

# TP n°9 Optique: **Michelson 1: réglage et analyse des figures d'interférences**

**CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES EXIGIBLES:** Régler un interféromètre de Michelson pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole proposé.  
**OBJECTIFS CONNEXES:** Régler l'interféromètre de Michelson en configuration coin d'air et observer les franges d'égale épaisseur.

## Remarques préliminaires:

- A votre arrivée dans la salle, vous devriez trouver l'interféromètre dans une configuration quelconque : les miroirs  $M_1$  et  $M_2$  doivent normalement avoir une orientation quelconque et les distances entre les miroirs et la séparatrice ne doivent pas être égales.
- L'objectif de la séance est, entre-autres, de régler le Michelson au contact optique.

Compte tenu du prix au détail des différentes organes de l'interféromètre de Michelson, il vous est demandé de les manipuler avec le plus grand soin et surtout de ne jamais toucher avec les doigts ou tout autre objet ni les miroirs, ni la séparatrice, ni la compensatrice. De même, il convient de relaxer les vis d'orientation du miroir  $M_2$  en fin de T.P (une contrainte appliquée en permanence provoquerait une déformation irréversible des lames-ressorts d'action des vis).

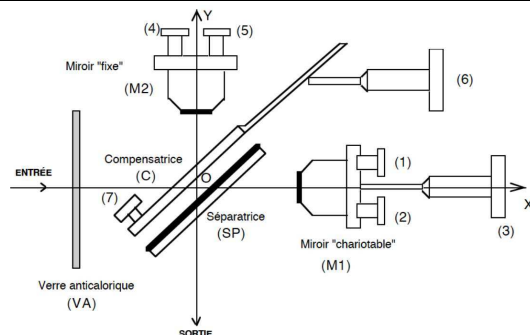


Figure 1: Schema de principe de l'interféromètre de Michelson

## 1 Réglage et observation en configuration coin d'air

**IMPORTANT:** avant de procéder au réglage à proprement parler, il est nécessaire de démarrer d'une situation pas trop éloignée du réglage recherché; c'est à dire des miroirs grossièrement à même distance de la séparatrice et un ensemble séparatrice-compensatrice grossièrement parallèle également.

Pour ajuster un parallélisme grossier de la séparatrice et de la compensatrice, agir sur les vis (6) et (7). De même, ajuster la distance entre l'ensemble séparateur et le miroir  $M_1$  en jouant sur la vis (3).

### 1.1 Réglage approché du parallélisme des miroirs et de l'ensemble séparateur

Le montage est le suivant:

