

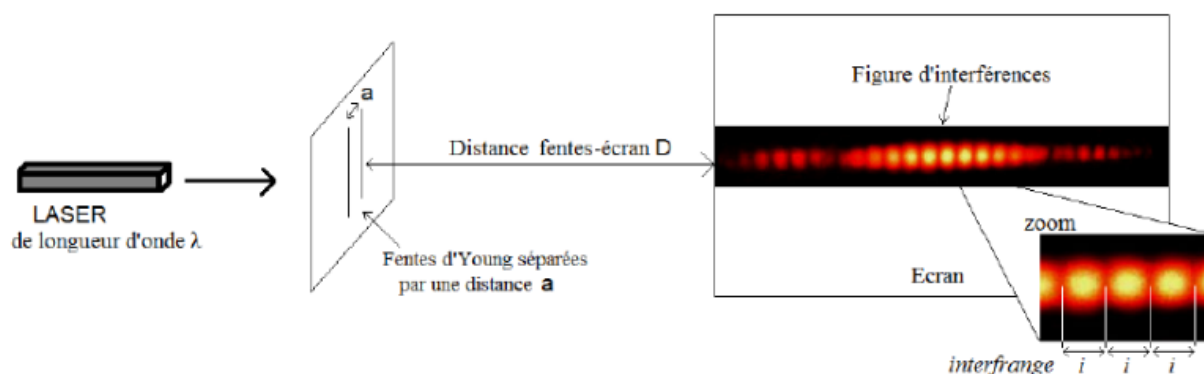
Activité expérimentale

Interférences lumineuses

Thomas Young (13 juin 1773-10 mai 1829) est physicien, médecin et égyptologue britannique. L'apport de Young au domaine de l'optique est sans doute son plus grand motif de célébrité, en particulier sa célèbre expérience de la double fente. En 1801, il fait passer un faisceau de lumière à travers deux fentes parallèles, et le projette sur un écran. La lumière est diffractée au passage des fentes et produit sur l'écran des franges d'interférences, c'est-à-dire une alternance de bandes éclairées et non-éclairées. Young en déduit la nature ondulatoire de la lumière.

1. Interférences à deux ondes, fentes d'Young

On dispose d'un jeu de fentes, d'un laser, d'une règle graduée et d'un écran. Eclairer les fentes à l'aide du laser puis observer les interférences lumineuses sur un écran à une distance d'environ 1,0m des fentes :



On appelle interfrange i la plus petite distance qui sépare le centre de deux franges brillantes ou de deux franges sombres.

1. Comment varie i , l'interfrange, en fonction de la distance D entre le plan des fentes et l'écran ?
2. Comment varie i en fonction de la distance a entre les fentes ?
3. En déduire, parmi les formules proposées celle qui correspond à la formule de l'interfrange :

a/ $i = \lambda \cdot D \cdot a$ b/ $i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$ c/ $i = \frac{\lambda \cdot a}{D}$ d/ $i = \frac{\lambda}{D \cdot a}$

4. On s'intéresse dans la suite à déterminer de façon expérimentale la longueur d'onde λ du laser. Pour cela, compléter le tableau de valeurs suivant et placer ces valeurs dans le tableur du logiciel Latispro.

On fixe $a=40\text{ }\mu\text{m}$.

D (m)	0,50	0,70	0,90	1,10	1,30	1,50	1,70
i (m)							

5. Tracer la courbe $i=f(D)$.
6. Modéliser cette courbe à l'aide du modèle le plus adapté. Quel modèle faut-il choisir ? Noter les paramètres du modèle.
7. En déduire la valeur de la longueur d'onde λ du laser.
8. La valeur obtenue est-elle cohérente avec la valeur indiquée sur le laser.

9. En utilisant les interférences lumineuses, on peut donc déterminer les dimensions de tout-petits objets. Par exemple, un réseau est constitué d'un support transparent sur lequel ont été gravés des traits parallèles équidistants. Le "pas" du réseau, noté a , correspond à la distance séparant deux traits consécutifs.



Ces traits parallèles se comportent comme des fentes, qui, lorsqu'elles sont éclairées, donnent une figure d'interférences.

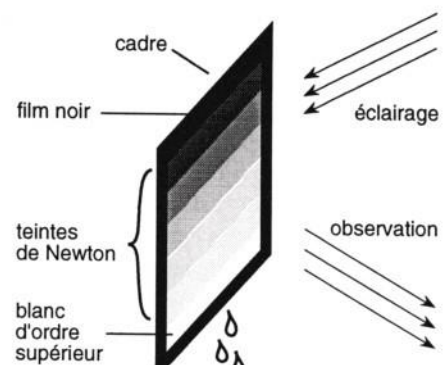
- a. Proposer un protocole expérimental afin de déterminer la valeur du pas a de ce réseau. Le mettre en œuvre et déterminer la valeur du pas a . (sur une seule mesure pour gagner du temps).
- b. Comparer le résultat à la valeur indiquée sur la diapositive.

2. Franges d'égales épaisseur d'une lame de savon

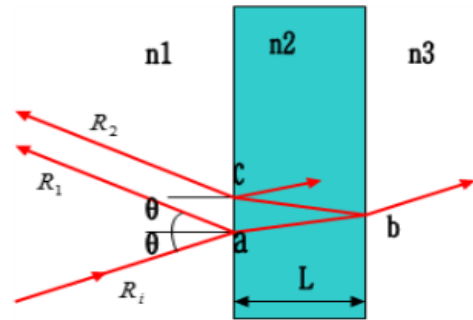
Description du phénomène

On réalise une solution constituée de 8 volumes d'eau, 1 volume de glycérine et 1 volume de liquide vaisselle. On plonge ensuite un cadre métallique dans cette solution, puis une fois le film savon accroché au cadre, on le met vertical et on observe.

