



## Exercice 1 Équivalence lame d'air parallèle

Un interféromètre de Michelson est réglé pour qu'on observe, avec une source étendue, des anneaux. La lumière est monochromatique :  $\lambda = 589 \text{ nm}$ .

1. Préciser la position relative des miroirs.
2. On veut observer ces franges sur un écran placé à 1,5 m des miroirs, à l'aide d'une lentille placée à la sortie de l'interféromètre.
  - (a) Comment doit-on positionner l'écran par rapport à la lentille ?
  - (b) On dispose de lentilles convergentes de focale 10 cm, 50 cm et 1 m. Laquelle permettra d'obtenir les anneaux de plus grande taille ? En pratique, quel compromis faut-il souvent faire ?
  - (c) Partant du réglage pour lequel la figure observée est uniforme, de même couleur que la source, on translate l'un des miroirs de 1 mm. Calculer le rayon sur l'écran des 5 premiers anneaux.

## Exercice 2 Équivalence coin d'air

L'interféromètre est réglé pour qu'on observe, avec la même source étendue, des franges rectilignes.

1. Quelle est la couleur de ce rayonnement ?
2. Préciser la position relative des miroirs.
3. On veut observer ces franges sur un écran placé à 1,5 m des miroirs, à l'aide d'une lentille placée à la sortie de l'interféromètre.
  - (a) La lentille doit-elle être convergent ou divergente ? Quelle contrainte existe pour le choix de sa distance focale ?
  - (b) On désire que l'interfrange sur l'écran soit 9 fois supérieur à celui obtenu dans le plan des miroirs. Déterminer la distance focale à choisir.
  - (c) L'interfrange sur l'écran est égal à 1 cm. Quantifier la position relative des miroirs.
  - (d) On translate l'un des miroirs d'une distance  $D$ . Quelle modification peut-on observer sur la figure d'interférences ? Comment alors mesurer  $D$  ?

## Exercice 3 Indice optique

Dans un interféromètre de Michelson monté en coin d'air et éclairé en lumière laser de longueur d'onde  $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$ , on place dans chaque chemin des bras une cuve d'épaisseur  $e = 1 \text{ cm}$  remplie d'air. Initialement, on place un détecteur sur une frange brillante. Lorsqu'on fait le vide dans une des cuves, on voit défiler 9 franges brillantes et 9 franges sombres (sans compter la frange initiale). En outre, on constate que l'éclairement final est deux fois plus faible que l'éclairement initial.

Déterminer l'indice optique de l'air

## Exercice 4 Nanofeuillet

Un interféromètre de Michelson est réglé en coin d'air en lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 600 \text{ nm}$ . L'image de  $M_2$  est formée sur un écran grâce à une lentille convergente de distance focale  $f' = 50 \text{ cm}$  située à  $D' = 100 \text{ cm}$  de l'écran. Un nanofeuillet transparent, d'indice  $n = 1,5$ , et d'épaisseur  $a$  inconnue est inséré entre la séparatrice et l'un des miroirs. Voici l'image obtenue sur l'écran :

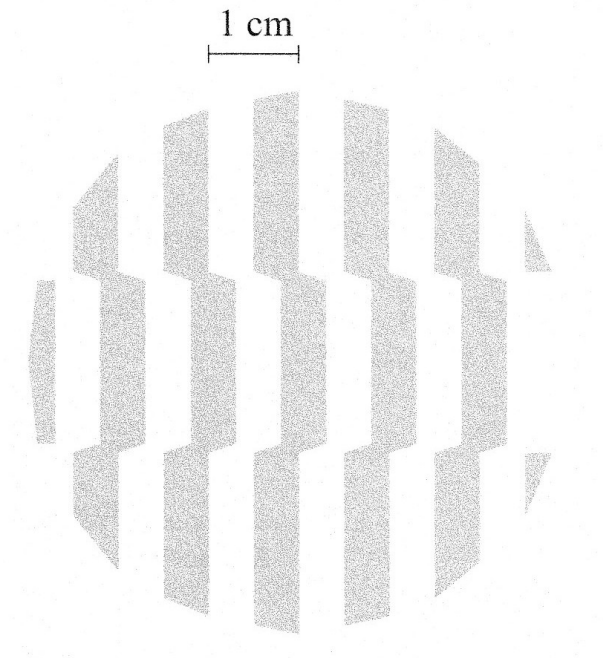


FIGURE 1 – Image des miroirs obtenue sur l'écran

Calculer l'angle  $\alpha$  du coin d'air et l'épaisseur  $a$ .

### Exercice 5 Lumière réfléchie par un film étirable

On éclaire en lumière blanche un film alimentaire étirable (d'indice optique  $n = 1,44$ ). On analyse la lumière réfléchie par le film.

