Chapitre 3
Les propriétés des ondes

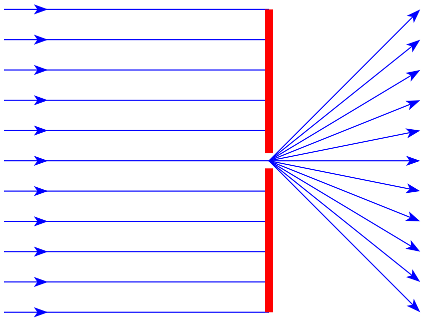
Table des matières

1 La diffraction des ondes

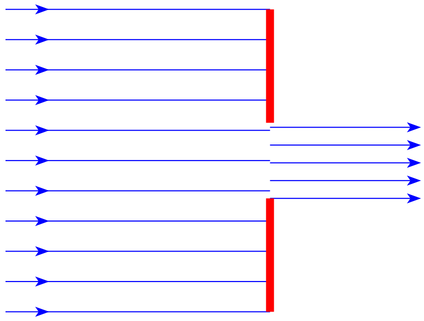
Définition 1 : On appelle diffraction, le phénomène au cours duquel une onde qui traverse une petite ouverture ou rencontre un petit objet change de direction sans modification de fréquence ou de longueur d'onde.
Le phénomène est d'autant plus important que la taile de l'obstacle ou de l'ouverture est faible.

Remarque : Pour que le phénomène de diffraction apparraisse, il faut que la taille de l'obstacle ou de l'ouverture soit du **même ordre de grandeur que la longueur d'onde** de l'onde.

Exemple : Pour une conversation, l'ordre de grandeur de la fréquence est de l'ordre de 300 Hz. Sachant que la vitesse du son est de l'ordre de 300 m.s^{-1} la longueur d'onde est de l'ordre du mètre. C'est pour cela que deux personnes peuvent tenir une consersation de chaque côté d'un arbre dans une forêt sans forcer la voix.



Petite ouverture = diffraction



Grande ouverture = pas de diffraction

Exemple : Diffraction d'une onde lumineuse
Soit une diffraction causée par un faisceau laser étroit dans une fente verticale de dimension du même ordre de grandeur que sa longueur d'onde. Le faisceau se diffracte en formant des tâches lumineuse séparées par des régions sombres qu'on appelle extinctions. La tâche centrale possède une taille plus grande et une intensité plus importante que les autres, dont la taille et l'intensité diminue en partant du centre vers la périphérie

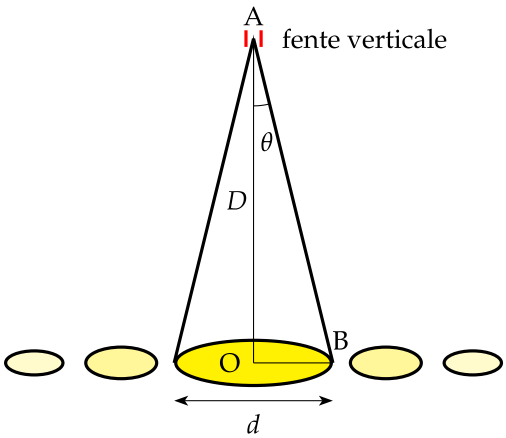
d : largeur de la tache centrale

D : distance entre l'écran et la fente

θ : angle de la diffraction

a : largeur de la fente

λ : longueur d'onde



Propriété de l'angle de diffraction d'une onde lumineuse.
L'angle θ de diffraction d'une onde lumineuse est proportionnelle à sa longueur d'onde λ et inversement proportionnelle à la largeur de la fente a.

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Lorsque l'angle θ est petit, en appelant D la distance entre la fente et la cible et d la largeur de la tache centrale, on a :

$$\theta = \frac{d}{2D}$$

Démonstration : Dans le triangle AOB rectangle en O, on a :

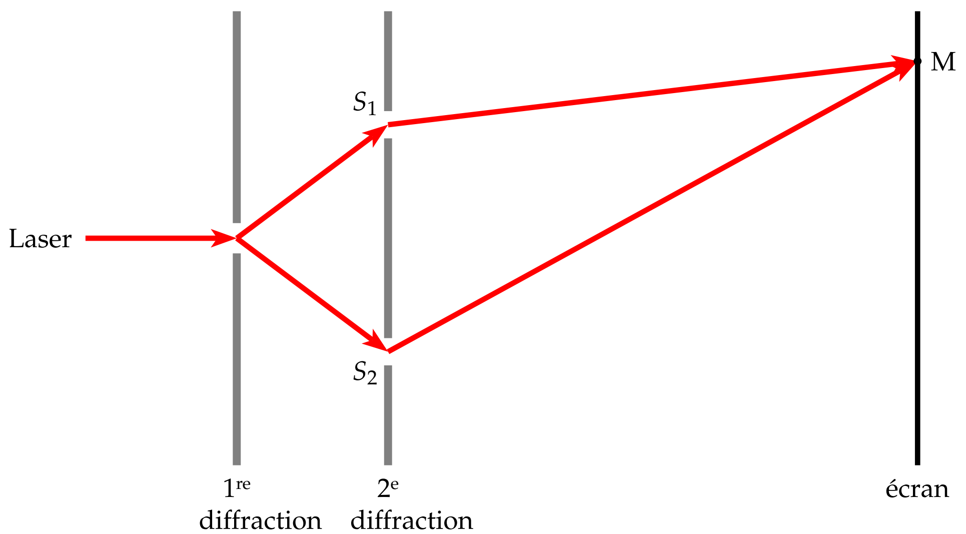
$$\tan\theta = \frac{d/2}{D} = \frac{d}{2D} \qquad \theta \text{ petit donc : } \tan\theta \simeq \theta \qquad \text{donc} \qquad \theta = \frac{d}{2D}$$

