

ovio

O P T I C S

www.ovio-optics.com

Manuel de l'utilisateur

INTERFEROMETRE DE MICHELSON
204405/202607/204410/202609

et accessoires



Vous venez de faire l'acquisition d'un interféromètre de Michelson. Nous vous en félicitons, et vous invitons à consulter dès maintenant la documentation.

INTERFEROMETRE, PREMIERE INSTALLATION	4
<i>NE SURTOUT PAS FAIRE...</i>	4
<i>CONTENU A LA LIVRAISON, POINTS A VERIFIER</i>	4
<i>Eléments livrés</i>	5
<i>Contrôle des optiques</i>	5
<i>ENTRETIEN, STOCKAGE</i>	5
<i>Stockage de longue durée</i>	5
<i>Transport à longue distance</i>	6
<i>Entretien, optique</i>	7
DESCRIPTIF COMPLET	8
<i>PRINCIPE</i>	8
<i>Généralités</i>	8
<i>Principe de l'appareil</i>	8
<i>Terminologie, cas réels</i>	9
<i>MICHELSON DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT</i>	11
<i>Séparatrice, compensatrice</i>	12
<i>Miroir mobile, motorisation</i>	12
<i>Miroir fixe, réglage fin</i>	12
<i>Filtre anti-calorique</i>	13
<i>CONSEILS ET ENVIRONNEMENT D'UTILISATION</i>	13
<i>Salle et table</i>	13
<i>Matériel annexe</i>	13
EXPERIENCES AVEC L'INTERFEROMETRE	14
<i>REGLAGE, METHODE AU LASER</i>	14
<i>REGLAGE, VISION DIRECTE</i>	16
<i>SOURCE DE RAIES, LAME D'AIR, COIN D'AIR</i>	18
<i>LES ANNEAUX, LOI EN \sqrt{N}</i>	20
<i>DOUBLET DU SODIUM, ANTI-COÏNCIDENCE</i>	22
<i>CARACTERISTIQUES D'UN FILTRE INTERFERENTIEL, COHERENCE</i>	24
<i>SPECTRES CANNELES</i>	26
<i>APPLICATIONS, CONTROLE DE SURFACE</i>	28
<i>APPLICATIONS, EFFETS THERMIQUES</i>	28
<i>APPLICATIONS, THERMODYNAMIQUE</i>	28
<i>APPLICATIONS, AERODYNAMISME</i>	28

Ne surtout pas faire...

Par définition, les composants optiques et mécaniques du spectrogoniomètre sont fragiles. Des précautions particulières sont donc obligatoires lors du contrôle, de la mise en conditions opérationnelles, de l'utilisation, et du stockage de l'appareil. Il est donc nécessaire de :

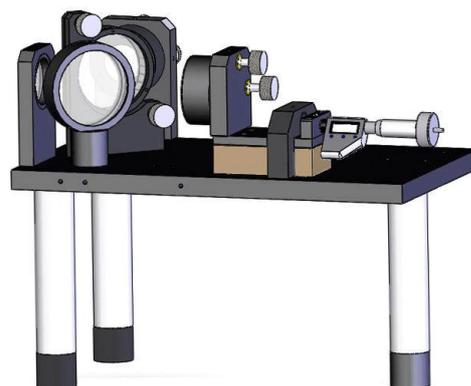
- Ne jamais saisir l'interféromètre par une autre partie que sa base, ultérieurement désignée par l'appellation « le marbre ». Cette précaution aura pour effet de ne pas mettre en danger la qualité des optiques (traces de doigts éventuelles), et de ne pas soumettre les appareillages de réglage micrométrique à des contraintes hors proportions.
- Ne jamais transporter ou mettre en place l'interféromètre dans une autre position qu'à l'horizontale. Toute contrainte sur le chariot mobile, ou basculement de quelque partie que ce soit sera ainsi évitée. Lors d'opérations d'entretien ne permettant pas d'appliquer cette règle, se conformer strictement aux instructions fournies dans cette notice.
- Ne jamais laisser libre un accessoire (filtre, composant optique, ...) susceptible d'entrer au contact des optiques de l'appareil, pendant son transport ou son stockage.
- Eviter d'entamer un déplacement de l'interféromètre sans avoir prévu et vérifié l'aire d'arrivée, et l'absence d'obstacle sur le chemin. Le poids de l'interféromètre rend toute opération imprévue particulièrement délicate.
- En cas de dommage sur les optiques, ne jamais repousser le moment du nettoyage. Les traces peuvent contenir des éléments agressifs pour les traitements ou revêtements qui peuvent rendre irréversibles une dégradation ou trace sans gravité sur l'instant. Se conformer pour cela au chapitre « Entretien Optique ».

Contenu à la livraison, points à vérifier

Votre matériel a fait l'objet de contrôles rigoureux tout au long de sa fabrication. Afin que nous soyons assurés d'une utilisation dans des conditions optimales, nous vous serions reconnaissants de bien vouloir contrôler le matériel à sa réception. Vos éventuelles démarches de régularisation seront ainsi simplifiées. En cas de doute, n'hésitez surtout pas à contacter nos services en vous munissant du numéro de série de l'appareil, ainsi que des éventuels documents se référant à votre commande.

Outre les documents administratifs, l'interféromètre qui vous est livré est constitué de :

- Interféromètre de Michelson
- Manuel de référence (ce document)
- Manuel « Express » de réglage rapide
- Filtre anti-calorique diamètre 48 mm
- 3 pieds métalliques munis de bases caoutchoutées



OPTIONS :

- Détection par photodiode ou système CCD
- Motorisation
- Kits d'expérimentations (consulter notre catalogue)
- lampe spectrale mercure pour expériences élémentaires
- Ecran quadrillé de réglage



Contrôle des optiques

Observer la réflexion induite par chacun des composants. Des éventuelles poussières et filaments peuvent subsister sur les composants optiques. Ces éléments peuvent être chassés par utilisation d'une soufflette. Le contrôle porte sur : les rayures ou les dépôts non homogènes à la surface des composants optiques (miroirs, séparatrice/compensatrice). Le risque est la dégradation partielle, temporaire ou définitive, des qualités optiques de l'appareil (contraste, netteté).

Entretien et stockage

Stockage

Ranger l'interféromètre dans un endroit clôt.

Stockage de longue durée

Nous qualifions de stockage de longue durée des périodes excédant au moins un mois de repos. Pour des périodes de cette durée, nous conseillons des précautions qui favorisent la conservation intégrale des caractéristiques de l'appareil.

Mise au repos des ressorts du miroir fixe

Agir sur les réglages du miroir fixe afin de ne plus avoir de contact entre la vis de réglage et le support porte miroir.

Transport à longue distance

Protéger dans l'appareil en respectant les indications fournies ci-après. N'utiliser qu'un mode de transport prenant en compte les instructions « FRAGILE » et « HAUT » qui devront impérativement figurer sur le colis.

Ajouter aux conditions du stockage de longue durée :

- Calage interne

Caler l'interféromètre afin d'éviter toute translation horizontale ou verticale. Utiliser uniquement des matériaux homogènes non générateurs de poussières (proscrire le bois, le carton, les chips d'emballage, les plaques polystyrène - préférer la mousse type polyéthylène ou les sachets de calage à bulle d'air)

Entretien, visserie

L'entretien de la visserie est conseillé de façon systématique tous les 3 à 5 ans, ou lorsque les réglages deviennent « durs ».

L'entretien consiste principalement à chasser les éventuelles impuretés des pas de vis et à renouveler la graisse. La procédure décrite ici s'applique à :

- Vis de réglage rapide du miroir mobile
- Vis de réglage fin du miroir fixe
- Vis de réglage de la compensatrice

L'entretien réclame les éléments suivants :

- Graisse de Vaseline, ou graisse de synthèse aux particules de PTFE

Attention, ne jamais utiliser de la graisse pour mécanique générale, automobile, ou toute graisse susceptible de durcir au court du temps

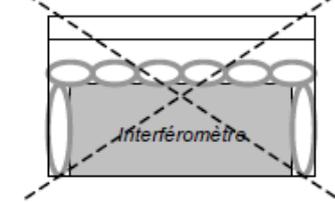
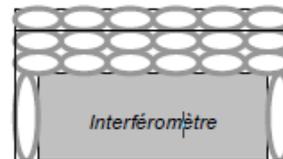
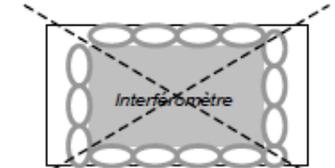
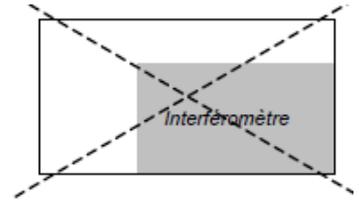
- Essence C (attention vapeurs toxiques, n'utiliser que dans une pièce ventilée)
- Bâtonnets ouatés
- Chiffon doux

Pour chacune des vis que vous comptez réviser, procéder comme suit :

- Dévisser avec clé Allen appropriée le bloc de visserie, le sortir de son logement

Attention, les éléments de visserie du miroir mobile sont ajustés pour garantir la meilleure plage de réglage possible. Veiller à noter la position précise sur la noix en laiton avant le déverrouillage.

- Dévisser à fond la vis afin de la faire sortir de son logement
- Nettoyer le filetage de la vis avec le chiffon doux imbibé d'essence C
- Imbiber un bâtonnet ouaté d'Essence C et nettoyer l'intérieur du filetage
- Déposer une noix de graisse de vaseline sur un bâtonnet neuf. Insérer le bâtonnet à l'intérieur du filetage. Veiller à juste déposer un soupçon de graisse, sans créer d'amas qui se révélerait nuisible à moyen terme.
- Déposer sur la vis un film de graisse
- Insérer la vis, visser progressivement jusqu'à la position d'origine. Essuyer si nécessaire le surplus de graisse.



