

## TP : Interféromètre de Michelson.

L'interféromètre de MICHELSON a eu une grande importance pour l'évolution des idées en Physique et, en particulier, en Mécanique. À la fin du XIX<sup>e</sup>, il permit de montrer que la loi de composition des vitesses de GALILÉE ne s'appliquait pas à la lumière. L'ensemble des travaux qui suivirent ont conduit au développement de la théorie de relativité restreinte par EINSTEIN en 1905.

### 1 Objectifs

Lors de ce TP l'essentiel du travail à réaliser est qualitatif. Il consiste à développer le savoir-faire permettant de régler l'appareil en lame d'air - et d'observer des franges d'interférences en anneaux - et de le régler en coin d'air - et d'observer des franges rectilignes. Les réglages doivent être très soignés, on manipulera avec beaucoup de précaution les différentes vis de réglage. Le réglage et l'utilisation de l'interféromètre de MICHELSON doit pouvoir être réalisé lors de l'oral des concours comportant une épreuve de TP.

Une fois l'interféromètre réglé en lame d'air, on passera à une étude quantitative. Elle permettra de mesurer l'écart de longueur d'onde entre les deux raies les plus lumineuses de la lampe à vapeur de sodium. On utilisera pour cela la périodicité de l'annulation de la fonction de contraste, l'objectif étant de retrouver la valeur attendue de  $\Delta\lambda = 0,6 \text{ nm}$  puisque les deux raies sont  $\lambda = \lambda_0$  et  $\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda$  avec  $\lambda_0 = 589,0 \text{ nm}$ . On constate donc que  $\Delta\lambda \ll \lambda_0$ .

### 2 Matériel

Vous allez disposer d'un interféromètre de MICHELSON. Nous possédons deux marques différentes d'interféromètre de MICHELSON, soit un *Sopra*, soit un *Didalab*, voir la figure 1. Les photographies et les schémas se rapportent à l'interféromètre *Didalab* mais le *Sopra* est suffisamment voisin en terme de structure pour que l'on puisse aisément s'adapter.

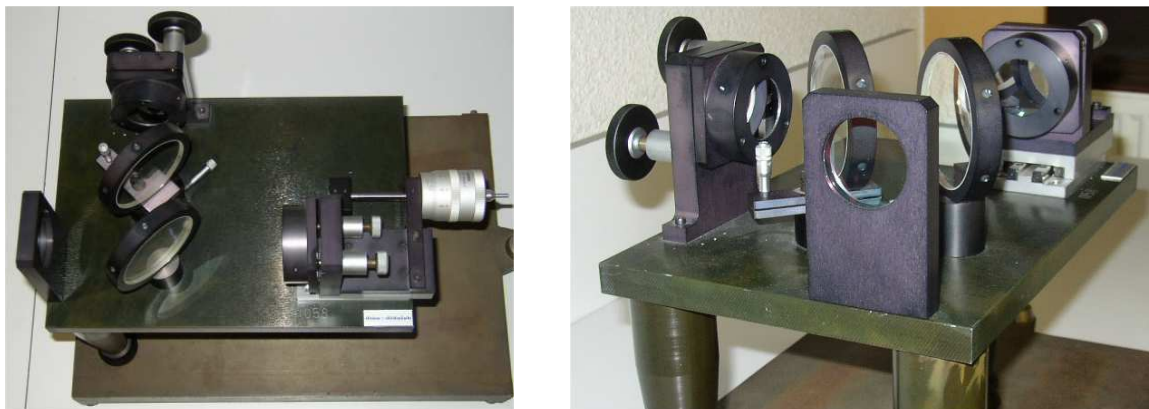


FIGURE 1 – Photographies du MICHELSON *Didalab*

Les différents éléments du MICHELSON dont nous parlerons dans le TP sont repérés par les numéros du schéma de la figure 2.

