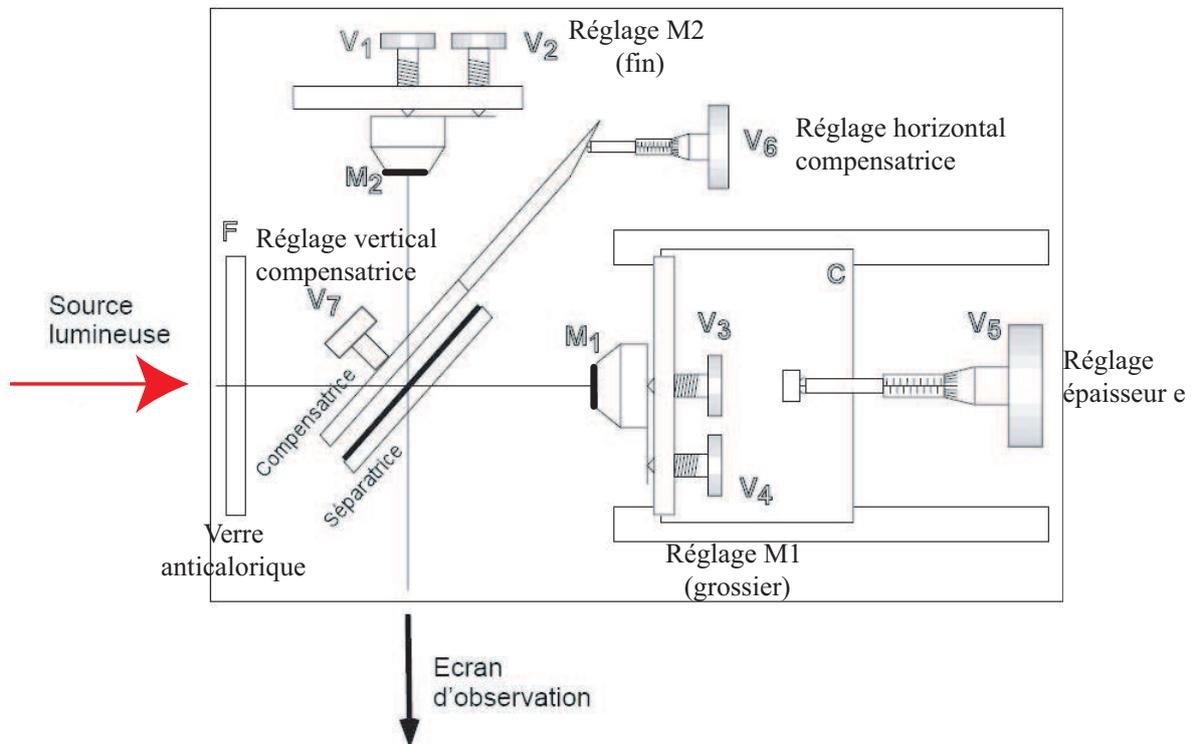


TP n°14 : Interféromètre de Michelson

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

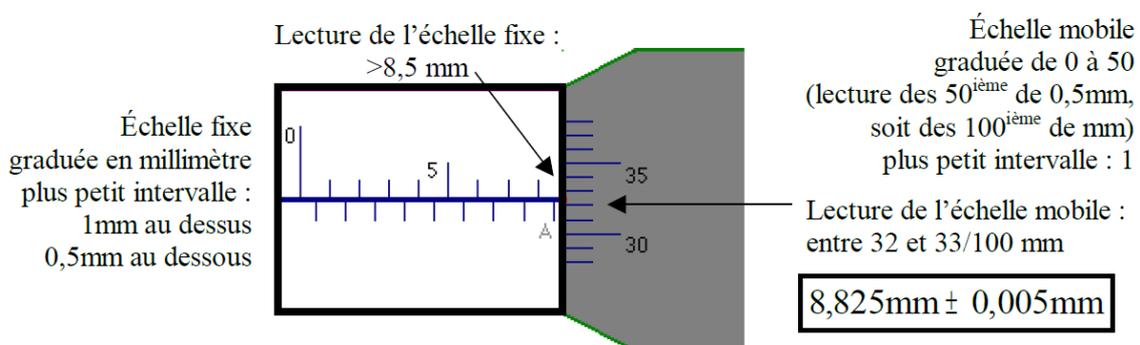


I Réglages préliminaires

Vous disposez d'interféromètre qui sera déjà pratiquement réglé si vous avez de la chance ; ne pas toucher tout de suite aux réglages¹ !