L'entretien de l'optique nécessite des éléments de nettoyage optique appropriés. Nous contacter avant l'opération. Ne pas utiliser des produits d'entretien type « nettoyage de lunette » ou nettoyant vitre.

L'entretien de l'optique est nécessaire lorsque des traces persistantes (collantes) apparaissent sur les miroirs ou sur un des dioptres séparatrice/compensatrice. L'opération est délicate. Elle est conseillée dès l'apparition des traces, et seulement dans ce cas. Suivre alors la procédure suivante :

- Déposer quelques gouttes de liquide d'entretien sur la surface optique à nettoyer
- Approcher le papier optique jusqu'à son collage sur la surface par tension superficielle
- Tirer le papier vers l'extérieur
- Si nécessaire, renouveler l'opération.

Attention : Ne jamais appuyer ou exercer une pression sur le papier optique de nettoyage. Le résultat en serait la création de « sillons » pour chaque poussière déplacée.

Les dioptres des miroirs sont protégés par une couche diélectrique, qui rend les miroirs plus résistants.

Changements des ressorts du réglage fin

Pour changer la dureté du réglage fin, il vous est possible de remplacer le ressort à spirale assurant la poussée sur le miroir.

Procéder alors de la façon suivante :

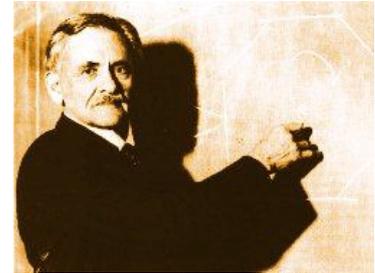
- Dévisser avec clé Allen appropriée le bloc de visserie, le sortir de son logement
- Dévisser à fond la vis afin de la faire sortir de son logement
- Avec une pince à épiler, sortir le ressort et la rondelle de jonction
- Mettre la vis à la verticale, nettoyer la rondelle en téflon et positionner le nouveau ressort pardessus.
- Remonter la vis et son ressort, visser à mi-course.
- Vérifier que l'extrémité du ressort rentre dans son logement sur le support du miroir fin.



Principe

Généralités

L'interféromètre de Michelson tire son nom du physicien Albert Abraham Michelson, né dans l'actuelle Pologne, en 1852. Dès 1855, sa famille émigre aux états unis, où il devient enseignant en Physique. Durant ses travaux, il met au point un système d'interférométrie censé pouvoir mettre en évidence l'existence de l'Ether, sorte de courant, qui diminuerait la vitesse de propagation de la lumière sur une des voies de l'interféromètre par rapport à l'autre (compte tenu de la vitesse de mouvement de la terre). Les résultats ne parvenant pas à montrer la moindre différence de vitesse, Michelson invalida partiellement la théorie, et fournit par là même de précieuses pistes pour la théorie de la relativité d'Einstein à venir.

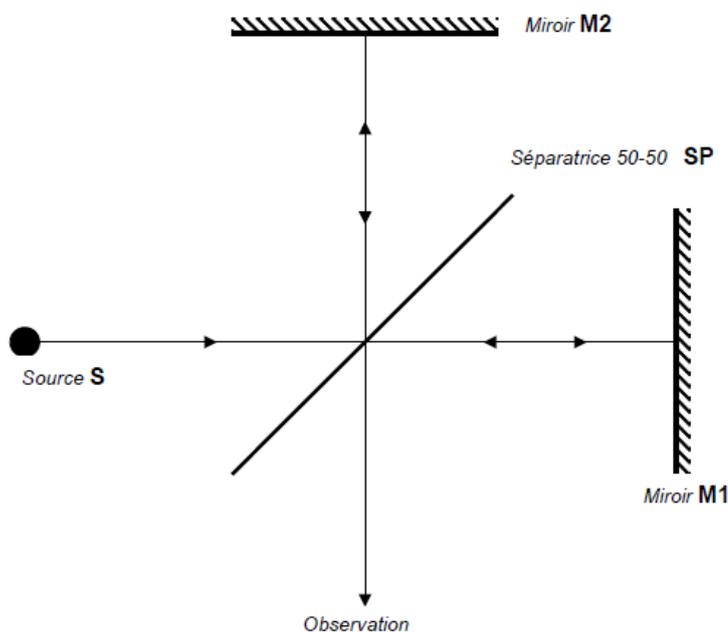


Le principe de l'interféromètre développé à cette occasion fut réutilisé, et trouve désormais des applications dans la spectrophotométrie par transformée de Fourier, le contrôle de surfaces, de planéité...

L'objet de cette description n'est pas d'établir les lois théoriques, mais d'obtenir une vision conceptuelle de l'appareil. Afin d'obtenir des données théoriques plus complètes, nous vous conseillons la lecture de :

- « Spectroscopie Instrumentale » Bousquet – DUNOD
- « Vibrations Lumineuses – Optique cohérente » Françon – DUNOD

Principe de l'appareil



L'interféromètre est constitué de deux miroirs M1 et M2 placés à une distance relativement voisine d'une séparatrice SP. L'interféromètre est éclairé par une source lumineuse S, les observations se font suivant l'axe orthogonal au miroir M2.

La lumière issue de la source va être séparée en 2 voies. L'une réfléchi au niveau de la séparatrice, l'autre la traversant. Ces deux voies se reflètent sur leur miroir respectif, et se recombinaient après un nouveau passage par la séparatrice.

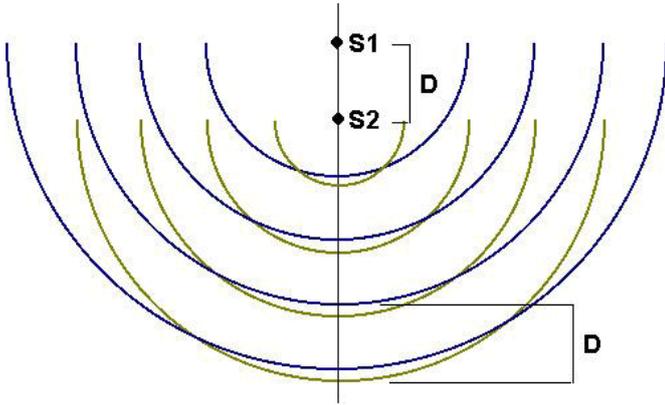
Pour l'observateur, les deux miroirs M1 et M2 apparaissent donc dans le champ de vision.

La lumière issue de M1 semble provenir d'une source située dans le prolongement de M2. L'interféromètre a créé un système qui va se comporter comme un « duplicateur » de source lumineuse, dont la séparation sera complètement déterminée par la position relative des deux miroirs.

Les deux sources « virtuelles », S1 par le chemin de M1 et S2 par le chemin de M2, vont produire dans la direction de l'observation des phénomènes d'interférences. Ainsi, pour une distance strictement identique,

les deux ondes issues de S1 et S2 vont se trouver parfaitement en phase, et donc produire des interférences 100% constructives.

Pour simplifier les explications qui suivent, nous considérons S comme une source ponctuelle et monochromatique.



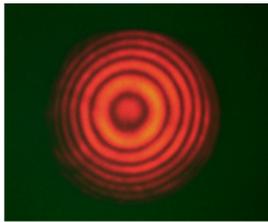
Lorsque l'on déplacera M1 (donc S1 d'une distance double - trajet de l'aller-retour entre la position d'origine et la nouvelle position), les deux ondes ne seront plus identiques, que ce soit :

- dans leur forme (la lumière issue de la source diverge, plus l'on s'éloigne, plus la courbure s'aplanira)
- dans la distance que l'onde aura parcourue

La différence de courbure générera des phénomènes d'anneaux, la différence de distance aura pour conséquence une amplitude résiduelle plus ou moins

élevée dans l'axe d'observation.

Sur le schéma ci-dessus, considérons que les arcs de cercle correspondent à des maxima d'intensité à un instant donné (comme une sorte de photo pour laquelle la lumière se serait arrêtée ...). On constate qu'au centre, on obtient bien un décalage constant entre chaque front d'onde, tandis qu'à d'autres endroits, les fronts seront systématiquement superposés, et d'autres où ils seront systématiquement décalés d'une demi période.



Une superposition complète sera source d'interférences constructives, un décalage d'une demi-période d'interférences destructives. Si la lumière reprend sa vitesse, les interférences constructives se traduiront par une intensité moyenne maximale, les destructives par un noir complet.

Figure obtenue sur un écran à partir d'une source laser rendue divergente

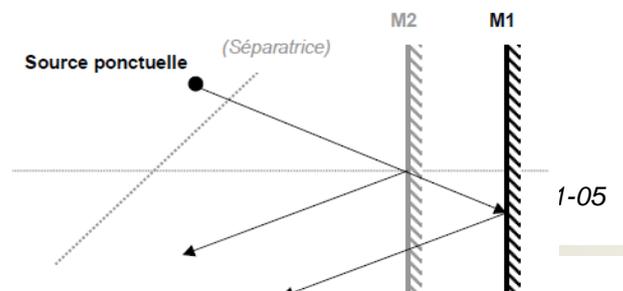
Ces propriétés géométriques sur la forme des figures d'interférences permettront de tirer des propriétés extrêmement précises sur la nature de la source ou de la valeur du déplacement D.

Terminologie, cas réels

Teinte plate, contact optique

Lorsque les deux miroirs sont exactement superposés du point de vue de l'observateur, les deux sources virtuelles sont parfaitement au même endroit. Le résultat en est des interférences constructives en quelque point que ce soit. On parle alors de « teinte plate » pour décrire une lumière homogène sur toute la plage d'observation. Le contact optique désigne l'équivalence stricte de position de M1 et M2, aboutissant à la génération de la teinte plate.

