

Pour trouver toutes les informations, des exemples d'applications, et la toute dernière version de ce document :  
sur Internet [www.ulice.com](http://www.ulice.com)

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

<b>INTERFEROMETRE MIC2-2, PREMIERE INSTALLATION</b>	<b>2</b>
NE SURTOUT PAS FAIRE...	2
CONTENU A LA LIVRAISON, POINTS A VERIFIER	3
<i>Eléments livrés</i>	3
<i>Contrôle des optiques</i>	3
<i>Contrôle de la mécanique</i>	4
MISE EN FONCTION	4
<i>Montage des pieds</i>	4
<i>Dé-blocage</i>	4
ENTRETIEN, STOCKAGE	5
<i>Stockage à brève échéance</i>	5
<i>Stockage de longue durée</i>	6
<i>Transport à longue distance</i>	6
<i>Entretien, visserie</i>	7
<i>Entretien, optique</i>	7
<b>DESCRIPTIF COMPLET</b>	<b>8</b>
PRINCIPE	8
<i>Généralités</i>	8
<i>Principe de l'appareil</i>	8
<i>Terminologie, cas réels</i>	9
MIC2-2, DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT	11
<i>Séparatrice, compensatrice</i>	12
<i>Miroir mobile, motorisation</i>	12
<i>Miroir fixe, réglage fin</i>	13
<i>Accessoires et filtre anti-calorique</i>	13
CONSEILS ET ENVIRONNEMENT D'UTILISATION	14
<i>Salle et table</i>	14
<i>Matériel annexe</i>	14
<i>Matériel optionnel, références ULICE</i>	14
<b>EXPERIENCES AVEC L'INTERFEROMETRE</b>	<b>16</b>
REGLAGE, METHODE AU LASER	16
REGLAGE, VISION DIRECTE	18
SOURCE DE RAIES, LAME D'AIR, COIN D'AIR	21
LES ANNEAUX, LOI EN $\sqrt{N}$	23
DOUBLET DU SODIUM, ANTI-COÏNCIDENCE	25
CARACTERISTIQUES D'UN FILTRE INTERFERENTIEL, COHERENCE	27
INTERFEROMETRIE PAR TRANSFORMEE DE FOURIER	29
SPECTRES CANNELES	31
APPLICATIONS, MESURE DE L'INDICE DE L'AIR	33
APPLICATIONS, CONTROLE DE SURFACE	34
APPLICATIONS, EFFETS THERMIQUES	34
APPLICATIONS, THERMODYNAMIQUE	34
APPLICATIONS, AERODYNAMISME	34

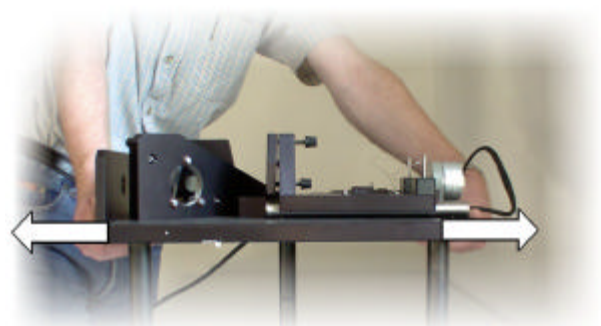
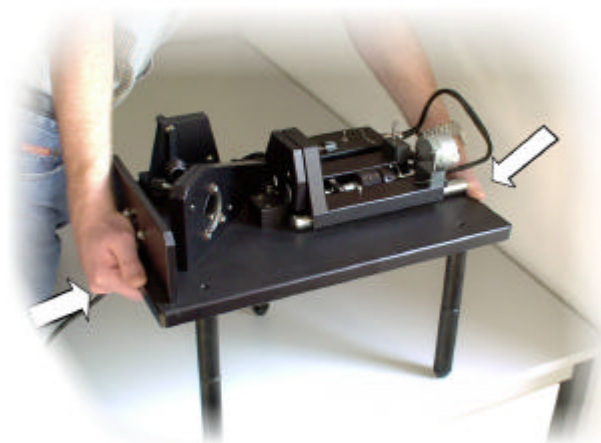
Remarque : un plan dépliant de l'interféromètre se trouve en dernière page de ce document

## Interféromètre MIC2-2, première installation

### *Ne surtout pas faire...*

L'interféromètre de Michelson permet de mesurer des distances inférieures à  $\frac{1}{4}$  de micromètre. Par définition, les composants de l'interféromètre 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. Tout déraillement du 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, câble électrique...) 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 ».
- Dans le cas d'un Michelson motorisé, ne jamais maintenir branché le moteur d'entraînement. En cas d'oubli dans la position marche, ce moteur (particulièrement lent et silencieux) peut, en limite de course, endommager la mécanique de l'appareil. Débrancher systématiquement le moteur en fin d'utilisation.