• Noter précisément la valeur lisible sur le vernier de la vis V_5 : la configuration du Michelson est a priori proche du contact optique, si l'on fait confiance aux précédents expérimentateurs !

Exemple de lecture de la position du chariot sur le vernier²



1. Si l'alignement grossier conduit n'aboutit pas, votre Michelson est peut-être complètement dérégulé. Dans ce cas :

- Appeler le professeur pour vérifier que les vis de réglages fins V_1 et V_2 sont bien à mi-course et qu'elles sont bien en contact avec le miroir ou qu'elles ne sont pas en butée.
- Appeler le professeur pour le réglage du parallélisme de la compensatrice (vis V_6).

2. On pourra s'aider de l'animation du site suivant pour bien comprendre le fonctionnement d'un vernier : <https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Divers/divers/vernier.php>

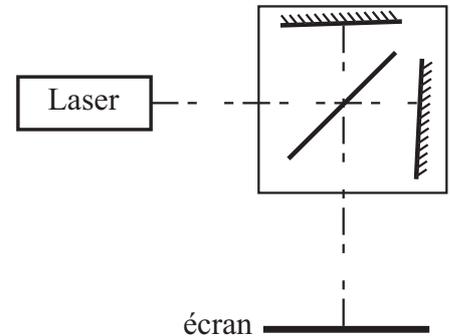
- Régler la hauteur des supports et lampes de telle sorte qu'ils soient centrés sur le même axe que le centre des miroirs du Michelson.

II Alignement géométrique grossier

- Envoyer un faisceau laser non élargi (c'est à dire sans objectif de microscope) dans l'instrument et observer les taches en sortie sur un écran. Les superposer au mieux en 3 ou 5 taches ^a selon les Michelson, en faisant coïncider les deux taches les plus lumineuses, à l'aide des réglages grossiers V_3 et V_4 .

- À la fin de cette étape, les deux miroirs sont grossièrement symétriques par rapport à la séparatrice.

a. Certaines taches sont dues aux réflexions multiples dans la séparatrice et la compensatrice et ne peuvent être réduites à un seul point. Si le nombre de taches est beaucoup plus important, le parallélisme de la séparatrice est mal réglé ; demander l'aide du professeur pour ce réglage.

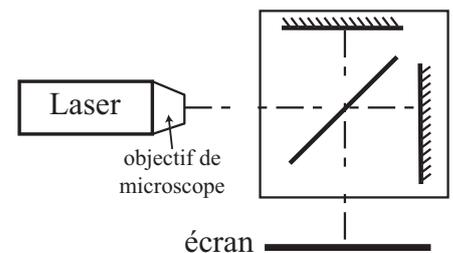


III Configuration en "lame d'air"

III.1 Réglage en "lame d'air" - Anneaux d'égalé inclinaison (Laser)

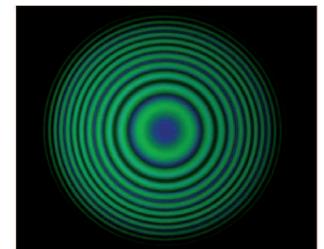
Le réglage fin du parallélisme entre les miroirs s'effectue en observant la figure d'interférences obtenue.

- Élargir le faisceau laser en vissant un objectif de microscope sur le laser : on obtient ainsi une source quasi-ponctuelle, cohérente, à distance finie. On doit donc observer des interférences qui ont la forme d'anneaux, non localisés, sur l'écran.



- Centrer les anneaux en touchant *très doucement* aux réglages grossiers des miroirs (V_3 et V_4).

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



III.2 "Contact optique" - "teinte plate" (Laser)

- Translater le miroir mobile M_1 à l'aide du réglage V_5 de sorte à faire rentrer les anneaux au centre de la figure d'interférences.

On fait ainsi diminuer l'ordre au centre, et donc la différence de marche : on se rapproche du contact optique.

Les anneaux grossissent et peuvent devenir elliptiques si les lames séparatrices et compensatrices ne sont pas parallèles. Il faut corriger cet effet en modifiant l'inclinaison de la compensatrice³. Procéder petit à petit de sorte à ne pas perdre les anneaux.

^{3.} On appellera le professeur pour réaliser ce réglage, car certains Michelson ont des vis défectueuses qui ne permettent pas de le faire. On notera que l'optimisation du réglage du parallélisme entre séparatrice et compensatrice se fait en utilisant la grande sensibilité du dispositif autour du contact optique.

