

Réglages de l'interféromètre de Michelson

Le schéma ci-contre résume les différents états de l'interféromètre et quelques transitions possibles qui sont explicitées dans les paragraphes suivants. Les transitions indiquées en trait plein sont à utiliser pour une première approche de l'interféromètre. Les autres sont soit plus délicates, soit moins utiles.

Repérer sur l'interféromètre les éléments suivants (voir schéma descriptif en fin de texte) :

- le miroir M_2 orientable, non chariotable et le miroir M_1 orientable et chariotable,
- la séparatrice SP fixe inclinée d'environ 45° par rapport à M_2 , la compensatrice C orientable, pratiquement parallèle à SP ,
- V_1 et V_2 : vis de réglage rapide d'orientation de M_1 (rotations autour de 2 axes orthogonaux),
- V_3 : vis de chariotage de M_1 ; V_4 et V_5 : vis de réglage fin d'orientation de M_2 (rotations autour de 2 axes orthogonaux),
- V_6 et V_7 : vis de réglage d'orientation de C (rotations autour de 2 axes orthogonaux – respectivement vertical et horizontal).

I Réglage préliminaire.

Rendre les deux miroirs à peu près symétriques par rapport à SP (en utilisant V_3).

Positionner les vis de réglage fin V_4 et V_5 à mi-course.

II Réglage grossier de parallélisme.

Éclairer l'interféromètre avec un laser et observer les taches lumineuses sur un écran (montage de la figure 1).

II.1 Parallélisme des lames SP et C .

Intercaler une feuille de papier pour masquer un des miroirs. Utiliser les vis de réglage de C (V_6 et V_7) pour superposer les différentes taches. Sur certains appareils, le traitement antireflet des lames rend cette opération impossible. Se contenter alors d'estimer au mieux le parallélisme de SP et C « à l'œil ».

II.2 « Parallélisme » des miroirs M_1 et M_2 .

Enlever la feuille de papier. On doit voir deux groupes de taches. Utiliser les vis de réglage de M_1 (V_1 et V_2) pour superposer les groupes de taches en faisant coïncider la tache la plus lumineuse d'un groupe avec son homologue de l'autre.

III Réglage fin des miroirs pour se placer en lame d'air.

Garder la disposition du laser et de l'interféromètre de la partie II.2 et interposer sur le trajet du faisceau laser un système optique de très courte distance focale (environ 5 mm : objectif de microscope). Vérifier que le faisceau élargi obtenu éclaire convenablement les miroirs M_1 et M_2 (rapprocher éventuellement l'ensemble laser-objectif de l'interféromètre). Des franges d'interférence doivent apparaître sur l'écran. Si ce n'est pas le cas, c'est sans doute que le réglage du I était trop grossier. Charioter franchement et reprendre au I. Si les franges sont des arcs de cercle de grand rayon de courbure (ce qui fait que le centre n'est pas dans la zone éclairée), utiliser les vis de réglage rapide (V_1 et V_2 sur M_1) pour élargir les franges ce qui a pour effet de rapprocher le centre de courbure vers la zone éclairée.

La forme des franges dépend de la position relative des miroirs. On va alors jouer sur :

- l'orientation des miroirs : vis de réglage rapide (V_1 et V_2 sur M_1) ou lent (V_4 et V_5 sur M_2)
- la position en translation de M_1 (chariotage V_3)

Le but est de rapprocher les miroirs du contact optique en observant les anneaux d'égale inclinaison. Pour cela, il suffit de régler l'orientation des miroirs pour que les franges soient circulaires et centrées au milieu du champ d'interférence (réglage en lame d'air) puis de charioter en faisant défiler les anneaux vers le centre de courbure. On se rapproche alors du contact optique. Au cours du chariotage les anneaux peuvent se décentrer. Dans ce cas agir sur les vis d'orientation des miroirs pour les recentrer. Cesser le chariotage lorsque les anneaux sont assez grands pour qu'il n'y ait plus qu'un ou deux dans la zone éclairée de l'écran. L'interféromètre est alors réglé en lame d'air d'épaisseur assez faible.

