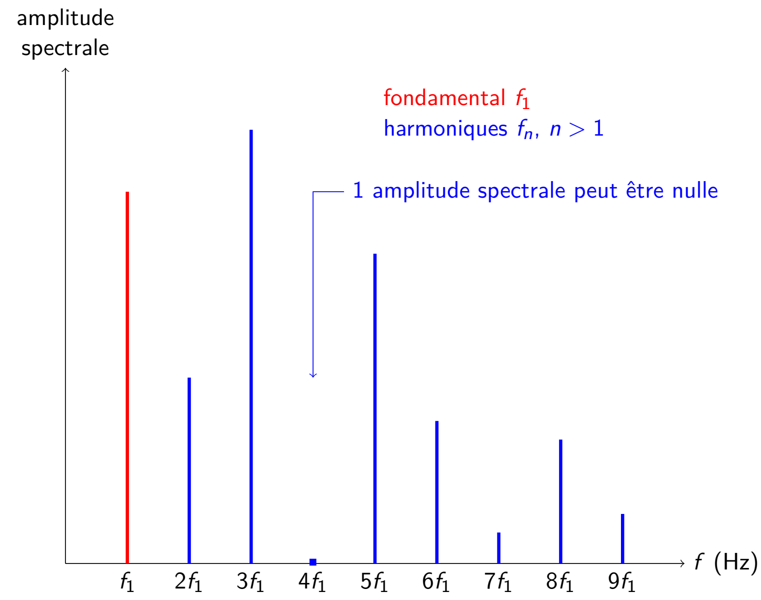
Enregistrement sonore : amplitude en fonction du **temps**



Spectre : amplitude spectrale en fonction de la **fréquence** (transformée de Fourrier)

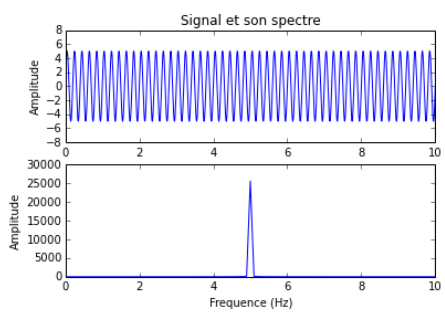


Schématisation des spectres



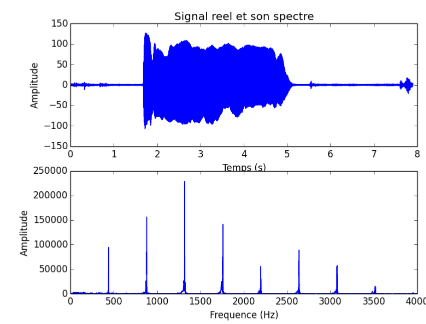
Son pur

perturbation parfaitement sinusoïdale (spectre avec un seul pic)



Son complexe

perturbation périodique non sinusoïdale (spectre avec plusieurs pics)



Le premier pic, appelé **fondamental** est la hauteur du son considéré (de fréquence f_1), les autres pics étant les **harmoniques** (de fréquence f_n), qui correspondent au timbre du son : $f_n = n \times f_1$

Intensité sonore I

énergie transportée par une onde sonore par unité de temps et de surface (en $\mathrm{W.m^{-2}}$).

