

TP N.03

Interféromètre de Michelson

Règle de sécurité : il ne faut jamais observer directement le faisceau laser

OBJECTIFS DU TP

Savoir régler un interféromètre de Michelson et savoir l'utiliser en spectroscopie interférentielle .



L'interféromètre de Michelson est constitué essentiellement :

- d'une lame (L_S), appelée **séparatrice**, rendue semi-réfléchissante par un traitement de surface ;
- d'une lame de verre identique et parallèle à la séparatrice L_C , mais non traitée, appelée **compensatrice** ;
- de deux miroirs plans M_1 et M_2 quasiment orthogonaux entre eux et inclinés d'environ 45° par rapport à la séparatrice.

- Les miroirs M_1 et M_2 sont orientables à l'aide de vis micrométriques. Le miroir M_2 est monté sur un chariot qui peut se déplacer perpendiculairement à M_2 .

1 Théorie :

2 lame d'air :

1. Etablir rapidement l'expression de la différence de marche pour des rayons lumineux arrivant sur la lame d'air avec un angle d'incidence i dans le cas où l'épaisseur de la lame d'air est e .
2. Expliquer pourquoi les franges sont des anneaux et pourquoi l'on parle de franges d'égale inclinaison. Où sont localisées les franges ?
3. Expliquer le fait que lorsque l'on fixe son attention sur une frange d'interférences et que l'on rapproche le miroir mobile du contact optique, le rayon de cette frange diminue et que la frange disparaît au centre de la figure.

3 coin d'air :

1. Rappeler l'expression de la différence de marche dans le cas d'un coin d'air d'angle α très faible.
2. Expliquer pourquoi les franges sont rectilignes et pourquoi l'on parle de franges d'égale épaisseur. Où sont localisées les franges ?
3. Que se passe-t-il si l'on fait varier l'angle α du coin d'air ?

4 Réglages de l'interféromètre :

4.1 Réglage du parallélisme compensatrice séparatrice :

a) - Réglage "à vue d'oeil" :

Commencer par rendre L_S et L_C aussi parallèles que possible "à vue d'oeil" en agissant sur les vis de la L_C .

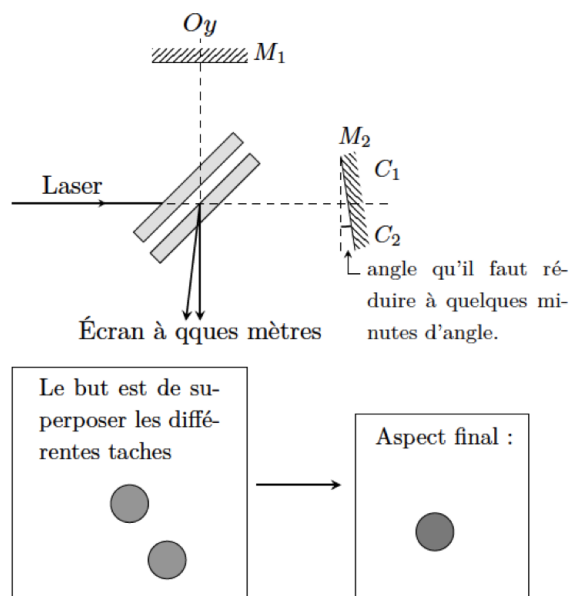
b) - Affinage des réglages :

Le réglage précédent est encore trop grossier et il faut l'affiner. Le réglage se fait avec un laser, ce qui est très précis.

Faire passer un faisceau laser très fin à travers la compensatrice et la séparatrice en veillant à l'orienter le plus possible orthogonalement à $L_C L_S$. Le faisceau doit traverser la séparatrice et la compensatrice mais ne doit frapper aucun miroir. Agir sur les vis de L_C pour faire coïncider sur un écran placé à quelques mètres les deux systèmes de taches dus aux réflexions multiples sur L_S ou L_C .

4.2 Réglage de l'orthogonalité des deux miroirs M_1 et M_2 :

Il faut ensuite rendre M_1 et M_2 quasiment orthogonaux.



- Éclairer l'interféromètre par un faisceau laser très fin comme indiqué sur le schéma ci-dessus et placer un écran dans l'espace de sortie, à quelques mètres de distance.
- On observe sur l'écran deux systèmes de taches dues aux réflexions dans les voies 1 et 2 de l'interféromètre. Agir sur les vis du miroir mobile pour superposer au mieux ces deux systèmes de tache.

On a alors M_1 et M_2 qui sont presque orthogonaux.

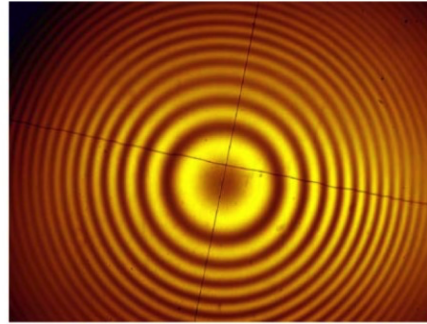
4.3 Réglage fin des miroirs en lame d'air : obtention des anneaux :

Il s'agit maintenant d'obtenir l'orthogonalité parfaite des miroirs, afin d'observer les anneaux d'égale inclinaison. Remplacer le laser par une lampe au sodium (qui est plus cohérente) et placer celle-ci à environ 20 cm de l'entrée de l'interféromètre. Intercaler un écran dépoli (dont la fonction est de diffuser la lumière) entre la source et l'interféromètre.