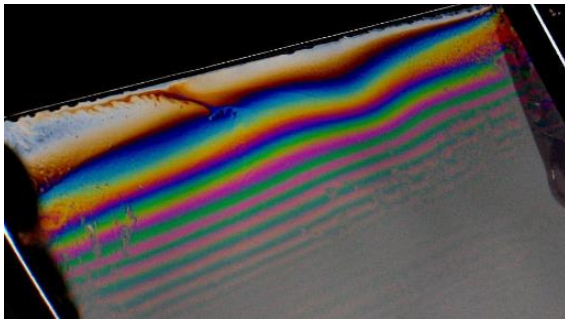
1. Observer précisément l'évolution du film de savon et noter vos observations.



Afin d'interpréter le phénomène, on considère un rayon R_i arrivant sur la surface du liquide représenté par le milieu d'indice n_2 . Sur la figure $n_1=n_3=1,0$ (air) et $n_2=1,3$ (eau). Les rayons R_1 et R_2 représentent les ondes lumineuses qui ont été réfléchies par la face avant et par la face arrière de la lame. Les deux rayons réfléchis possèdent la même direction de propagation, et vont interférer à l'infini. L'état d'éclairement observé dépend alors de leur différence de marche δ qui dépend elle-même de l'épaisseur de la lame de savon.



C'est-à-dire que la couleur observée en un point dépend directement de l'épaisseur de la lame de savon. On parle alors de « franges d'égale épaisseur », il y a une relation entre épaisseur et couleur.



Sur la figure ci-contre, qui correspond au stade le plus évolué du film de savon (juste avant son éclatement), on observe de haut en bas, et par ordre d'épaisseur croissante, une frange noire, puis bleue, puis jaune/orangée, puis rouge, puis pourpre, puis bleue, puis verte, puis jaune, puis pourpre/rose, puis bleue, puis verte. A partir de ce moment-là, on n'observe plus qu'une alternance de franges roses et vertes, de plus en plus délavées, et le film devient blanc tout en bas, lorsque l'épaisseur devient importante.

Différence de marche entre R_1 et R_2

Le rayon R_2 parcourt un trajet supplémentaire par rapport à R_1 égal au chemin optique abc . Si l'angle θ est faible, la différence de marche s'écrit :

$$\delta = 2 \cdot n_2 \cdot L$$

L'état d'interférence, constructif ou destructif, ne dépend pas seulement de la différence de marche géométrique entre R_1 et R_2 , mais aussi d'éventuels déphasages supplémentaires provenant des différences d'indices optiques entre l'indice n_2 de la lame de savon et les indices n_1 et n_3 des milieux extérieurs. Ainsi, dans le cas des films de savons, observés par réflexion, il y aura un déphasage de π lors de la réflexion sur la face avant ($n_2 = 1,3 > n_1 = 1$) et aucun déphasage lors de la réflexion sur la face arrière ($n_2 = 1,3 > n_3 = 1$). Il y aura donc une différence de marche supplémentaire résultante de $\frac{\lambda}{2}$.

Au total :
$$\delta = 2 \cdot n_2 \cdot L + \frac{\lambda}{2}$$

Les interférences sont constructives dans le cas où :

$$\delta = k \cdot \lambda \text{ soit } \delta = 2 \cdot n_2 \cdot L + \frac{\lambda}{2} = k \cdot \lambda \text{ donc}$$

$$L = \left(k - \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot n_2} \text{ avec } k=1,2,3,\dots$$

Si l'épaisseur de la lame de savon est trop faible, il ne peut pas y avoir d'interférences et la lame paraît noire.

Au contraire, si la lame a une épaisseur convenable, il existe une unique longueur d'onde pour laquelle les interférences sont constructives et la surface de lame de savon apparaît colorée.

Enfin, si la lame est assez épaisse et dépasse plusieurs longueurs d'onde, deux longueurs d'onde différentes peuvent avoir leur maxima pour la même épaisseur, d'où une couleur non pure.

Pour des épaisseurs encore plus grandes, beaucoup de longueurs d'onde différentes peuvent donner lieu à des interférences constructives de sorte que le contraste des systèmes de franges superposés diminue et que la couleur perçue tend vers le blanc.

2. Pourquoi parle-t-on de franges d'égale épaisseur ?
3. Expliquer pourquoi la différence de marche vaut : $\delta = 2 \cdot n_2 \cdot L + \frac{\lambda}{2}$
4. Connaissant le domaine des longueurs d'ondes visibles, en utilisant l'expression $L = \left(k - \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot n_2}$ donner un ordre de grandeur de l'épaisseur de la lame de savon lorsqu'on observe des interférences.
5. Quelle est l'épaisseur de la lame de savon lorsqu'on observe une couleur jaune à 590 nm ?

Matériel

Banc d'optique

Laser

Support de fentes

Fentes d'Young

Ecran

1 L de solution à bulles répartie dans 4 cristallisoirs (Solution constituée de 8 volumes d'eau, 1 volume de glycérine et 1 volume de liquide vaisselle).

Cadre métallique pour réaliser un film de savon.