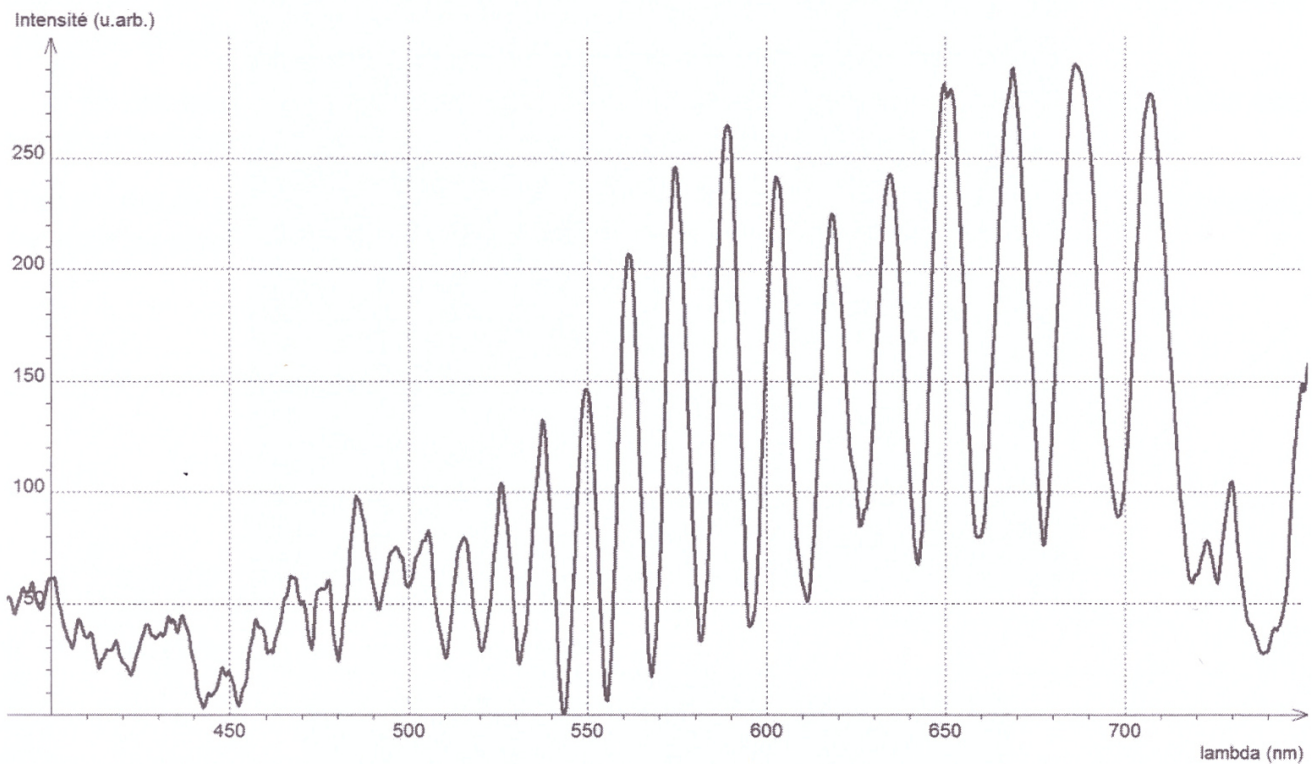


FIGURE 2 – Spectre de la lumière réfléchie sur le film étirable

Expliquer qualitativement l'allure du spectre puis estimer l'épaisseur du film étirable.

**Exercice 6** Détermination de  $\Delta\lambda$  pour les raies jaunes du sodium

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air. Il est éclairé par une lampe à vapeurs de sodium, dont le spectre est composé de deux raies :  $\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$  et  $\lambda_2 > \lambda_1$  supposée inconnue. Par ailleurs, ces deux raies sont très proches l'une de l'autre tel que  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \ll \lambda_1$ . On suppose, de plus, que les intensités lumineuses émises pour ces deux longueurs d'onde sont égales.

1. Comment faut-il situer l'écran pour voir les interférences ?

La première antioïncidence (c'est-à-dire l'endroit où les franges se brouillent) repérée sur l'écran correspond à la graduation  $x_1 = 14,47 \text{ mm}$  du miroir mobile, par rapport au contact optique. La 21<sup>e</sup> antioïncidence correspond à la graduation  $x_1 = 20,27 \text{ mm}$ .

