# TP 9 : Interféromètre de Michelson (I) (thème optique)

| Nature et méthodes | Capacités exigibles |
|---|---|
| Étude de la cohérence temporelle d'une source. | Régler un interféromètre de Michelson compensé pour une observation en lame d'air avec une source étendue à l'aide d'un protocole fourni. |

**Revoir le chapitre O3 et la méthode d'autocollimation vue en MPSI**

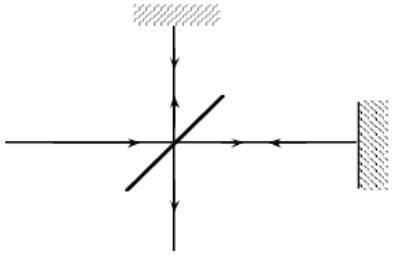
L'objectif du TP est d'apprendre à régler et utiliser l'interféromètre de Michelson avec différentes sources lumineuses en lame d'air et en coin d'air.

PRECAUTIONS

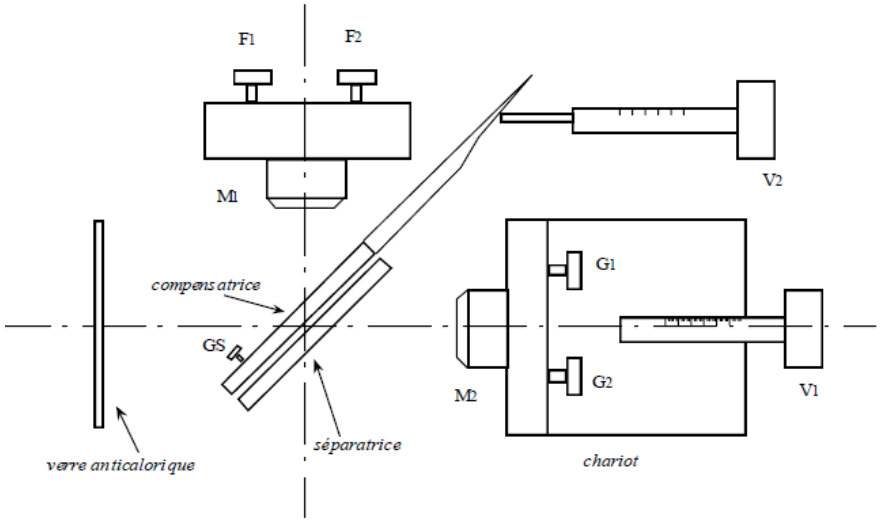
L'interféromètre utilisé est un matériel de grande précision, qui présente, en conséquence, une certaine fragilité. Il convient donc de respecter scrupuleusement le protocole expérimental décrit plus loin, et de manipuler avec les règles suivantes :

- l'appareil comporte de nombreuses vis de réglage : ne manipuler chacune d'elles qu'après avoir compris son influence,
- chaque opération doit être menée lentement et sans forcer,
- EN AUCUN CAS, ON NE POSERA LES DOIGTS SUR LES MIROIRS, NI SUR LES LAMES SÉPARATRICE ET COMPENSATRICE ; on ne tentera pas non plus de les essuyer avec quelle que matière que ce soit,
- dans le moindre doute, surtout lors des premières manipulations, ne pas hésiter à solliciter une aide.

Le principe de fonctionnement a été étudié en cours : l'amplitude d'un faisceau lumineux est divisé par une lame séparatrice, les deux faisceaux secondaires parcourant chacun un trajet composé d'un aller-et-retour dans un "bras" distinct de l'interféromètre, et se superposant de nouveau à la sortie de l'appareil. Pour que l'épaisseur de la séparatrice ne soit pas une source de dissymétrie, on lui adjoint une lame compensatrice.



## 1 Description de l'appareil




$(G_1)$, $(G_2)$, $(F_1)$ et $(F_2)$ sont des vis servant à ajuster l'orthogonalité des miroirs, $(G_1)$, $(G_2)$ grossièrement et $(F_1)$, $(F_2)$ finement.

La vis $(V_1)$ permet de déplacer (au centième de millimètre près) le chariot portant $(M_2)$, et ainsi de faire varier la différence de longueur entre les bras.