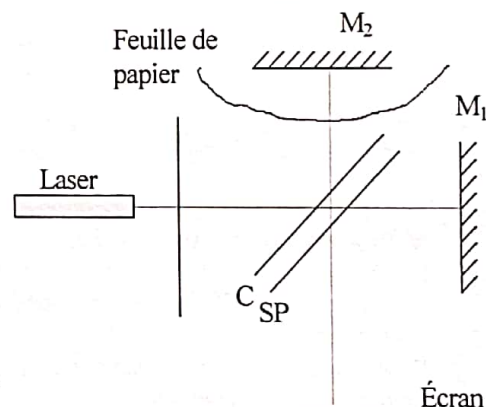
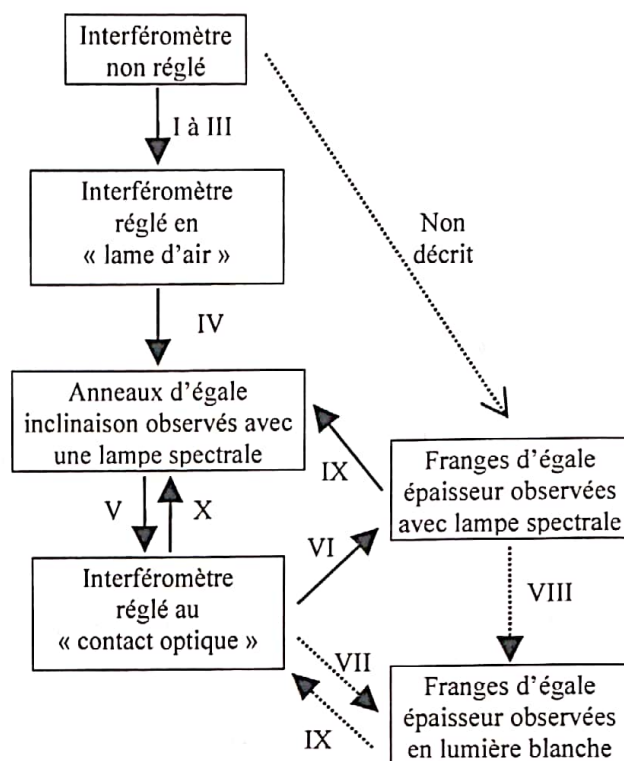


Figure 1

IV Obtention des anneaux d'égale inclinaison avec une lampe spectrale (voir la figure 2).

- Remplacer le laser par une lampe spectrale (mercure par exemple) et supprimer l'objectif de microscope.
 - Placer un condenseur (lentille de courte distance focale) le plus près possible de l'interféromètre et faire l'image de la lampe sur les miroirs. Ne pas placer pour l'instant la lentille L.
Les franges annulaires d'égale inclinaison doivent être visibles. La figure est globalement floue (brouillage des franges) avec une zone de meilleure netteté.
 - Utiliser les vis de réglage fin d'orientation d'un miroir pour amener cette zone de netteté au centre des anneaux.
 - Placer la lentille L juste à la sortie de l'interféromètre et déplacer l'écran jusqu'à voir nette toute la figure d'interférence (en particulier les franges les plus fines qui sont en périphérie de la figure d'interférence doivent être nettes). Pourquoi y a-t-il une position de l'écran assurant la netteté ? En théorie où est cette position ? Le vérifier.
- Une fois ces réglages faits, il est possible de chariotter à volonté (vis V_3), de passer à la teinte plate, la dépasser ...

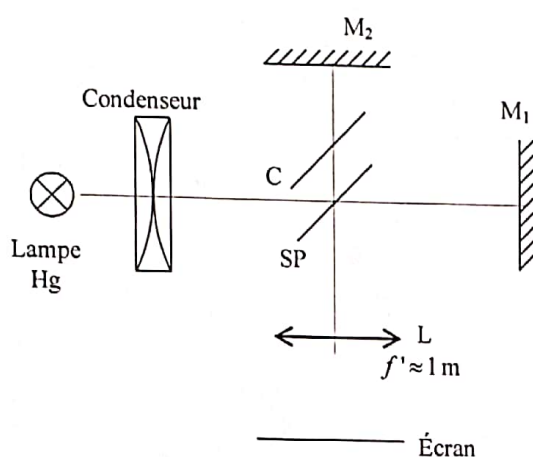


Figure 2

Réglages pour la projection des anneaux d'égale inclinaison visibles à l'infini :
Le condenseur fait l'image de la lampe sur les miroirs.
L'écran est dans le plan focal image de L

