

B7. Interférence lumineuse

Rappel : Diffraction = changement de direction d'une onde sur un obstacle. P.ex. onde d'eau sur une fente : <https://www.youtube.com/watch?v=M0YibOinKPI>

Le phénomène de diffraction est plus prononcé si la dimension de l'obstacle et de l'ordre de la longueur d'onde.

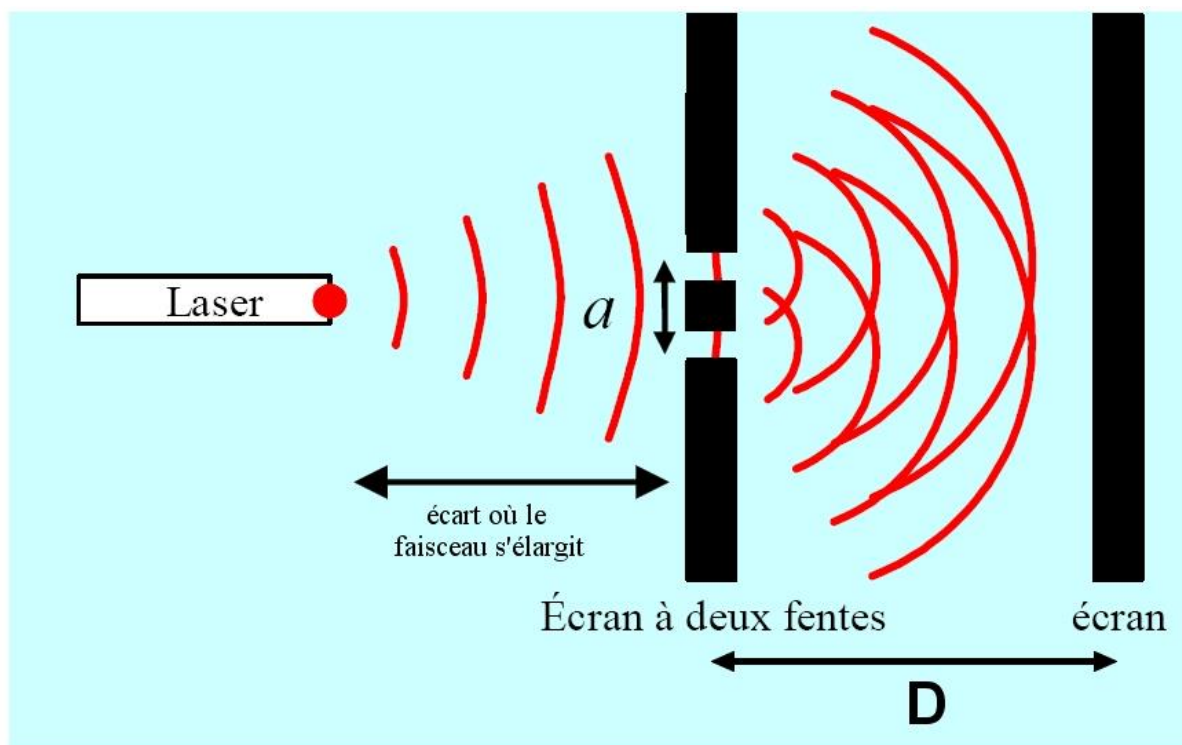
a) Expérience des fentes de Young

*** Dispositif expérimental**

Le physicien britannique Thomas Young (1773-1829) a su démontrer avec une double fente la nature ondulatoire de la lumière. Une source de lumière monochromatique (=une seule couleur) intense qui sort d'une petite ouverture (p.ex. un LASER) forme une source cohérente. Si cette lumière éclaire un écran percé de deux fentes très fines et parallèles, distantes de moins d'un millimètre, les fentes O_1 et O_2 se comportent comme deux nouvelles sources cohérentes car issues de la même source. Un écran E, placé parallèlement au plan des fentes, recueille la lumière issue de O_1 et O_2 .

Rem : Pour une lumière quelconque, la cohérence suffisante peut être obtenue en utilisant une fente préliminaire très mince.

