

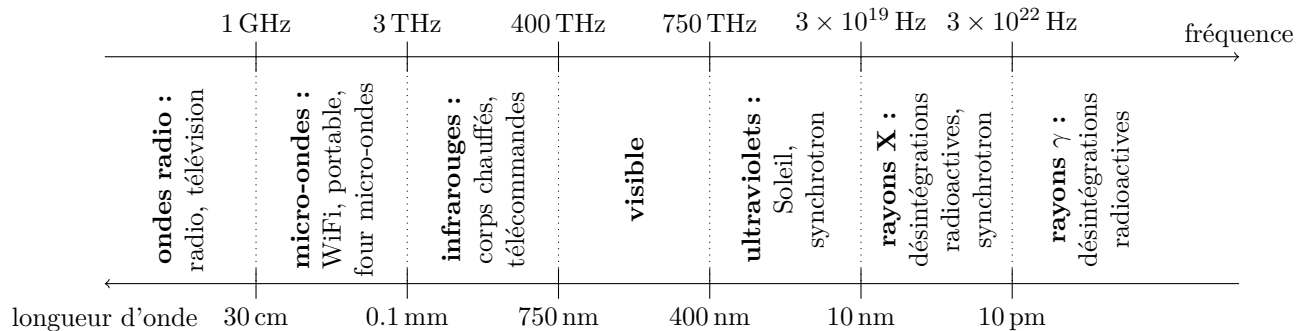
I Propagation d'un signal, ondes

1 Définition

Un onde correspond à la propagation d'une perturbation des propriétés physiques locales d'un milieu.

2 Exemples d'ondes

- acoustique (son) : Perturbation de la pression de l'air,
Vitesse de propagation : $\simeq 340$ m/s dans l'air, $\simeq 1500$ m/s dans l'eau, $\simeq 5800$ m/s dans l'acier.
fréquences caractéristiques :
 - 20 Hz–20 kHz : audition humaine
 - Jusqu'à 200 kHz : chauve-souris
 - 2 MHz–3 GHz : échographie
- électromagnétique : perturbation du champ électromagnétique (dans le vide)
vitesse de propagation : 3×10^8 m/s dans le vide fréquences caractéristiques :



- mécaniques : tremblements de terre
- vagues, ...

3 Ondes progressives

On se limite à une propagation *unidimensionnelle* dans un milieu *linéaire* et *non dispersif*.

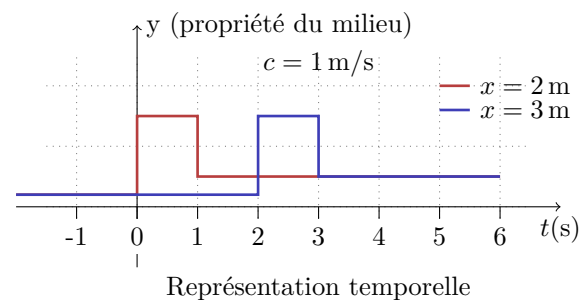
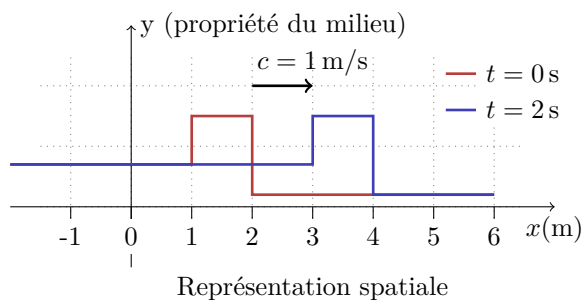
linéaire : Lorsque deux ondes se superposent, leurs amplitudes s'additionnent.

non dispersif : La vitesse de propagation d'une onde est indépendante de sa fréquence.

La vitesse de propagation de l'onde s'appelle la *célérité* (notée c).

La grandeur physique perturbée lors de la propagation de l'onde est notée y , sa valeur dépend de la position x dans le milieu et du temps t auquel on la mesure donc $y = y(x, t)$, c'est une fonction de deux variables.

On peut représenter l'allure de l'onde à un instant t_1 donnée c'est la **représentation spatiale** ou l'évolution de l'onde en un point x donné, c'est la **représentation temporelle**.



Application : La foudre tombe à une distance d d'un observateur, ce dernier mesure le temps Δt qui sépare l'éclair du tonnerre et trouve $\Delta t = 3$ s. Déterminer la distance d .

4 Ondes progressives sinusoïdales

Une onde progressive sinusoïdale est une onde pour laquelle l'amplitude de la perturbation du milieu est donnée par :

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

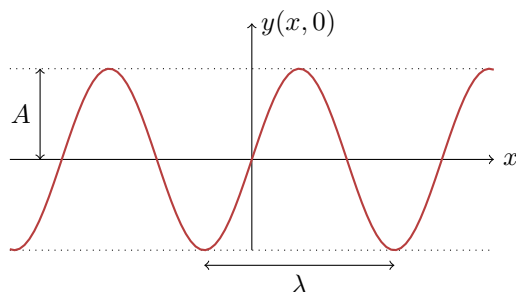
périodicité spatiale

- k : nombre d'onde (m^{-1})
- $\lambda = \frac{2\pi}{k}$: longueur d'onde (m)

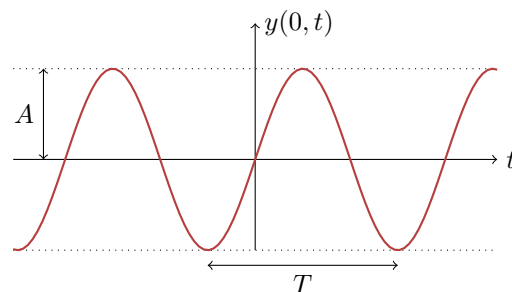
périodicité temporelle

- ω : pulsation (s^{-1})
- $f = \frac{\omega}{2\pi}$: fréquence ($\text{Hz} = \text{s}^{-1}$)
- $T = \frac{1}{f}$ période (s)

La célérité de l'onde est $c = \frac{\omega}{k} = \frac{2\pi f}{2\pi/\lambda} = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$



Évolution spatiale



Évolution temporelle

La *phase totale* de l'onde au point x et au temps t est $(kx - \omega t + \varphi)$. La phase à l'origine ($t = 0$ et $x = 0$) est φ . La phase d'une onde se mesure en radians (rad).