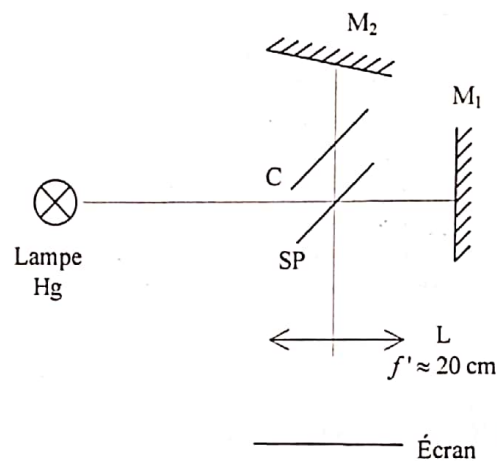


Figure 3

Réglages pour la projection des franges d'égale épaisseur visibles sur les miroirs :
L fait l'image des miroirs sur l'écran.
Éventuellement on place la lampe au foyer d'une lentille.

V Passage au contact optique.

En chariotant on peut faire rentrer les anneaux vers le centre et les rendre (paradoxe ?) de plus en plus écartés. On se dirige ainsi vers le contact optique qui est atteint lorsque l'interfrange est tellement grand que l'écran paraît uniformément éclairé. C'est la « teinte plate ».

Remarque : en se rapprochant du contact optique les anneaux peuvent devenir non circulaires lorsqu'ils sont très grands. Remédier à cela par action sur l'orientation de la compensatrice (vis V_6 et V_7).

Une graduation sur le support de V_3 permet de repérer la position en translation du miroir chariotable. Elle permet de mesurer cette position avec une précision meilleure que le centième de millimètre. Noter la mesure associée au contact optique (demander de l'aide si le mode d'utilisation des graduations n'est pas clair). Cela sera utile si on veut y revenir rapidement.

24,505 mm

À partir de cet état, il est possible de passer en « lame d'air » en chariotant (voir X) ou en « coin d'air » en faisant pivoter un miroir (voir VI ou VII).

VI Passage du contact optique aux franges d'égale épaisseur avec une lampe spectrale.

Les instructions ci-dessous correspondent à la figure 3.

- Enlever tout système optique annexe utilisé auparavant (lentille, verre dépoli, diaphragme ...).
- Faire l'image des miroirs sur un écran à l'aide d'une lentille de distance focale de l'ordre de 20 cm. Les miroirs sont circulaires. On doit voir bien nettement l'image de leurs bords sur l'écran.
- Faire pivoter légèrement M_2 (V_4 ou V_5). Les franges apparaissent. Les vis V_4 et V_5 permettent de faire varier la taille et l'orientation des franges.

On peut éventuellement ajouter à l'entrée de l'interféromètre une lentille qui forme à partir de la lampe un faisceau de lumière parallèle éclairant les miroirs.

Pour une observation en lumière blanche, on peut y parvenir directement à partir de cette situation (voir VIII) mais il est souvent plus commode de passer par un contact optique presque parfait qu'on peut obtenir à partir des anneaux d'égale inclinaison (voir IX ou IV puis VII).

VII Passage du contact optique aux franges d'égale épaisseur en lumière blanche (délicat).

Le contact optique obtenu à la fin de V. n'est pas parfait car il est difficile de juger à quel moment le rayon des anneaux est infini ! On peut affiner le réglage de la façon suivante.

Le montage est celui de la figure 2. *avec la lentille 200mm*

- Vérifier en chariotant (V_3) que les anneaux sont présents et revenir à la teinte plate avec le plus de précision possible.
- Remplacer la lampe spectrale par une source blanche.
- Enlever le condenseur.
- Si le réglage de la teinte plate (premier point) a été assez précis, on doit voir des couleurs à l'écran (couleurs de Newton). Si ce n'est pas le cas, on voit un blanc d'ordre supérieur. Noter la position du chariot indiquée par le vernier de la vis V_3 . Charioter alors très lentement dans un sens ou dans l'autre (en pratique de moins de un centième de mm) jusqu'à voir des couleurs. Si c'est impossible, remplacer la lampe spectrale et le condenseur et reprendre au premier point.
- Charioter encore très légèrement pour voir le blanc au milieu des couleurs de Newton. Le contact optique est alors pratiquement parfait.
- Faire l'image des miroirs sur un écran à l'aide d'une lentille de distance focale de l'ordre de 20 cm. Le montage est alors celui de la figure 3 (lampe Hg remplacée par source blanche).
- Faire pivoter légèrement M_2 (V_4 ou V_5) pour créer un « coin d'air ». Les franges colorées apparaissent.

