

MP n°6 : Interférences

Bibliographie :

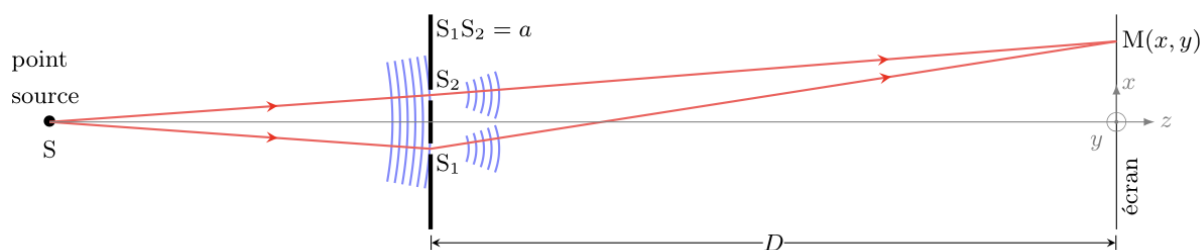
- *Optique expérimentale*, Sextant
- *Expériences de physique* : Capes de sciences physiques, Duffait, Bréal
- *Expériences de physique* : optique, mécanique, fluides, acoustique, Bellier, Dunod
- *Montages de physique* : optique, mécanique, statique des fluides, calorimétrie, Bellier, Bouloy, Guéant, Dunod
- *Optique* : une approche expérimentale, Houard, De Boeck
- *Les montages à l'agrégation interne de sciences physiques*, Dumont, Ellipses
- *Physique expérimentale* : Optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique, Fruchart, Lidon, Thibierge, Champion, Le Diffon, De Boeck

Introduction

1 Les fentes d'Young

1.1. Rappels théoriques

Thomas Young (1773 Milverton, Somerset - 1829 Londres) : médecin et physicien anglais. Partisan du modèle ondulatoire de la lumière, il fit une expérience décisive en faveur de cette théorie. Passionné d'égyptologie il aida également au déchiffrement de la Pierre de Rosette. Il réalisa en 1801 une expérience maintenant célèbre puisqu'elle permit de mettre en évidence le caractère ondulatoire de la lumière. Le dispositif consiste à éclairer à l'aide d'une source ponctuelle monochromatique S, un écran percé de deux trous identiques S_1 et S_2 relativement proches et équidistants de S. Ces deux trous diffractent la lumière et se comportent comme deux sources ponctuelles secondaires vibrant en phase et produisant sur un écran placé à la distance D des franges d'interférences. Dans le champ d'interférence, on observe que la lumière se répartit dans un système de franges alternativement sombres et claires quasi-rectilignes. ce phénomène d'interférence disparaît lorsque l'on masque l'un des trous.



Analyse qualitative

Il faut noter que S_1 et S_2 sont dans le même état vibratoire puisqu'ils proviennent du même front d'onde en ce sens il y a division du front d'onde. Par conséquent, le déphasage en M entre les ondes issues de S_1 et S_2 s'écrit

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(S_1M - S_2M)$$

Les franges brillantes sont telles que $\Delta\phi = 2p\pi$ c'est-à-dire $S_1M - S_2M = p\lambda$. Dans cette relation, p est un entier relatif qui désigne l'ordre d'interférence.

$p = 0$ correspond au plan médiateur de $[S_1S_2]$ ce qui donne sur l'écran d'observation, une frange rectiligne horizontale. Cette frange a la particularité d'être achromatique : en effet, sa position étant indépendante de λ , elle sera blanche si la source est blanche.

Pour $p \neq 0$, l'ensemble des points M tel que $S_1M - S_2M = p\lambda$ correspond à une hyperboloïde d'axe de révolution S_1S_2 . Dans le plan (xOz) on observe des branches d'hyperboles et sur l'écran des franges quasi-rectilignes parallèles et horizontales. On peut noter que ces franges n'existent pas toujours puisque la condition $S_1M - S_2M = p\lambda$ avec $p \neq 0$ n'a pas de solution lorsque $p\lambda > a$. C'est pourquoi, si $a \ll \lambda$, on ne voit que la frange centrale. En pratique, λ étant de l'ordre du μm et a de l'ordre du mm, on observe un grand nombre de. Le nombre donne le nombre de franges brillantes. En pratique le nombre de franges visibles est limité par le champ d'interférence et les phénomènes d'incohérence.