Lame d'air, égale inclinaison



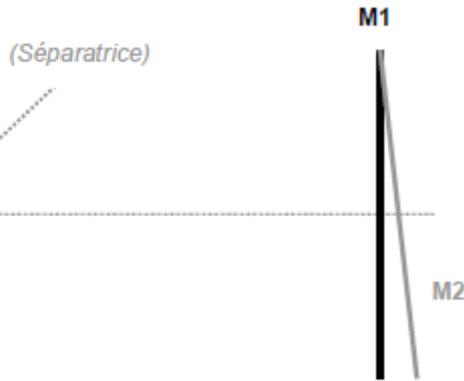
Lorsque M1 est strictement parallèle à la projection de M2, un même angle d'incidence correspondra toujours à la même différence de marche en sortie de l'interféromètre.

C'est pour cela que l'on parle alors d'anneaux d'égale inclinaison.

Tout se passe comme si les deux faisceaux interféraient après un passage dans une lame d'air à faces parallèles.

Cette observation sera appelée « Lame d'air ».

Coin d'air



La lame d'air est une appellation issue des positions de miroirs. Le coin d'air désigne lui aussi l'effet généré par une configuration particulière des réglages.

On appelle « coin d'air » une faible inclinaison de M2 par rapport à M1 au voisinage immédiat du contact optique. Tout se passe en effet comme si les deux faisceaux interféraient après un passage dans un coin d'air.

Ça se complique...

L'interféromètre tel que nous l'avons décrit consiste en un système éclairé par une source ponctuelle. Dans la réalité, de telles sources n'existent pas, et seuls les lasers s'en rapprochent suffisamment pour pouvoir obtenir des résultats strictement conformes à une théorie effectuée dans ce sens.

Les sources étendues (lampes spectrales, lampes blanches...) vont agir comme un continuum de sources ponctuelles réparties sur la surface de la source réelle. Dans la majorité des cas, les observations sont brouillées, le contraste s'approche de zéro. Deux solutions sont alors applicables :

- Se rapprocher de la source ponctuelle, en utilisant par exemple un diaphragme judicieusement placé, et se maintenir ainsi dans les conditions théoriques relativement accessibles, au prix souvent d'un contraste diminué et toujours d'une perte de luminosité.
- Changer les conditions d'observations, et utiliser des cas particuliers pour lesquels les observations restent valables avec des sources étendues (anneaux à l'infini, interférences produites dans le plan des miroirs). Pour cela, nous utiliserons des dispositifs qui feront l'image des plans d'interférences : observation directe à l'œil, lentilles...

Dans le cas d'une source étendue :

A l'œil, l'accommodation facilitera l'utilisation de l'interféromètre quelles que soient les conditions de réglage.

En lame d'air, la configuration d'anneaux d'égale inclinaison favorise la projection à l'infini. Une lentille servira à « regrouper » les angles identiques observables à la distance focale.

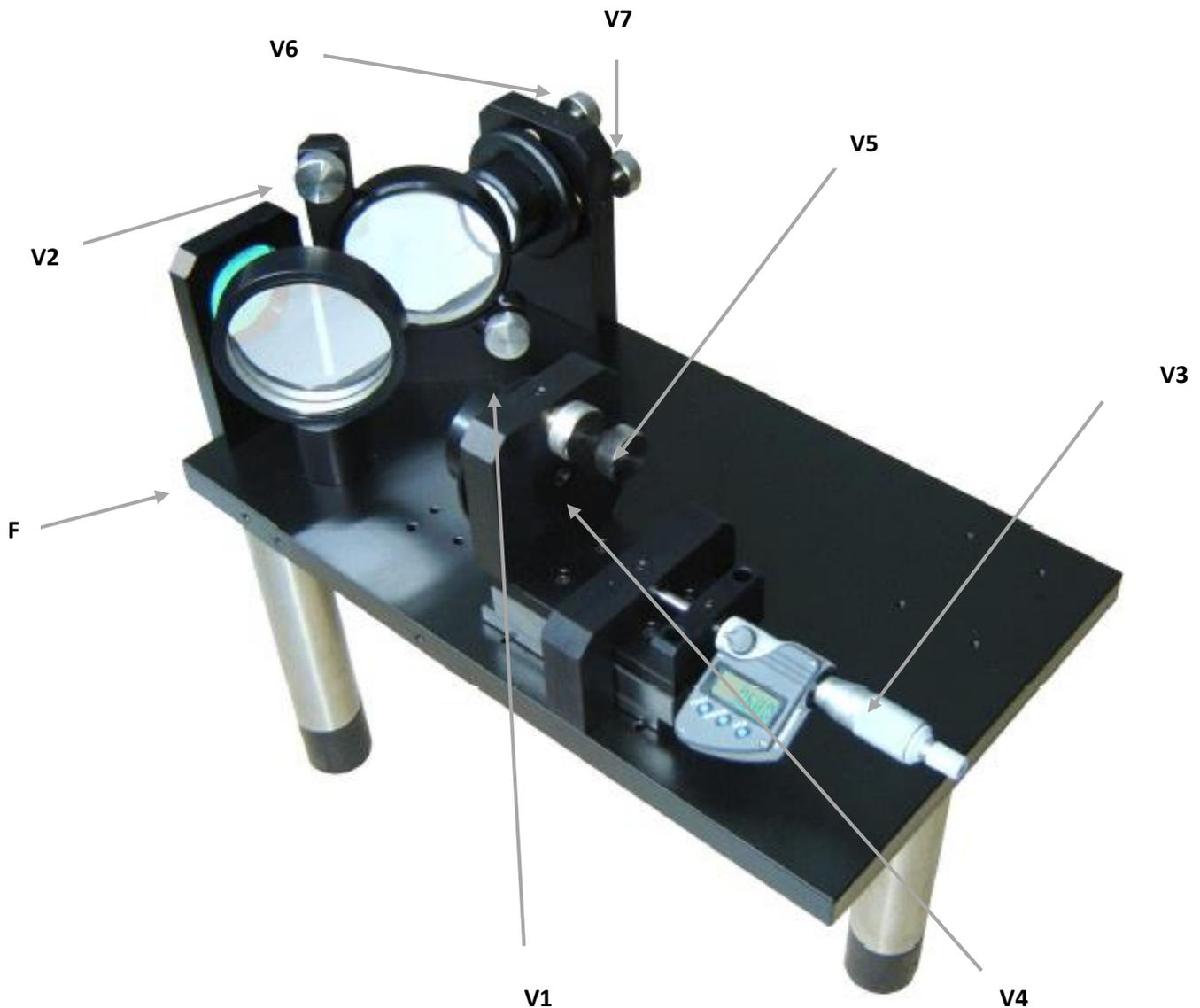
En coin d'air, les interférences (au voisinage du contact optique) sont situées à la surface des miroirs. On utilisera donc une lentille et un écran placé au niveau de l'image des miroirs de l'interféromètre.

Michelson description et fonctionnement

- C : Compensatrice
 - V1 : réglage horizontal de la compensatrice

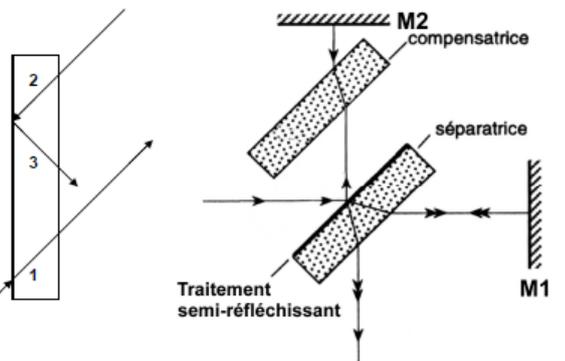
○ V2 : réglage vertical de la compensatrice

- S : Séparatrice
- M1 : Miroir mobile
 - V4 : Réglage vertical rapide
 - V5 : Réglage horizontal rapide
- V3 : Translation micrométrique du miroir mobile
- M2 : Miroir fixe
 - V6 : Réglage vertical fin
 - V7 : Réglage horizontal fin
- F : Filtre anti-calorique



Séparatrice, compensatrice

La description que nous avons faite jusqu'à présent de la séparatrice prend en compte uniquement un composant



infiniment fin. Dans la réalité, il s'agit d'une lame qui reçoit sur une des faces un traitement métallique semi-réfléchissant. Le trajet optique en destination de M1 serait donc allongé d'une triple traversée (passage 1, 2 et 3).

Dans la pratique on adjoint donc à la lame séparatrice une lame dite « compensatrice », chargée de rétablir l'équivalence stricte de chemin optique entre les 2 voies.

Miroir mobile, motorisation

Caractéristiques du moteur

Le moteur effectue **un tour en un quart d'heure** (900 secondes), soit une translation du miroir de **0,555µm par seconde**.

Mise en marche

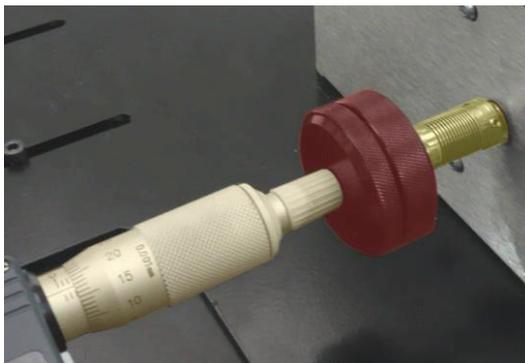
La mise en marche s'effectue à partir du boîtier de commande. L'interrupteur dispose de 3 positions :

- Avant : rapprochement du miroir $-V=0,555 \mu\text{m} / \text{sec}$.
- Stop : repos, moteur à l'arrêt.
- Arrière : éloignement du miroir $-V=-0,555 \mu\text{m} / \text{sec}$.