Le réglage de l'interféromètre s'effectue en jouant sur les vis **v1** à **v7**. Toutes ces vis n'ont pas la même fonction. La vis **v1** permet de déplacer le miroir  $M_1$ . Sur certains interféromètres qui seront mis à votre disposition, la vis micrométrique **v1** présente une particularité puisqu'elle provoque le recul du miroir lorsqu'on visse. Son vernier comporte 50 graduations représentant chacune  $1/100 \text{ mm}$ , un tour sur le vernier représentant  $0,5 \text{ mm}$ . Mais attention chaque graduation étant encore divisée en deux, on peut atteindre une précision de  $1/200 \text{ mm}$ , c'est-à-dire  $5 \mu\text{m}$ .

Cet ensemble sera complété par les diverses sources lumineuses évoquées dans le TP.

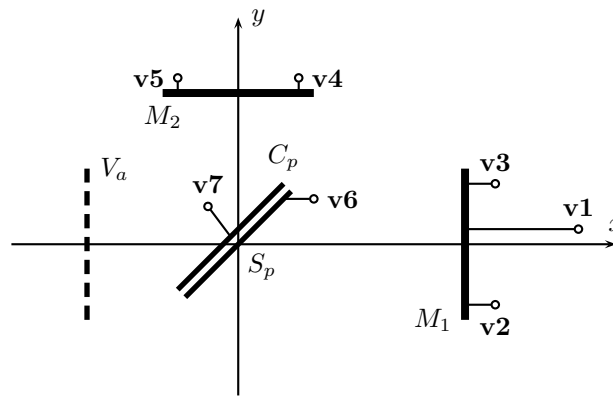


FIGURE 2 – Schéma faisant apparaître les vis de réglage

### 3 Aspects théoriques

#### 3.1 lame d'air

1. Établir rapidement l'expression de la différence de marche  $\delta$  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.

#### 3.2 Coin d'air

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

#### 3.3 Doublet du sodium

On se place dans le cadre de la lame d'air. On considère que l'épaisseur de cette lame d'air est  $e$  et que les rayons lumineux arrivent sous une incidence faible de telle sorte que l'on puisse considérer que la différence de marche est  $\delta = 2e$ . Les interférences à deux ondes donnent l'expression suivante pour l'éclairement lumineux :

$$E = 2E_0 \left( 1 + \cos \frac{2\pi\delta}{\lambda} \right)$$

Dans la lampe à vapeur de sodium, ce sont les deux raies  $\lambda$  et  $\lambda'$  qui dominent. Ces deux radiations n'étant pas synchrones, l'éclairement résultant est la superposition des éclaircissements correspondant à chaque longueur d'onde.

7. Montrer que l'éclairement obtenu est :

$$E = \frac{E_{max}}{2} \left( 1 + \cos \frac{\pi 2e \Delta\lambda}{\lambda_0^2} \cos \frac{2\pi 2e}{\lambda_0} \right)$$

8. Expliquer pourquoi la fonction  $C(e) = \left| \cos \frac{\pi 2e \Delta\lambda}{\lambda_0^2} \right|$  représente le contraste des franges d'interférences.
9. La courbe d'éclairement de la figure 3 donne une idée de l'évolution de l'éclairement en fonction de l'épaisseur  $e$  de la lame d'air. Sur cette courbe, indiquer les valeurs particulières de  $e$  qui annulent le contraste et l'écart qui existe entre deux valeurs successives de  $e$  pour lesquelles  $C(e) = 0$ .
10. Sur les photographies de la figure 4, on peut voir trois situations distinctes de contraste. Attribuer chacune des photographies à une zone de la courbe d'éclairement de la figure 3.