2. Exprimer l'intensité lumineuse au centre de l'écran en fonction de l'épaisseur  $e$  de la lame d'air équivalente.
3. Le miroir mobile est équipé d'un moteur qui le fait se déplacer perpendiculairement à l'autre miroir, en partant du contact optique (lame d'air nulle), à la vitesse constante  $v$ . On place au centre de l'écran un dispositif sensible à l'intensité lumineuse. Déterminer  $I(t)$ , l'intensité en fonction du temps enregistrée par le dispositif. Commenter l'allure de  $I(t)$ .
4. Calculer  $\Delta\lambda$  et  $\lambda_2$ .
5. Retrouver ce résultat en raisonnement uniquement sur la notion d'ordre d'interférence (sans faire appel à l'intensité sur l'écran)

**Exercice 7** Spectrométrie par transformée de Fourier

Un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air est éclairé par la raie rouge du cadmium de longueur d'onde  $\lambda = 643,880 \text{ nm}$  et de faible largeur spectrale  $\Delta\lambda = 1 \times 10^{-3} \text{ nm}$ . On note  $\sigma_0 = \frac{1}{\lambda}$ .

Le profil spectral de la raie étudiée est tout d'abord modélisé par un profil spectral rectangulaire : la source émet un éclairage uniforme réparti  $\frac{dI_0}{d\sigma} = I_{0,\sigma} = f(\sigma)$  pour  $\sigma$  compris entre  $\sigma_0 - \Delta\sigma/2$  et  $\sigma_0 + \Delta\sigma/2$ .

On note  $\delta$  la différence de marche au centre de l'écran.

1. Montrer que l'intensité au centre de l'écran peut se mettre sous la forme :

$$I(\delta) = 2I_0 * [1 + V(\delta) \cos(2\pi\delta\sigma)]$$

2. Exprimer contraste  $C(\delta)$  et en donner une représentation graphique.
3. Calculer la longueur de cohérence et critiquer le modèle.

Afin d'améliorer le modèle on considère un profil spectral gaussien :

$$\frac{dI_0}{d\sigma} = f(\sigma) = C \exp \left[ - \left( \frac{\sigma - \sigma_0}{a} \right)^2 \right]$$

où  $C$  et  $a \ll \sigma_0$  sont des constantes positives. Pour simplifier l'étude, on étendra la fonction  $f$  aux valeurs négatives de  $\sigma$ , domaine où elles prennent des valeurs négligeables.

On définit la transformée de Fourier de  $f(\sigma)$  par :

$$\hat{f}(\delta) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\sigma) \exp(2j\pi\sigma\delta) d\sigma$$

4. Exprimer la largeur à mi-hauteur  $\Delta\sigma$ . Quelle est la signification de  $a$  ?
5. Montrer que l'intensité se met sous la forme :

$$I(\delta) = A + \hat{f}(\delta) + \hat{f}^*(\delta)$$

où  $\hat{f}^*(\delta)$  est le complexe conjugué de  $\hat{f}(\delta)$ .

6. En déduire que

$$I(\delta) = 2aC\sqrt{\pi} [1 + \exp(-\pi^2 a^2 \delta^2) \cos(2\pi\sigma\delta)]$$



Données mathématiques :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-u^2) du = \sqrt{\pi} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-u^2/a^2) \exp(2j\pi ux) du = a\sqrt{\pi} \exp(-\pi^2 a^2 x^2)$$

### Exercice 8 Mesure d'une différence d'indice optique à l'aide d'un interféromètre de Mach-Zender.

Dans cet exercice, l'air est assimilé au vide. On dispose de deux lames transparentes à faces parallèles de même épaisseur  $e$  (connue avec une très bonne précision) et d'indices optiques différents :

- Une lame de référence  $\mathcal{L}_0$ , d'indice optique connu.
- Une lame d'essai  $\mathcal{L}_e$ , d'indice optique  $n = n_0 + \Delta n$  ( $\Delta n > 0$ ).

Afin de mesurer  $\Delta n$ , on place chacune de ces lames dans un bras d'un interféromètre de Mach-Zender.