VIII Franges rectilignes d'égale épaisseur. Remplacement d'une lampe spectrale par une source de lumière blanche (délicat).

Les franges rectilignes doivent être visibles avec une lampe spectrale. (Montage de la figure 3).

- Charioter jusqu'à observer le meilleur contraste. (C'est inutile si on est arrivé ici sans avoir charioté depuis le contact optique obtenu en V). La frange centrale doit alors correspondre à un ordre d'interférence faible.
- Remplacer la lampe spectrale par une source blanche.
- Si les franges ne sont pas visibles :
 - Placer un filtre interférentiel jaune devant la lampe. Noter la position de V_3 .
 - Utiliser V_3 pour charioter M_1 avec doigté (normalement moins d'un centième de mm) de part et d'autre de cette position pour retrouver les franges (alors la différence de chemin optique est inférieure à la longueur de cohérence). Obtenir un contraste maximal.
 - Enlever le filtre : un chariotage infime de M_1 peut être encore nécessaire pour obtenir les franges colorées.

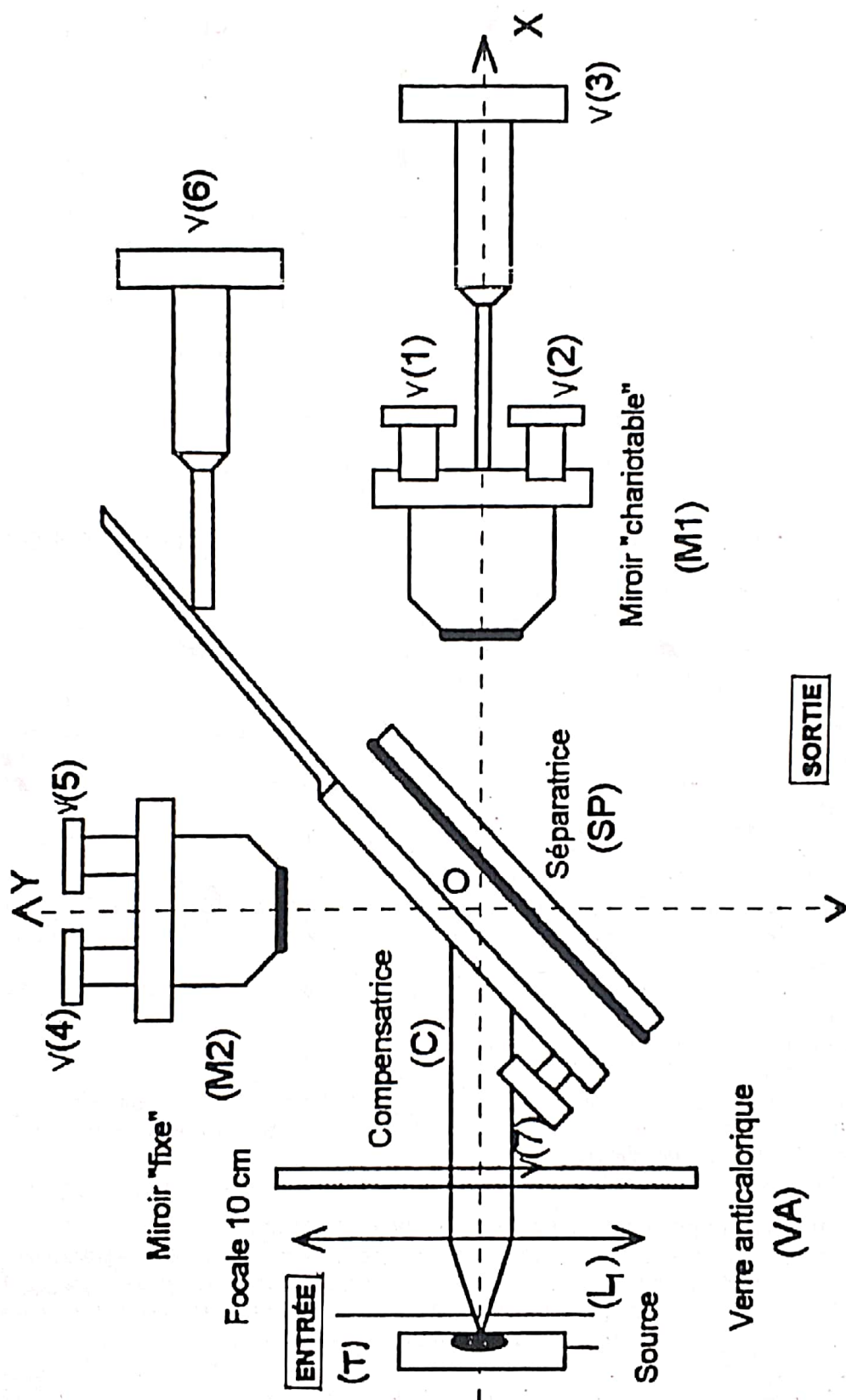
IX Passage des franges rectilignes d'égale épaisseur aux anneaux d'égale inclinaison.

