
TRAVAUX DIRIGÉS D'OPTIQUE 6 :

Cohérence temporelle

École Centrale Pékin

Année 3

APPLICATION DU COURS

EXERCICE 1 : Écart entre les deux longueurs d'onde du sodium

Le sodium possède un doublet jaune de longueurs d'onde (λ_1, λ_2) qu'on décrit par la longueur d'onde moyenne $\lambda_m = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = 589,3 \text{ nm}$ et l'écart $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$.

1. On souhaite régler l'interféromètre de MICHELSON en lame d'air à partir de la teinte plate. Comment doit-on procéder expérimentalement ? Qu'observe-t-on sur l'écran en sortie ?

En chariotant le miroir mobile de l'interféromètre, on observe des des brouillages successifs.

2. Comprendre l'origine du brouillage :

- a) Expliquer qualitativement l'origine du brouillage observé.
- b) Donner l'éclairement en un point M de l'écran donné par la lumière de longueur d'onde λ_1 .
- c) Même question pour la lumière de longueur d'onde λ_2 .
- d) Déterminer l'éclairement total en M .
- e) En déduire le contraste local Γ en fonction de la différence de marche δ et le représenter.
- f) Expérimentalement, lorsque l'on chariotte le miroir mobile en s'éloignant du contact optique, le contraste diminue de plus en plus entre deux brouillages, contrairement au résultat de la question précédente. Expliquer qualitativement ce phénomène.

3. Méthode 1 pour déterminer $\Delta\lambda$: Soit N le nombre de franges brillantes visibles entre deux brouillage.

- a) Donner la relation entre N , λ_m et $\Delta\lambda$.
- b) Comment déterminer expérimentalement $\Delta\lambda$? Cette technique vous paraît-elle facile à mettre en œuvre ?

4. Méthode 2 pour déterminer $\Delta\lambda$:

- a) Donner une relation entre l'ordre d'interférences p_1 d'une frange brillante de longueur d'onde λ_1 et p_2 , l'ordre d'interférences d'une frange brillante de longueur d'onde λ_2 , pour qu'il y ait brouillage sur l'écran.
- b) En considérant que les observations sont réalisées au voisinage du centre avec un angle d'incidence $i \simeq 0$, déduire une condition sur l'épaisseur e pour qu'il y ait brouillage.
- c) Entre deux brouillages, le miroir mobile a été charioté de Δe . Déterminer Δe en fonction de λ_m et de $\Delta\lambda$.
- d) Pour observer 6 brouillages successifs, on chariotte le miroir de 1,45 mm. Déterminer l'écart entre les deux raies du sodium.

S'ENTRAÎNER

EXERCICE 2 : Étude de lames de verre

L'interféromètre de MICHELSON réglé en coin d'air d'angle $\alpha = 10^{-4}$ rad est éclairé en lumière blanche.

1. Comment doit-on procéder pour observer la figure d'interférences en lumière blanche? Quelles précautions doit-on prendre? Pourquoi?
2. Décrire et justifier la figure d'interférences observée à l'écran.

On place devant le miroir M_2 fixe une lame de verre fine à faces parallèles, d'épaisseur moyenne l et d'indice optique $n = 1,50$. On observe que la figure d'interférences disparaît dans la lame, mais reste visible en dehors comme montré sur la figure 1.

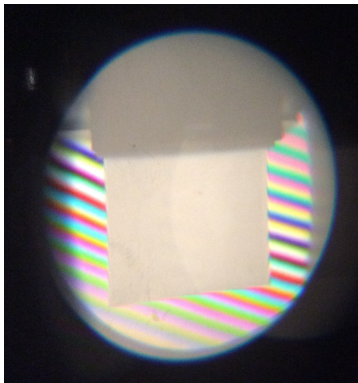


FIGURE 1 – Pas d'interférences dans la lame

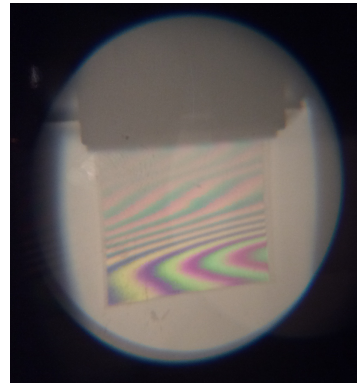


FIGURE 2 – Interférences dans la lame

3. Montrer qu'en déplaçant un des miroirs d'une distance d que l'on déterminera, on peut retrouver des interférences dans la lame comme sur la figure 2.
4. Pourquoi opère-t-on en lumière blanche?
5. On a déplacé les miroirs d'une distance $d = 75 \mu\text{m}$. Déterminer l'épaisseur de la lame de verre.