Montage : Expérience de Young avec LASER



Simulation : <https://phet.colorado.edu/fr/simulation/legacy/wave-interference>

*** Observations**

Sur l'écran, on observe une série de raies parallèles, de même largeur, alternativement brillantes et sombres: ce sont des **franges d'interférence**. Elles sont observables dans la région où les faisceaux diffractés issus de O_1 et O_2 se superposent.

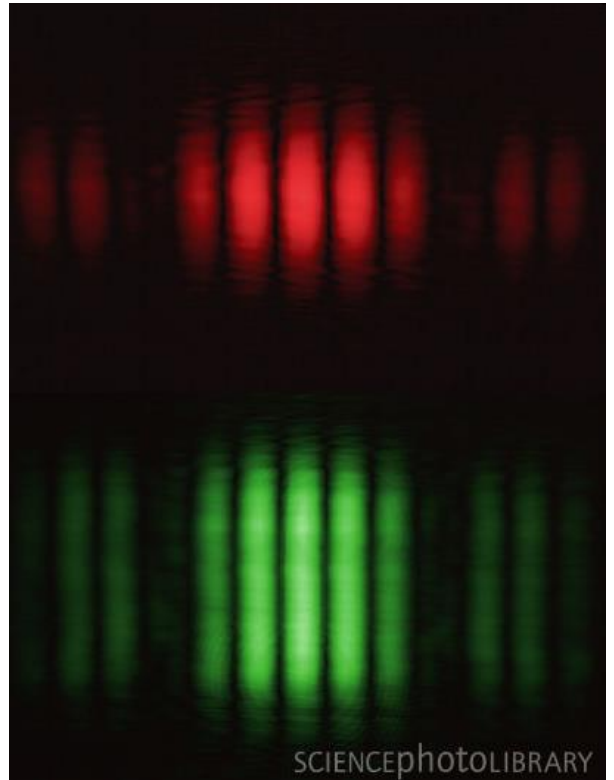
Attention : Si on observe une frange brillante centrale plus large, seulement une fente est illuminée.

Simulations :

http://www.ostralo.net/3_animations/swf/InterferenceLaser.swf

<http://clemspcreims.free.fr/Simulation/young.swf>

Photo : Résultat pour laser rouge et vert

*** Interprétation**

Il est surprenant de voir qu'en certains points de l'espace:

lumière + lumière → obscurité

Cette expérience rappelle l'expérience des interférences mécaniques où en certains points de l'espace:

mouvement + mouvement → immobilité

son + son → silence

L'expérience peut être expliquée en supposant que **la lumière monochromatique du LASER se propage comme une onde sinusoïdale**. La fréquence de l'onde lumineuse est caractéristique de la couleur de la lumière.

Les deux fentes fines O_1 et O_2 ont dédoublé l'onde émise par le laser en deux nouvelles sources cohérentes de lumière. Dans la région où les deux faisceaux se superposent, les ondes lumineuses interfèrent.

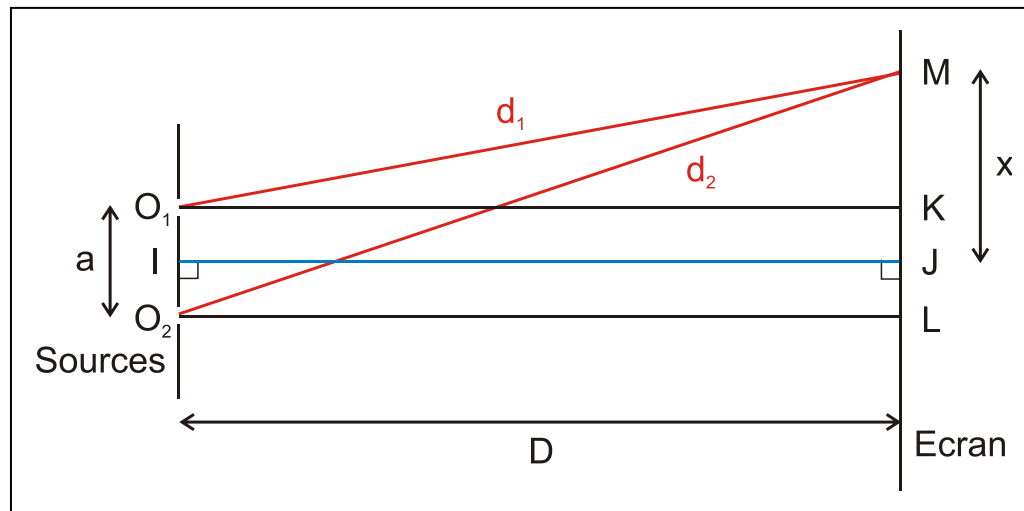
- Frange brillante = interférence constructive
- Frange obscure = interférence destructive