$$\text{puissance (W)} = \frac{\text{énergie (J)}}{\text{temps (s)}}$$

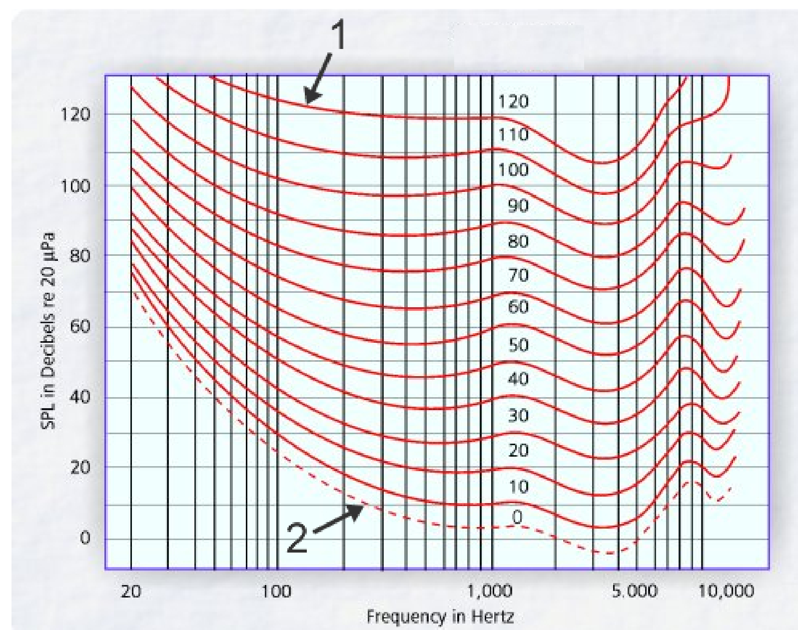
Niveau d'intensité sonore

Le niveau d'intensité sonore L (en dB) d'un son d'intensité I est donnée par la relation

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

- L niveau d'intensité sonore (en dB)
- I intensité sonore (en $\mathrm{W.m^{-2}}$)
- $I_0 = 1.0 \times 10^{-12}\ \mathrm{W.m^{-2}}$

où I_0 est le seuil d'audibilité moyen de l'oreille humaine à 1 kHz.



1 : seuil de la douleur, 2 : seuil d'audibilité

Addition de deux niveaux d'intensité sonore

$I_1 = I_2 = 30$ dB, $I_1 + I_2 = 2I_1$ donc

$$L = 10\ \log\left(\frac{2I_1}{I_0}\right) = 10\ \log 2 + 10\ \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$$

avec $10\ \log 2 = 3$ dB.

Doubler l'intensité sonore revient à augmenter le niveau d'intensité sonore de 3 dB !

Pour additionner des grandeurs logarithmiques, il faut revenir sur les intensités sonores :

$$I = I_0 \times 10^{L/10}$$

Par exemple, si $L = 30$ dB, alors $I = 10^3 \times I_0$

Exercice : 30 dB + 60 dB = 60.004 dB

Que se passe-t-il quand l'émetteur ou le récepteur d'une onde bouge ?

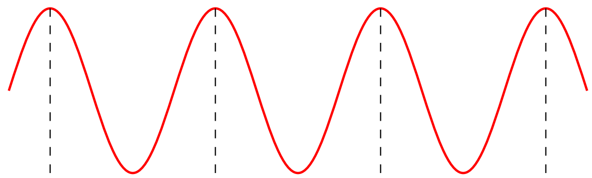
Sirène des pompiers (Youtube)

Effet Doppler

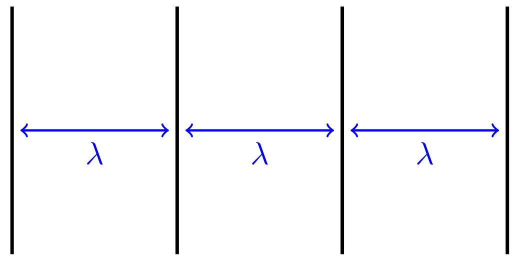
L'effet Doppler consiste en un décalage de fréquence (ou longueur d'onde) entre émetteur (f_e, λ_e) et récepteur (f_r, λ_r) d'une onde (sonore ou lumineuse). Les formules de l'effet Doppler établissent une relation entre f_e, f_r, la vitesse c de l'onde et la vitesse v de l'émetteur ou du récepteur.