Les vis $(GS)$ et $(V_2)$ servent à placer la compensatrice parallèlement à la séparatrice, respectivement grossièrement et précisément.

## 2 Réglages

Dans ce TP on va apprendre à régler le Michelson avec une lampe à vapeur de sodium, le réglage au laser sera fait dans un deuxième TP Michelson.

L'interféromètre est réglé lorsque les deux miroirs sont orthogonaux, les deux bras ayant la même longueur, et la compensatrice étant parallèle à la séparatrice.

Noter d'abord la position de la vis $(V_1)$ avant de se mettre dans la « position initiale ».

Position initiale : Les vis de réglage fin, $(F_1)$ et $(F_2)$, doivent être légèrement vissées (à mi-course). Déplacer le chariot à l'aide de la vis $(V_1)$ pour que $(M_1)$ et $(M_2)$ soient grossièrement symétriques par rapport à la séparatrice (sans oublier de noter la position initiale).

### 2.1 Réglage de la compensatrice

Comme dit plus haut, il s'agit de la rendre parallèle à la séparatrice.

Envoyer le faisceau d'un laser à peu près normalement à la compensatrice et observer sur un écran (par réflexion ou transmission suivant le Michelson) les images multiples obtenues. Améliorer la normalité de l'incidence du faisceau en minimisant la distance entre les images. Ensuite, en agissant sur $(GS)$, puis $(V_2)$, superposer les images (remarque : le verre anticalorique peut lui aussi être la source d'images multiples).

Noter la graduation $x_2$ correspondant au réglage réalisé.

### 2.2 Réglage de l'orthogonalité des miroirs

#### 2.2.1 Réglage grossier

Placer une lampe au sodium devant l'interféromètre suivie d'un diaphragme et d'une lentille placée par auto-collimation à sa une distance du diaphragme égale à sa distance focale. On a ainsi fabriqué un objet à l'infini. Observer cet objet à l'oeil nu à travers le Michelson (regarder sur le miroir $(M_1)$). En agissant sur $(G_1)$ et $(G_2)$ éliminer du mieux possible les images multiples.

#### 2.2.2 Réglage fin

Supprimer le diaphragme, rapprocher la lampe très près de l'interféromètre et placer un dépoli entre la lampe et l'interféromètre : les miroirs sont alors éclairés sous des incidences variées et l'on voit des franges sur $(M_1)$ (observer toujours à l'œil nu ), si ce n'est pas le cas c'est que la différence de marche est trop grande (ou le réglage précédent mal réalisé), déplacer alors lentement le chariot (en agissant sur $V_1$).

Écarter lentement les franges avec les réglages grossiers $(G_1)$ et $(G_2)$ ; des anneaux apparaissent. Pour vérifier s'ils sont à l'infini, déplacer la tête de haut en bas ou de droite à gauche : si le réglage n'est pas correct, on voit varier le rayon des anneaux. Corriger en agissant sur les réglages fins $(F_1)$ et $(F_2)$.

Agrandir les anneaux en déplaçant le chariot (les faire rentrer au centre) ; il doit y en avoir moins de cinq anneaux dans le champ.

On a ainsi réalisé l'orthogonalité des miroirs (donc le parallélisme de l'un avec l'image de l'autre par la séparatrice) avec une faible différence de marche. Si la différence de marche est trop grande, les anneaux ne seront plus visibles lorsque la lampe à vapeur de sodium sera remplacée par la lampe à vapeur de mercure. En effet la longueur de cohérence des lampes au mercure est légèrement plus courte que celle des lampes au sodium.

## 3 Anneaux d'égale inclinaison

### 3.1 Observation

Remplacer la source au sodium par une source au mercure et faire converger la lumière sur le miroir opposé à l'aide d'une lentille $(L_1)$ de distance focale de l'ordre de 10 cm.

Où les anneaux sont-ils localisés ? Placer un écran à deux mètres et projeter les anneaux (ou bien travailler dans le plan focal d'une lentille $(L_2)$ de grande distance focale, 50 cm par exemple, placée tout près de l'interféromètre pour recueillir le maximum de lumière).

