

OPTIQUE 7 :

Interférences lumineuses

École Centrale Pékin

Année 3

Table des matières

3	Interférences de deux sources ponctuelles cohérentes situées à l'infini (ondes planes)	2
3.1	Réalisation expérimentale et modélisation	2
3.2	Figure d'interférences	2
4	Schéma de principe de quelques dispositifs interférentiels fonctionnant par division du front d'onde	5
4.1	Miroirs de Fresnel	5
4.2	Dispositif des trous de Young	5

3 Interférences de deux sources ponctuelles cohérentes situées à l'infini (ondes planes)

3.1 Réalisation expérimentale et modélisation

On étudie le cas où les sources secondaires S_1 et S_2 sont à l'infini. Chaque source S_i crée une onde lumineuse assimilable à une onde plane d'amplitude :

$$s_i(M, t) = A_{0i} \cos \left(\omega t - \underbrace{\varphi_i(O) - \vec{k}_i \cdot \overrightarrow{OM}}_{-\varphi_i(M)} \right)$$

où O est un point de référence. On tient cependant compte de la largeur finie des faisceaux : le champ d'interférences est représenté sur la figure 1.

La propagation des faisceaux ayant lieu dans un milieu homogène d'indice optique n , on a :

$$\|\vec{k}_1\| = \|\vec{k}_2\| = n \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

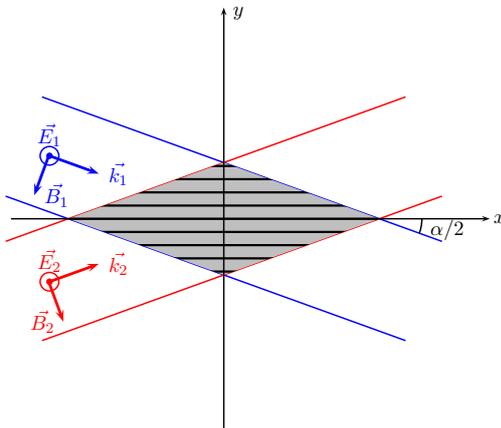


FIGURE 1 – Géométrie du problème

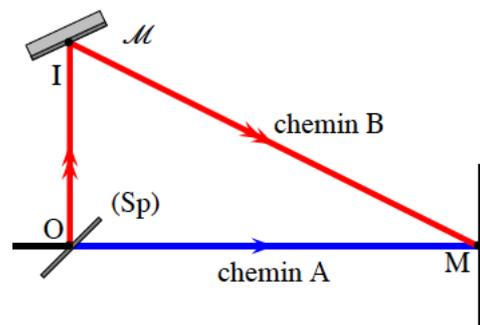


FIGURE 2 – Un dispositif expérimental

La figure 2 représente un dispositif expérimental permettant de réaliser de telles interférences. Un faisceau laser est divisé par une lame semi-réfléchissante (**division d'amplitude**). L'un des deux faisceaux fils est transmis (chemin A) tandis que l'autre est réfléchi par la lame puis réfléchi par un miroir plan (chemin B) afin de pouvoir être superposé au premier faisceau dans le champ d'interférences situé au voisinage du point M.

3.2 Figure d'interférences

Théorème - Forme des franges d'interférences : Les franges d'interférences de deux faisceaux issus de sources synchrones à l'infini (de longueur d'onde dans le vide λ_0) se propageant dans un milieu homogène d'indice optique n , sont des plans parallèles au plan médiateur des sources (cf. figure 1).

Les franges de même nature sont équidistantes : on peut définir l'interfrange i . On détermine :

$$i = \frac{\lambda}{2 \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} = \frac{\lambda_0}{2n \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)}$$

où α désigne l'angle entre les deux faisceaux.

Démonstration.

□

4 Schéma de principe de quelques dispositifs interférentiels fonctionnant par division du front d'onde

4.1 Miroirs de Fresnel

Ce dispositif (cf. figure 3) est constitué de deux miroirs plans faisant un angle α entre eux (pour des raisons de lisibilité, l'angle a été exagéré : il est en fait de l'ordre de 10^{-2} rad). Les deux faisceaux réfléchis sur les miroirs (M_1) et (M_2) sont initialement issus de S donc cohérents. Ces faisceaux semblent provenir de S_1 et S_2 , images de S par les miroirs (M_1) et (M_2). Elles jouent le rôle de sources secondaires et permettent de calculer facilement la différence de marche entre deux rayons.