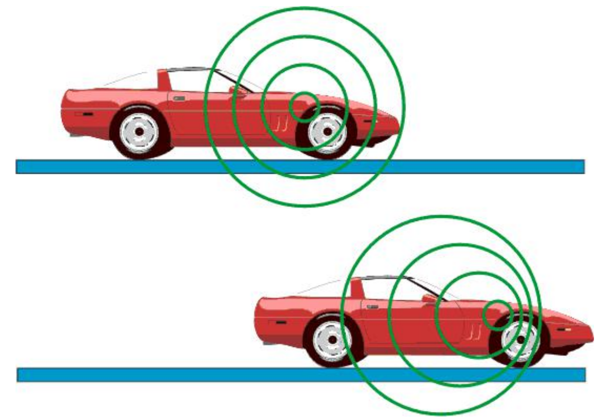
Convention de représentation d’une onde

Vue de coupe

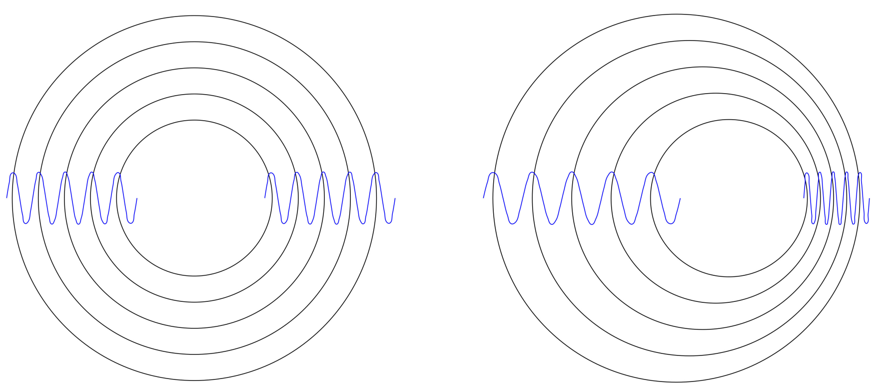


Représentation de la vue de dessus

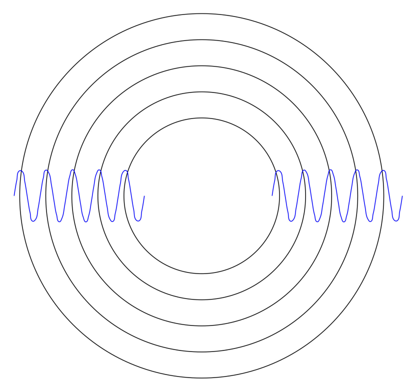




Représentation des ondes



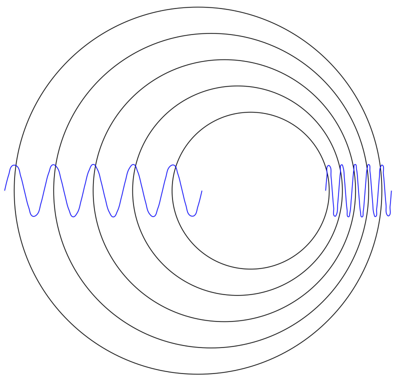
Où est l’émetteur ? Où est le récepteur ?



dans un rérérentiel où émetteur et récepteur sont **immobiles**

émission à λ_e, f_e, T_e
réception à λ_r, f_r, T_r

$\lambda_r = \lambda_e$, $f_r = f_e$, $T_r = T_e$
$\Delta\lambda = \lambda_r - \lambda_e = 0$
$\Delta f = f_r - f_e = 0$



émetteur en mouvement
(vitesse $v_e \longrightarrow$)

émission à λ_e, f_e, T_e

réception à λ_r, f_r, T_r
pour un récepteur immobile vers lequel l'émetteur avance

vitesse c de l'onde

Notre but : déterminer $\Delta\lambda = \lambda_r - \lambda_e$, puis $\Delta f = f_r - f_e$.

Il est facile de travailler sur les longueurs d'onde pour l'effet Doppler, puis de convertir en fréquence.

On verra une formule plus générale en TP.

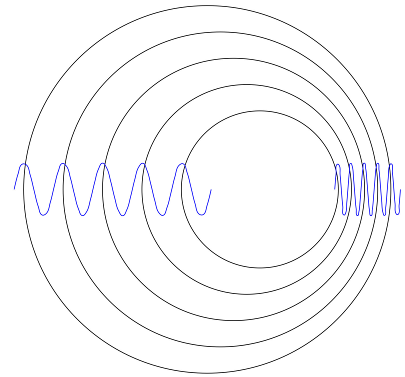
Conclusion générale sur l'effet Doppler

Si $\lambda = c/f$ diminue, f augmente, donc le son devient plus aigu.

Rapprochement = λ diminue

Eloignement = λ augmente (décalage vers le rouge ou *redshift* pour la lumière des étoiles)

L'application courante de l'effet Doppler est le radar ! La formule vue en cours doit être modifiée : avec un radar, émetteur et récepteur sont immobiles, c'est la voiture, qui réfléchit l'onde lumineuse qui est en mouvement.



émetteur se rapprochant à v_e
récepteur immobile

La relation à comprendre
$$\lambda_r = \lambda_e - v_e T_e$$

On a une onde :
$$\lambda_r = cT_r$$
$$\lambda_e = cT_e$$

On en déduit que

$$\frac{\lambda_r}{\lambda_e} = 1 - \frac{v_e}{c} \qquad \frac{f_r}{f_e} = \frac{c}{c - v_e}$$

La vitesse de la lumière est $c = 3.00 \times 10^8$ m.s^{-1}.

C'est une valeur à connaître, qui ne sera pas donnée dans les exercices.