## 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 assuré d'une utilisation dans des conditions optimales, nous vous serions reconnaissant 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.

### Eléments livrés

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

- Interféromètre de Michelson MICH2-2
- Mallette d'emballage, stockage et transport
- Capot en matière plastique de protection
- Manuel de référence (ce document)
- Filtre anti-calorique diamètre 48 mm
- 3 pieds métalliques munis de bases caoutchoutées
- Kit de nettoyage des éléments optiques

### Contrôle des optiques

Enlever les rubans adhésifs de protection de part et d'autre des composants 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 telle celle livrée avec l'appareil. Le contrôle porte sur :

- Rayures ou 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).

*Tests et réparations : utiliser le kit de nettoyage fourni avec l'appareil conformément aux instructions de la section « Entretien Optique ». En cas d'observation suspecte, comme de dommage avéré, prévenir nos services.*

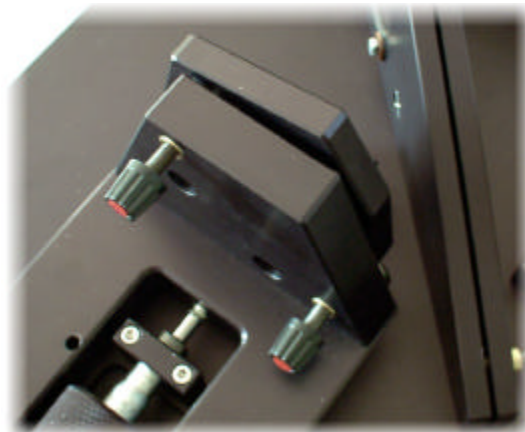
## Contrôle de la mécanique

La mécanique de réglage est prévue pour travailler dans les conditions habituelles des expériences. L'étape de transport de cet appareil justifie que vous réalisiez un contrôle de routine portant sur le bon positionnement de chacun des éléments mécaniques.

- Symptômes éventuels : déboîtement ou translation anormale d'une des pièce mécanique.

*Risque : dégradation partielle ou totale des possibilités de réglage ou de translation de l'appareil*

*Test et réparations : re-positionner correctement la pièce, et vérifier que les réglages sont toujours opérationnels (mise en position et retour en position d'origine). Un cas de déboîtement est présenté ci-contre. En cas d'observation suspecte comme de dommage avéré, prévenir nos services.*



## Mise en fonction

### Montage des pieds

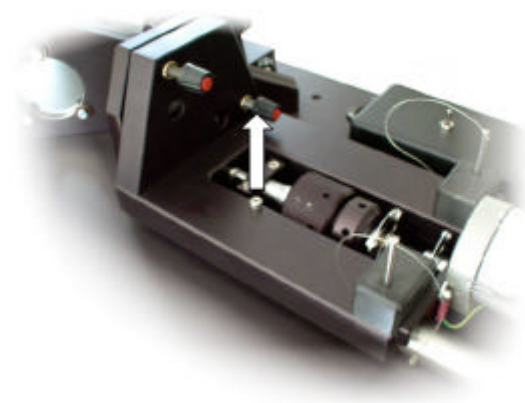
Le montage des pieds s'effectue depuis la face arrière de l'interféromètre.

Nous vous conseillons de procéder de la façon suivante :

- Poser l'interféromètre sur une table par dessus un support souple et léger (mousse d'emballage par exemple)
- Faire glisser l'interféromètre sur un des bords de façon à dégager l'un des taraudages de fixation
- Visser le premier pied
- Maintenir fermement l'appareil, et le faire glisser de façon à libérer un second taraudage
- Visser le second pied, préparer le 3<sup>ème</sup> pied
- Soulever l'appareil et le poser sur la table en le maintenant à l'horizontal
- Visser le 3<sup>ème</sup> pied

### Dé-blocage

Le transport de l'interféromètre à longue distance exige de maintenir en position le chariot de translation. Avant toute possibilité d'utilisation, il est nécessaire de débloquer la translation. Pour cela, dévisser la vis indiquée ci-contre (clé Allen).



## Entretien, stockage

### Stockage à brève échéance

Est appelé stockage à brève échéance des périodes de repos de l'appareil inférieures à des durées de l'ordre du mois. Ces conseils visent à maintenir la mécanique et l'optique protégées et dans une position d'usure mineure pendant cette période. Pour autant, nos suggestions se veulent rapides à mettre en œuvre.