Se placer (en chariotant avec V_3) dans une situation de franges bien visibles. Si on utilise la source de lumière blanche, la remplacer par une lampe spectrale.

- Faire varier l'angle du coin d'air (vis V_4 et V_5) pour étaler au maximum les franges. Atteindre ainsi un éclairement quasi uniforme (teinte plate). Réaliser alors le montage de la figure 2 :
- Enlever la lentille de projection des franges rectilignes.
- Utiliser un condenseur pour faire l'image de la lampe sur les miroirs.
- Placer l'écran dans le plan focal d'une lentille ($f' = 1$ m par exemple) pour projeter les anneaux.
- Si le réglage initial était très proche du contact optique, il est possible que les anneaux ne soient pas visibles (teinte plate). Charioter (V_3) pour les faire apparaître.

X Passage du contact optique aux anneaux d'égale inclinaison.

Le contact optique étant un cas particulier de lame d'air, se reporter au paragraphe IV avec la précaution suivante : après avoir placé le condenseur (deuxième point du IV), si le contact optique est bon on ne voit pas de franges. Il faut charioter. Les anneaux doivent apparaître. Continuer à charioter jusqu'à en voir quelques dizaines et continuer la procédure du IV.



Interféromètre de Michelson

Seconde séance

Avertissement : Ce texte de T.P. indique quelques expériences réalisables avec l'interféromètre de Michelson. Les réglages sont à effectuer en utilisant le texte du TP « Réglages de l'interféromètre de Michelson ».

A Anneaux d'égale inclinaison.

Réaliser les paragraphes de réglage I à IV pour être dans les conditions d'observation des anneaux d'égale inclinaison avec une lampe spectrale à vapeur de sodium (de couleur jaune orangé).

A.1. Repérage de la teinte plate.

Rendre les anneaux de plus en plus espacés pour ne plus observer qu'un éclaircissement quasi-uniforme sur l'écran (teinte plate). Attention à ne pas confondre cette teinte plate avec un brouillage des franges dû à la présence de deux raies très proches (voir A.3.). Repérer la graduation du chariot et noter la position associée à cette teinte plate. Donner un ordre de grandeur de la précision de détermination de cette position.

A.2. Mesure des rayons des anneaux.

Se placer dans une position où il est possible d'observer une vingtaine d'anneaux. Mesurer sur l'écran les rayons R_k des anneaux. Tracer la courbe R_k^2 en fonction de k . En déduire la valeur de l'épaisseur de la lame d'air (pour le sodium, $\lambda_0 = 589,3$ nm). Repérer la position du chariot et en déduire la position de la teinte plate. Comparer avec la valeur notée au A.1.

A.3. Mesure de la séparation du doublet du sodium.

La source émet en réalité 2 raies voisines, de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 très proches (doublet), de même intensité, incohérentes entre elles. Il se forme 2 systèmes d'anneaux concentriques qui se renforcent au voisinage du centre si, en ce point, les ordres d'interférence dus aux 2 raies diffèrent d'un entier. Le contraste est alors maximal. Au contraire, les 2 systèmes d'anneaux se brouillent au centre, si les ordres d'interférence dus aux 2 radiations diffèrent d'un demi-entier impair.