Le fonctionnement de l'interféromètre avec moteur interdit le balayage manuel. Lorsque le moteur est embrayé, le forçage manuel peut endommager tout ou partie de la motorisation. Nous vous conseillons de sensibiliser les élèves sur ce point.

Les voyants indiquent que le moteur est sous tension et le sens de fonctionnement.



Axe micromètre

Embrayage par serrage concentrique

POUR EMBRAYER LE MOTEUR, SERRER ENTRE ELLES LES 2 BAGUES

POUR DEBRAYER LE MOTEUR, DESSERRER LES 2 BAGUES

Soufflet de transmission moteur

Miroir fixe, réglage fin

Le miroir fixe dispose de deux vis de réglage fin. Ce réglage par effet ressort indirect est destiné à affiner la position du miroir lorsque le réglage rapide est effectué.

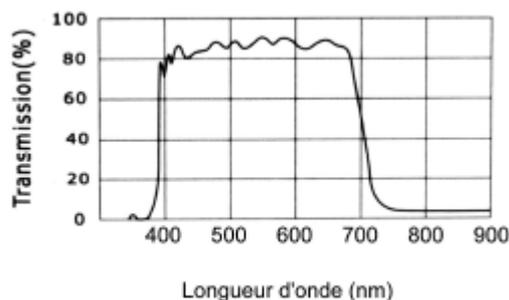


La compression du ressort spiral applique une contrainte sur le support porte miroir. La torsion qui en découle permet un ajustement très précis.

Avant un réglage rapide, vérifier que les vis de réglage fin soient dans une position intermédiaire, à même de se tendre ou de se détendre.

Filtre anti-calorique

L'interféromètre est livré avec filtre anti calorique. Ce type de filtre à la propriété de réfléchir le rayonnement infrarouge (rayonnement « chaud »), ce qui préserve les composants optiques lors d'une utilisation avec des lampes tungstène halogène par exemple. Sa courbe de transmission est la suivante:



Conseil et environnement d'utilisation

Salle et table

Comme toute expérience d'optique, nous conseillons l'emploi de l'interféromètre dans une salle obscure, pourvue d'un système d'occultation des fenêtres efficace. Si cette condition ne peut être remplie, une pénombre suffit à effectuer la quasi-totalité des réglages et observations, mais rendra moins « lumineuse » toute projection sur écran.

L'utilisation d'une lampe de chevet procure un compromis efficace entre les observations et les étapes de lecture ou d'écriture.

Matériel annexe

Outre l'interféromètre, il est strictement nécessaire de disposer d'au moins :

- Banc muni de cavaliers, ou pieds pour composants optiques
- Sources lumineuses, dont au moins une source de raies (laser ou lampe spectrale)
- Jeu élémentaire de composants optiques (quelques lentilles, écran)

Cette liste d'expériences est loin d'être exhaustive. Nous sommes par ailleurs à votre écoute afin d'intégrer de nouvelles expériences ou pour améliorer celles proposées.

Parmi la multitude de procédures de réglages existantes, nous en avons sélectionné deux pour leur simplicité de mise en œuvre et leur relative « accessibilité » quant à la démarche utilisée. La méthode « laser » présente un certain confort quant aux observations (vision sur écran), la méthode par vision directe est plus universelle mais nécessite une maîtrise plus grande.

Réglage, méthode au laser

Principe

Le réglage laser est la méthode la plus rapide pour régler l'interféromètre. Elle permet une approche séquentielle de chacun des composants.

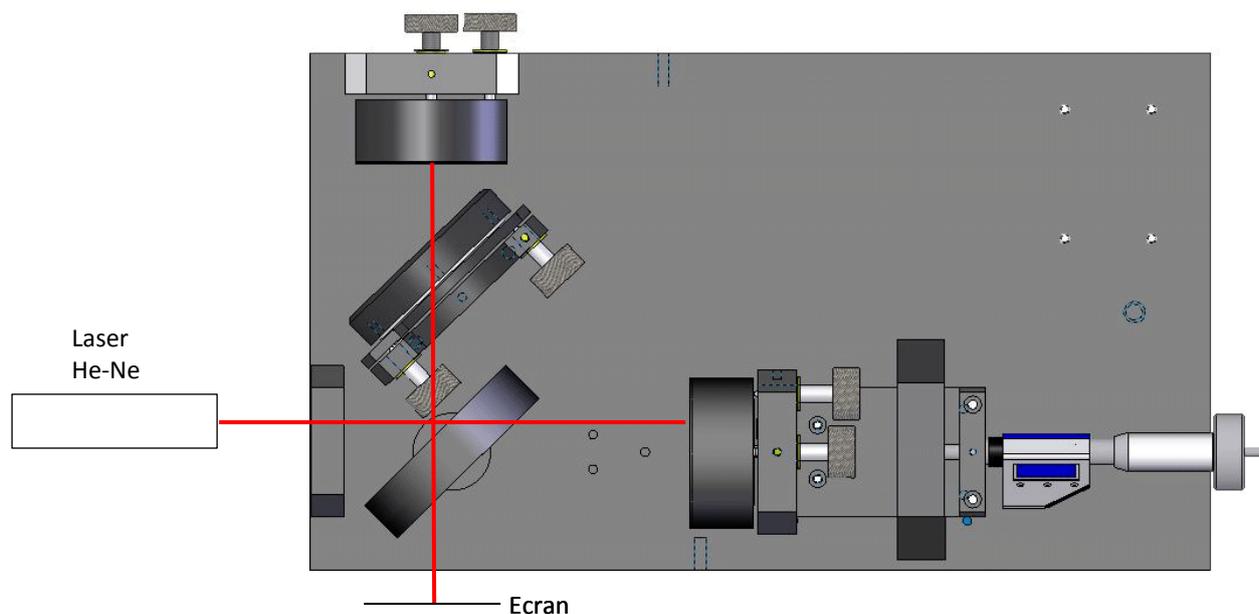
Nomenclature

Laser He-Ne, écran blanc.

Lentille d'extension de faisceau.

Mise en place

Utiliser la configuration ci-dessous.

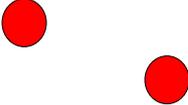


Le laser est positionné à la même hauteur que l'interféromètre, le faisceau passe par les miroirs en leur centre. Sur l'écran apparaissent 2 points issus des réflexions sur chacun des deux miroirs.

Afin de s'assurer que la configuration de départ est bien quelconque, nous vous conseillons de dérégler volontairement les vis de la séparatrice et du miroir mobile.

Protocole de réglage

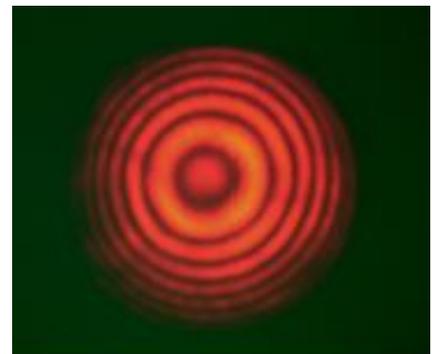
Alignement des axes

Etape 1		Agir sur le réglage rapide horizontal et vertical du miroir mobile pour superposer les 2 images.
Etape 2		Agir sur les réglages fins du miroir fixe afin de superposer aussi parfaitement que possible les deux tâches.
RESULTAT		Il faut maintenant placer la lentille d'extension de faisceau entre le laser et l'interféromètre.

Obtention de la teinte plate

Intercaler entre le laser et l'interféromètre un objectif de microscope 10x ou 20x. Ajuster la position de l'objectif afin que la tâche soit centrée sur les miroirs. Ce réglage est délicat.

Dès la lentille centrée, la tâche sur l'écran doit être semblable à celle-ci contre. Agir maintenant sur les réglages fins du miroir fixe pour ajuster le centrage des anneaux.



Agir sur la mollette de déplacement manuel du miroir mobile, et constater l'effet. Vous devez constater que le diamètre des anneaux tend à augmenter ou à diminuer lorsque vous translatez le chariot mobile de quelques tours de mollette.

Pour atteindre la teinte plate, tournez la mollette dans le sens d'un allongement du diamètre. Vous obtenez à une position donnée un cercle unique au-delà de laquelle les anneaux réapparaissent. C'est la teinte plate. Vous êtes au contact optique.

Si le cercle lumineux présente une forme elliptique ou hyperbolique, ajuster les réglages de la compensatrice (vis V1 et V2).

Le réglage obtenu servira de base à la plupart des expériences ultérieures (le réglage de la vis micrométrique est sur 10 mm).