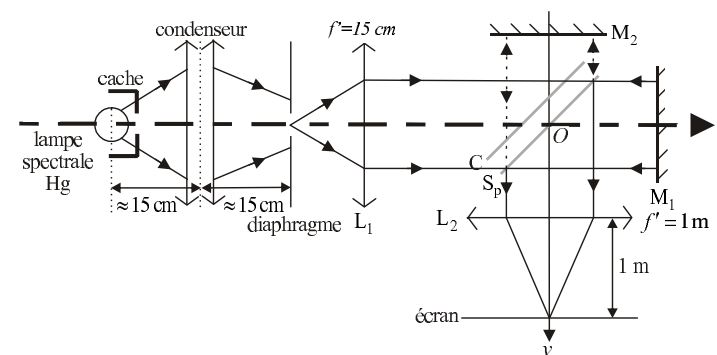


Figure 2: Réglage approché du parallélisme

### MANIPULATION:

- Allumer la lampe à vapeur de mercure.
- Réaliser le montage ci-dessus en soignant l'alignement des différents instruments, et en respectant les distances indiquées source-condenseur et condenseur-diaphragme dans un premier temps (environ  $15\text{ cm}$ ). Le diaphragme sera ensuite positionné au foyer objet de la lentille  $L_1$  (focale  $15\text{ cm}$  par autocollimation à l'aide du petit miroir disponible sur la paillasse).
- Refermer le diaphragme afin de simuler une source quasi-ponctuelle, et s'assurer que la lumière pénètre bien dans l'interféromètre. Le faisceau de lumière incident dans l'appareil est alors quasi-parallèle à l'axe d'entrée  $Ox$ .
- Placer en sortie de l'interféromètre (axe  $Oy$ ) une lentille  $L_2$  de focale  $1\text{ m}$ . Elle forme alors sur l'écran des images nettes du diaphragme, normalement au nombre de quatre (si les parallélismes ne sont pas réglés): une image par miroir ( $M_1$  et  $M_2$ ), une image par réflexion sur la séparatrice ( $S_p$ ), et une image par réflexion sur la compensatrice  $C$ . Si les images ne sont pas parfaitement nettes, affiner le réglage de position de  $L_1$ . Si les images du trou sont "entachées" de la présence de l'image du filament de la lampe, augmenter alors la distance condenseur-diaphragme.

### MANIPULATION:

- **NB:** Les vis de réglage fin  $V_4$  et  $V_5$  doivent être préalablement placées en position intermédiaire (les tourner jusqu'à ce que leurs extrémités coniques soit sorties) afin de pouvoir réaliser par la suite le réglage parfait du parallélisme.
- Agir sur les vis de réglage rapide  $V_1$  et  $V_2$  du miroir mobile et séparer ainsi les quatre images en deux groupes de deux images suffisamment distants pour ne pas être confondus. Les images dans chaque couple sont issues des réflexions respectivement sur la séparatrice  $S_p$  et la compensatrice  $C$ .
- Agir sur les vis de réglage du groupe séparatrice compensatrice afin de superposer le plus soigneusement possible les images dans chaque couple. Il n'y a alors plus que deux images de même luminosité, chacune donnée par l'un des miroirs.
- Agir sur les vis de réglage rapide du miroir  $M_1$  afin de superposer les deux images.  
**Ce réglage doit être réalisé avec un maximum de soin pour la suite.**

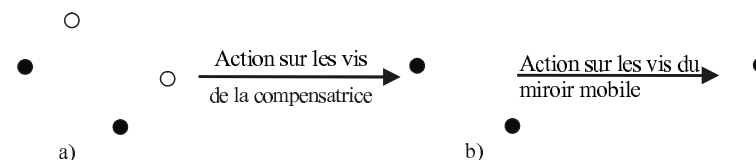


Figure 3: Réglage approché du parallélisme

### A ce stade du réglage:

- Séparatrice et compensatrice sont parallèles.
- Les miroirs  $M_1$  et  $M_2'$  (symétrique de  $M_2$  par rapport à l'ensemble séparateur) sont grossièrement parallèles à quelques minutes d'angle, **mais ne constituent pas une lame d'air**.

## 1.2 Réglage fin du coin d'air

### 1.2.1 Procédure

Après le réglage précédent, l'interféromètre est dans la configuration "coin d'air" de faible angle. Pour pouvoir observer les franges de coin d'air localisées au voisinage du coin, c'est-à-dire sur les miroirs, il faut une source de lumière suffisamment cohérente (c'est le cas de la lampe à mercure  $Hg$ ), que la source soit peu étendue, et que la lumière arrive pratiquement perpendiculairement au coin ( $i \approx 0$ ). Les franges sont alors localisées au voisinage des miroirs, on utilise donc une autre lentille convergente  $L_2$  de distance focale  $f'_2 = 15\text{ cm}$  ou  $f'_2 = 20\text{ cm}$  en sortie de l'interféromètre pour les visualiser.