On utilise maintenant une autre lame de verre : une lame prismatique. C'est un coin de verre avec un angle A entre les deux faces. On éclaire à présent l'interféromètre en lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 546 \text{ nm}$. On se place dans la situation où des franges rectilignes sont visibles dans la lame et une teinte uniforme en dehors.

6. Expliquer comment est réglé l'interféromètre et pourquoi on observe des franges rectilignes uniquement dans la lame.
7. L'interfrange i sur le miroir est de $0,1 \text{ cm}$. Déterminer l'angle A entre les deux faces de la lame.

Avec cette méthode, on ne détermine pas le sens de variation de l'épaisseur de la lame. En effet, un angle A négatif ou positif donne la même figure d'interférences. Pour le déterminer, on se remet en configuration coin d'air avec $\alpha = 10^{-4}$ rad. On observe alors la figure 3.

8. Déterminer l'expression de l'interfrange i dans la lame en fonction des paramètres du problème.
9. À partir de la figure 3, vérifier la valeur de A que vous avez trouvé précédemment.
10. Comment peut-on déterminer le sens de variation de l'épaisseur, autrement dit le signe de A ?

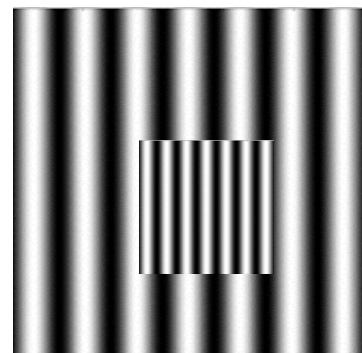


FIGURE 3

EXERCICE 3 : Bande passante d'un filtre interférentiel

Un interféromètre de MICHELSON est réglé en lame d'air (voir figure 5). Il est éclairé par une source étendue de lumière blanche suivie d'un *filtre interférentiel* (voir figure 4) c'est-à-dire un dispositif optique ne laissant passer qu'une bande de longueur d'onde. On supposera que la densité spectrale d'éclairement à la sortie du filtre interférentiel illuminé par la lumière blanche est de la forme :

$$e_{\sigma}(\sigma) = e_0 \exp \left[- \left(\frac{\sigma - \sigma_0}{a} \right)^2 \right] \quad \text{où } a \ll \sigma_0$$

L'indice optique n_{air} de l'air est confondu avec 1.



FIGURE 4 – Filtre interférentiel

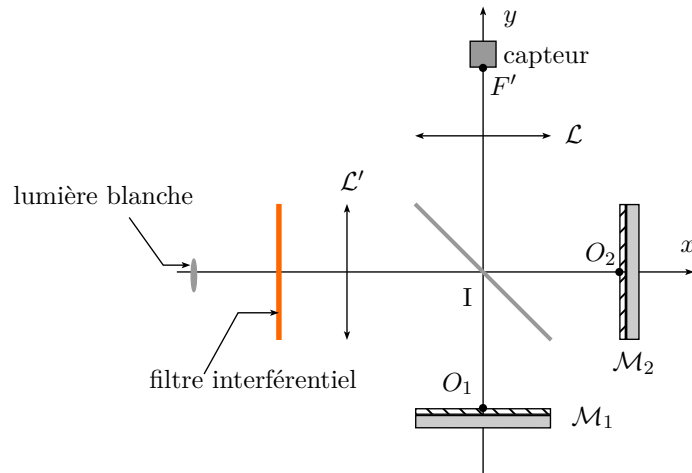


FIGURE 5 – Dispositif de l'étude

1. Quel est le rôle de la lentille (\mathcal{L}') ?
2. a) Où doit-on placer l'écran par rapport à la lentille (\mathcal{L}) pour observer les interférences ?
b) Montrer que, dans ce plan, l'éclairement s'écrit :

$$\mathcal{E}(\delta) = 2\mathcal{E}_0 [1 + V(\delta) \cos(2\pi\sigma_0\delta)]$$

où $V(\delta)$ est une fonction que l'on exprimera en fonction des données.