Vous devriez enfin atteindre le contact optique avec des anneaux quasi-circulaires jusqu'à la teinte plate; si vous continuez à charioter dans le même sens, les anneaux réapparaissent mais cette fois-ci en « sortant » du centre.

L'interféromètre de Michelson est maintenant réglé au "contact optique" : on observe la "teinte plate".



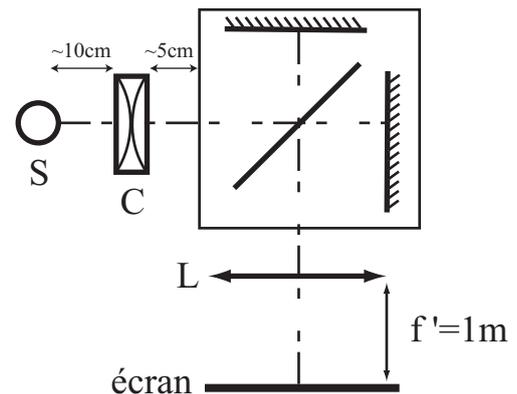
- **Noter soigneusement** la valeur de e correspondant au contact optique.

III.3 Réglage en "lame d'air" - Anneaux d'angle inclinaison localisés à l'infini (lampe spectrale - Na)

On change maintenant de source.

- Remplacer le laser par une lampe spectrale (sodium Na), suivie d'un condenseur (lentille épaisse de courte focale) permettant d'obtenir une luminosité satisfaisante.

Il s'agit donc désormais d'une source étendue : les interférences deviennent localisées à l'infini. Si vous avez de la chance, vous verrez apparaître les anneaux directement sur l'écran lointain. Sinon, **ne toucher à rien** et se reporter à l'encadré ci-dessous ou appeler le professeur.



Remarque

Si les anneaux n'apparaissent pas directement, ne toucher à rien pour l'instant, et placer un verre dépoli ou une feuille (milieu diffusant permettant de diminuer la luminosité) entre la source et le condenseur, puis observer directement à l'œil nu en sortie de l'interféromètre. Les anneaux devraient cette fois être visibles car l'œil accommode spontanément et trouve le plan dans lequel ceux-ci sont nets.

Recentrer tout d'abord les anneaux avec les vis de réglage grossier V_3 et V_5 , puis optimiser avec les vis de réglage fin V_1 et V_2 de sorte que les anneaux ne semblent ni rentrer ni sortir lorsqu'on déplace légèrement la tête verticalement ou horizontalement, toujours en regardant dans l'axe du faisceau. Lorsque le contraste semble satisfaisant, projeter sur l'écran et poursuivre l'optimisation du réglage.

- Améliorer le contraste des anneaux en plaçant l'écran dans le plan focal image d'une lentille de focale $f' = 1m$ (anneaux localisés à l'infini).

- Améliorer encore la figure en translatant la source et le condenseur de sorte à faire l'image de l'ampoule de la lampe spectrale sur les miroirs⁴.

- "Chariotter" si nécessaire avec la vis V_5 de façon à obtenir des anneaux bien contrastés, de manière à ne pas être proche d'une anti-coïncidence des systèmes d'anneaux produits par le sodium (voir plus loin).

- Optimiser le contraste de la figure d'interférence sur l'écran en jouant *doucement* sur les vis de réglage fin V_1 et V_2 .

4. Ce réglage aura un double effet. Tout d'abord, cela permet d'augmenter le champ des interférences puisque cela permet de faire converger les rayons dans l'interféromètre, et donc d'avoir un maximum d'angles d'incidences différents dans le Michelson et donc un maximum d'anneaux. Par ailleurs, comme l'observation se fait "à l'infini" sur l'écran grâce à la lentille de projection, cela permet de rejeter l'image géométrique de l'ampoule qui n'est pas du tout uniforme dans l'interféromètre et non sur l'écran. L'éclairage de l'écran est finalement plus homogène.

III.4 Mesure interférométrique en configuration "lame d'air" - Mesure de l'écart $\Delta\lambda$ du doublet du sodium (lampe spectrale - Na)

On rappelle que la variation Δe d'épaisseur de la lame d'air entre deux brouillages successifs des anneaux permet de retrouver l'écart $\Delta\lambda$ entre les deux longueurs d'onde du doublet jaune du sodium :

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

où λ_m est la longueur d'onde moyenne du doublet, et où $\lambda_m = 589,3 \text{ nm}$. On fera la mesure entre un maximum de brouillages afin de gagner en précision sur la mesure.