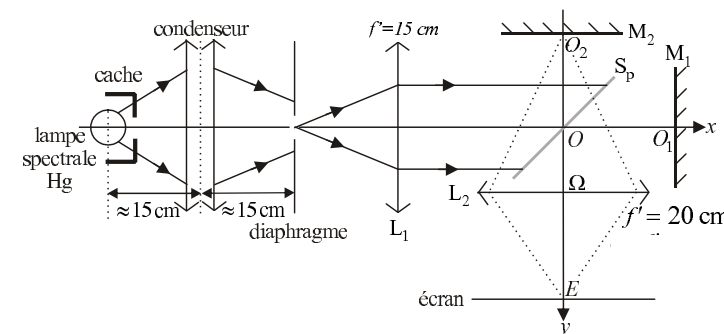


Figure 4: Réglage fin du coin d'air

### MANIPULATION:

- Modifier le réglage précédent en remplaçant simplement la lentille  $L_2$  de focale  $1\text{ m}$  par une nouvelle lentille  $L_2$  de focale  $f' = 20\text{ cm}$ .
- Ouvrir **un peu** le diaphragme afin d'augmenter la luminosité (mais sans trop altérer le parallélisme approché du faisceau de lumière).
- Conjuguer le plus soigneusement possible l'écran avec la surface des miroirs. Pour cela, on pourra utiliser une mine de crayon que l'on positionnera près de la surface d'un miroir **mais sans le toucher!!!!** et affiner la position de  $L_2$  pour que l'image de la mine sur l'écran soit nette.
- Placer le filtre interférentiel sélectionnant la raie verte du mercure  $\lambda = 546,1\text{ nm}$ . Les franges d'égale épaisseur du coin d'air doivent alors apparaître sur l'écran.
- Si les franges n'apparaissent pas, procéder comme suit:
  - L'interfrange est peut-être trop petit (angle de coin trop grand car  $i = \frac{\lambda}{2\alpha}$  sur les miroirs). Agir alors très délicatement sur les vis de réglage grossier pour augmenter ce dernier et aligner les franges avec la verticale.
  - La différence de marche est peut-être plus importante que la longueur de cohérence  $L_c$  de la source. Il faut alors chariotier dans le "bon sens" pour réduire la différence de marche. Pour déterminer le sens de chariotage, on peut par exemple estimer grossièrement au double décimètre la longueur de chaque bras, et constater, s'il y a lieu, un écart trop important. Si l'écart n'est pas estimable (il doit être supérieur à 3-4 mm), il faut essayer de chariotier dans les deux sens pour trouver les franges.
  - Si les deux procédures ci-dessus ne donnent rien, il faut reprendre l'ensemble du réglage optique qui n'a pas été réalisé assez soigneusement.
- Si les franges apparaissent assez clairement, on pourra augmenter l'interfrange en jouant sur les vis de réglage rapide et chariotier afin de diminuer la différence de marche et améliorer le contraste.
- Les franges étant parallèles à l'arête du coin d'air, on pourra rendre ces dernières verticales en agissant sur l'orientation du miroir  $M_2$  par les vis  $V_4$  et  $V_5$ .

### 1.2.2 Mesures et observations

#### Angle du coin d'air:

- ① Placer le filtre interférentiel sélectionnant la raie verte du mercure  $\lambda = 546,1\text{ nm}$ . L'interfrange vaut  $i = \frac{\lambda}{2\alpha}$  **dans le plan de localisation**, où  $\alpha$  est l'angle du dièdre formé par les deux miroirs  $M_2$  et  $M'_1$ , et modifier l'angle  $\alpha$  afin d'observer au moins une dizaine de franges sur l'écran.
- ② On observe l'image par  $L_2$  des franges situées sur le miroir, l'interfrange apparente est donc  $i' = \gamma \frac{\lambda}{2\alpha}$ , où  $\gamma$  est le grandissement introduit par la lentille  $L_2$ . En déduire une estimation de  $\alpha$  (mesurer une dizaine d'interfranges). Commenter.

#### Cohérence spatiale de la source et localisation des franges:

- ③ Constater qu'en ouvrant au maximum le diaphragme les franges ont tendance à se brouiller. Revenir à un diaphragme de taille convenable. Déplacer  $L_1$  selon Ox : les franges se brouillent, en même temps que les miroirs cessent d'être éclairés en lumière quasi-parallèle : il faut donc effectivement une source peu étendue, éclairant le coin d'air sous incidence quasi-normale. Revenir à la position initiale de  $L_1$ . Refermer le diaphragme et déplacer l'écran; constater alors la délocalisation des franges.