Réglage vision directe

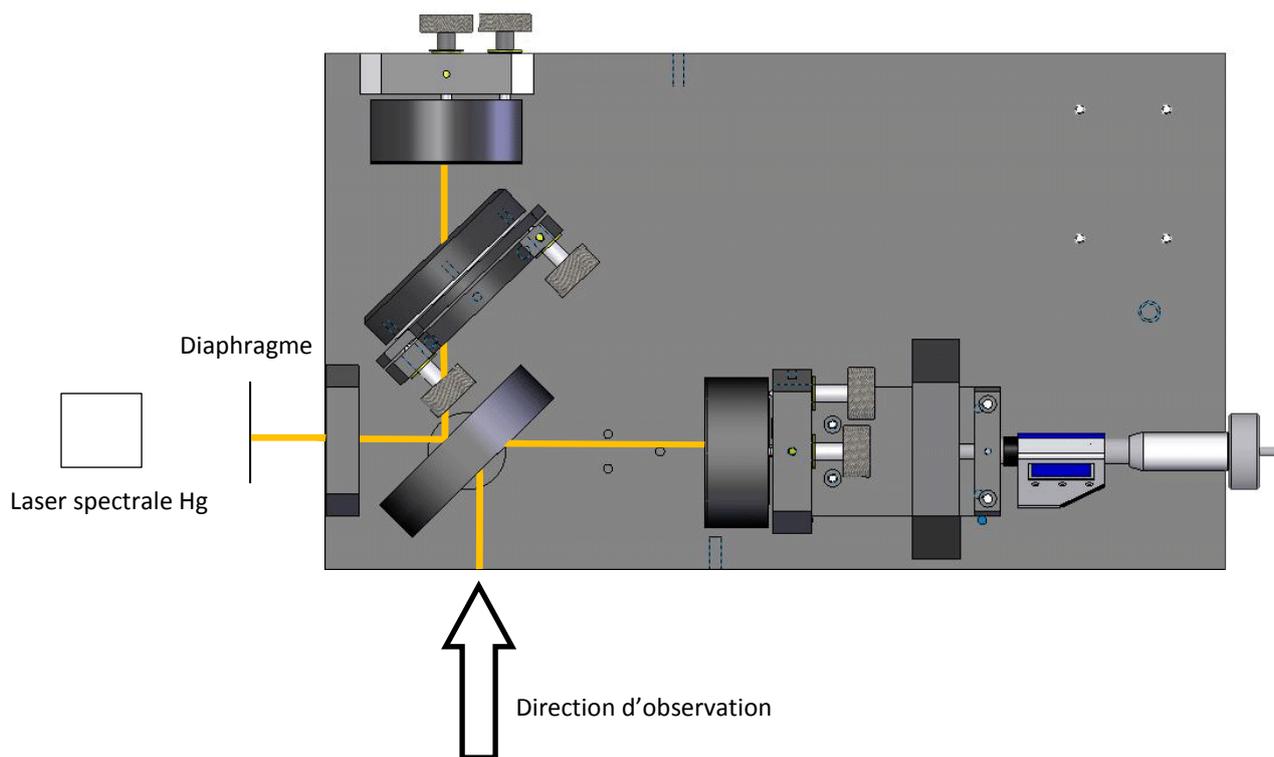
Principe

A partir d'une source de raies, cette méthode permet d'utiliser l'œil en vision directe. Elle suit d'assez près la démarche permettant d'obtenir la description théorique de l'interféromètre. La démarche séquentielle reste identique à la méthode au laser.

Nomenclature

Lampe spectral mercure (fournie), diaphragme.
Optionnellement : filtre interférentiel vert à 546 nm.

Mise en place



Positionner la lampe spectrale devant un diaphragme quasiment fermé (ouverture de 1 mm). Les observations s'effectuent directement à l'œil. En cas de luminosité trop élevée, intercaler *entre la source et le diaphragme* un écran dépoli.

Attention :

Si vous utilisez une lampe mercure NON GARANTIE comme n'émettant pas de **rayonnement Ultraviolet**, vous devez impérativement utiliser.

- Filtre anti-UV

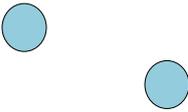
ET / OU

- Filtre anti-calorique pour interféromètre de Michelson

Cette remarque est applicable à toute utilisation de lampe spectrale à rayonnement UV potentiel.

Protocole de réglage

Alignement des axes

Etape 1		Agir sur le réglage rapide horizontal et vertical du miroir mobile pour superposer les 2 images.
Etape 2		Agir sur les réglages fins du miroir fixe afin de superposer aussi parfaitement que possible les deux tâches.
RESULTAT		Il faut maintenant ôter le diaphragme et le remplacer par l'écran quadrillé.

Obtention de la teinte plate

Remplacer le diaphragme par un écran quadrillé et utiliser comme source la lampe spectrale mercure. Dans ce cas, la source n'est plus ponctuelle. Observer alors le résultat. L'œil va effectuer une mise au point, permettant l'apparition des figures d'interférences.

Vous devez observer des anneaux colorés avec une dominante bleutée. La source mercure dispose de quelques raies très lumineuses, qui se superposent et forment ainsi un système d'anneaux colorés, issu de la superposition d'anneaux de couleurs différentes. Pour vous en assurer, placer un filtre interférentiel vert à 546 nm pour isoler uniquement la raie verte.

Attention, la présence d'anneaux avec une lampe haute pression (faible cohérence) ne se manifestera qu'à des distances du contact optique inférieures à un millimètre.

Lorsque le réglage est le meilleur (lame d'air), en déplaçant la tête latéralement (horizontalement puis verticalement) vous devez constater que les anneaux restent immobiles (ils ne se contractent pas et ne se dilatent pas)

Agir sur la mollette de déplacement manuel du miroir mobile, et constater l'effet. Vous devez constater que le diamètre des anneaux tend à augmenter ou à diminuer lorsque vous translatez le chariot mobile de quelques tours de mollette.

Pour atteindre la teinte plate, tournez la mollette dans le sens d'un allongement du diamètre. Vous obtenez à une position donnée un cercle unique au-delà de laquelle les anneaux réapparaissent. Pour vous en assurer, translater la tête latéralement, et vérifier que des anneaux n'apparaissent pas sur l'un des bords. Dans ce cas, maintenez cette position, et ajuster la mollette. Pour information, la teinte plate apparaît de la couleur bleutée de la lampe, et ne doit pas être irisée.

Le réglage obtenu servira de base à la plupart des expériences ultérieures.

Source de raies, lame d'air, coin d'air

Principe

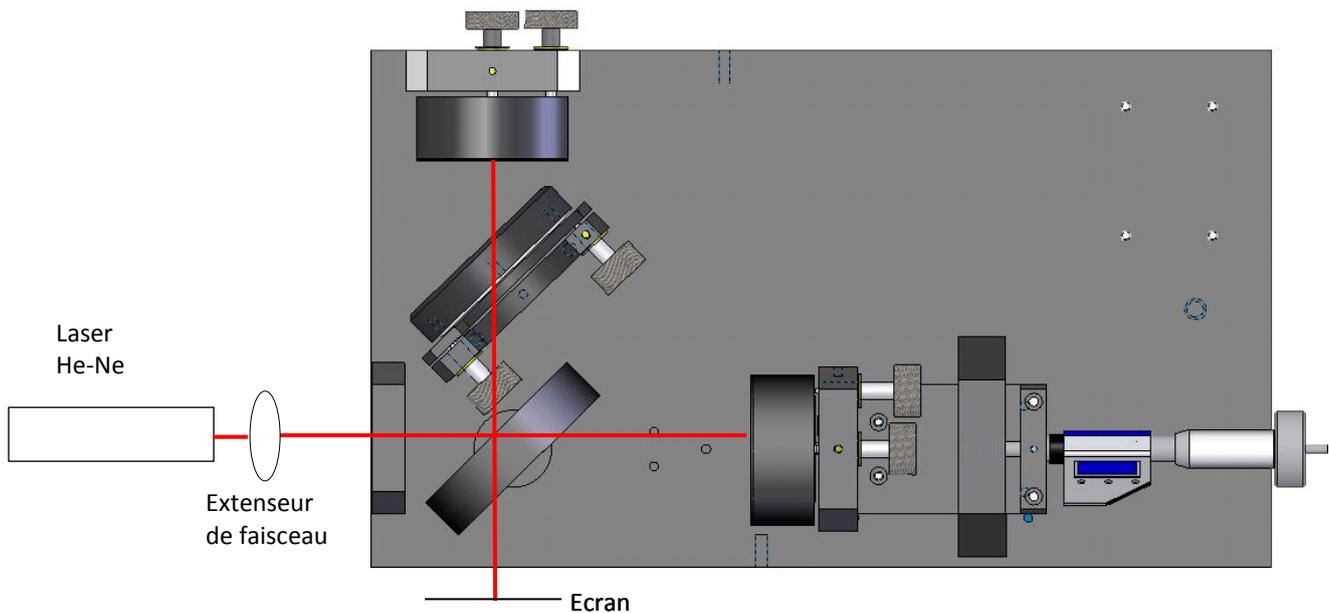
En utilisant une source quasi ponctuelle (laser) puis étendue (lampe spectrale), observation des anneaux d'égalé inclinaison (lame d'air) et du coin d'air.

Nomenclature

Laser He-Ne, écran blanc, extenseur de faisceau laser.
 Lampe spectrale mercure, diaphragme, porte lentille.
 Lentille $f = 10$ cm, lentille $f = 50$ cm.
 Optionnellement : filtre interférentiel vert à 546 nm.

Mise en place

Dans la première partie de l'expérience, utiliser le même montage que celui réalisé pour le réglage au laser de l'interféromètre (avec lentille d'extension du faisceau). Régler l'interféromètre au niveau de la teinte plate.

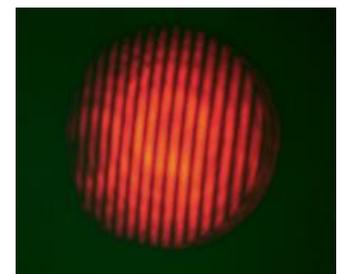


Protocole

Observation au laser

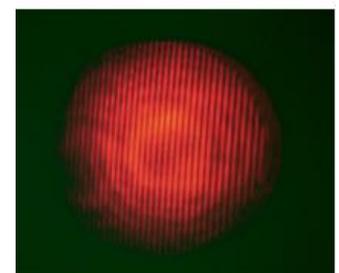
Observation 1 :

Agir sur V5, constater l'apparition de franges correspondant au coin d'air.



