TD O3 : EXEMPLE DE DISPOSITIF INTERFERENTIEL PAR DIVISION DU FRONT D'ONDE : TROUS D'YOUNG

Exercice 1 : Interféromètre d'Young – Source étendue spatialement – Problème de cohérence spatiale

1) Déterminer la répartition d'intensité, le contraste d'interférence et l'interfrange observés dans un interféromètre à trous d'Young éclairé par une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde λ. Les deux trous S_1 et S_2 sont distants de e et suffisamment petits pour se comporter, par diffraction, comme des sources ponctuelles. On note d la distance de la source à la plaque percée et D la distance de la plaque à l'écran d'observation. On étudiera le cas où S est centré, puis le cas où S est plus proche d'un trou que de l'autre.

2) On remplace la source ponctuelle par une fente AB infiniment fine de longueur a, parallèle à S_1S_2. AB est une source incohérente qu'on peut considérer comme monochromatique et de longueur d'onde λ. Indiquer à l'aide d'un raisonnement qualitatif ce que l'on observe à présent. Montrer que les franges disparaissent pour certaines valeurs de a que l'on évaluera.

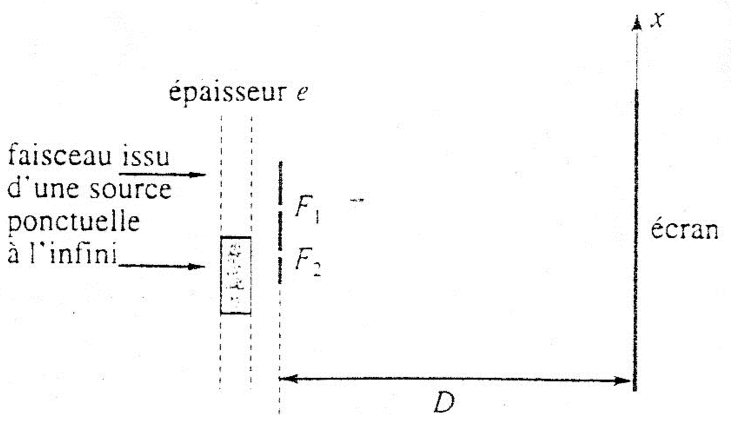
3) Calculer la répartition d'intensité lumineuse. Déterminer l'interfrange et le contraste d'interférence pour retrouver les valeurs de a pour lesquelles les franges disparaissent.

Exercice 2 : Translation des franges

Soit un dispositif de fentes d'Young (fentes F_1 et F_2 distantes de a = 1,0 mm) éclairé à l'aide d'une source ponctuelle S, monochromatique de longueur d'onde λ = 633 nm, et située à l'infini. Le faisceau arrive perpendiculairement au plan des fentes. L'écran d'observation est placé à une distance D = 2,0 m.

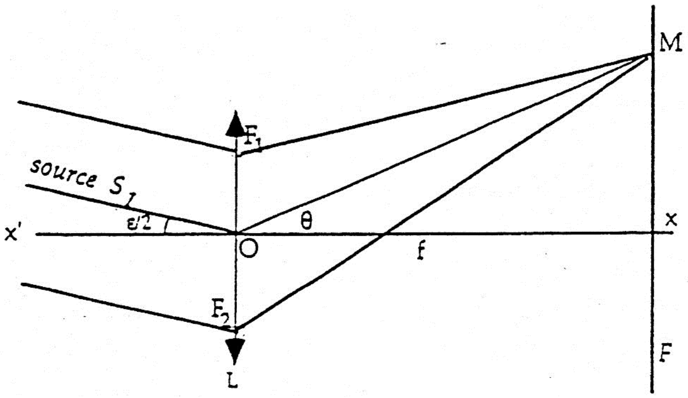
1) Qu'observons-nous sur l'écran ?