### 3.2 Teinte plate

On peut approcher de l'état où la différence de marche $\delta$ est nulle par action sur $(V_1)$ en faisant croître le rayon des anneaux observables (en fait, lors de la diminution progressive de $\delta$, le rayon d'un anneau d'ordre donné décroît (démontrez-le !), et les anneaux semblent entrer dans le centre de la figure : interpréter cette observation) ; lorsque ceux-ci deviennent tellement grands qu'une seule teinte est observée, et que cette teinte est celle de la lampe utilisée, $\delta = 0$. C'est la teinte plate : noter la graduation $x_1$ correspondante.

Remarque : il est possible qu'à mesure que les anneaux deviennent plus gros, ils prennent également une allure elliptique. Cela signifie que la compensatrice n'a pas été parfaitement réglée : retoucher alors légèrement son parallélisme avec la séparatrice par action sur $(GS)$ (les ellipses deviennent droites), puis $(V_2)$ (la forme circulaire est rétablie). Noter la nouvelle valeur $x_2$ de la graduation de $(V_2)$.

## 4 Franges du coin d'air

### 4.1 Observation

Revenir à la teinte plate. Éclairer les miroirs par un faisceau de lumière quasi parallèle réalisé à partir de la lampe au mercure : utiliser un diaphragme à iris assez largement ouvert et une lentille $(L_1)$ de focale 10 cm.

Utiliser une lentille $(L_2)$ de focale 20 cm pour former l'image du miroir $(M_1)$ sur l'écran.

Tourner légèrement l'un des boutons $(F_1)$ ou $(F_2)$ pour réaliser un coin d'air. Observer les franges de part et d'autre de la frange centrale, localisées sur le miroir.

### 4.2 Mesure de l'angle des miroirs

Soit $\alpha$ l'angle entre $(M_1)$ et l'image $(M_2')$ de $(M_2)$ par la séparatrice. Régler $(F_1)$ et $(F_2)$ pour observer une dizaine de franges. Interposer un filtre jaune ($\lambda = 578{,}0\,\text{nm}$) entre le diaphragme et la lentille, et mesurer l'interfrange sur l'écran $i'$, la distance $|p|$ de $(M_2)$ à $(L_2)$, ainsi que la distance $|p'|$ de $(L_2)$ à l'écran.

Établir la relation :

$$\alpha = \frac{\lambda}{2i'}\left|\frac{p'}{p}\right|$$

En déduire la valeur de $\alpha$ en radian, puis en seconde d'arc.

## 5 Observation en lumière blanche

**Observation des franges colorées :**

Rester en coin d'air proche de la teinte plate. Placer la frange achromatique d'ordre 0 au centre de la figure. Puis remplacer la lampe au mercure par une lampe blanche (enlever la lentille car la lampe en contient déjà une en sortie. Effectuer un faisceau quasi-parallèle par réglage de la source). Vous devez voir des franges colorées. Si ce n'est pas le cas, noter la graduation puis retoucher très doucement la vis $V_1$.

**Observation des cannelures noires du blanc d'ordre supérieur :**

*Avec le petit spectroscope à vision directe :* placer le spectroscope juste derrière l'écran translucide et observer le spectre. Tourner très légèrement $V_1$. Vous devez observer des cannelures noires dans le spectre car certaines longueurs d'onde sont éteintes dans le blanc d'ordre supérieur.

*Avec le spectroscope à fibre :* enlever l'écran et placer le spectroscope à fibre dans le plan de localisation des franges. Ouvrir le logiciel VisualSpectra. Observer de même les cannelures dans le spectre.

## 6 Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre

Espacer les cannelures noires jusqu'à retrouver les franges colorées du coin d'air en lumière blanche.

Appeler le professeur pour installer une lame de verre sur un trajet de l'interféromètre. C'est une opération très délicate car il faut veiller à ne pas toucher ni rayer ni les miroirs ni la lame séparatrice.

Cette lame de verre a un indice $n = 1,52 (u(n) = 0,01)$ et une épaisseur $e$ inconnue. Quelle est la différence de marche ajoutée lors de l'introduction de la lame ?

Noter la position de la vis $V_1$ puis tourner très doucement $V_1$ jusqu'à retrouver les franges colorées.

Déduire de cette translation du miroir $M_2$ la valeur de l'épaisseur $e$ de la lame de verre. Comparer à la valeur donnée par le fabriquant : $e = 0,13$ à $0{,}17\,\text{mm}$.