Observation 2 :

Continuer l'action sur V5, les franges sont de plus en plus fines. Translater le chariot mobile, l'écart entre les franges ne varie pas, mais les franges défilent.



Observation en lampe spectrale

Réaliser le montage suivant :

- Sur un banc de 0,5 m sont monté la lampe spectrale et un diaphragme.

Sur le banc de 1 m est positionné une lentille de focale 50 cm et l'écran (placé au niveau du plan focal de la lentille).

Dans un premier temps, enlever la lentille, régler l'interféromètre à l'œil (procédure « Vision directe ») et se positionner dans un cas où les anneaux sont visibles (au voisinage de la teinte plate).

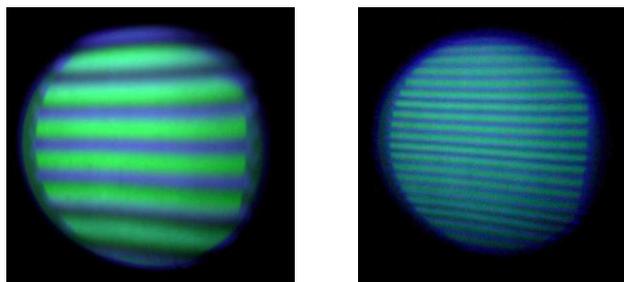
En fermant le diaphragme au minimum, et sans lentille, on perçoit les anneaux sur l'écran (source rendue quasi-ponctuelle, les anneaux sont visibles où que l'on positionne l'écran. Vérifier qu'en ouvrant le diaphragme, les anneaux disparaissent.

En ajoutant la lentille, et en plaçant l'écran dans le plan focal, les anneaux réapparaissent, et ce sur tout le voisinage (ordre de grandeur de 1 mm) du contact optique. A une inclinaison donnée, correspond une différence de chemin optique donnée.

Revenir à la teinte plate.

Remplacer la lentille de focale 50 cm par une lentille de focale 10 cm. L'écran est placé au niveau de l'image formée par les miroirs. En positionnant la lentille à 20 cm des miroirs, l'image se forme à 20 cm de la lentille environ (plans anti-principaux).

Agir sur V5, et constater la formation de la figure d'interférence du coin d'air. Eventuellement, ajouter un filtre interférentiel pour isoler une seule raie du mercure.

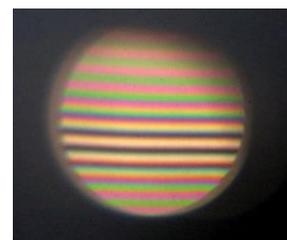


Interférences de coin d'air. 2 inclinaisons distinctes de miroir.

Enlever la lentille, et vérifier que ces interférences sont uniquement localisées au voisinage de l'image des miroirs.

Remplacer la lampe spectrale par une lampe blanche.

Au niveau du contact optique, les rayonnements du bleu au rouge interfèrent constructivement. Très rapidement, les champs d'interférences des longueurs d'ondes courtes (bleu) et longues (rouge) se décalent l'un par rapport à l'autre, créant ainsi des teintes composées. Au-delà de la frange centrale, les franges de part et d'autres comprennent une irisation bleue vers l'intérieur et rouge vers l'extérieur.



Franges du coin d'air en lumière blanche

Les anneaux, loi de \sqrt{N}

Vérifier la théorie de constitution des anneaux d'égal inclinaison. Si l'on étudie le diamètre des anneaux concentriques, on doit constater que ce diamètre varie d'un anneau selon la racine de son ordre. Ainsi, le quatrième anneau sera 2 fois plus grand que le premier. Cette étude sera menée avec une source sodium (ou mercure haute pression filtrée).

Nomenclature

Écran blanc.
Lampe spectrale sodium, diaphragme.

Afin de réaliser de conserver une trace des résultats, nous vous conseillons l'utilisation du détecteur Ovisio seul ou avec lunette.

Lentille $f = 25 \text{ cm}$, Ovisio, filtre anti-calorique.

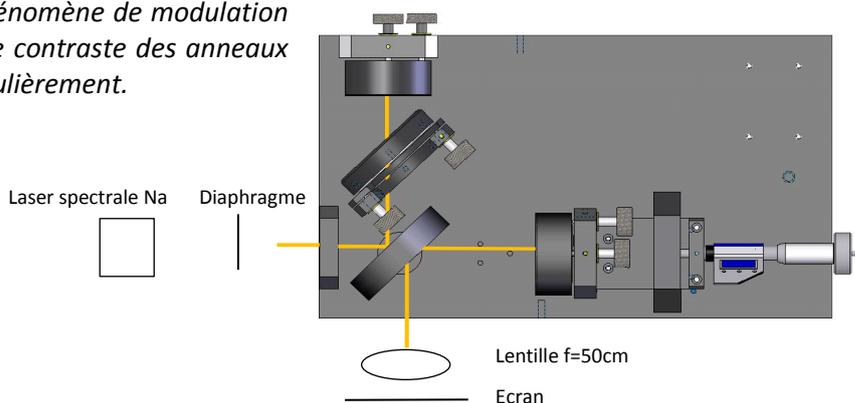
Dans le cas contraire (mesure sur écran), utiliser de préférence une lentille de focale plus longue.

Lentille $f = 50 \text{ cm}$.

Mise en place

Utiliser un montage identique à celui réalisé précédemment (franges de coin d'air). La lampe mercure est remplacée par la lampe sodium. Régler l'interféromètre selon la méthode de vision directe.

Remarque : l'essentiel de l'émission visible du sodium est rassemblée dans deux longueurs d'onde très proche. Ce doublet va être à la source d'un phénomène de modulation du contraste. Il est donc normal que le contraste des anneaux passe par un maximum et s'annule régulièrement.



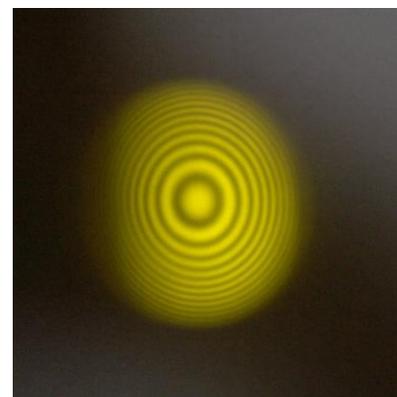
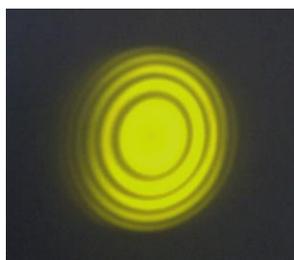
Protocole

Mesure

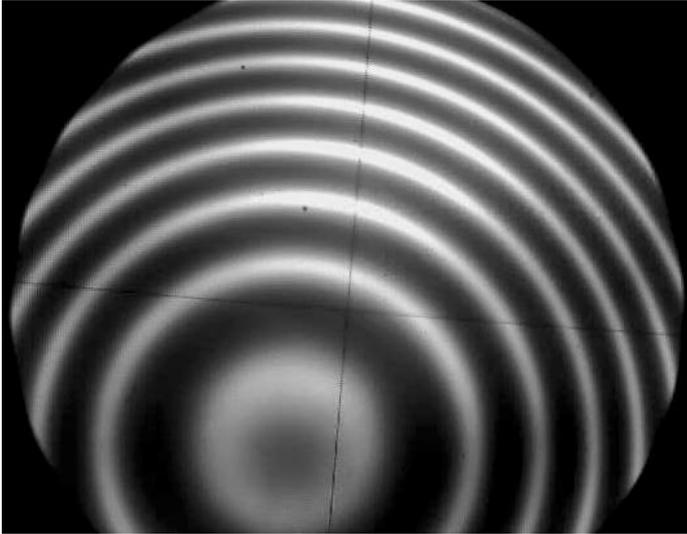
Après réglage, on obtient des anneaux sur l'écran. Le principe de la mesure consiste à réaliser une coupe de ces anneaux, et à en mesurer le diamètre. Pour cela, remplacer l'écran par la caméra Ovisio munie uniquement de deux polariseurs.

Deux photos des anneaux, à épaisseur de lame d'air différente et contraste maximum

Deux photos des anneaux, à épaisseur de lame d'air différente et contraste maximum



Vérifier à l'œil que le détecteur est centré par rapport aux anneaux. Ajuster la position de la lampe spectrale pour que les anneaux soient aussi symétriques que possible.



En relevant le diamètre des anneaux, on vérifie bien qu'à l'anneau d'ordre « n » correspond bien une constante multipliée par \sqrt{n} .

La principale difficulté consiste à trouver l'anneau d'ordre 1 tel que le centre soit strictement lumineux, mais de diamètre nul.

Ce cas n'est valable que dans la seconde image

Exemple de résultat et d'exploitation :

Ordre	Diamètre (mm)	Ratio par rapport à l'ordre 1	Racine de l'ordre
1	9,60		
2	13,50	1,41	1,41
3	16,85	1,76	1,73
4	19,49	2,03	2,00
5	21,80	2,27	2,24

Doublet du sodium, anti-coïncidence

Principe

Les deux longueurs d'onde orangées voisines du sodium constituent un doublet très faiblement séparé. Il est difficile de le séparer par des systèmes à prisme ou à réseau classique. La technique interférentielle va simplifier la mesure de ces longueurs d'onde et apporter une précision très élevée sur l'écart en longueur d'onde de ce doublet.

Nomenclature

Ecran blanc.

Lampe spectral sodium, diaphragme.

Si votre interféromètre est motorisé, nous vous conseillons un enregistreur capable d'échantillonner le signal lumineux dans le temps :

Lentille $f = 25$ cm, détecteur photodiode amplifiée.