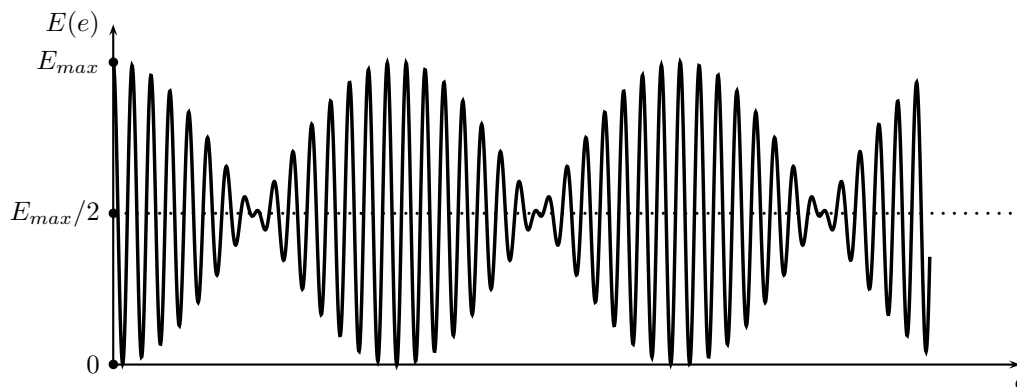


FIGURE 3 – Éclairement dans le cas du doublet du sodium

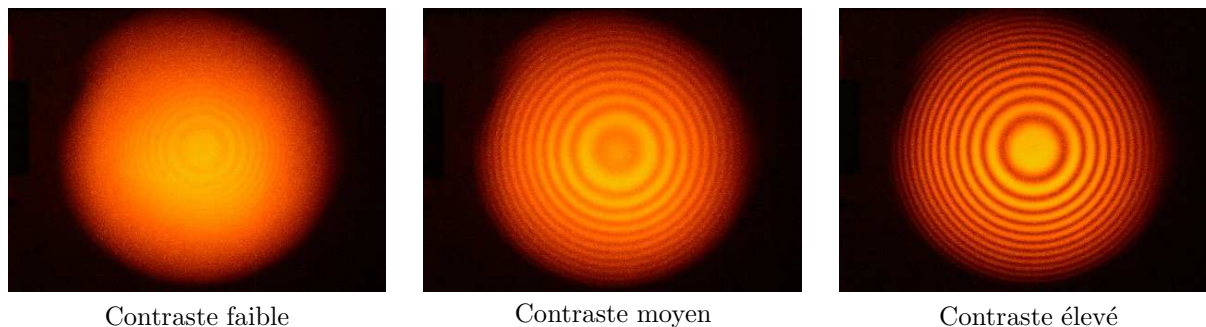


FIGURE 4 – Évolution du contraste en fonction de la position du miroir mobile

## 4 Expériences

### 4.1 Consignes

Lors de vos activités expérimentales en TP, vous devrez systématiquement :

- \* Élaborer un protocole et m'appeler pour que je le valide.
- \* Mettre en œuvre ce protocole et m'appeler pour que j'évalue vos activités.
- \* Communiquer les résultats dans le compte rendu sous forme de descriptions, de tableaux de mesures, de graphiques...
- \* Valider les résultats en comparant les développements théoriques et les résultats expérimentaux en ayant le souci permanent de présenter de façon rigoureuse les résultats avec leur incertitude.
- \* Remettre en fin de séance votre compte-rendu.

Vous serez évalué sur l'ensemble de ces exigences. N'hésitez pas à faire des photographies si vous disposez de cette possibilité afin d'illustrer votre compte-rendu.

### 4.2 Réglages de base

On utilisera une lampe à vapeur de mercure.

**11.** Il est important de débiter le TP au voisinage du contact optique. Les miroirs  $M_1$  et  $M_2$  doivent être situés à une distance approximativement égale de la lame séparatrice. Réaliser ce positionnement avec beaucoup d'attention en utilisant un double décimètre par exemple. La tolérance est de 1 à 2 mm. Au-delà, on peut très bien ne pas voir les franges d'interférences alors que tous les réglages qui vont suivre auront été faits correctement.

**12.** On observera à l'œil le parallélisme des lames séparatrice et compensatrice  $S_p - C_p$ . Si une anomalie importante saute aux yeux, on la corrigera en jouant en agissant sur les vis **v6** et **v7**. On effectuera des réglages plus fins lorsque l'on projettera des anneaux ultérieurement. En effet, si ceux-ci ne sont pas bien circulaires et donc plutôt elliptiques, il faudra progressivement agir sur les vis précédentes pour rendre les anneaux circulaires. Voir la figure 5.

