

TP modélisation MESP 803

Optique physique 1 : Interférences

A Cohérence spatiale

On considère le montage interférentiel des fentes d'Young. On note $a = 0.2 \text{ mm}$ la distance entre les deux fentes (supposées « infiniment fines¹ »), $D = 1 \text{ m}$ la distance des fentes à l'écran et $d = 10 \text{ cm}$ la distance de la source aux fentes. On supposera de plus la source monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 600 \text{ nm}$.

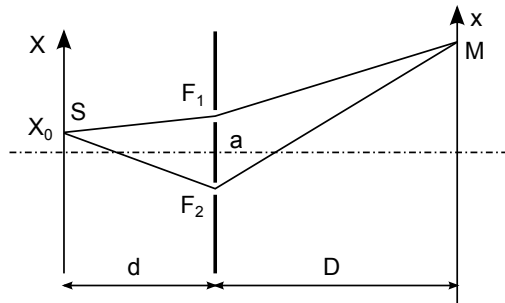


FIGURE 1 – Montage des fentes d'Young

A.1 Fente fine

Dans cette première question on suppose que la fente source est infiniment fine et décalée de X_0 de l'axe de symétrie du montage (cf. figure 1).

1. On rappelle que l'intensité lumineuse mesurée en un point M sur l'écran repéré par sa coordonnée x , vaut :

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

où δ est la différence de marche entre les deux chemins issus de S et parvenant en M . Exprimer δ en fonction de x , D , d et X_0 .

Construire une fonction python `I(X0)` retournant un tableau de valeur à partir d'un tableau de position `x`.

1. En tout cas suffisamment fines pour que la diffraction ne limite pas le champ d'interférence.

2. Tracer dans un premier temps l'intensité I pour $X_0 = 0$.

Indication : pour choisir le domaine d'étude de x estimer au préalable l'interfrange par un calcul d'ordre de grandeur.

Mesurer la valeur de l'interfrange et comparer avec la formule $i = \frac{\lambda D}{a}$.

3. Tracer ensuite cette intensité pour différente valeur de X_0 . Observer alors un décalage de la figure d'interférence. Estimer à partir de quel décalage X_c de la source, la figure d'interférence est elle-même translatée d'une demi-interfrange.

A.2 Source étendue

1. On suppose à présent que la source est étendue symétriquement de part et d'autre de l'axe sur une largeur b .
2. En décomposant cette source en N sources réparties uniformément entre $[-b/2, +b/2]$ calculer l'intensité totale $I_{tot}(x)$ comme somme incohérente de ces sources élémentaires. Estimer le nombre minimal de sources nécessaire pour représenter une source continûment répartie sur cet intervalle.
3. On définit le contraste $C(b) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$. Calculer puis tracer $C(b)$ dans un intervalle de largeur de la source estimé à partir de la valeur de X_c calculée à la question précédente. Interpréter ce résultat et comparer avec le calcul théorique.

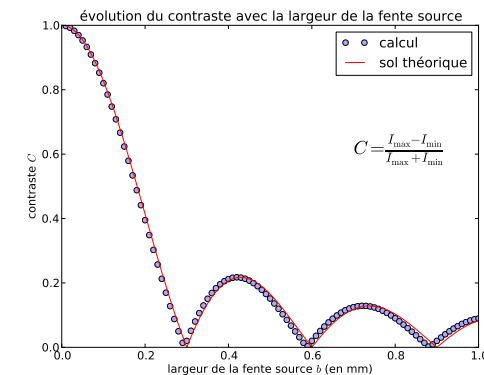


FIGURE 2 – Contraste en cohérence spatiale

B Cohérence temporelle

On considère un interféromètre de Michelson réglé en « lame d'air ». On note e la différence de longueur entre les deux bras du Michelson (épaisseur de la lame d'air équivalente) et on travaille avec une source étendue ce qui implique que les interférences

sont localisées à l'infini. Ainsi on observera les interférences dans le plan focal image d'une lentille convergente de distance focale $f = 1$ m.

B.1 Rappels théoriques

À faire chez vous.

1. Montrer que la différence de marche entre deux rayons de même inclinaison θ s'écrit $\delta = 2e \cos \theta \simeq 2e \left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right)$. Qu'est-ce qui justifie de se limiter à des angles petits ?
2. Montrer alors que l'intensité lumineuse I en un point M du plan d'observation de coordonnées x et y s'écrit

$$I = 2I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi e}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{x^2 + y^2}{f^2} \right) \right) \right)$$

B.2 Source monochromatique

On considère une source de sodium (lampe à décharge) dont le spectre sera supposé ici constitué d'une unique longueur d'onde $\lambda = 589$ nm.