Données : On admettra que les relations suivantes.

$$\textcircled{1} X \gg 1 \Rightarrow \int_{-X}^{+X} \exp(-u^2) du \approx \sqrt{\pi};$$

$$\textcircled{2} \int_0^{+\infty} \cos(2\pi\sigma\delta) \exp \left[- \left(\frac{\sigma - \sigma_0}{a} \right)^2 \right] d\sigma \approx a\sqrt{\pi} \exp \left[-(\pi a\delta)^2 \right] \cos(2\pi\sigma_0\delta).$$

3. On a placé au centre de la figure d'interférences, un capteur photoélectrique qui délivre une tension proportionnelle à l'éclairement lumineux qu'il reçoit. Cette tension est enregistrée grâce à une carte d'acquisition. On chariote un des miroirs de l'interféromètre de MICHELSON en couplant sa vis de translation à un moteur dont la vitesse de rotation est constante. Au début de l'enregistrement (de durée totale 5 minutes), la vis micrométrique indique $X_1 = 38,61$ mm ; à la fin $X_2 = 38,53$ mm. Les enregistrements sont proposés sur les figures 6 et 7.

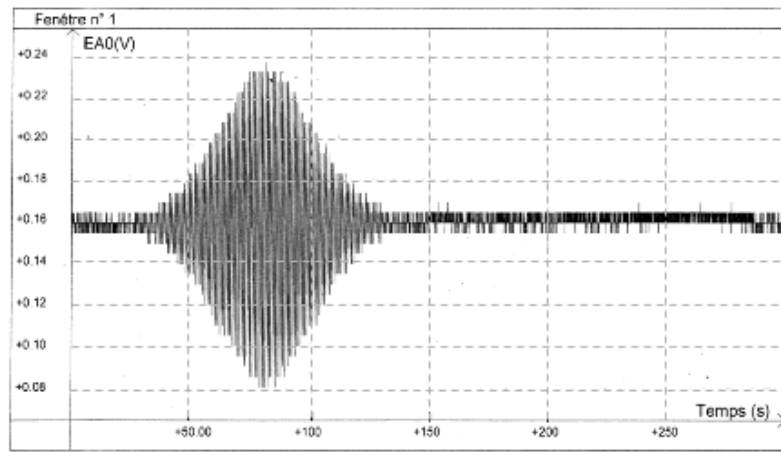


FIGURE 6 – Tension délivrée par le capteur photométrique

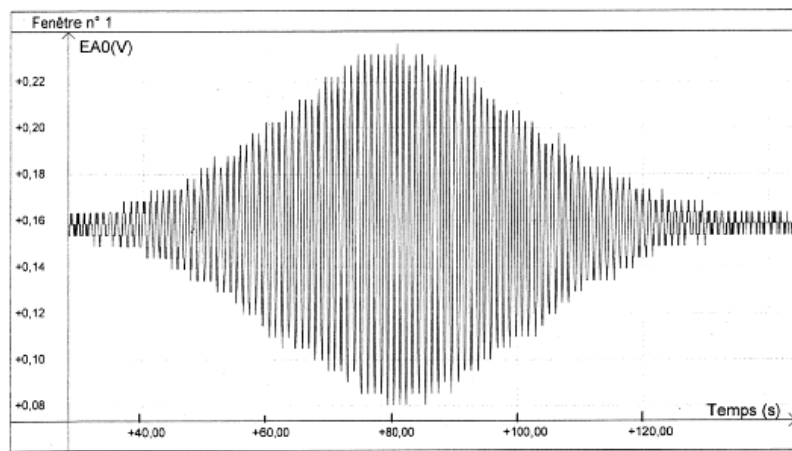


FIGURE 7 – Zoom de la figure 6 : il y a 78 franges claires entre 40 et 120 s

Déduire de ces deux enregistrements, les valeurs de a et σ_0 .

4. On suppose désormais que l'on éclaire l'interféromètre de MICHELSON avec une source qui comprend deux raies de même largeur a et de nombres d'ondes respectifs σ_0 et $\sigma_0 + \Delta\sigma$ avec $\Delta\sigma \ll \sigma_0$ et $\Delta\sigma \gg a$. Représenter l'allure de la tension délivrée par le capteur et expliquer comment on peut mesurer les caractéristiques de la source.