**13.** Utiliser la lampe à vapeur de mercure Hg notée  $S$  avec un dépoli et juste devant cet ensemble un diaphragme circulaire de faible diamètre. Ce diaphragme jouera le rôle de source quasi-ponctuelle. Ce dispositif

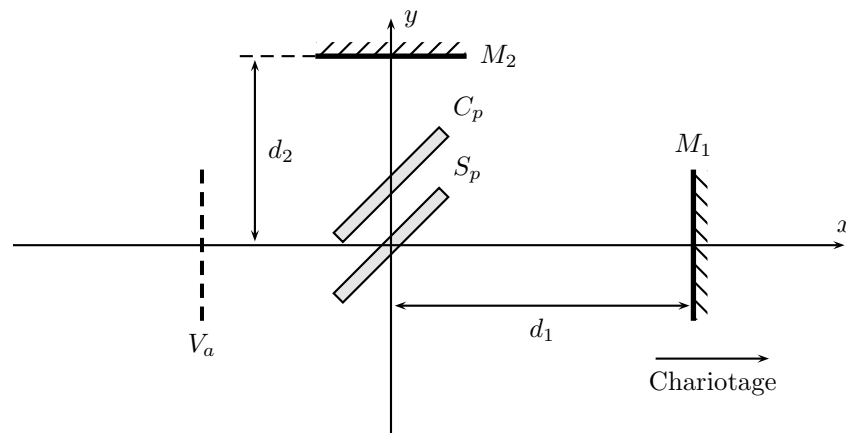


FIGURE 5 – Réglage  $S_p - C_p$

permet d'utiliser une source de lumière quasi-ponctuelle située assez loin de l'interféromètre, on peut considérer que l'éclairage est formé de rayons quasi-parallèles. Placer la source quasi-ponctuelle réalisée en la plaçant à environ 50 cm de l'interféromètre de MICHELSON comme on peut le voir sur le schéma de la figure 6.

14. On devrait observer plusieurs images, au moins quatre liées aux réflexions et transmissions multiples sur les miroirs  $M_1$ ,  $M_2$ , la séparatrice  $S_p$  et la compensatrice  $C_p$ . Toutefois, deux de ses images sont d'intensités beaucoup plus importantes que les autres et il est possible qu'on ne voie que ces deux-là.

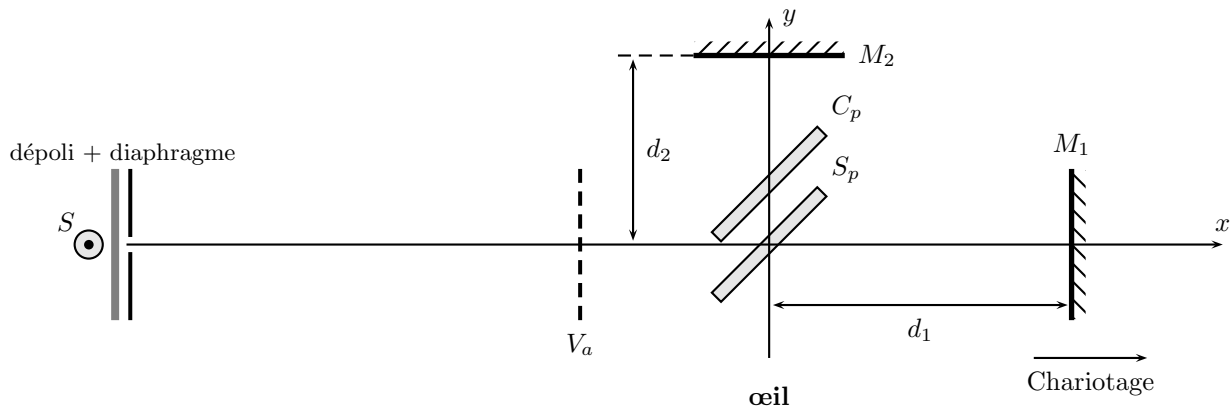


FIGURE 6 – Réglage de la perpendicularité de  $M_1$  et  $M_2$

15. L'objectif est de faire coïncider l'ensemble des images que l'œil observe. En jouant sur les vis **v2** et **v3** du miroir  $M_1$ , réaliser la superposition des images visibles. Lorsque cela est réalisé, le miroir  $M_1$  possède une orientation symétrique de celle de  $M_2$  par rapport à l'ensemble  $S_p - C_p$  ou encore le miroir  $M'_1$  image de  $M_1$  par  $S_p - C_p$  possède une orientation parallèle à celle du miroir  $M_2$ . En réalité, le réglage de parallélisme n'est pas encore parfait mais on est proche du réglage recherché et donc de la possibilité d'observer les anneaux de la lame d'air ainsi constituée.