Application : Calculer la longueur d'onde d'un son audible, la fréquence de la lumière visible

5 Interférences entre deux ondes

Dans un milieu *linéaire* les perturbations de deux ondes qui se superposent s'additionnent.

Soient S_1 et S_2 deux sources d'ondes sinusoïdales de mêmes fréquence et amplitude situées à deux positions différentes de l'axe x .



Au point R d'abscisse x on a :

- Onde émise par S_1 : $y_1(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$
- Onde émise par S_2 : $y_2(x, t) = A \sin(k(x - d) - \omega t)$

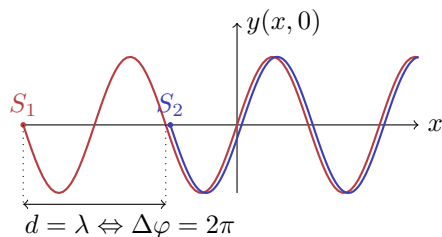
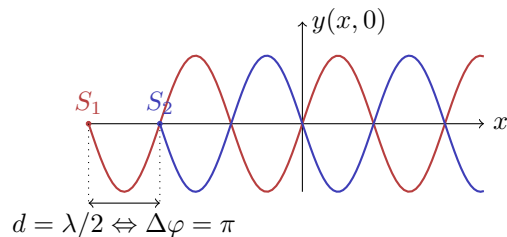
L'onde totale reçue en R est alors $y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) = A (\sin(kx - \omega t) + \sin(kx - \omega t - kd))$

On utilise la relation de trigonométrie suivante : $\sin a + \sin b = 2 \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$ et on trouve :

$$y(x, t) = 2A \sin\left(kx - \omega t - \frac{kd}{2}\right) \cos\left(\frac{kd}{2}\right) \quad (1)$$

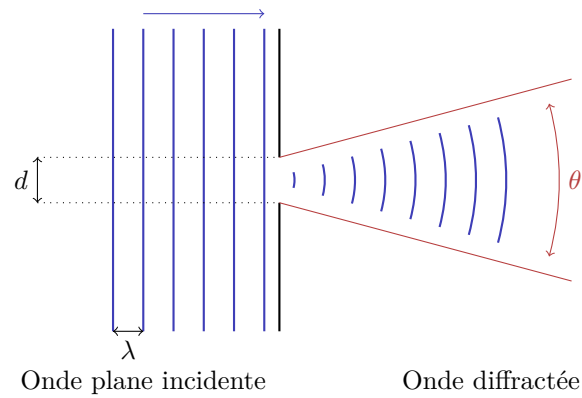
L'amplitude de l'onde résultante vaut $2A \cos\left(\frac{kd}{2}\right)$. La grandeur $kd = \Delta\varphi$ est appelée *déphasage* entre les deux ondes.

- Si $\Delta\varphi = 2n\pi \Leftrightarrow d = n\lambda$, l'amplitude résultante est maximale : *Interférences constructives*
- Si $\Delta\varphi = (2n + 1)\pi \Leftrightarrow d = (n + \frac{1}{2})\lambda$, l'amplitude résultante est nulle : *Interférences destructives*

interférences constructives $\Delta\varphi = 2n\pi$ interférences destructives $\Delta\varphi = (2n + 1)\pi$

6 Diffraction à l'infini

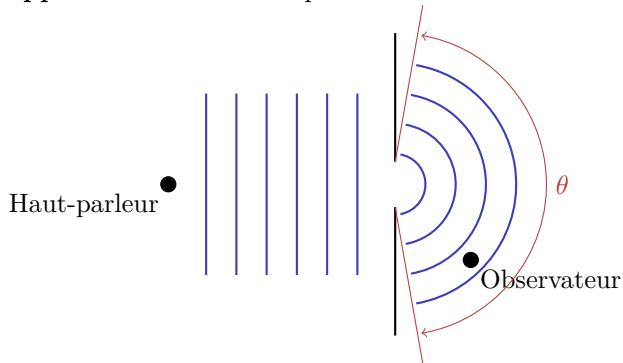
Lorsqu'une onde rencontre un obstacle, il se produit un phénomène de *diffraction*.



- d : Dimension caractéristique de l'ouverture ;
- λ : longueur d'onde ;
- θ : Angle de diffraction.

La diffraction est une propriété caractéristique des phénomènes ondulatoires, on l'observe avec la lumière, le son, les vagues, ...

Application : Un haut-parleur émet un son à une fréquence de 100 Hz à travers une porte de 1m de large :



$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300}{100} = 3 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{3 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 3 \text{ rad} \simeq 170^\circ$$

Pour démontrer ce résultat, on utilise le *principe de Huygens* : chaque point de l'ouverture se comporte comme une source secondaire d'onde sphérique.