- Observer directement sans accommoder la surface du miroir M_1 dans l'interféromètre : on doit voir des franges ou des anneaux circulaires ou encore des portions d'anneau circulaires.
- Si ce n'est pas le cas, **chariotter** pour modifier l'épaisseur optique e jusqu'à observer les franges.
- Une fois les franges observées (on observe souvent des franges fines, serrées et courbées), retoucher très doucement les vis de rotation de miroir mobile pour bien arrondir et centrer les anneaux, sans les perdre : vous devez voir de beaux anneaux, bien circulaires et dont le centre est sur l'axe Oy de l'interféromètre.
- Agir sur vis de **chariotage** pour faire rentrer les anneaux et obtenir au final une petite dizaine d'anneaux.

Projection des franges d'égale inclinaison et réglage fin des miroirs

- Supprimer le dépoli, le remplacer par un condenseur (lentille de courte focale) et concentrer la lumière de la source sur le miroir M_2 .
- Commencer par observer les anneaux sur un écran éloigné. Améliorer le contraste en jouant finement sur les vis de rotation de miroir mobil.
- Interposer une lentille de grande focale ($f_0 = 1m$) et observer les anneaux bien contrastés dans son plan focal image.



L'interféromètre de Michelson est maintenant réglé en **lame d'air** : on observe les "anneaux d'égalé inclinaison" localisés à l'infini.

5 lame d'air :

5.1 Expérience :

5.1.1 Mesure du rayon des anneaux :

- Translater le miroir (M_1) pour avoir une intensité maximale au centre des anneaux. On sait que le rayon du K-ème anneau est donné par la relation :

$$R_K = K \sqrt{\frac{\lambda_0}{e}} \cdot f'_2$$

f'_2 étant la distance focale de la lentille située en sortie de l'interféromètre.

- Mesurer les rayons des différents anneaux et vérifier graphiquement la loi ci-dessus.
- En déduire la valeur de e et noter la valeur lue sur le vernier de la vis de chariotage . Comparer cette valeur avec celle lue sur le vernier quand on est au contact optique ($e = 0$).

5.2 Mesure de la différence des deux longueurs d'onde du doublet du sodium :

La lampe au sodium émet deux raies de longueur d'onde λ_1 et λ_2 très proches l'une de l'autre :

$$\lambda_1 = 0,5890\mu m \quad \text{et} \quad \lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$$

On veut déterminer cet écart $\Delta\lambda$.

- Régler l'écart e entre les deux miroirs pour voir peu d'anneaux (on est proche du contact optique).
- Translater le miroir (M_1) dans le sens où les anneaux naissent au centre. Vérifier que le contraste varie ; il s'annule périodiquement.
- Lire les différentes valeurs des positions de (M_1) pour lesquelles le contraste est minimal.
- En déduire la largeur $\Delta\lambda$ du doublet par la relation :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\Delta e}$$

Δe étant la distance entre deux positions successives de (M_1) pour lesquelles le contraste est minimal. Pour augmenter la précision, il faut bien sûr prendre le maximum de positions de (M_1) pour lesquelles le contraste est minimal

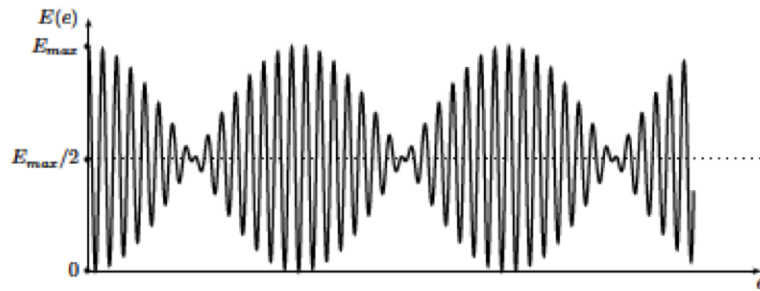
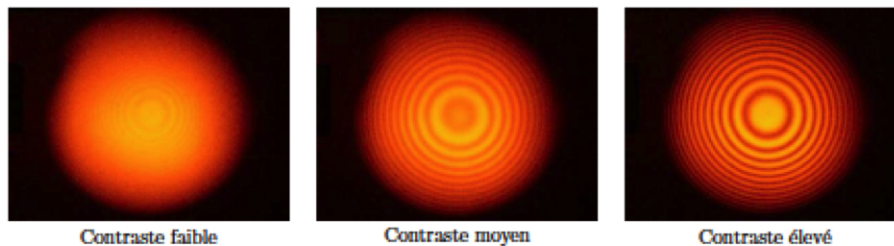


FIGURE 3 – Éclairement dans le cas du doublet du sodium



5.3 Mesure de la largeur spectrale d'un filtre interférentiel :

- Placer un filtre interférentiel (vert par exemple) après la lampe à incandescence.
 - Régler l'écart e entre les deux miroirs pour voir peu d'anneaux (on est proche du contact optique).
 - Translater le miroir (M_1) dans le sens où les anneaux apparaissent au centre. Vérifier que le contraste diminue et finit par s'annuler. Noter la position x_1 du miroir (M_1).
 - Translater le miroir (M_1) en sens contraire, traverser le contact optique et translater le miroir jusqu'à disparition des anneaux. Noter la position x_2 du miroir (M_1).
- À la disparition des anneaux, l'écart entre les deux miroirs est $|x_2 - x_1|/2$. La longueur moyenne des trains d'onde est donc $|x_2 - x_1|$.