Charioter de façon à observer plusieurs brouillages de part et d'autre de la teinte plate. Noter la position de M_1 pour chacun de ces brouillages. Vérifier que les positions notées sont en progression arithmétique. Établir la formule donnant l'écart faible $\Delta\lambda = |\lambda_2 - \lambda_1|$ en fonction de la raison de la progression arithmétique et de $\lambda_0 = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$. Faire le calcul numérique et déterminer l'incertitude ? Pourquoi faut-il choisir d'observer le plus grand nombre possible de brouillages ?

A.4. Modification de la position de la teinte plate (expérience non réalisable avec certains matériels)

Si on place devant l'un des miroirs une petite lame à faces parallèles d'épaisseur d et d'indice n , on modifie le trajet des rayons lumineux. On montre que cela est équivalent à rapprocher le miroir de la séparatrice d'une distance $d(1-1/n)$. Cela modifie alors la position de la teinte plate. Charioter pour retrouver la nouvelle position de la teinte plate. En déduire la valeur du produit $d(1-1/n)$. Précision ?

B Franges d'égale épaisseur

À partir du contact optique, réaliser le montage pour observer les franges de coin d'air localisées sur les miroirs (toujours avec la lampe au sodium ; paragraphe de réglage V). Utiliser, avec beaucoup de doigté, la vis de chariotage V_3 pour éventuellement améliorer le contraste des franges.

B.1. Mesure de l'angle de rotation d'un miroir

Utiliser les vis de réglage lent (V_4 et V_5) pour modifier à volonté la direction et l'espacement des franges. Régler pour avoir un éclaircissement pratiquement uniforme puis faire exactement un tour avec une des vis. Mesurer l'interfrange, en déduire l'angle du coin d'air (attention à tenir compte du grandissement associé à la projection).

B.2. Franges en lumière blanche : mesure d'une petite épaisseur

Régler l'interféromètre pour observer les franges d'égale épaisseur en lumière blanche (pratiquement au contact optique e proche de 0) (paragraphe de réglage VI ou VII). Si on place devant l'un des miroirs une petite lame à faces parallèles d'épaisseur d et d'indice n , on crée une différence de marche et les franges disparaissent. Pour les faire réapparaître, il faut compenser cette différence de marche supplémentaire par un déplacement convenable δe du chariot.

Faire une mesure de d pour une lame de mica ($n = 1,57$, quelques dizaines de micromètre d'épaisseur) ou pour très fine lame de verre à faces parallèles (indice $n = 1,5$). Attention, il ne faut tourner la vis de chariotage de M_1 que d'une petite fraction de tour. Précision ? Vérifier au palmer. Comparer avec le résultat éventuels du A.4.

Attention au calcul ! Comparer dans chacune des deux situations d'obtention des franges, les chemins optiques effectués par chacune des ondes cheminant dans les bras de l'interféromètre.

C Localisation des interférences, influence de la taille de la source

C.1. Anneaux d'égale inclinaison Revenir au réglage en lame d'air avec une lampe spectrale à vapeur de mercure (paragraphe de réglage VIII). Un diaphragme (D), placé juste à côté de la lampe, est, dans un premier temps ouvert au maximum. Le condenseur (C) forme l'image du diaphragme sur les miroirs. La lentille (L) de distance focale 1 m est placée juste à la sortie de l'interféromètre. L'écran est dans le plan focal de (L). En périphérie de la zone d'interférence, on doit voir nettement des franges fines (interfrange de l'ordre du mm). Déplacer l'écran si elle ne sont pas nettes et chariotier si elles sont trop espacées.

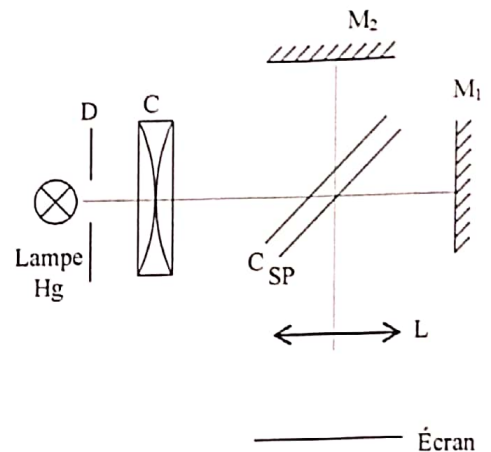
a) Localisation des franges

Déplacer légèrement l'écran et constater le brouillage progressif des franges périphériques. Ceci montre-t-il la localisation des franges ? Où sont-elles localisées ? Enlever la lentille et placer l'écran assez près de l'interféromètre. Constater le brouillage des franges sauf au centre des anneaux. Pourquoi le voisinage du centre ne semble-t-il pas brouillé ?