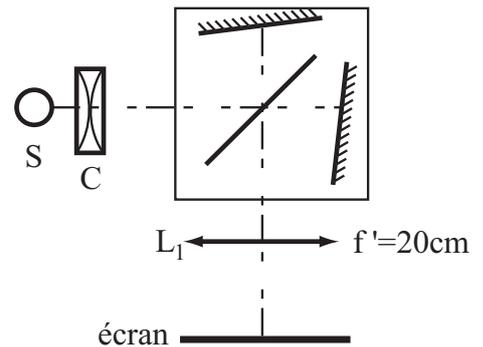
☞ Mesures : $e_{\text{brouillage1}} = \dots$, $e_{\text{brouillage2}} = \dots$, d'où $\Delta e = \dots \pm \dots$
 d'où $\Delta\lambda = \dots \pm \dots$

IV Configuration en "coin d'air"

IV.1 Réglage du coin d'air

A partir de la configuration précédente, repasser par le "contact optique" en faisant rentrer les anneaux, puis passer ensuite en configuration "coin d'air" en pivotant le miroir M_1 autour de son axe vertical avec la vis V_4 . La source étant étendue, les franges sont localisées au voisinage des miroirs, et les franges ne sont pas visibles sur l'écran.

Pour faire la projection, remplacer la lentille de grande focale par une lentille de focale $f' = 20\text{cm}$ et conjuguer les miroirs avec le plan de l'écran pour obtenir des franges nettes ^{a b}.



a. Là encore, si aucune position de la lentille ne permet d'obtenir des franges, on intercalera un verre dépoli - ou une feuille - devant la source, et on fera le réglage des franges directement à l'œil en regardant dans le Michelson dans l'axe du faisceau.

b. Par ailleurs, on pourra modifier légèrement la position du condenseur (C) de façon à éclairer uniformément les miroirs, afin de ne pas voir l'image de l'ampoule par exemple.

L'interféromètre de Michelson est maintenant réglé en "coin d'air" : on observe les "franges d'égal épaisseur" localisées sur les miroirs.



V Franges du coin d'air en lumière blanche

- **Irisations** : remplacer la lampe à vapeur de sodium par une lampe de lumière blanche. Si on est resté très près de la différence de marche nulle, on obtient des franges rectilignes irisées. Si ce n'est pas le cas, modifier *très très doucement* la différence de marche avec la vis V_5 autour de la valeur notée précédemment.

- **Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre** : intercaler une lame de verre dans l'un des bras de l'interféromètre. Que constate-t-on ? Peut-on en déduire la valeur de l'épaisseur de la lame sachant que son indice vaut $n \simeq 1.5$?

- **Spectre cannelé** : placer une fente verticale et un réseau dans l'axe du faisceau lorsqu'il correspond à du "blanc d'ordre supérieur" et observer le spectre cannelé. On pourra aussi utiliser un biprisme à vision directe ou un spectromètre à fibre, selon le matériel disponible.

VI Annexe : méthode alternative pour régler l'interféromètre

VI.1 Réglages préliminaires

Voir I.

VI.2 Réglage du parallélisme grossier des miroirs (source : lampe blanche)

1. Éclairer de manière la plus uniforme possible un diaphragme avec une source blanche⁵.
2. Placer ensuite une lentille de focale $f' = 10\text{cm}$ ou $f' = 12,5\text{cm}$ à l'entrée du Michelson, de sorte que le diaphragme coïncide avec le foyer objet de la lentille. Le réglage se fera par autocollimation sur les miroirs du Michelson, en utilisant la monture du diaphragme comme écran.
3. Placer une seconde lentille de focale $f' = 20\text{cm}$ en sortie de l'interféromètre, ainsi qu'un écran conjugué avec le diaphragme⁶
4. Ajuster la position des vis V_3 et V_4 de réglage grossier du parallélisme du miroir M_1 de façon à superposer au mieux les images sur l'écran.