Répartition de l'intensité

Cherchons à établir la répartition de l'intensité du rayonnement sur un écran placé parallèlement à l'écran source et à la distance $D \gg a$. Tout d'abord, si les trous sont de même taille, on peut considérer que l'onde produite par S_1 en un point de l'écran est de même amplitude que celle créée par S_2 . On peut donc se ramener à l'étude de l'interférence de deux ondes identiques issues de deux points différents. On a vu précédemment que l'intensité vaut dans ce cas

$$I = 2I_0(1 + \cos \Delta\phi) \quad \text{avec} \quad \Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(S_1M - S_2M)$$

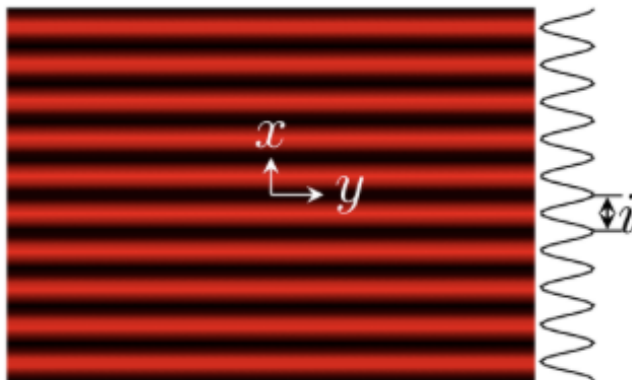
où I_0 est l'intensité obtenue lorsque l'on masque un trou. En pratique, le champ d'interférence est assez restreint (limité par le champ de diffraction et l'incohérence de la source), c'est pourquoi on se place dans le cadre des petits angles nbsp ; : $|x| \ll D$ et $|y| \ll D$. Le déphasage vaut :

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \frac{2\pi}{\lambda}(S_1M - S_2M) \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} \left(\sqrt{(x+a/2)^2 + y^2 + D^2} - \sqrt{(x-a/2)^2 + y^2 + D^2} \right) \\ &= \frac{2\pi}{\lambda} D \left(\sqrt{1 + \frac{(x+a/2)^2 + y^2}{D^2}} - \sqrt{1 + \frac{(x-a/2)^2 + y^2}{D^2}} \right) \\ &\simeq \frac{2\pi}{\lambda} D \left(1 + \frac{1}{2} \frac{(x+a/2)^2 + y^2}{D^2} - 1 - \frac{1}{2} \frac{(x-a/2)^2 + y^2}{D^2} \right) \\ \Delta\phi &\simeq \frac{2\pi}{\lambda} \frac{ax}{D} \end{aligned}$$

où l'on a utilisé $\sqrt{1+\epsilon} \simeq 1 + \epsilon/2$ quand $\epsilon \ll 1$. L'intensité s'écrit donc

$$I(x, y) = 2I_0 \left[1 + \cos \left(2\pi \frac{x}{i} \right) \right] \quad \text{avec} \quad i = \frac{\lambda D}{a} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

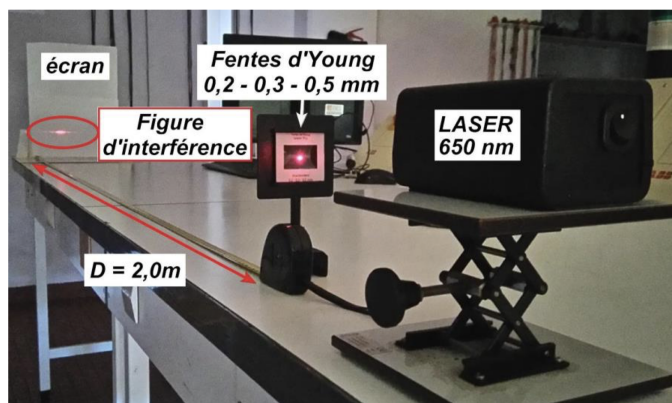
Comme on le voit sur la figure ci-contre, l'intensité est modulée spatialement suivant x , ce qui fait apparaître des franges rectilignes horizontales. Les franges brillantes sont telles que $x_p = pi$ avec p l'ordre d'interférence. Autrement dit, i correspond à la distance qui sépare deux franges brillantes nbsp ; : i est l'inter-frange



Si l'on veut que le phénomène soit visible à l'œil nu, l'interfrange i doit être de l'ordre du millimètre au moins. Comme la longueur d'onde est de l'ordre du micromètre, il faut $\frac{D}{a} > 10^3$. Si l'on choisit $D = 1$ m, cela impose $a < 1$ mm. Les trous d'Young sont simplement remplacés par des fentes horizontales ce qui permet d'augmenter la luminosité du phénomène sans altérer le contraste.