N.B. Si l'interféromètre n'est pas parfaitement réglé, la zone nette n'est pas bien centrée. Retoucher alors légèrement le réglage d'orientation des miroirs (vis de réglage fin) pour amener au centre la zone de netteté.

b) Influence de la taille de la source

Fermer le diaphragme et constater l'évolution du contraste. Que montre-t-on ainsi ? Avant la fermeture du diaphragme, la zone de netteté des franges était plus large que haute. Pourquoi ?



C.2. Franges d'égale épaisseur (Facultatif)

Il faut cette fois-ci observer les franges de coin d'air. Le diaphragme (D), placé juste à côté de la lampe, est, dans un premier temps ouvert au maximum. Le condenseur (C) est placé à quelques centimètres de (D) de façon à créer à partir de chaque point source un faisceau quasi-parallèle qui éclaire uniformément la surface des miroirs. La lentille (L) de distance focale 20 cm forme l'image des miroirs sur l'écran. Le « coin d'air » est réglé de façon à ce qu'une dizaine de « franges d'égale épaisseur » soient bien visibles.

a) Localisation des franges

Déplacer légèrement (L) vers l'écran et constater le brouillage progressif des interférences. Que peut-on en déduire ?

b) Influence de la taille de la source

Les franges étant devenues peu visibles, fermer le diaphragme et observer l'évolution du contraste. Que montre-t-on ainsi ?

c) Localisation des franges (bis)

Enlever (D) et (L). Placer un verre dépoli à la place de (D) et regarder directement le miroir M_2 en plaçant la tête à la place de (L). Déplacer la tête de haut en bas ou de droite à gauche. Les franges bougent-elles par rapport à M_2 ? Qu'en déduire ?

NOM(S) :

Interféromètre de Michelson

Feuille-réponse

A.1. Repérage de la teinte plate.

Première évaluation avec une lampe spectrale : Précision (latitude de réglage) :

Évaluation plus précise en lumière blanche : Précision de cette évaluation :

A.2. Étude des anneaux d'égale inclinaison (lampe Na, lame d'air).

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R_k												
k	13	14	15	16	17	18	19	20	Diagramme R_k^2 en fonction de k à joindre à la feuille réponse			
R_k												

Ajustement affine

Préciser la méthode :

- ☐ lecture graphique
☐ régression linéaire à la calculatrice

Résultat :

$$R_k^2 = \dots \times k + \dots$$

Distance lentille – écran :

Démonstration du lien entre la pente du diagramme et l'épaisseur de la lame d'air.
Calcul numérique de l'épaisseur de la lame d'air à partir des mesures

A.N. L'épaisseur de la lame d'air est :

Position du chariot :

Comparaison de l'épaisseur de la lame d'air déduite des mesures et de celle obtenue à partir de la position du chariot

A.3. Étude du doublet du sodium

Liste de positions du chariot provoquant un brouillage

Justification théorique : expression de l'écart Δx entre les positions successives de brouillage en fonction de λ_0 (longueur d'onde moyenne) et $\Delta\lambda$ (écart entre les longueurs d'onde)

Exploitation numérique

L'écart entre deux brouillages successifs est : avec une incertitude :

$\lambda_0 = 589,3 \text{ nm}$ d'où $\Delta\lambda = \dots\dots\dots$ avec une incertitude :

B.2. Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre

Position du « quasi contact optique » sans la lame :

Position de visibilité des franges avec la lame :

Justification du lien entre d (épaisseur de verre), n et δe (chariotage).

Application numérique : $n = 1,5$ donc $d = \dots\dots\dots$

Qu'observe-t-on pour un déplacement $\delta e / 2$? Interprétation ?

Autres mesures ou observations (par exemple B.1. , A.4 ...)