Ainsi qu'un système d'acquisition analogique 0-5V

Dans le cas contraire (mesure sur écran), utiliser de préférence une lentille de focale plus longue.

Lentille $f = 50$ cm.

Mise en place

Utiliser le montage habituel de l'interféromètre avec une source spectrale (voir loi en racine de N).

Protocole

Mesure – lecture au vernier

La première mesure permet d'obtenir une évaluation de l'écart entre les deux longueurs d'onde mais nécessite de connaître la longueur d'onde « moyenne ».

- Positionner le chariot mobile au voisinage de la teinte plate.
- Mettre à zéro le compteur numérique
- Tourner légèrement la mollette afin d'obtenir la première annulation du contraste. Noter la valeur affichée.
- Faire de nouveau une mise à zéro du compteur numérique.
- Tourner légèrement la mollette afin d'obtenir la seconde annulation du contraste. Noter la valeur affichée.
- Continuer ainsi et relevez chaque position d'annulation du contraste.

A quoi cela correspond-il concrètement ?

Au niveau de la teinte plate, les deux longueurs d'onde sont en phase. Au fur et à mesure que le miroir se déplace, les deux champs d'interférences de chaque longueur d'onde se décalent et vont progressivement entrer en opposition de phase.

Comme chacune des longueurs d'onde est quasiment aussi intense que l'autre, le contraste devient nul.

Ci joint un relevé :

Contraste 0 n°1	Contraste 0 n°2	Contraste 0 n°3	Contraste 0 n°4	Contraste 0 n°5	Contraste 0 n°6	Contraste 0 n°7
0,39mm	0,3mm	0,27mm	0,31mm	0,29mm	0,29mm	0,24mm

L'écart moyen est d'un peu moins de 0,3 mm, soit une différence de marche légèrement inférieure à 0,6 mm. La longueur d'onde du sodium étant de 589 nm, le décalage en longueur d'onde est de 1/1000ème, soit 0,6 nm en première estimation.

Mesure – enregistrement avec motorisation

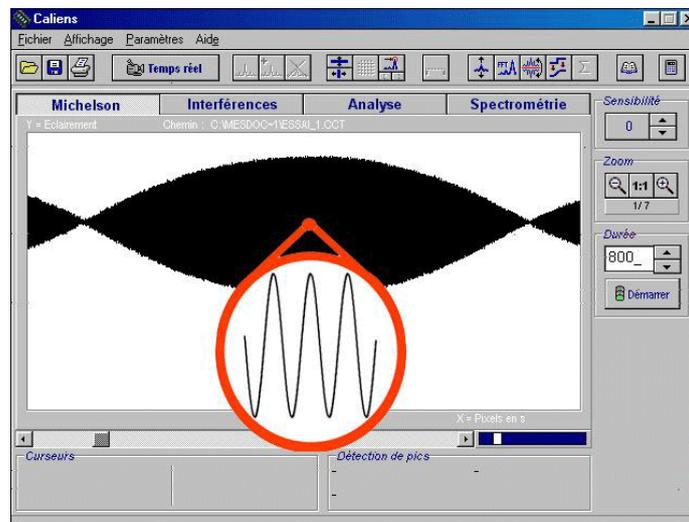
Pour accéder simplement à la mesure de la longueur d'onde, nous allons utiliser maintenant un système d'enregistrement d'interférogrammes. Dans le principe, nous allons traduire à vitesse parfaitement régulière et connue le miroir mobile, et enregistrer les variations de lumière en un point donné. Il nous sera donc possible, en connaissant la vitesse de translation d'en déduire les longueurs d'onde beaucoup plus précisément.

- Positionner le chariot mobile au voisinage de la teinte plate.
- Mettre en place la photodiode au niveau de la focalisation des anneaux.

Remarque :

La lampe sodium émet des radiations infrarouges qui peuvent perturber l'enregistrement (les détecteurs sont dans le cas général sensibles aux infrarouges proches). Afin de s'en prémunir, utiliser soit un filtre interférentiel à 589 soit le filtre anticalorique livré avec l'appareil.

L'enregistrement minimum dure un quart d'heure.



La mesure de la période moyenne du quasi sinusöide donne la longueur d'onde moyenne du doublet :

$$V_{\text{miroir}} : 0,555556... \mu\text{m} / \text{s} = 555,556 \text{ nm} / \text{s}$$

Une demi-période correspond au déplacement du miroir d'une longueur d'onde (trajet aller-retour)

$$\lambda_{\text{nm}} = \text{Période} \times V_{\text{miroir}} / 2$$

Pour que le doublet passe d'une opposition de phase à la suivante, il faut environ 1000 oscillations. La différence entre les deux longueurs d'onde vaut donc $1/1000^{\text{ème}}$ de la longueur d'onde moyenne.

Variante :

L'expérience peut être menée avec une lampe mercure dont le doublet jaune (577 et 579 nm) est isolé par un filtre interférentiel 578nm. Ce doublet, plus séparé, sera plus rapide à enregistrer (environ 200 oscillations par fuseau).

Caractéristiques d'un filtre interférentiel, cohérence

Principe

Déduire à partir d'un interférogramme la longueur d'onde centrale d'un filtre, ainsi que sa bande passante. L'explication faisant largement appel à une représentation continue des différentes longueurs d'onde, cela permet d'introduire la nécessité d'un outil travaillant directement dans l'espace des fréquences (transformée de Fourier). Par extension à la notion de bande passante, la largeur spectrale d'une source (sa cohérence) constitue un prolongement intéressant.

Nomenclature

Lampe spectrale mercure, diaphragme

Écran blanc.

Lanterne de TP, filtre interférentiel 546 nm.

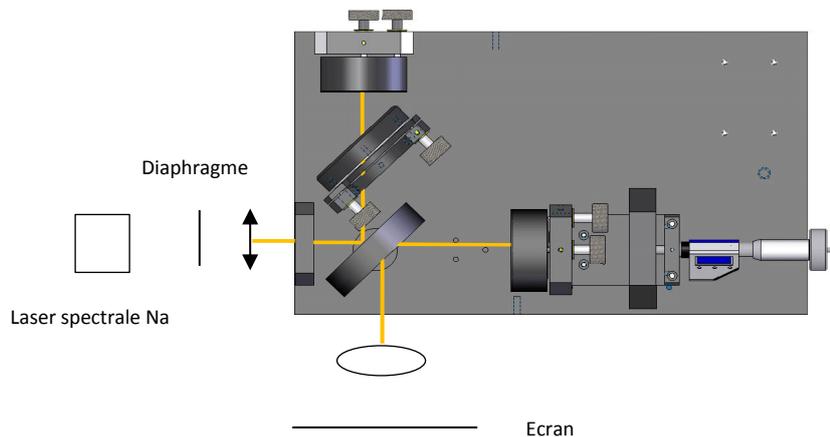
Afin de réaliser l'interférogramme (interféromètre motorisé) :

Lentille de $f = 25 \text{ cm}$, détecteur photodiode amplifié.

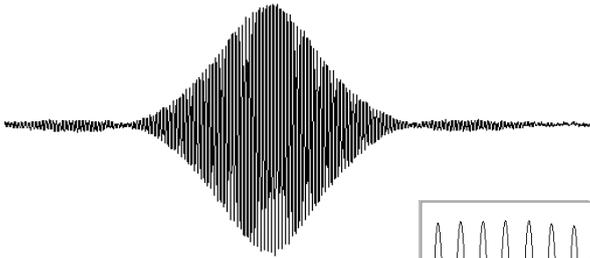
Ainsi qu'un système d'acquisition analogique 0-5V, ou oscilloscope à mémoire.

Mise en place, protocole

- Utiliser le montage habituel de l'interféromètre avec une source spectrale (voir loi en racine de N). Ce montage permettra de régler l'interféromètre au niveau de la teinte plate. Mettre en place à la sortie de l'interféromètre une lentille de focale 250 mm et projeter sur un écran placé à la distance focale.
- Dans un second temps, remplacer la lampe spectrale par la lanterne halogène. Retrouver la teinte plate.
- Placer le filtre interférentiel et sa monture entre la lanterne et l'interféromètre. Mettre en place le détecteur en remplacement de l'écran
- Vous devez constater que les anneaux ne sont présents que sur un champ de déplacement du miroir mobile relativement faible autour du contact optique.

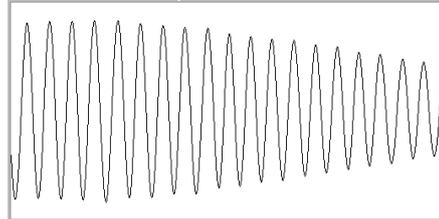


Mesure – enregistrement avec motorisation



Avancer le chariot mobile jusqu'à la position de contraste nul. Lancer le moteur et démarrer l'enregistrement (typiquement 2 minutes conviennent).

Vous devez obtenir un interférogramme semblable à celui ci-contre.



En mesurant la fréquence principale d'oscillation, vous pouvez en déduire la longueur d'onde centrale du filtre (voir expérience précédente).

La largeur spectrale du filtre est plus complexe à établir par une formule simple. Dans le principe, la lumière analysée est un continuum de longueurs d'onde centré sur la fréquence centrale du filtre interférentiel. Chaque constituant de ce continuum crée sa propre figure d'interférences. Ces multiples figures sont toutes en phase au contact optique et se décalent progressivement lorsque la différence de marche augmente. Après une différence de marche caractéristique, le contraste devient insignifiant.

La bande passante est donnée par la formule :

$$\Delta\lambda_{nm(bp)} = \lambda^2 / \text{Demi longueur du lobe central (nm parcourus)}$$

Typiquement, on obtient des résultats variant entre 3 et 15 nm fonction du filtre utilisé.