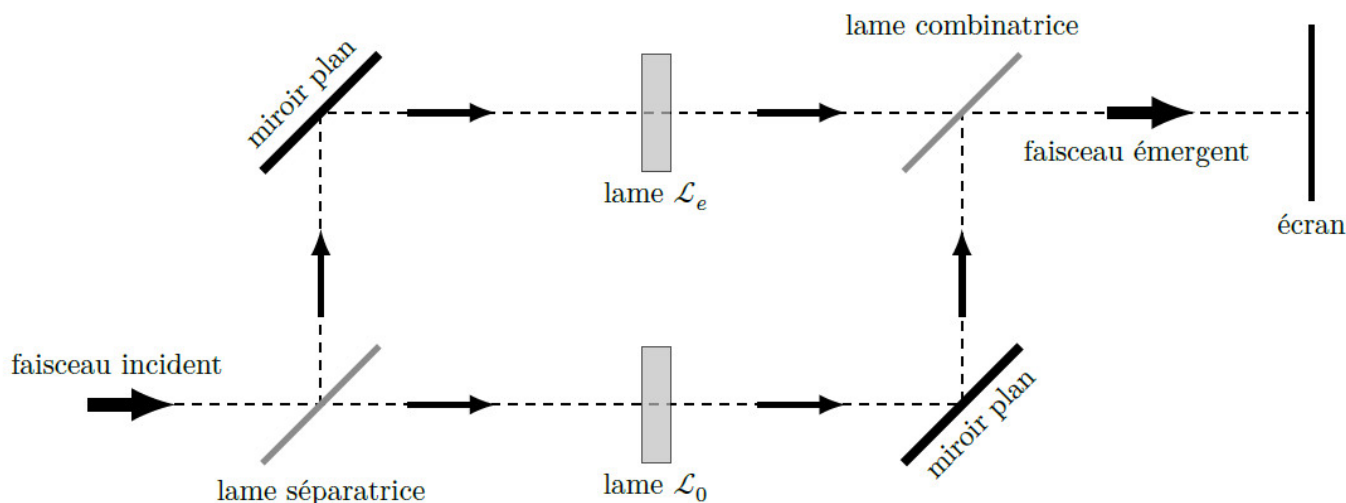


FIGURE 3 – Schéma de principe de l'interféromètre de Mach-Zender et positionnement des lames

L'interféromètre de Mach-Zender est constitué de deux lames semi réfléchissantes et de deux miroirs plans. Tous ces éléments sont parallèles entre eux. La lame semi réfléchissante placée en entrée du dispositif est appelée *séparatrice* : elle permet de diviser le faisceau incident en deux faisceaux secondaires orthogonaux entre eux et de même intensité. Les deux miroirs plans (un dans chaque bras de l'interféromètre) permettent d'orienter les faisceaux secondaires vers la sortie du dispositif. La lame semi réfléchissante placée en sortie du dispositif, rigoureusement identique à la lame séparatrice, est appelée *combinatrice*, car elle permet de superposer les deux faisceaux secondaires en direction de l'écran (ou d'un photodétecteur).

1. Pourquoi n'est-il pas nécessaire d'accoler une lame *compensatrice* à la lame *séparatrice* ?
2. Le faisceau incident est un faisceau de lumière parallèle. On suppose que les deux lames sont orientées de manière à être éclairées sous incidence normale. Déterminer la différence de marche  $\delta$  entre les deux faisceaux en sortie de l'interféromètre.
3. Dans le cas où le faisceau est monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ , exprimer l'intensité lumineuse  $I$  obtenue sur l'écran en sortie du dispositif. (On notera  $I_0$  l'intensité obtenue sur l'écran en occultant l'un des deux miroirs). Décrire brièvement la figure observée sur l'écran.
4. Pour quelle(s) longueur(s) d'onde l'intensité  $I$  est-elle maximale.
5. Proposer une méthode de mesure de  $\Delta n$  à l'aide de ce dispositif (et de tout matériel classiquement disponible en laboratoire).

### Exercice 9 Interféromètre de Michelson avec un miroir sphérique

On considère un interféromètre de Michelson comportant un miroir non parfaitement plan et assimilé à un miroir sphérique convexe ( $M_1$ ) de rayon de courbure  $R = 10,0$  m.

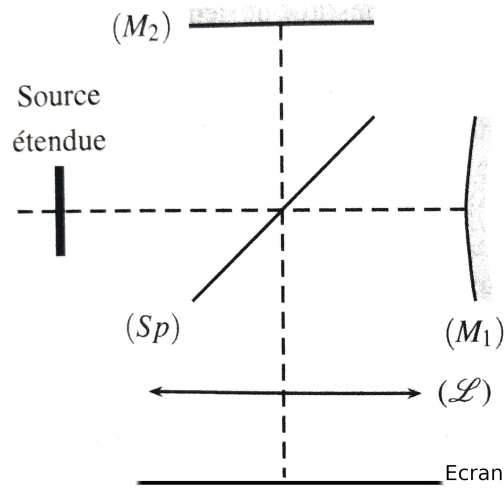


FIGURE 4 – Schéma de principe d'un interféromètre de Michelson avec un miroir sphérique

L'image ( $M_1^*$ ) de ce miroir par la séparatrice est tangente au miroir ( $M_2$ ). L'interféromètre est éclairé par une source étendue de longueur d'onde  $\lambda = 630 \text{ nm}$ . On observe la figure d'interférence sur un écran situé dans le plan conjugué de ( $M_2$ ) par la lentille  $\mathcal{L}$  de courte focale. Ce plan est situé loin de la lentille et le grandissement transversal de la figure d'interférence est  $|\gamma| = 5$ .

1. Obtient-on des franges d'égal épaisseur ou d'égal inclinaison ? Comment doit-on placer la source étendue ?
2. Déterminer les rayons des franges brillantes successivement observées sur l'écran.
3. Si les miroirs ont un diamètre de 2 cm, quelle est la valeur maximale du rayon de courbure que l'on peut détecter ?