

*Objectifs :*

- Apprendre à régler l'interféromètre de Michelson.
- Savoir passer d'une situation de lame d'air à un coin d'air et inversement.
- Utiliser le réglage pour mesurer le doublet du Sodium.
- Interférométrie en lumière blanche.

## I - Avertissement

Les miroirs des interféromètres de Michelson sont très fragiles (et extrêmement chers). La manipulation de l'interféromètre doit par conséquent se faire avec une infinie précaution. Retenez ces quelques avertissements généraux sur les TP d'optique :

- **Ne touchez jamais les miroirs du Michelson. Ce ne sont pas des miroirs de salle de bain.**
- Manipulez le palmer et les vis du Michelson délicatement.
- Ne rallumez pas une lampe spectrale qui vient d'être éteinte. Il faut lui laisser le temps de refroidir avant. Le mieux est de la laisser allumée en permanence.
- Ne regardez jamais un laser directement. Le faisceau laser étant invisible, soyez vigilants pour vous mais aussi pour vos camarades.

Avant de lire la suite, allumez la lampe au sodium pour lui laisser le temps de chauffer.

## II - Présentation de l'interféromètre de Michelson (IM)

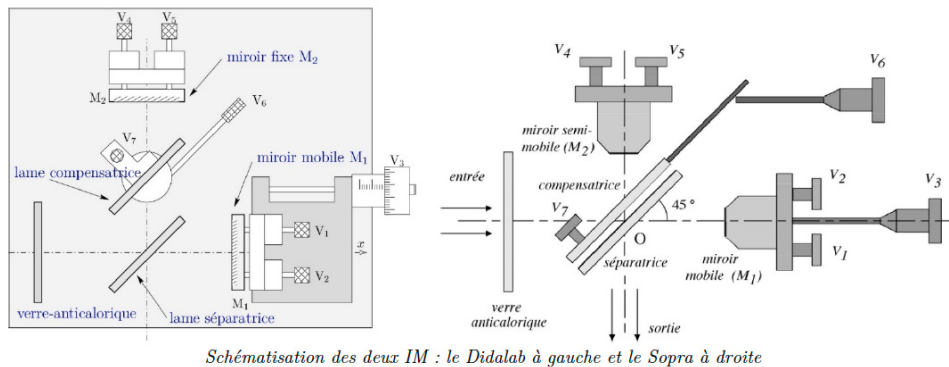
### 1) Les IM au lycée

Nous disposons d'interféromètres de marque Didalab (Ovio) et Sopra. Sur tous ces appareils, nous retrouvons les mêmes éléments essentiels, mais la disposition et l'aspect des IM peut varier d'un groupe à l'autre. Essayez de repérer les différents éléments :

- Le verre anti calorique destiné à filtrer la lumière et protéger les miroirs ;
- La séparatrice, lame semi-réfléchissante dont une face traitée divise tout rayon incident en deux rayons d'amplitudes égales ;
- La compensatrice, lame de même épaisseur que la séparatrice mais non réfléchissante ; sa présence rend identiques les chemins optiques parcourus dans le verre sur les deux voies de l'interféromètre.  
Sur les appareils Didalab (Ovio), elle se trouve à plusieurs centimètres de la séparatrice. Sur les Sopra, ces deux lames se trouvent côte à côte.
- Les miroirs  $M_1$  et  $M_2$  de part et d'autre de la séparatrice.

### 2) Identification des différents réglages

- $S_p$  : Lame séparatrice ; le seul élément fixe de l'interféromètre
- C lame compensatrice
- $V_7$  : réglage "trappe" de la compensatrice (rotation autour d'un axe vertical)
- $V_6$  : réglage "porte" de la compensatrice (rotation autour d'un axe horizontal)
- $M_1$  miroir "mobile" ou chariotable
- $M_2$  miroir "fixe"
- $V_4$  et  $V_5$  réglages fins du miroir fixe : réglage du dièdre  $\alpha$ . (A n'utiliser que pour des réglages fins)
- $V_1$  et  $V_2$  réglages grossiers du miroir chariotable : réglage du dièdre  $\alpha$ .
- $V_3$  chariotage du miroir mobile  $M_1$  par butée micrométrique : pour les Sopra 1 tour du tambour correspond à 0,5mm et donc la lecture du vernier est formée de 50 graduations exprimées en  $\mu\text{m}$ .