16. Supprimer maintenant le diaphragme et approcher la lampe à vapeur de Hg et le dépoli au plus près du verre anticalorique qui marque en quelque sorte l'entrée dans l'interféromètre de MICHELSON. Si les réglages précédents ont été faits avec attention et, si on a un peu de chance, l'œil voit tout de suite apparaître des franges d'interférences mais pas nécessairement circulaires et peut-être très serrées. Dans tous les cas, à moins que l'on ait des anneaux très distincts, m'appeler pour que je donne mon avis sur la situation. Si les anneaux ne sont pas complets, on peut jouer avec doigté sur les vis **v2** et **v3** du miroir  $M_1$  pour que leur centre soit dans le champ de vision de l'œil. S'il y a trop d'anneaux, il faut encore agir sur la vis **v1** afin de rapprocher encore

du contact optique. Les anneaux risquent alors de ne plus être centrés, il faut donc tout en se rapprochant du contact optique, recentrer les anneaux.

**17.** Le réglage demande encore à être amélioré en jouant sur les vis de réglage fin **v4** et **v5** du miroir  $M_2$ . À partir de la situation précédente, on va observer la figure en faisant des petits mouvements de tête verticaux et horizontaux, comme si vous disiez « oui » ou bien « non ». La figure d'interférences ne devrait subir qu'une translation globale, mais ce n'est certainement pas le cas. En même temps que la translation s'opère, il doit vraisemblablement y avoir un défilement des franges dans la figure d'interférences. Cela est dû au fait que  $M_1$  et  $M_2$  ne sont pas strictement perpendiculaires. Il faut maintenant agir sur les vis **v4** et **v5**, bien identifier quelle est la vis qui correspond aux mouvements horizontaux et celles qui correspondent aux mouvements verticaux. Le réglage est satisfaisant lorsque l'effet de défilement des franges ne se produit plus, il n'y a plus alors qu'une translation. Attention ce réglage est très délicat ! Demander que ce réglage soit contrôlé avant de passer à la suite.

**18.** On va maintenant chercher à projeter sur un écran, les anneaux observés à l'œil. Enlever le verre dépoli, éclairer les miroirs en concentrant sur eux la lumière de la lampe à vapeur de mercure grâce à la lentille  $L_e$ , voir le schéma de la figure 7. La lentille  $L_e$  possédera une distance focale assez courte par exemple  $f_e = 12,5$  cm. On peut aussi utiliser un condenseur qui est système convergent épais de courte focale concentrant efficacement la lumière. En sortie, placer une lentille  $L_o$  de focale 1 m. En jouant sur la position de la lampe et du condenseur, réaliser la figure la plus lumineuse et la plus grosse possible.