Raisonnons dans le plan contenant la source S et les normales aux miroirs, et appelons A le point commun aux miroirs dans ce plan. Comme $AS = AS_1$ et $AS = AS_2$, les trois points S , S_1 et S_2 sont sur un même cercle de centre A . Soit θ l'angle entre la droite (AS) et le miroir (M_1) (plus rigoureusement l'angle entre (AS) et le segment intersection du miroir plan (M_1) avec le plan de la figure), alors $\widehat{SAS_1} = 2\theta$. De même, puisque l'angle entre (AS) et (M_2) est $\theta + \alpha$, alors $\widehat{SAS_2} = 2(\theta + \alpha)$. Par différence, $\widehat{S_1AS_2} = 2\alpha$. Ce résultat permet de déterminer la distance entre les deux sources secondaires. On est alors dans le cas de l'étude menée au paragraphe ?? : l'écran étant placé parallèlement à l'arête des miroirs et aux points S_1 et S_2 , on observe des franges rectilignes parallèles à l'arête des miroirs. Notez que le champ d'interférences (grisé) est restreint.

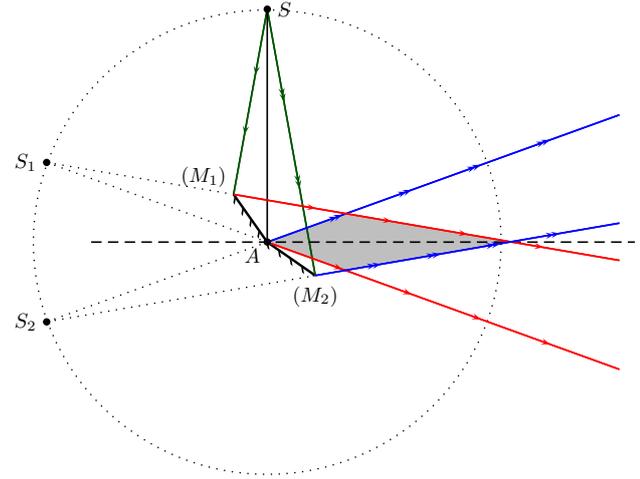


FIGURE 3 – Miroirs de Fresnel

4.2 Dispositif des trous de Young

4.2.1 Présentation

Le dispositif des trous de Young est représenté sur la figure 4. Il est constitué de deux trous S_1 et S_2 percés dans un écran opaque et éclairés par une source lumineuse S supposée monochromatique (longueur d'onde dans le vide λ_0). Nous supposons, dans un premier temps, que la source primaire est ponctuelle et située sur la médiatrice des deux trous, orthogonale à l'écran. Ce dispositif fait intervenir le phénomène de diffraction de la lumière par une ouverture de petite dimension. L'étude détaillée de ce phénomène sera exposée ultérieurement. Nous nous contenterons d'admettre pour le moment que les trous S_1 et S_2 s'ils sont «très petits» et éclairés par une source lumineuse S , se comportent comme des sources ponctuelles secondaires.

Puisque la position de la source primaire S est à égale distance des sources S_1 et S_2 , les deux sources secondaires sont en phase car :

$$\underbrace{nSS_1}_{(SS_1)} = \underbrace{nSS_2}_{(SS_2)}$$

D'autre part, en notant n l'indice de l'air pour la longueur d'onde considérée, a la distance entre les deux sources, D la distance entre l'écran opaque et l'écran d'observation et (x, y) les coordonnées d'un point M sur l'écran, on a montré dans le précédent chapitre (sous les conditions : $D \gg a$, $D \gg x$ et $D \gg y$) que la différence de marche valait :

$$\delta(M) \triangleq (SM)_2 - (SM)_1 = n(S_2M - S_1M) = n \frac{ax}{D}$$

Si l'on suppose les trous identiques alors $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$ notés \mathcal{E}_0 par la suite. La formule des interférences à deux ondes s'écrit alors :

$$\mathcal{E}(M) = 2\mathcal{E}_0 \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} n \frac{ax}{D} \right) \right]$$