1.2. Expérience

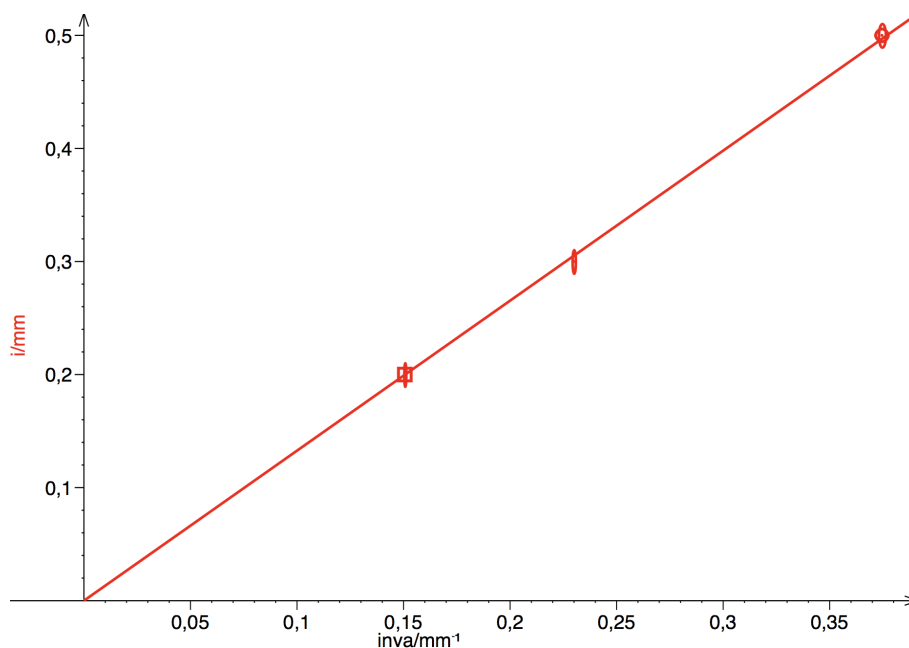
On réalise le montage ci-contre dont le principe est d'éclairer avec une LASER une double fente (appelée fente d'Young). Une figure d'interférence se forme alors sur un écran placé à 2,0 m de la double fente. Cette figure d'interférences est formée de tâches lumineuses de taille et d'espacements réguliers. L'interfrange est alors mesuré pour différentes double fentes (0,2 - 0,3 - 0,5 mm).



On mesure une dizaine d'interfranges pour augmenter la précision. Puis, on divise le résultat par cette valeur. Plus les fentes sont rapprochées plus il y a d'interfranges.

Ecartement a (mm)	0,2 mm	0,3 mm	0,5 mm
Nombre d'interfranges	15 dans 99,55 mm	24 dans 104,45 mm	31 dans 82,6 mm
Interfrange i (mm)	6,64 mm	4,35 mm	2,67 mm

L'interfrange est inversement proportionnel à la distance séparant les fentes. Le LASER ayant une longueur d'onde de 650 nm et l'écran étant distant de 2,0 m des fentes, si on calcule le produit $\lambda \times D$ on trouve $1,30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, soit la valeur du coefficient directeur de la fonction linéaire $i = f(1/a)$.



