Optique ondulatoire - Chap. III : Interféromètres

31 mars 2026

On a tout les outils pour étudier la formation des interférences : regardons maintenant quelques exemples pratiques de dispositifs interférentiels.

1 Trous d'Young

1.1 Présentation du dispositif

Le dispositif des trous d'Young est représenté sur la figure 1. Une source primaire S éclaire un plan percé de deux trous distants de a, alignés selon la verticale, constituant les sources secondaires S_1 et S_2 (équidistantes de S). La lumière est diffractée par les trous et observée sur un écran placé à la distance D du plan des trous. Sur l'écran on observe des franges rectilignes horizontales. On va chercher à l'expliquer ainsi qu'à prédire l'écart entre les franges.

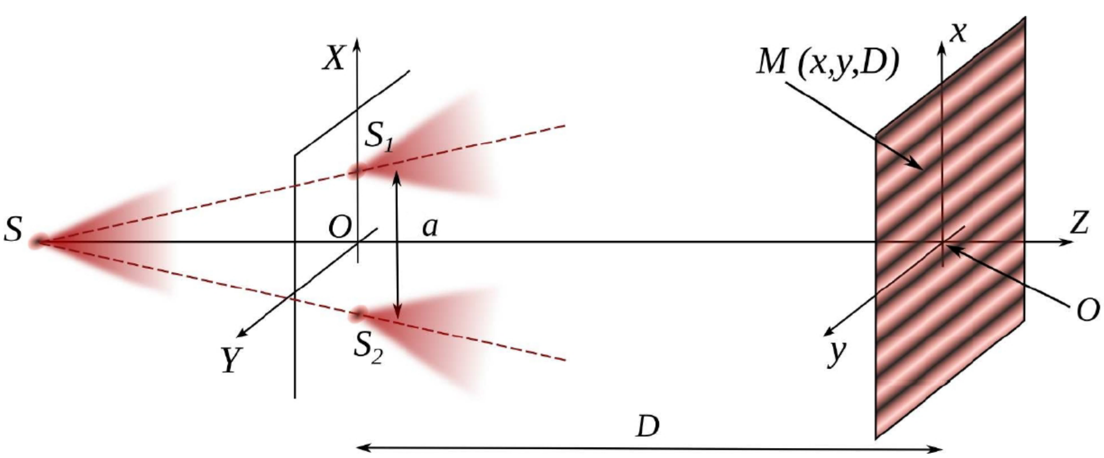

FIGURE 1 – Schéma du dispositif des trous d'Young

1.2 Calcul de l'intensité sur l'écran

Les sources secondaires étant équidistantes de S on suppose que la même intensité sort de S_1 et S_2. La formule de Fresnel donne donc

$$I(M) = 2I_0\left(1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\delta(M)\right)\right) \tag{1}$$

on cherche donc à calculer $\delta(M) = (S_2M) - (S_1M)$. Le point M est de coordonnées x, y, D. Toute l'expérience est dans l'air d'indice homogène $n = 1$ ainsi $\delta = S_2M - S_1M$.

Hypothèse : l'écran est suffisamment loin du plan des trous pour qu'on puisse considérer que $D \gg a$, $D \gg x$, $D \gg y$.

Calculons S_2M, sachant que $S_2(-a/2, 0, 0)$.

$$S_2M = \sqrt{(x + a/2)^2 + y^2 + D^2} = D\sqrt{\left(\frac{x + a/2}{D}\right)^2 + \left(\frac{y}{D}\right)^2 + 1} \tag{2}$$

On utilise le fait que D est très grand devant toutes les autres longueurs pour faire un développement limité

$$S_2M \simeq D\left(1+\frac{1}{2}\left(\frac{x+a/2}{D}\right)^2+\frac{1}{2}\left(\frac{y}{D}\right)^2\right) \simeq D\left(1+\frac{x^2}{2D^2}+\frac{a^2}{8D^2}+\frac{ax}{2D}+\frac{y^2}{2D^2}\right). \tag{3}$$

Pour calculer S_1M, on peut refaire le calcul, ou remarquer que $S_1(a/2,0,0)$ est a les mêmes coordonnées que $S_2(-a/2,0,0)$, à la différence qu'il faut remplacer $-a$ par a.

D'où

$$S_1M \simeq D\left(1+\frac{x^2}{2D^2}+\frac{a^2}{8D^2}-\frac{ax}{2D}+\frac{y^2}{2D^2}\right). \tag{4}$$

Finalement, la différence de marche dans l'expérience des trous d'Young est

$$\delta(M) = S_2M - S_1M \simeq \frac{ax}{D}. \tag{5}$$

Ainsi l'intensité sur l'écran est

$$I(M) = 2I_0\left(1+\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\frac{ax}{D}\right)\right) \tag{6}$$

Les zones d'intensité constante correspondent à des lignes $x = \text{cste}$, on a bien des franges rectilignes horizontales.