## 2 Réglage et observation en configuration lame d'air

### 2.1 Obtention d'une lame d'air approchée

#### MANIPULATION:

- A partir du réglage précédent, retirer le filtre vert et retrouver la projection de l'arête du coin d'air en chariotant; cette dernière est en fait la superposition des franges d'ordre  $p = 0$  pour toutes les radiations de la source, elle sera donc **de la couleur de la source**, et sera entourée de franges irisées réparties symétriquement de part et d'autre.

- Agir délicatement sur les vis de réglage grossier afin de "dilater" au maximum l'interfrange pour le faire tendre vers l'infini. Agir ensuite sur les vis de réglage fin pour finalement obtenir un éclairage homogène d'une seule teinte sur l'écran. L'angle entre les miroirs est alors proche de zéro, puisque  $\alpha = \frac{\lambda}{2i} \rightarrow 0$  avec  $i \rightarrow \infty$ .

## 2.2 Eclairage

NB: En configuration lame d'air, le Michelson doit être éclairé sous toute incidence et peut l'être par une source d'extension spatiale quelconque; en outre les interférences recherchées sont localisées à l'infini.

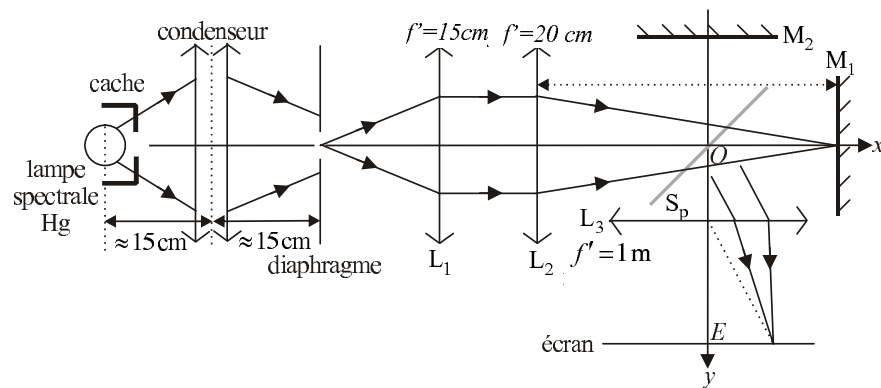


Figure 5: Eclairage en configuration lame d'air

### MANIPULATION:

- Remplacer le filtre vert.
- Modifier le réglage précédent en plaçant la lentille de focale 20 cm après la lentille  $L_1$  de façon à faire converger la lumière sur les miroirs. On pourra vérifier ceci en plaçant une mine de crayon dans le plan du diaphragme et observer à l'aide d'une feuille de papier blanc la formation de son image sur le miroir  $M_2$ . On a ainsi le maximum d'incidences possibles sur les miroirs.
- Placer la lentille  $L_3$  de focale 1 m à la sortie du Michelson afin de conjuguer l'écran avec l'infini, lieu de localisation des interférences en lame d'air.
- Si les anneaux ne sont pas centrés ou possèdent un contraste non homogène, retoucher les vis de **réglage fin**  $V_4$  et  $V_5$  du miroir fixe.

- Si les anneaux sont elliptiques au lieu d'être circulaires, c'est que la compensatrice n'est pas exactement parallèle à la séparatrice. Retoucher alors délicatement les vis  $V_6$  et  $V_7$  de C.
- **Pour assurer une finition parfaite:** Placer un "dépôli" entre la lentille  $L_2$  et l'entrée du Michelson, observer directement à l'oeil nu dans le Michelson; les anneaux à l'infini doivent être visibles. Si ces derniers "défilent" quand on fait "oui" avec la tête : retoucher légèrement le réglage de la vis  $V_4$  jusqu'à supprimer le défilement ; si les anneaux défilent quand on fait "non" avec la tête : retoucher légèrement le réglage de la vis  $V_5$  jusqu'à supprimer le défilement. Si l'ensemble du réglage est correctement effectué, les anneaux d'égale inclinaison sont centrés et parfaitement contrastés.