On admet que la largeur spectrale $\Delta\nu$ de la lumière que laisse passer le filtre vaut : $\Delta\nu = \frac{1}{\tau_c}$. τ_c étant la durée moyenne des trains d'onde. On sait enfin que la longueur moyenne des trains d'onde ou longueur de cohérence temporelle l_c est reliée à la durée moyenne des trains d'onde par : $l_c = c \cdot \tau_c$ c étant la vitesse de la lumière dans le vide

- En déduire la largeur spectrale $\Delta\tau$ du filtre.

5.4 Mesure d'une longueur d'onde (ou d'un déplacement) :

En théorie, la mesure d'une longueur d'onde est simple : il suffit de translater le miroir (M_1) et de compter le nombre N d'anneaux qui apparaissent ou qui disparaissent au centre. On sait que ce nombre N est relié à la variation Δe de l'écart entre les deux miroirs par la relation : $\Delta e = N\lambda$. En pratique, il est difficile de translater le miroir (M_1) suffisamment lentement **pour ne pas se tromper** sur le nombre N ; il faudrait un interféromètre **équipé d'un moteur** pour déplacer régulièrement et très lentement le miroir (M_1). On mesurerait par exemple la translation du miroir pour que 500 anneaux défilent

- Essayer de mesurer le déplacement du miroir lorsqu'une vingtaine d'anneaux défilent.
- En déduire la longueur d'onde par la relation : $\lambda = \frac{2\Delta e}{N}$

6 Réglage du contact optique ($e = 0$) :

Pour se rapprocher du contact optique, il faut translater le miroir (M_1) dans le sens où le rayon des anneaux diminue, c'est-à-dire dans le sens où les anneaux disparaissent

au centre.

- Translater le miroir (M_1) avec la vis de chariotage dans le sens où **le rayon des anneaux diminue** : ils disparaissent au centre. Agir sur les vis de rotation de miroir mobil pour ramener le centre des anneaux au centre de la figure.
- Arrêter la translation du miroir (M_1) quand il ne reste plus qu'une demi-douzaine d'anneaux. On est alors assez proche du contact optique. On l'atteindra exactement un peu plus tard.

7 Coin d'air :

Passage de la lame d'air en coin d'air :

à partir de la configuration précédente, passer ensuite en configuration "coin d'air" en faisant pivoter doucement le miroir M_1 autour de son axe vertical avec les vis. La source étant étendue, les franges rectilignes sont localisées au voisinage de la surface des miroirs (on peut observer cette surface à l'oeil directement pour s'en convaincre).

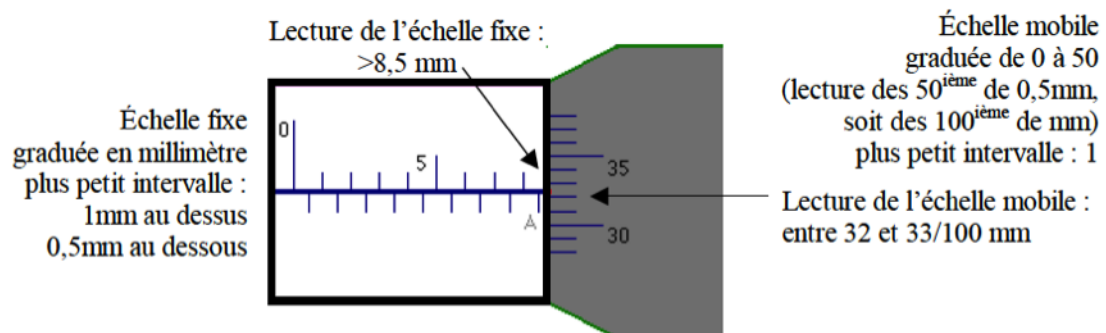
Changement des conditions d'observation : afin de mieux observer ces franges, projeter l'image des miroirs sur un écran à l'aide d'une lentille convergente de distance focale $f' = 20$ cm. Bien ajuster la position de l'écran pour avoir des franges nettes.

L'interféromètre de Michelson est maintenant réglé en "coin d'air" : on observe des "franges rectilignes d'égale épaisseur localisées près des miroirs.



- mesurer l'angle α entre les deux miroirs. La longueur d'onde moyenne du doublet jaune du sodium est $\lambda_{\text{moy}} = 589,3 \text{ nm}$.

Exemple 2 : vernier d'une vis micrométrique de Michelson



au total : $8,825 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$