b) Etude théorique

* Calcul de la différence de marche

L'état vibratoire en un point M dépend de la différence de marche de ce point aux deux sources O_1 et O_2 :

$$\delta = d_2 - d_1 = O_2M - O_1M$$



D = distance séparant le plan des fentes du plan de l'écran

a = distance séparant les deux fentes

x = abscisse du point M de l'écran repéré par rapport à la médiatrice IJ de O_1O_2 .

Compte tenu de ces notations, et en appliquant le théorème de Pythagore pour les triangles (O_1KM) et (O_2LM), on peut écrire:

$$O_1M^2 = O_1K^2 + KM^2 \qquad O_2M^2 = O_2L^2 + LM^2$$

or $O_1K = O_2L = D$ et $KM = x - a/2$ et $LM = x + a/2$

$$\text{d'où } d_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2 \quad \text{et} \quad d_2^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2$$

ASTUCE : Au lieu de calculer directement $d_2 - d_1$ on écrit la différence des carrés :

$$d_2^2 - d_1^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 - D^2 - \left(x - \frac{a}{2}\right)^2$$

$$(d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = \left(x^2 + \frac{a^2}{4} + ax\right) - \left(x^2 + \frac{a^2}{4} - ax\right)$$

$$(d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = 2ax$$

Or, a et x sont des distances très faibles devant D (a et x sont de l'ordre du mm, tandis que D est de l'ordre du m). Les rayons O_1M et O_2M sont donc peu inclinés par rapport à IJ et on pourra faire l'approximation : $d_1 + d_2 \approx 2D$.

En introduisant dans la dernière relation, on obtient:

$$(d_2 - d_1) \cdot 2D = 2ax \quad \text{d'où} \quad \boxed{\delta = \frac{ax}{D}}$$

* **Position des maxima et des minima**

Franges brillantes: il y a luminosité maximale en M si l'interférence y est constructive, c.-à-d. si: $\delta = k \cdot \lambda$, $k \in \mathbb{Z}$

$$\frac{ax}{D} = k \cdot \lambda$$

$$\boxed{x = k \cdot \frac{\lambda D}{a}}$$

Les abscisses des franges brillantes sont donc: $0, \pm \frac{\lambda D}{a}, \pm \frac{2\lambda D}{a}, \dots$

La frange centrale est donc brillante.

Franges obscures: il y a obscurité en M si l'interférence y est destructive, c.-à-d. si:

$$\delta = (2k' + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad k' \in \mathbb{Z}$$

$$\frac{ax}{D} = (2k' + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\boxed{x = \frac{(2k' + 1) \cdot \lambda D}{2a}}$$

Les abscisses des franges obscures sont donc: $\pm \frac{\lambda D}{2a}, \pm \frac{3\lambda D}{2a}, \pm \frac{5\lambda D}{2a} \dots$

* **Interfrange et longueur d'onde de la lumière**

L'interfrange i est la distance constante qui sépare le milieu de deux franges voisines brillantes (ou obscure) :

$$\boxed{i = \frac{\lambda D}{a}}$$

i augmente avec la longueur d'onde. Donc plus écartés pour le laser rouge que pour le vert. Pour une lumière monochromatique donnée les franges sont d'autant plus éloignées que les fentes sont rapprochées ou que l'écran se trouve loin des fentes.

La mesure exacte de l'interfrange permet de déterminer la longueur d'onde de la lumière utilisée. On trouve des longueurs d'onde comprises entre $0,40 \mu\text{m}$ (lumière bleue) et $0,80 \mu\text{m}$ (lumière rouge).

* **Vérification expérimentale** (Mesure salle et couloir)

Applet pour grands angles (TP): http://www.walter-fendt.de/html5/phfr/doubleslit_fr.htm