A l'issu d'une période d'utilisation, nous conseillons :

- Mise au repos des lames ressort

*Agir sur les réglages du miroir fixe afin de mettre en position « légèrement tendus » les ressorts de réglage fin.*

*A éviter absolument : maintenir à pleine tension des lames ressort. Effet risqué en cas de non respect : relâchement progressif de la force de torsion (au cours des années).*



Desserrage complet (non requis)



Position préconisée



Tension maximale (à éviter en stockage)

- Débrayage du moteur

*Vérifier que le moteur est débrayé en fin d'utilisation. Un moteur embrayé en début d'expérience peut surprendre l'utilisateur et l'inciter à « forcer » les réglages. D'autre part, en cas d'oubli en position de marche sous tension, les dommages de fin de course sont évités.*

- Réglage à course intermédiaire du chariot de translation.

*Agir sur la mollette de translation afin de positionner à mi-course (environ 7 mm) le chariot de translation.*

*Effet risqué en cas de non respect : relâchement progressif de la force de rappel du chariot au cours des années.*

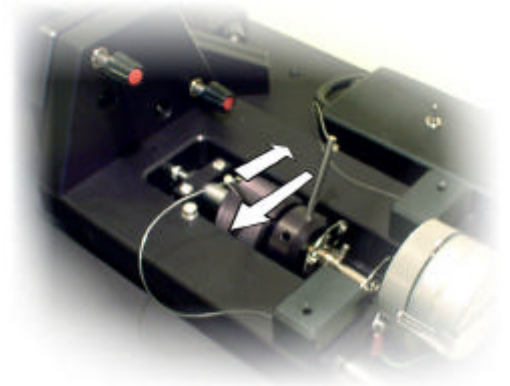
- Capotage de protection

*Placer le capot en plastique transparent sur l'interféromètre.*

*Effet risqué en cas de non respect : dépôt de poussière sur les optiques et sur la mécanique.*

- 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 lames ressort

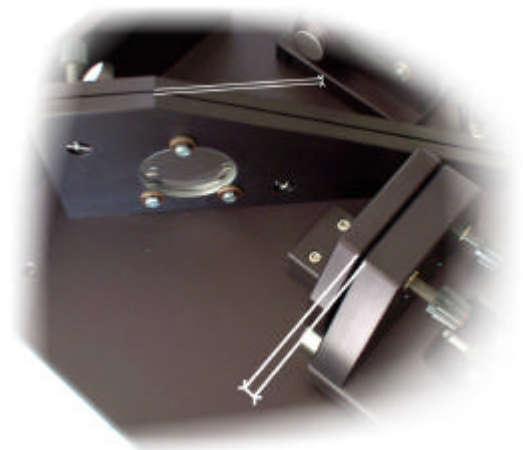
*Agir sur les réglages du miroir fixe afin de ne plus avoir de contact entre la vis de réglage et le ressort.*

- Mise au repos des ressorts de rappel

*Vérifier que les réglages de la compensatrice du miroir mobile ne placent pas les ressorts de rappel en position de tension maximale. Agir sur les différents réglages pour obtenir un écart de l'ordre du millimètre entre les éléments mobiles et ceux leur servant d'appui.*

- Réglage à course intermédiaire du chariot de translation.  
*Voir instructions relatives au stockage à brève échéance*
- Débrayage du moteur  
*Voir instructions relatives au stockage à brève échéance*
- Capotage de protection  
*Voir instructions relatives au stockage à brève échéance*
- Mise en position dans la mallette de stockage

*Dévisser les pieds (procédure inverse de celle décrite en section « Montage des pieds »).  
Mettre en position la sangle dans la mallette de stockage  
Déposer l'interféromètre dans la mallette selon les instructions ci-après.  
Fermer la mallette et veiller à la maintenir en position horizontale pendant toute la durée du stockage.*

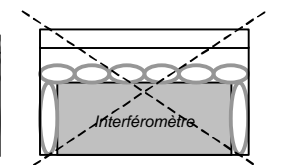
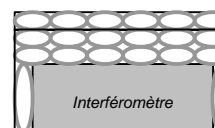
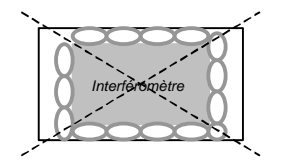
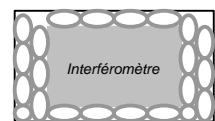
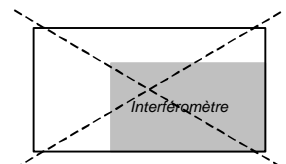
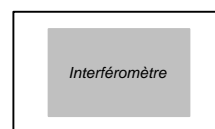


## Transport à longue distance

Attention, la mallette fournie ne constitue en aucun cas une protection efficace pour les transports assurés par les services postaux, ou par quel que transporteur que ce soit. Protéger dans ce cas 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. Nous vous invitons à nous contacter afin d'étudier les meilleures modalités de transport.