### III - Réglages du Michelson

#### 1) Réglages visuels

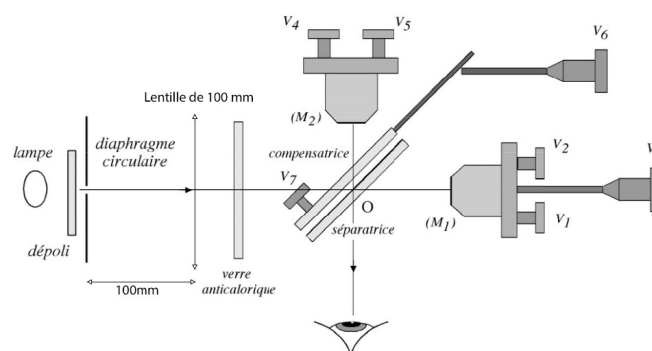
- Mettre les vis de réglage d'orientation des miroirs ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_4$  et  $V_5$ ) à mi-course, ou tout du moins s'assurer de ne pas avoir de vis totalement "sortie" ou "enfoncée".
- Ajuster à quelques mm près au maximum avec la vis  $V_3$  l'égalité des bras du Michelson (distances comptées avec un régle à partir de la face réfléchissante de la séparatrice).
- Régler visuellement le parallélisme séparatrice - compensatrice.

#### 2) Réglages à l'aide d'une lampe spectrale (Sodium)

##### a) IM Sopra

Vous devez donc savoir régler l'interféromètre avec cette méthode qui est délicate à utiliser.

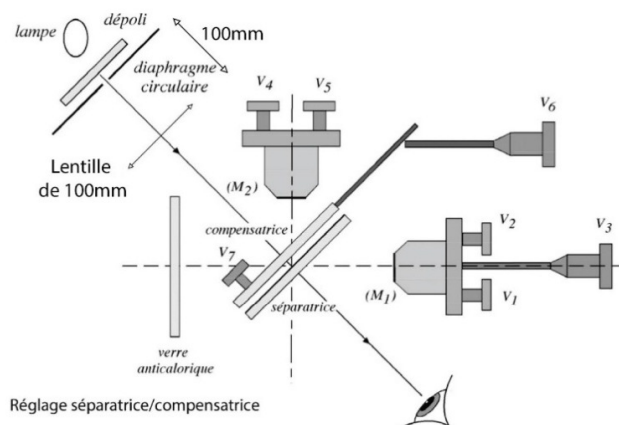
- Placer la lampe spectrale à l'entrée de l'IM.
- Placer un diaphragme à iris, faiblement ouvert, à la sortie de la lampe spectrale.
- Placer un condenseur accolé à l'entrée de l'interféromètre puis par autocollimation placer le diaphragme dans son plan focal objet.
- Placer un écran dépoli afin d'atténuer l'intensité lumineuse sinon votre oeil va souffrir.
- Observer directement à l'oeil nu à la sortie de l'interféromètre.
- Agir d'abord sur la compensatrice (vis  $V_6$  et  $V_7$ ) afin de regrouper au mieux les taches de chaque série.
- Superposez au mieux les deux images obtenues en agissant sur les vis de réglage du miroir mobile ( $V_1$  et  $V_2$ ).