On retrouve bien la loi

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

2 Détermination de la longueur d'onde d'un laser vert

Détermination de la longueur du laser vert :

$$\lambda = \frac{ia}{D}$$

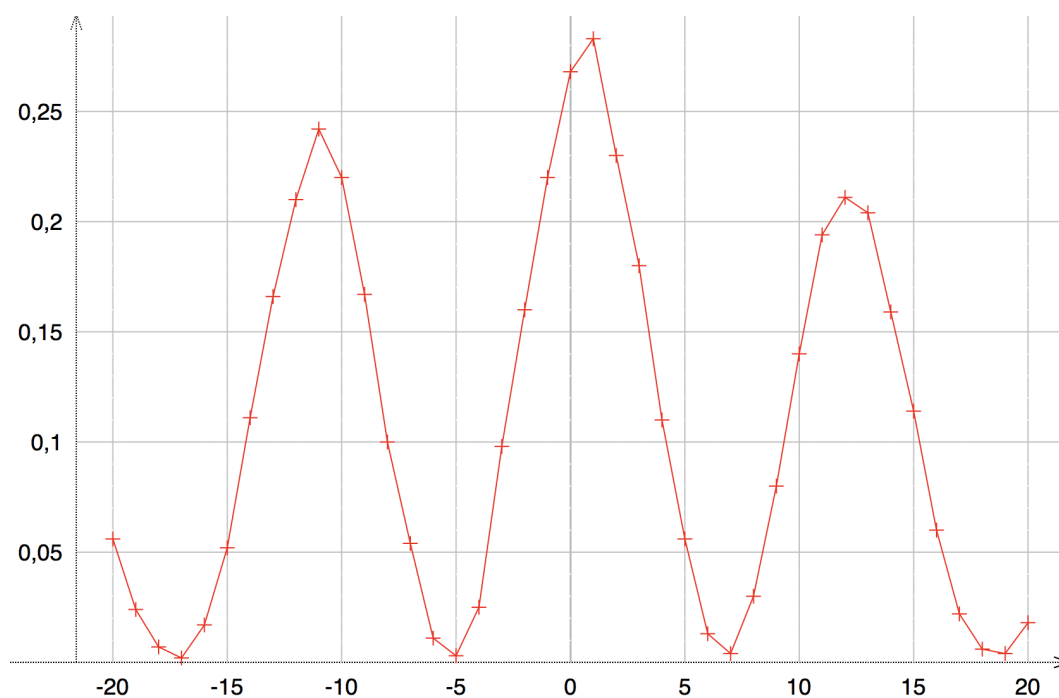
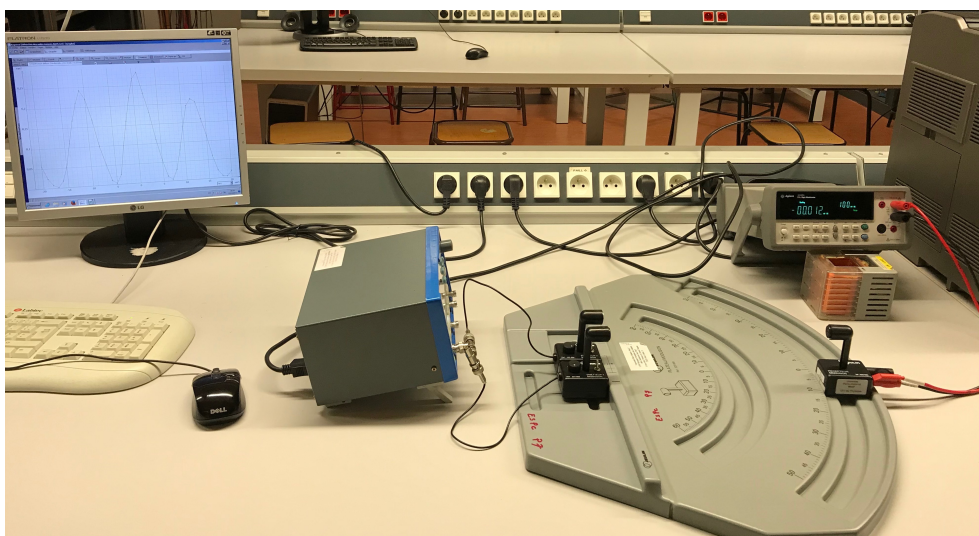
Incertitude :

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\Delta i}{i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2}$$

$$\lambda = 542 \pm 15 \text{ nm}$$

La longueur d'onde donnée par le constructeur est de 544 nm. La valeur obtenue est donc en accord compte tenu des incertitudes expérimentales.

3 Interférences d'ondes ultrasonores



Conclusion