Remarque :

L'expérience que nous venons de réaliser consiste à créer une source lumineuse quasi monochromatique, et à l'analyser.

Cette démarche est donc identique à étudier la finesse spectrale d'une source, étroitement liée à sa longueur de cohérence.

Mesure d'une longueur de cohérence – enregistrement avec motorisation

Remplacer la lanterne par la lampe spectrale mercure haute pression. Le filtre interférentiel permet d'isoler la raie verte.

Régler l'interféromètre au niveau de la teinte plate, et réaliser un enregistrement sur une trentaine de minutes.

Vous obtenez une figure semblable à celle du filtre étalée dans le temps. La longueur parcourue entre la teinte plate et le contraste nul correspond à la longueur dite de cohérence. Cette longueur, ici de l'ordre du mm, est caractéristique à la source utilisée. Les lampes à haute pression émettent des raies larges (effet Doppler à l'intérieur de la source). Pour un laser, elle atteint environ 10 cm.

Principe

L'observation des spectres cannelés ouvre la voie à des expériences extrêmement esthétiques. Elle constitue également une synthèse mettant en jeu l'essentiel de la compréhension des phénomènes liés à l'interféromètre et plus généralement aux interférences lumineuses.

Le principe que nous proposons consiste à « dévoiler » les phénomènes d'interférences produits dans une source de lumière blanche, et à les analyser.

Nomenclature

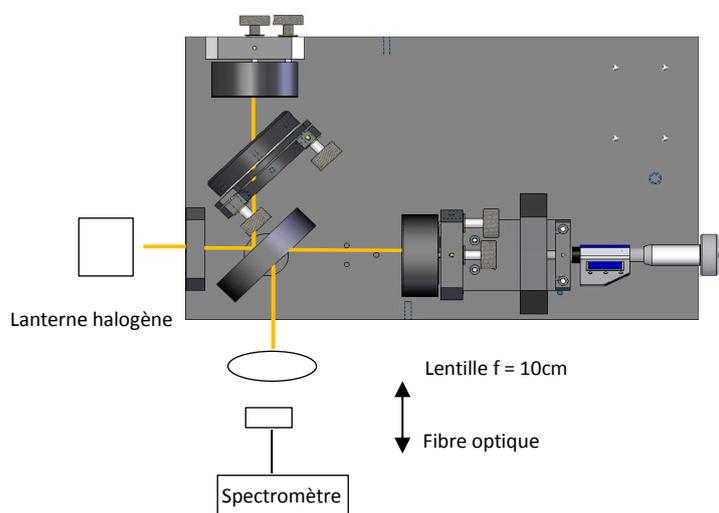
Écran blanc, lentille $f=10\text{ cm}$.

Fibre optique, prisme à vision directe ou spectromètre type SPECTROVIO.

Mise en place

L'éclairage de l'interféromètre est réalisé par l'intermédiaire de la lanterne halogène. La fibre optique d'analyse du spectromètre est placée au niveau de la focale de la lentille.

Afin de disposer du maximum de lumière sur la fibre optique, nous conseillons une lentille de focale 10 cm et une focalisation de la lanterne sur les miroirs



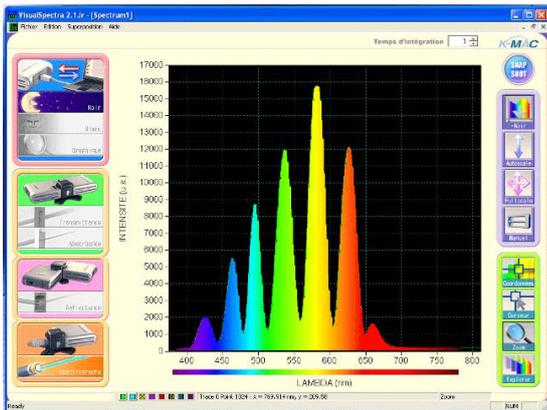
Protocole

Faire varier lentement la position de la mollette de translation du chariot, et observer l'effet sur le spectre. Lorsque la position est proche du contact optique, les teintes sont visibles à l'œil, et se traduisent par des oscillations lentes sur le spectre. Lorsque le miroir est plus éloigné, les oscillations sont plus rapides, la tâche est devenue blanche.

Ce blanc est un blanc dit d'ordre supérieur. Il se compose de pics marqués en longueur d'onde qui, mélangés, donnent un blanc uniforme.

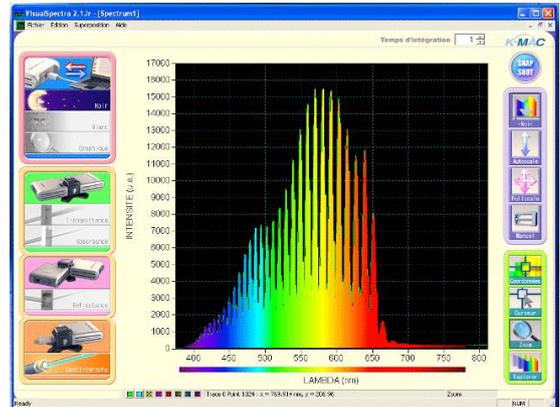
L'écart de deux pics par rapport à la longueur d'onde est une fonction linéairement croissante (mesure de la position des pics). Il est également possible de déduire de l'écart de deux pics la distance à la teinte plate.

L'interféromètre est un modèle OVIO 204 405, il est éclairé par une lanterne 201051 12V-75W. Dans cette expérience, on s'est rapproché du contact optique avec une source mercure 202565. On se propose d'aller vers la teinte plate, directement avec une lampe blanche, en observant les cannelures du spectre en plaçant l'extrémité fibre optique de Spectrovio dans le champ d'interférences.

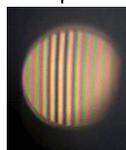
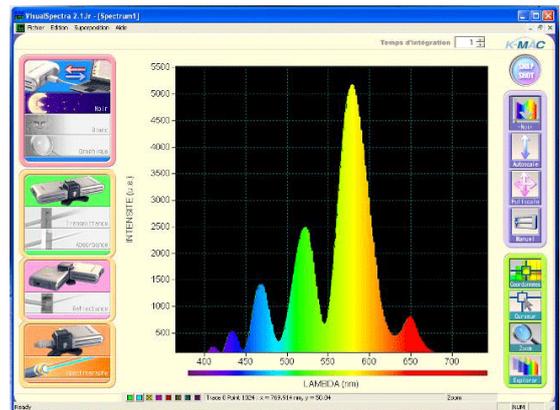


En « chariotant » dans le bon sens, les cannelures deviennent de plus en plus espacées. Elles deviendront « visibles » lorsque le spectre cannelé deviendra presque plat oscillant tantôt entre rouge et le bleu vert...

Le contact optique est atteint, les couleurs apparaissent. En donnant un léger angle, les franges du coin d'air en lumière blanches se forment. L'expérience est aisée, facilement reproductible, et très impressionnante !



Ci-dessus, les cannelures apparaissent, encore très serrées tant le contact optique est encore éloigné.



Au contact optique

Les expériences suivantes constituent des axes de recherche afin de vous proposer d'ici quelques temps des suggestions d'applications pour l'interféromètre.

Applications, contrôle de surface

Des applications seront proposées ultérieurement

Applications, effets thermiques

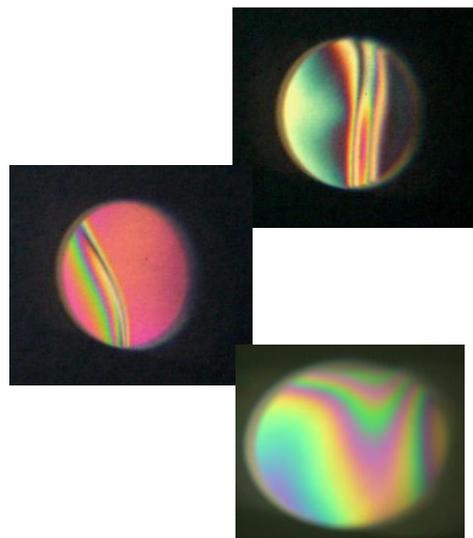
Des applications seront proposées ultérieurement

Applications, thermodynamique

Des applications seront proposées ultérieurement

Applications, aérodynamisme

Des applications seront proposées ultérieurement



Jet de gaz d'un briquet et, en bas, convection au voisinage d'une résistance parcourue par un courant.

Nous tenons à remercier les enseignants qui nous ont apporté leur soutien et leurs suggestions pour la mise au point de cette documentation. Nous vous invitons à nous contacter si vous souhaitez faire bénéficier les utilisateurs de vos éventuelles astuces, idées, expériences ...

www.ovio-optics.com

Obtenir des conseils, un devis, une demande de démo



> Service technico-commercial

Pour la Métropole
Tél : +33 (0)1 71 49 10 70
E-mail : optique@ovio-instruments.com
Web : www.ovio-optics.com

Pour l'International
Tél : +33 (0)1 71 49 10 70
E-mail : export@ovio-instruments.com

Commander, suivre une commande

> Administration des ventes

Passer une commande
Fax : +33 (0)1 30 44 25 40
E-mail : optique@ovio-instruments.com
Courrier : OVIO Instruments - Service Clients
468, rue Jacques-Monod
CS 21900, 27019 Evreux CEDEX France

Suivre une commande
Tél : +33 (0)1 71 49 10 70
E-mail : optique@ovio-instruments.com



Obtenir des conseils, un devis, une demande de démo



> Support technique, SAV

Tél : +33 (0)1 71 49 10 70
E-mail : SAV@ovio-instruments.com
Web : www.ovio-optics.com

Pour l'International
Tél : +33 (0)1 71 49 10 70

Attention : pour tout retour de matériel en SAV, merci de nous appeler au préalable.