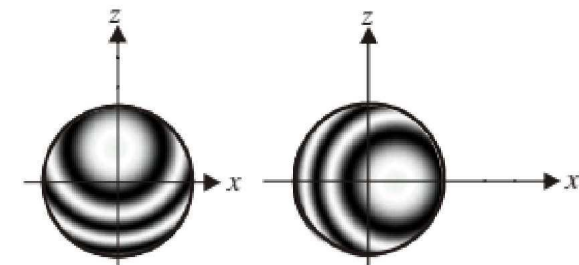


Figure 6: Réglage fin de la configuration lame d'air

### A ce stade du réglage:

- Les miroirs  $M_1$  et  $M'_2$  sont parfaitement parallèles.
- L'épaisseur de la lame d'air ainsi formée est assez faible pour assurer que la différence de marche ne dépasse pas la longueur de cohérence de la source.

## 2.3 Mesures et observations

- **Cohérence spatiale de la source et localisation des franges:**  
Fermer le diaphragme, retirer la lentille  $L_3$ , et constater alors que les interférences sont délocalisées en approchant l'écran. Ouvrir à nouveau le diaphragme et ob-

server que les franges sont à nouveau brouillées lorsque l'écran est assez proche de la sortie du Michelson.

- Constater que les anneaux "rentrent" ou "sortent" du centre de la figure respectivement suivant que  $e \searrow$  et au contraire  $e \nearrow$ .
- Constater que si  $e \nearrow$  les anneaux sont de plus en plus serrés et nombreux.
- Montrer que le rayon  $R_n$  du  $n^{\text{ième}}$  anneau brillant en partant du centre (avec le filtre vert en place) vérifie la loi suivante:

$$R_n^2 = f'^2 \frac{\lambda}{e} n + cste$$

Vérifier expérimentalement cette loi en relevant quelques valeurs de  $R_n$ .

## 2.4 Réglage du contact optique (teinte plate)

Le contact optique est défini **par une épaisseur rigoureusement nulle de lame d'air soit  $e = 0$  et un angle nul entre miroirs** :  $M_1$  et  $M'_2$  se superposent alors parfaitement .

### MANIPULATION:

- Le filtre vert en position devant l'entrée du Michelson éclairé par la lampe à vapeur de mercure, déplacer le miroir  $M_1$  ( $C_3$ ) de façon à augmenter le rayon des anneaux. Quand ils deviennent très gros, leur forme devient très sensible aux petites imperfections de réglage qui peuvent subsister. Agir éventuellement très délicatement sur le réglage fin de  $M_2$  (correction de centrage) et sur les réglages de la compensatrice (correction d'ellipticité). À partir d'une certaine position, les anneaux deviennent si gros que l'éclairement est à peu près uniforme ; noter cette position  $L_{1a}$ .
- Continuer à déplacer très lentement  $M_1$  dans le même sens, après une plage très confuse, les anneaux apparaissent à nouveau (maintenant, on a l'épaisseur de lame  $e < 0$ ) ; noter cette position  $L_{1b}$ .
- Le contact optique  $L_{1c.o.}$  se trouve alors dans l'intervalle  $[L_{1a} - L_{2a}]$ . Si la manipulation est bien faite, l'incertitude  $L_{1a} - L_{2a}$  sur la position du contact optique ne doit pas excéder 3/100 mm.

**IMPORTANT:** noter la position  $X_0$  du vernier de  $M_1$  correspondant au contact optique du Michelson sur lequel vous avez travaillé; cette valeur vous sera utile dans un futur TP.