##### b) IM Didalab

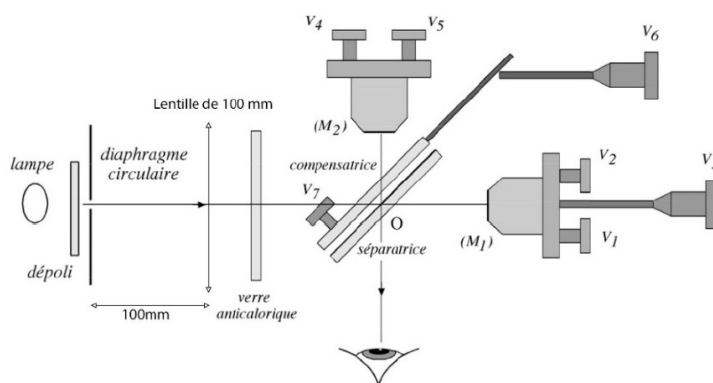
*Réglage du parallélisme séparatrice/compensatrice*

Réglage galère à réaliser, je le mentionne ci-dessous pour votre culture. (Au concours ce réglage est déjà réalisé).



- Eclairer un diaphragme très faiblement ouvert avec une lampe spectrale.
- Utiliser une lentille de courte focale proche de l'IM et placer le diaphragme dans son plan focal objet par autocollimation. Aidez-vous de l'image sur le diaphragme pour régler l'alignement des différents éléments.
- Placer un verre dépoli entre la lampe et le diaphragme afin d'en diminuer l'intensité.
- Observer à l'œil nu (on peut projeter aussi), à travers la séparatrice, le diaphragme selon une direction perpendiculaire à la séparatrice. On voit en général plusieurs images dues aux réflexions multiples sur la compensatrice et la séparatrice.
- Jouer sur les vis  $V_6$  et  $V_7$  pour superposer les différentes images.

#### Réglage du parallélisme entre les deux miroirs



- Placer un diaphragme à iris, faiblement ouvert, à la sortie de la lampe spectrale.
- Placer un condenseur accolé à l'entrée de l'interféromètre puis par autocollimation placer le diaphragme dans son plan focal objet. Afin de bien aligner le système essayer de faire passer l'image sur l'objet "trou".
- Observer à l'œil nu à la sortie de l'IM.
- Superposez au mieux les deux images obtenues en agissant sur les vis de réglage du miroir mobile ( $V_1$  et  $V_2$ ).

#### c) Obtention des anneaux d'égal inclinaison

- Ouvrir le diaphragme au maximum. Dans ce cas, la source n'est plus ponctuelle mais étendue. - Placer un écran dépoli.

Étape optionnelle :

- En observant l'IM à l'oeil nu vous devez observer des franges rectilignes, si vous êtes proches du contact optique.
- A l'aide des vis  $V_1$  et  $V_2$  augmenter l'interfrange. On réduit ainsi la taille du coin d'air.

Pour observer les anneaux on doit changer l'éclairage de l'IM :

- Focaliser la lumière sur les miroirs à l'aide du condenseur (bouger la lampe et coller la lentille à l'IM). Vous pouvez par exemple focaliser le filament de la lampe.
  - Vous devez observer des anneaux colorés (Attention : ils sont souvent très peu visibles, ne les ratez pas!!). Si ce n'est pas le cas, traduire un peu le miroir mobile avec la vis  $V_3$  de part et d'autre de la position initiale.
  - Si vous ne voyez toujours pas les anneaux, recommencer le réglage géométrique. (Ou appeler votre professeur)
- Avant de passer à la projection, améliorer la netteté (contraste) de vos anneaux :
- Eviter une antioïncidence
  - Rapprocher vous du contact optique sans chercher à l'atteindre
  - Jouer sur les vis  $V_1$  et  $V_2$  délicatement afin d'améliorer ce contraste. Les franges seront probablement rectilignes au début ; jouer sur  $V_1$  et  $V_2$  pour les rendre alternativement verticales puis horizontales, tout en "sentant" une amélioration (franges plus visibles) pour le Didalab (Ovio). Pour l'IM Sopra, les franges sont inclinés d'un côté puis de l'autre, mais l'idée est la même : il doit y avoir une amélioration de la forme des franges.
  - Les anneaux doivent maintenant être uniformes et non brouillés sur certaines parties. On peut aussi chercher à centrer les anneaux mais attention l'éclairage peut-être fautif aussi.
  - Vu que les anneaux sont localisés à l'infini, placer un écran dans le plan focal image de la lentille de 1 m à la sortie de l'IM. Enlever le dépoli pour une meilleure luminosité.
  - Lorsque vous observez des anneaux, agir sur les vis  $V_1$  et  $V_2$  pour ramener les anneaux au centre de la figure.
  - Augmenter au mieux le contraste à l'aide des vis  $V_4$  et  $V_5$ .
  - Traduire le miroir avec la vis  $V_3$  de façon à diminuer l'épaisseur de la lame d'air : faire rentrer les anneaux au centre.
  - *Remarque :*  
*A ce moment du réglage on peut améliorer le parallélisme des miroirs. En effet, en déplaçant la tête latéralement (horizontalement puis verticalement) on constate que les anneaux restent immobiles si le réglage est bon, sinon on peut stabiliser ce phénomène à l'aide des vis  $V_4$  et  $V_5$*   
 Le réglage obtenu servira de base à la plupart des expériences ultérieures. Ne touchez plus aux réglages on va passer aux mesures.
  - Rechercher le contact optique à l'aide de la vis  $V_3$  : vous verrez seulement le "centre" d'un seul anneau. Cherchez sa position le plus précisément possible en effectuant plusieurs mesures.