Les miroirs M_1 et l'image de M_2 par la séparatrice sont maintenant presque parallèles

(configuration en coin d'air)

VI.3 Observation des franges du coin d'air (source : lampe Hg ou Na)

1. Retirer la lampe blanche et le diaphragme, sans toucher à la première lentille. Ajouter une lampe spectrale (Na ou Hg) qu'on placera dans le plan focal objet de la première lentille de façon à voir l'image de l'ampoule de la lampe spectrale nette sur l'écran⁷
2. Déplacer la seconde lentille de focale $f' = 20\text{cm}$ et l'écran de façon à faire l'image des miroirs sur l'écran.
 - **Cas 1** : on observe des franges sur l'écran ; les réglages précédents ont été soignés et on peut passer à la suite.
 - **Cas 2** : on n'observe pas de franges sur l'écran ; le parallélisme des miroirs n'est pas suffisant, et il faut optimiser le réglage à l'œil en plaçant une feuille blanche devant la lampe spectrale et ajustant la position des vis V_3 et V_4 en regardant directement dans l'interféromètre (on enlève la seconde lentille et l'écran...), en cherchant à rendre les franges observées les plus rectilignes possibles. Refaire la projection avec lentille et écran ensuite. Appeler le professeur si aucune frange n'est observée dans l'interféromètre⁸ avant de retoucher les vis V_3 et V_4 !
3. "Chariotter" avec la vis V_5 de manière à obtenir des franges les plus contrastées possible⁹.

On visualise maintenant les franges d'égale épaisseur du coin d'air

VI.4 Optimisation du parallélisme des miroirs (source : lampe Hg ou Na)

1. À partir de la configuration précédente, élargir au maximum les franges, tout d'abord avec les vis de réglage grossier V_3 et V_4 , puis avec les vis de réglages fins V_1 et V_2 , jusqu'à ce que la teinte sur l'écran soit la plus uniforme possible.

Les miroirs M_1 et l'image de M_2 par la séparatrice sont maintenant parfaitement parallèles

(configuration en lame d'air)

5. On règle la position de la LED dans la lanterne de manière à faire l'image de la diode "à l'infini", sur le mur du fond de la salle. L'image de la source ne viendra ainsi pas perturber la qualité de l'image sur l'écran, conjuguée avec celle du diaphragme.

6. L'écran est donc ainsi positionné dans le plan focal image de la seconde lentille.

7. L'écran est toujours placé dans le plan focal image de la seconde lentille. L'image de l'ampoule est donc placée "à l'infini" par rapport aux miroirs du Michelson, et ne viendra pas perturber ensuite la qualité de l'image sur l'écran, qui sera conjugué avec les miroirs, c'est à dire là où sont localisées les franges.

8. Il est possible que l'épaisseur optique e du coin d'air soit trop importante et ne permette pas de visualiser des franges, mais seulement un brouillage. Il faut procéder par tâtonnement dans ce cas ou utiliser un laser dont la longueur de cohérence est plus importante.

9. On se rapproche dans ce cas d'un coin d'air d'épaisseur nulle.

VI.5 Observation des anneaux de la lame d'air (source : lampe Hg ou Na)

1. Modifier la position de la lampe spectrale de façon à faire l'image de l'ampoule sur les miroirs¹⁰.
2. Remplacer la lentille de focale $f' = 20\text{cm}$ en sortie de l'interféromètre par une lentille de focale $f' = 1\text{m}$ et placer l'écran approximativement dans son plan focal image¹¹ de façon à observer des anneaux nets sur l'écran.

On visualise maintenant les anneaux d'égal inclinaison de la lame d'air

On se reportera au III.5 pour faire les mesures interférométriques en lame d'air.

VI.6 Observation de la teinte plate du contact optique (source : lampe Hg ou Na)

1. À partir de la configuration précédente, "chariotter" avec la vis V_5 de façon à faire rentrer les anneaux jusqu'à obtenir un éclaircissement presque uniforme sur l'écran.

On visualise maintenant la teinte plate du contact optique

VI.7 Observation des franges du coin d'air en lumière blanche (source : lampe blanche)

1. À partir de la configuration précédente, tourner très légèrement la vis V_3 et revenir aux conditions d'observation du coin d'air (image de l'ampoule à l'infini, lentille de focale $f' = 20\text{cm}$ conjuguant les miroirs et l'écran).
2. Remplacer la lampe spectrale par la lampe blanche et tourner très très légèrement la vis V_5 de façon à observer des irisations.

On visualise maintenant les franges du coin d'air en lumière blanche

On se reportera au V pour observer le spectre cannelé et mesurer l'épaisseur d'une lame de verre.

10. L'image de l'ampoule ne perturbera donc pas la qualité de l'image des anneaux sur l'écran, situé "à l'infini".

11. L'écran est ainsi "à l'infini" par rapport à l'interféromètre, c'est à dire là où les anneaux sont localisés.