1. Tracer le profil d'intensité enregistré le long de l'axe Ox pour $e = 150 \mu\text{m}$ et $e = 200 \mu\text{m}$.
2. On veut à présent représenter l'image de la figure d'interférence observée sur l'écran. Il faut pour cela créer un maillage du plan d'observation avec les matrices 2D X et Y à partir des tableaux d'échantillonnage 1D en x et y (fonction `meshgrid`), puis calculer l'intensité $I(X,Y)$ et enfin présenter le résultat sous la forme d'une image avec la fonction `imshow` avec l'option `cmap=cm.gray` pour un affichage en niveau de gris. Voici ci-dessous l'extrait du listing nécessaire pour réaliser cela :

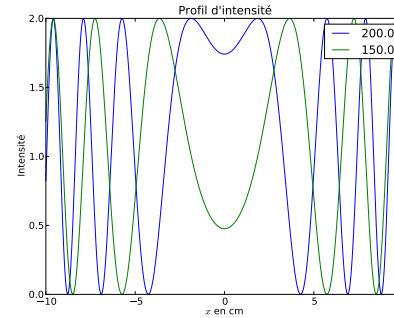
```
cadre = xmin, xmax, ymin, ymax = -10.e-2, 10.e-2, -10.e-2, 10.e-2
Npt = 400
dx, dy = (xmax-xmin)/Npt, (ymax-ymin)/Npt
x = arange(xmin, xmax, dx)
y = arange(ymin, ymax, dy)
X,Y = meshgrid(x, y)

I1 = I(X, Y)
im = imshow(I1, cmap=cm.gray, extent=cadre)
```

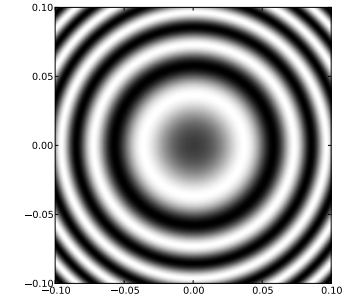
3. En option réaliser une animation en chariotant entre $e = 150 \mu\text{m}$ et $e = 200 \mu\text{m}$.

B.3 Doublet du sodium

On tient compte à présent de la présence de deux raies distinctes dans le spectre : $\lambda_1 = 589,0$ nm et $\lambda_2 = 589,6$ nm



(a) Profil en intensité des anneaux



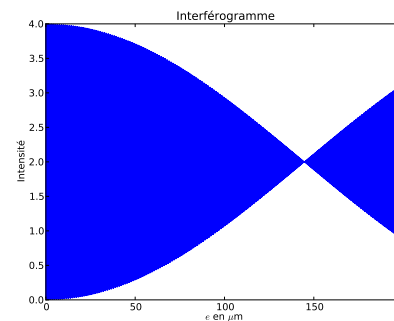
(b) Image en niveau de gris dans le plan focal

1. Exprimer l'intensité totale I_{tot} résultant de la superposition de ces deux sources incohérentes.
2. Tracer I_{tot} en fonction de e mesuré au centre de la figure d'interférence ($x = 0$ et $y = 0$) et en déduire une mesure de l'écart entre les ces deux longueurs d'onde.

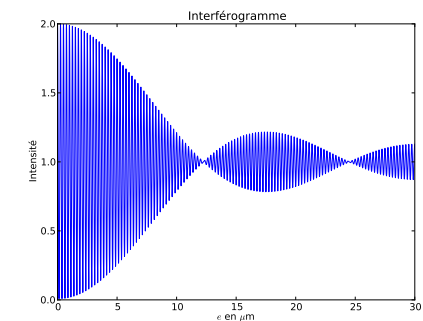
B.4 Raie large

On cherche enfin à déterminer par cette méthode interférométrique la largeur spectrale d'une raie.

1. Construire sur le modèle de la fente large, une raie de largeur spectrale $\Delta\lambda = 10$ nm centrée en $\lambda_0 = 500$ nm considérée comme la superposition (incohérente) de N sources de longueur d'onde comprise entre $[\lambda_0 - \Delta\lambda/2, \lambda_0 + \Delta\lambda/2]$
2. Tracer l'interférogramme $I_{tot}(e)$ de cette source et en déduire une méthode pour calculer la largeur de cette raie.



(a) Doublet du sodium



(b) Raie large