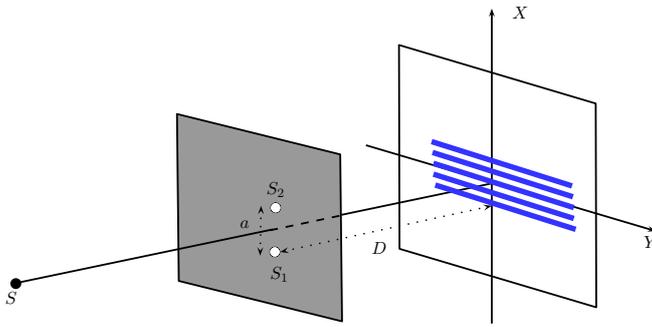


FIGURE 4 – Dispositif des trous de Young (trous «infiniment petits»)

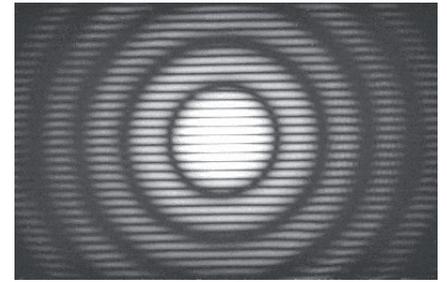


FIGURE 5 – Trous de taille finie

La figure d'interférences observée sur l'écran est donc constituée de franges rectilignes parallèles dont l'interfrange est $i = \frac{\lambda_0 D}{na}$.

Ordre de grandeur : Pour $D \sim 2$ m, $a \sim 1$ mm et $\lambda_0 \sim 0,5 \mu\text{m}$, il vient $i \sim 1$ mm. En utilisant un viseur, Thomas YOUNG (1773 - 1829) a pu mesurer pour la première fois des longueurs d'onde de radiations lumineuses.

Remarque : Les trous étant de taille finie, le phénomène de diffraction n'est plus isotrope et une photographie de la figure d'interférences obtenue réellement a été placée en figure 5.

4.2.2 Influence du contraste

Supposons que l'on soit capable de faire varier l'éclairement généré par chacune des sources secondaires : il s'en suit que le contraste Γ va être modifié. La figure 6 représente la figure d'interférences pour différentes valeurs du contraste. On a noté $\mathcal{E}_m \triangleq \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$.

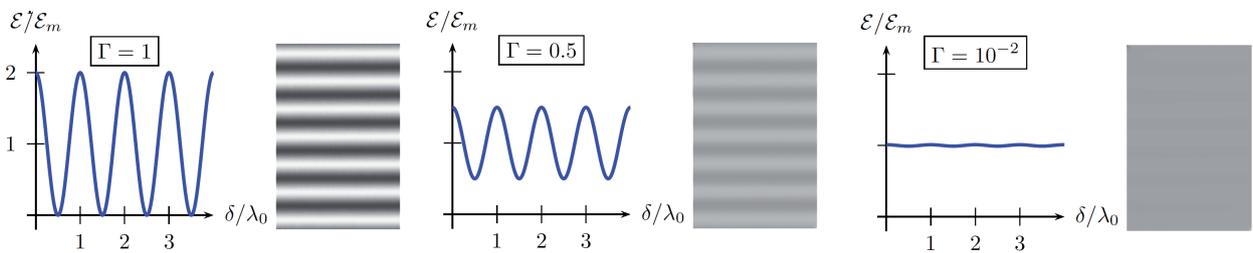


FIGURE 6 – Influence du contraste

L'un des dispositifs les plus simples est l'emploi d'un miroir plan pour créer l'image S_1 d'une source primaire S (voir figure 7) : les deux sources cohérentes responsables du phénomène d'interférence sont ainsi S et S_1 . La source S éclairant dans tout l'espace, le champ d'interférences est alors l'ensemble du faisceau semblant provenir de S_1 (en gris sur la figure). Conformément à l'étude du paragraphe ??, l'écran étant placé comme sur la figure 7, on observe des franges rectilignes parallèles à l'arête du miroir.

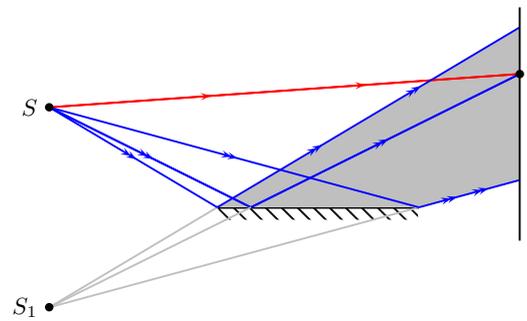


FIGURE 7 – Miroir de Lloyd