1.3 Interfrange

L'interfrange i est définie comme la distance entre deux franges lumineuses ou entre deux franges sombres. On a une frange lumineuse si

$$\delta(M) = p\lambda \implies \frac{ax_p}{D} = p\lambda \implies x_p = p\frac{\lambda D}{a} \tag{7}$$

où p est l'ordre d'interférences et est entier. Deux franges successives correspondent à deux ordres d'interférences successifs. Ainsi

$$i = x_{p+1} - x_p = (p+1)\frac{\lambda D}{a} - p\frac{\lambda D}{a} \tag{8}$$

Finalement, l'interfrange est

$$i = \frac{\lambda D}{a} \tag{9}$$

On peut réecrire l'intensité lumineuse sous la forme

$$I(x) = 2I_0\left(1+\cos\left(\frac{2\pi x}{i}\right)\right) \tag{10}$$

2 Réseau : interférences à N ondes

2.1 Présentation d'un réseau

Expérience : On éclaire avec un laser des fentes d'Young et un réseau. On observe ce qui est représenté sur la figure 2.

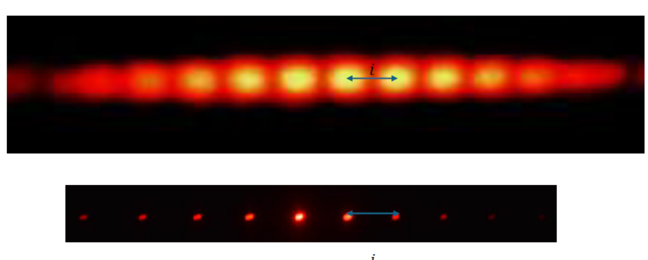

FIGURE 2 – Figure d'interférences obtenues lorsqu'on éclaire 2 fentes (en haut) et $N \gg 2$ fentes (en bas).

Les zones d'intensité lumineuses sont bien plus petites pour le réseau : en effet il faut que les N ondes soient en phase en ces points.

Déf : un réseau est un ensemble de $N \gg 1$ fentes équidistantes de a, appelé pas du réseau.

Sur un réseau il est souvent indiqué le nombre de traits (de fentes) par mm, qu'on notera t (en mm^{-1}). Le pas du réseau est simplement $a = 1/t$.

A.N. : réseau pour lequel on a 300 traits par mm. Ainsi $a = 1/300$ mm $\simeq 3{,}3 \times 10^{-3}$ mm $\simeq 3{,}3\,\mu$m.

2.2 Formule des réseaux

On considère la situation représentée sur la figure 3. On éclaire un réseau avec un faisceau parallèle d'incidence θ_i. On cherche les directions de sortie θ_s pour lesquelles les rayons interféreront constructivement **à l'infini.**

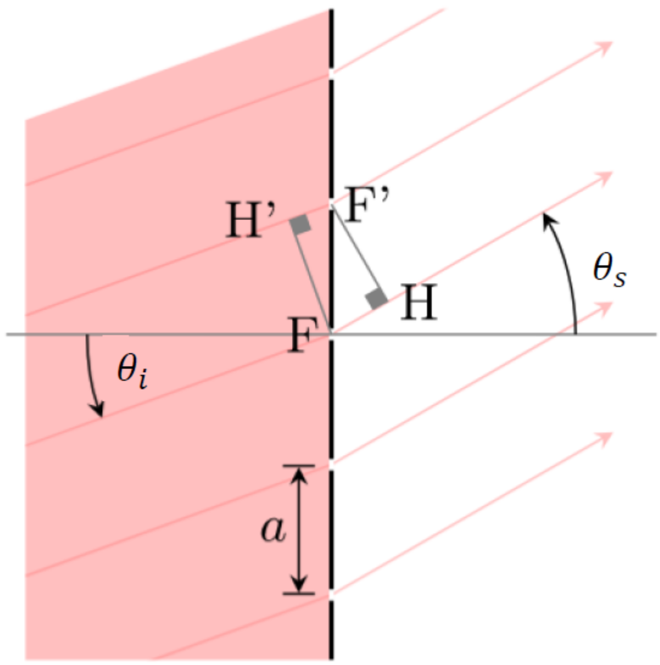

FIGURE 3 – Schéma d'un réseau éclairé par un faisceau parallèle d'incidence θ_i.

Si les rayons interfèrent **à l'infini** (au foyer d'une lentille) on doit calculer la différence de marche entre les points F' et H. Il n'y a pas de différence de marche entre F et H' qui sont sur une même surface d'onde. Ainsi

$$\delta = FH - H'F' \tag{11}$$

Or

$$\sin\theta_s = FH/a \quad \text{et} \quad \sin\theta_i = H'F'/a \tag{12}$$

Ainsi

$$\delta = a(\sin\theta_s - \sin\theta_i) \tag{13}$$

Les interférences sont constructives si $\delta = p\lambda$ avec p entier.

Les directions θ_s d'interférences constructives pour un réseau de pas a sont données par **la formule des réseaux**

$$\sin\theta_s - \sin\theta_i = \frac{p\lambda}{a} \tag{14}$$