Remarque : Ce dispositif permet de mesurer la taille a de très petit objet. L'objet joue le rôle de la fente. Comme l'on connaît λ et l'on peut mesurer θ, d et D, on en déduit alors a.

2 Les interférences

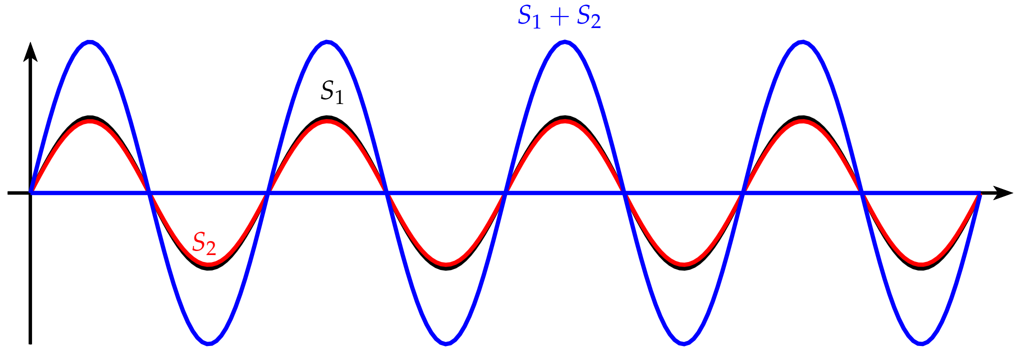
On a vu au chapitre précédent que la lumière monochromatique, émise par un laser, est une onde périodique sinusoïdale. On a vu également que les ondes progressives obéissent au principe de superposition.

Soit un rayon laser monochromatique passant par une petite fente. Après cette première diffraction, on obtient **deux sources de lumière monochromatique** S_1 et S_2. Ces rayons passent par deux autres petites fentes. On obtient une deuxième diffraction dont les rayons arrivent sur un écran. On observe alors une **succession de franges brillantes et de franges sombres** : c'est le phénomène d'interférence. Ce phénomène est dû à la différence de distances S_2M et S_1M appelée **différence de marche**.



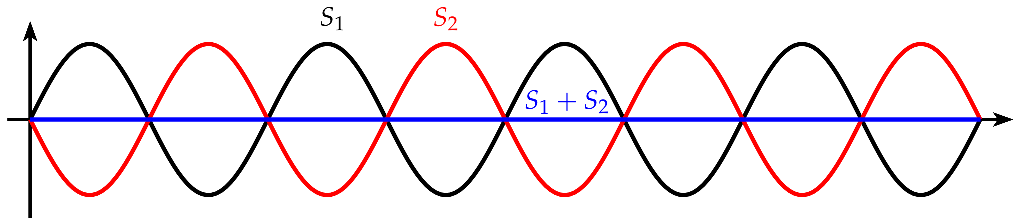
On pose : $\delta = S_2M - S_1M$ différence de marche

- Si $\delta = k\lambda$ on a une interférence constructive : « lumière + lumière = lumière ». Il y a superposition.



Les ondes arrivant en phase au point M ajoutent leurs effets ; la frange est une frange brillante.

- Si $\delta = \left(k + \dfrac{1}{2}\right)\lambda$ on a une interférence destructive : « lumière + lumière = obscurité ». Il y a annulation



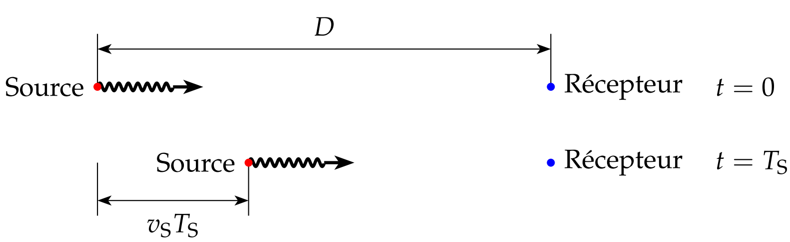
Les ondes arrivant en opposition de phase au point M annulent leurs effets ; la frange est une frange sombre.