## IV - Expériences en "Lame d'air"

### 1) Mesure du rayon des anneaux

On utilisera la lampe à vapeur de Sodium de longueur d'onde moyenne :  $\lambda_0 = 589,0$  nm

- Traduire le miroir mobile pour se situer dans une zone de bon contraste avec à l'écran une dizaine (ou plus) d'anneaux.
- Positionner une frange brillante au centre. Mesurer sur l'écran les rayons des différents anneaux (on note  $r_k$  le rayon du  $k$ -ième anneau).
- Vérifier graphiquement la loi établie en TD.

$$r_k = f' \sqrt{\frac{\lambda_0}{ne} (k + \varepsilon - 1)}$$

où  $n = 1$  dans notre cas.

- En déduire l'excédent fractionnaire  $0 < \varepsilon < 1$ , et l'épaisseur de la lame.
- Noter la valeur lue sur le vernier et à l'aide de la valeur du contact optique, comparez les deux valeurs de la lame.
- Conclure

## 2) Mesure d'une longueur d'onde

Afin de gagner du temps on va rester avec la lampe spectrale au sodium, mais on peut utiliser toute source spectrale pour réaliser cette expérience munie d'un filtre interférentiel pour certaines.

- On compte le nombre d'anneaux  $N$  qui défilent au centre lorsque l'on translate le miroir mobile sur une distance correspondant à une variation de l'écart entre les deux miroirs de  $\Delta e$  tel que  $2\Delta e = N\lambda$ .
  - Placez-vous près du contact optique. Compter une centaine d'anneaux (ou plus !!) puis retrouver la longueur d'onde moyenne du doublet du sodium.
- (Q) Retrouver, à l'aide de votre cours, la formule  $2\Delta e = N\lambda$ .

## 3) Mesure du doublet jaune du Sodium

La lampe à vapeur de sodium émet deux raies de longueur d'onde très proches  $\lambda$  et  $\lambda'$  l'une de l'autre. Il en résulte un brouillage de la figure d'interférences lorsqu'une des longueurs d'onde donne un maximum d'intensité et l'autre un minimum. Dans ce cas, entre deux antioïncidence  $\Delta e$  vérifie :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{2\Delta e}$$

On cherche à déterminer expérimentalement, l'écart entre ces deux longueurs d'ondes  $\Delta\lambda = |\lambda - \lambda'|$ .

- Placer vous près du contact optique.
- Relever deux antioïncidences successives (zone où le contraste est très faible) puis en déduire la valeur de  $\Delta\lambda$ .

# V - Expériences en "Coin d'air"

## 1) Passage de lame d'air à coin d'air

On a pu voir dans le II-2-c comment passer du coin d'air à la lame d'air, il va falloir faire l'étape inverse cette fois.