2) Devant une des deux fentes du dispositif de Young, plaçons une petite lame de verre à faces parallèles, transparente, d'épaisseur e = 50 µm, et d'indice n = 1,5 pour la radiation de longueur d'onde λ utilisée. La lame est traversée sous incidence normale.
Qu'observons-nous sur l'écran ? De combien et dans quel sens se déplace le système de franges d'interférences ?



Exercice 3 : Mesure de la distance angulaire des composantes d'une étoile double

On veut mesurer la distance des composantes d'une étoile double à l'aide d'une lunette astronomique dont on assimilera l'objectif à une lentille mince L, de centre optique O, d'axe optique x'Ox, et de distance focale f = 1 m. L'oculaire est une lentille mince mise au point sur le plan focal image F de L. On suppose que les deux étoiles émettent une même lumière monochromatique de longueur d'onde λ = 0,60 µm. En raison de leur éloignement, on peut les considérer comme deux sources ponctuelles S_1 et S_2 très proches, et les ondes qui en proviennent comme des ondes planes. On oriente la lentille de telle sorte que les angles S_1Ox' et S_2Ox' soient égaux chacun à $\varepsilon/2$. La face d'entrée de l'objectif est masquée par un écran percé de deux fentes fines et parallèles F_1 et F_2, perpendiculaires à S_1S_2, dont on peut faire varier la distance e.



1) Etablir l'expression de l'intensité I_1 dans le plan focal F due à la seule étoile S_1. Déterminer la valeur de l'interfrange i dans le cas où e = 6 mm.
2) Etablir l'expression de l'intensité I_2 dans le plan focal F due à la seule étoile S_2, sachant qu'elle a la même intensité I_0.
3) En déduire, à l'aide d'un raisonnement purement qualitatif, que le contraste d'interférence des franges observées dans le plan F, dues à la présence des deux étoiles, passe par des minima et des maxima pour certaines valeurs de e.
4) Calculer l'intensité observée dans le plan F. En déduire le contraste d'interférence C.
5) Retrouver alors les valeurs de e pour lesquelles les franges disparaissent.
6) Sachant que la plus petite valeur de e pour laquelle les franges disparaissent est de 52 mm, déduire la distance angulaire ε entre les deux étoiles.

Exercice 4 : Source à profil rectangulaire en fréquence – Problème de cohérence temporelle

On désire mener le calcul de l'intensité pour une source ponctuelle à spectre étendu éclairant des trous d'Young. Pour simplifier, nous modéliserons son spectre par un profil rectangulaire entre ν_{min} et ν_{max}. La fréquence centrale est $\nu_0 = \dfrac{\nu_{min} + \nu_{max}}{2}$, et la largeur spectrale est $\Delta\nu = \nu_{max} - \nu_{min}$.

1) Que dire des intensités résultant des différentes fréquences de la source ?
2) Que vaut l'intensité dI_S d'un rayon émis par la source entre les fréquences ν et $\nu + d\nu$?
3) On note $\delta(M)$ la différence de marche des deux rayons interférant en M. En déduire l'intensité sur l'écran correspondant aux fréquences entre ν et $\nu + d\nu$.
4) En déduire l'expression de l'intensité totale :

$$I(M) = 2\, I_0 \left(1 + \mathrm{sinc}\left(\frac{\pi\,\delta\,\Delta\nu}{c}\right)\cos\left(\frac{2\,\pi\,\nu_0\,\delta}{c}\right)\right)$$

où I_0 est une constante, $\mathrm{sinc}(x) = \dfrac{\sin x}{x}$ (sinus cardinal).
5) Identifier les termes variant rapidement et lentement avec la différence de marche δ. Leur attribuer un sens physique.
6) En déduire l'allure de $I(\delta)$.
7) Tracer les variations du contraste en fonction de δ. Quelle est la condition pour que le contraste reste bon ?
8) Critiquer la modélisation lorsqu'on part d'une source monochromatique et que $\Delta\nu$ augmente.