3 Effet Doppler

Tout le monde à fait l'expérience qui consiste à entendre une voiture s'approcher puis s'éloigner d'un auditeur au bord d'une route. Le son devient plus aigu lorsque la voiture s'approche puis plus grave au fur et à mesure qu'elle s'éloigne. Il s'agit de l'effet Doppler.

Expérience 1

Une source sonore s'approche d'un auditeur fixe à la vitesse v_S. Le milieu de propagation, ici l'air est supposé immobile et la vitesse de propagation est c. La source envoie des bips avec une période T_S. À $t = 0$, la source envoie un premier bip et à $t = T_S$, la source envoie un second bip. On peut résumer cette expérience à l'aide du schéma suivant :



Par rapport au récepteur, fixe par rapport au milieu de propagation, la distance d_1 entre deux bips est donc : $d_1 = cT_S - v_S T_S$
Or la distance entre deux bips donne la quantité cT_R, en appelant T_R la période entendue par le récepteur. On a donc :

$$cT_R = cT_S - v_S T_S \quad \Leftrightarrow \quad T_R = T_S - \frac{v_S}{c} T_S = T_S \left(1 - \frac{v_S}{c}\right)$$

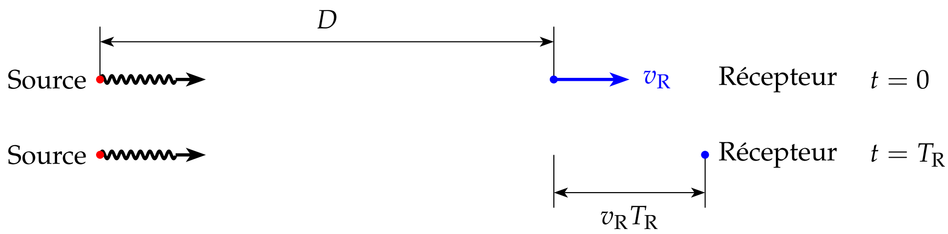
En passant aux fréquences source et récepteur, f_S et f_R, on a :

$$\frac{1}{f_R} = \frac{1}{f_S}\left(1 - \frac{v_S}{c}\right) \quad \Leftrightarrow \quad f_R = \frac{1}{1 - \dfrac{v_S}{c}} \times f_S$$

Remarque : On constate que si la source s'approche du récepteur, $v_S > 0$, la quantité $1 - \dfrac{v_S}{c} < 1$, donc $f_R > f_S$, l'auditeur entend bien un son plus aigu. Par contre si la source s'éloigne du récepteur, $v_S < 0$, la quantité $1 - \dfrac{v_S}{c} > 1$, donc $f_R < f_S$, l'auditeur entend bien un son plus grave.

Expérience 2

Un auditeur s'éloigne d'une source fixe à la vitesse v_R. Le milieu de propagation, ici l'air est supposé immobile et la vitesse de propagation est c. La source envoie des bips avec une période T_S. À $t = 0$, le récepteur reçoit un premier bip et à $t = T_R$, le récepteur reçoit un second bip. On peut résumer cette expérience à l'aide du schéma suivant :



Par rapport au récepteur, la source s'éloigne à la vitesse v_R, la distance d_1 entre la réception de deux bips est donc : $d_1 = cT_S + v_R T_R$.
Or la distance entre la réception de deux bips donne la quantité cT_R, on a donc :

$$cT_S + v_R T_R = cT_R \quad \Leftrightarrow \quad cT_S = cT_R - v_R T_R \quad \Leftrightarrow \quad T_S = T_R - \frac{v_R}{c} T_R = T_R \left(1 - \frac{v_R}{c}\right)$$

En passant aux fréquences source et récepteur, f_S et f_R, on a :

$$\frac{1}{f_S} = \frac{1}{f_R}\left(1 - \frac{v_R}{c}\right) \quad \Leftrightarrow \quad f_R = \left(1 - \frac{v_R}{c}\right) \times f_S$$

Remarque : Les deux situations ne sont pas symétriques. En effet si le récepteur fuit la source tel que $v_R > c$, le recepteur ne recevra jamais le son de la source tandis que si la source fuit le récepteur, $v_S < 0$, le récepteur recevra toujours le son de la source.

Expérience 3

La source et le récepteur sont mobile, par rapport au milieu de propagation, avec les vitesses respectives v_S et v_R. La relation entre la fréquence émise f_S et la fréquence reçue f_R est telle que :

$$f_R = \frac{1 - \dfrac{v_R}{c}}{1 - \dfrac{v_S}{c}} \times f_S = \frac{c - v_R}{c - v_S} \times f_S$$

Remarque : Les vitesses v_S et v_R sont comptées positivement dans le sens de la propagation.