- Placez-vous au contact optique en essayant de faire apparaître le minimum d'anneaux sur l'écran de projection à l'aide de la vis  $V_3$  du miroir  $M_1$ .
- A l'aide de la lentille, éclairer les miroirs dans leur totalité à l'aide de la lampe de sodium.
- La figure d'interférences est localisée sur les miroirs, on change de lentille (200mm de focale) et on fait l'image des miroirs sur l'écran (coin de papier proche des miroirs)
- Créez un coin d'air à l'aide des vis  $V_1$  et  $V_2$ . Vous devez observer sur l'écran des franges rectilignes.
- Orienter verticalement vos franges pour la suite des expériences avec les vis  $V_1$  et  $V_2$ .

## 2) Mesure d'interfrange

- Déterminer l'interfrange  $i'$  sur l'écran.
- En déduire l'interfrange  $i$  grâce aux lois de Descartes.
- En déduire l'angle du coin d'air sachant que  $i = \frac{i'}{|\gamma|} = \frac{\lambda_n}{2\alpha}$

*Remarque : Connaissant l'angle, si on change la lampe spectrale on peut en déduire la longueur d'onde de la nouvelle raie spectrale.*

## 3) Expérience en lumière blanche

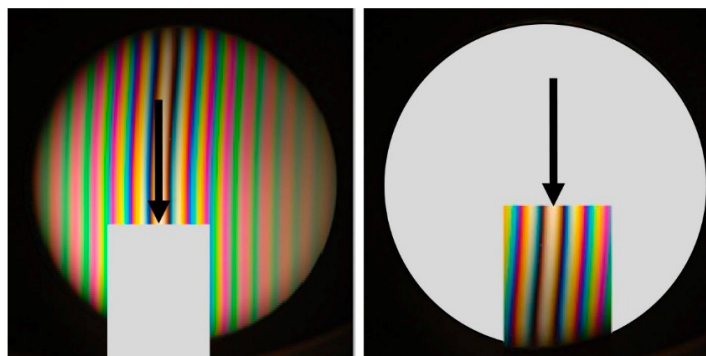
### a) Teintes de Newton

Les teintes de Newton sont délicates à obtenir, placez vous à proximité du contact optique.  
Remplacer la lampe spectrale par une source de lumière blanche.

- Enlever le condenseur à l'entrée de l'IM et profiter du condenseur de la lampe pour éclairer au mieux les miroirs.
  - Si vous bénéficiez d'une chance miraculeuse, vous observerez alors les franges du coin d'air en lumière blanche. Sinon, la portion du coin d'air que vous projetez sur l'écran a une épaisseur trop grande  $\delta > \ell_c$  et vous voyez du blanc d'ordre supérieur.
  - Comme vous êtes proche du contact optique (notez votre position sur le vernier "**roue de secours**") Chariotez dans une direction très délicatement sur quelques centièmes de millimètres. Si vous n'y parvenez pas, revenez à la position "roue de secours" et chariotiez de l'autre côté.
  - Si vous n'y parvenez toujours pas, essayer la position "contact optique" obtenue en lame d'air et chariotiez autour de cette position.
  - Relever la position du vernier pour lequel vous avez obtenu les teintes de Newton. (C'est cette valeur qu'on prendra pour  $e_0$  position du contact optique sur le vernier)
- (Q) Pourquoi la frange centrale est noire, et non blanche ?

### b) Épaisseur d'une lame

- Utiliser l'interféromètre en coin d'air en lumière blanche.
  - Placer une lame de microscope sur un des axes de l'interféromètre.
  - Marquer la position  $x_1$  de la frange centrale sur l'écran et noter la valeur au micromètre près de la position du chariot.
  - Charioter le miroir de façon à retrouver les figures d'interférences sur la zone correspondant à la lame mince et placer la frange centrale au niveau du marquage effectué précédemment. Relever la position du chariot  $x_2$ .
  - En déduire l'épaisseur de la lame  $e$  tel que :  $2 \cdot |x_2 - x_1| = 2 \cdot (n - n_{air})e$
- (Q) Expliquer le "2" de cette formule.



*Expérience de la lame de mica*