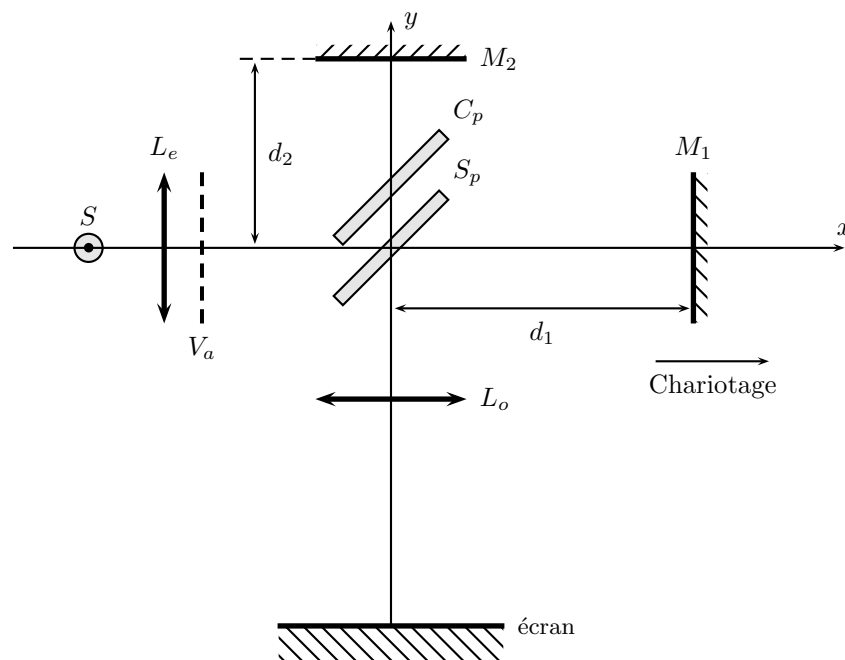


FIGURE 7 – Projection de la figure d'interférences

**19.** Le réglage du parallélisme de  $S_p$  et  $C_p$  est difficilement obtenu rapidement. En jouant sur la vis **v1** se rapprocher du contact optique. Il est fort possible que les anneaux que l'on percevait comme bien circulaires soient en fait elliptiques. Plus on va s'approcher du contact optique, plus les défauts vont apparaître. On peut être confronté aux diverses situations visibles sur la figure 8. Jouer progressivement sur les vis **v6** et **v7** pour obtenir des anneaux même lorsqu'on est relativement proches du contact optique. À ce stade, le réglage de base de l'interféromètre de MICHELSON est terminé.

### 4.3 Passage au contact optique

**20.** À partir de la situation précédente, faire diminuer l'épaisseur de la lame d'air progressivement. Observer attentivement ce qu'il se produit et décrire cela correctement dans le compte-rendu.

**21.** Enregistrer sur votre compte rendu la position du miroir  $M_1$  que vous estimez être celle du contact optique de telle sorte qu'il soit facile d'y revenir ultérieurement.

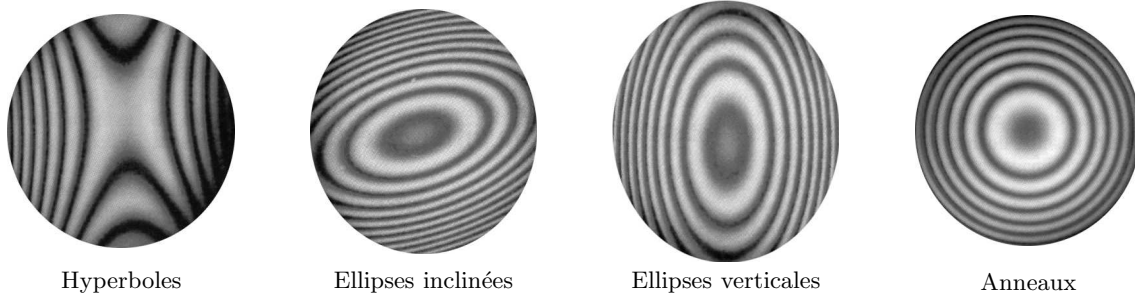


FIGURE 8 – Réglage du caractère circulaire des anneaux

#### 4.4 Doublet du sodium

22. Éloigner assez nettement le miroir  $M_1$  du contact optique.
23. Mettre en œuvre un protocole permettant d'aboutir à la mesure de  $\Delta\lambda$  pour le doublet du sodium.
24. Exprimer le résultat de la mesure en ayant le souci de l'incertitude que l'on déterminera grâce à un programme *Python*.

#### 4.5 Lumière blanche

25. Remettre la source à vapeur de mercure pour éclairer l'interféromètre de MICHELSON.
26. Revenir au contact optique.
27. Utiliser maintenant une source de lumière blanche et rechercher avec beaucoup de minutie la position du miroir  $M_1$  qui permet d'observer des franges d'interférences.
28. Revenir en éclairage à travers un dépoli - toujours en lumière blanche - et observer à l'œil les franges lumineuses en lame d'air.
29. Passer en coin d'air. Expliquer ce que vous avez fait.
30. Projeter les franges du coin d'air obtenues en lumière blanche.