Ajouter aux conditions du stockage de longue durée :

- Verrouillage du chariot de translation  
*Procédure inverse à celle décrite en section « Mise en fonction »*
- 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 :

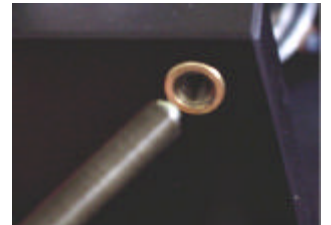
- Vis de réglage rapide du miroir mobile
- Vis de réglage fin du miroir fixe
- Vis de réglage de la compensatrice

L'entretien réclame les éléments suivants :

- Graisse de Vaseline
- 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 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.



La procédure d'entretien de la vis à translation micrométrique est plus complexe. Nous consulter pour diagnostiquer la méthode à employer.

## Entretien, optique

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.
- Ne jamais utiliser d'autres liquides ou papiers optiques de nettoyage que ceux prescrits par Ulice.



# Descriptif complet

## 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.



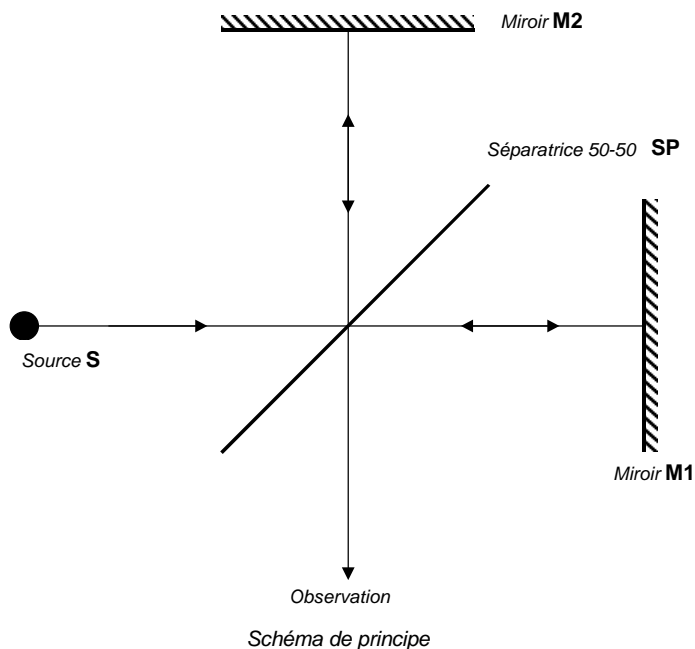
Le principe de l'interféromètre développé à cette occasion fut réutilisé, et trouve désormais des applications dans la spectrophotométrie par transformée de Fourier, le contrôle de surfaces, de planéité té...

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

Si vous disposez d'un accès à Internet, nous vous invitons également à consulter les liens indiqués sur notre site : [www.ulice.com](http://www.ulice.com) (rubrique Michelson).

### 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 réfléchiée au niveau de la séparatrice, l'autre la traversant. Ces deux voies se reflètent sur leur miroir respectif, et se recombinaent après un nouveau passage par la séparatrice.

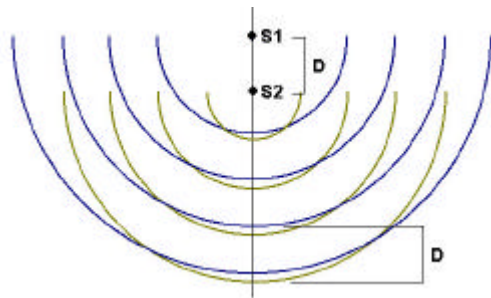
Pour l'observateur, les deux miroirs M1 et M2 apparaissent donc dans le champ de vision.

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.

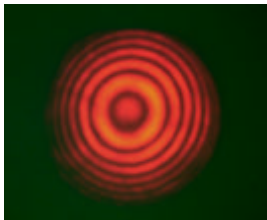


Lorsque l'on déplacera M1 (donc S1 d'une distance double - trajet de l'aller retour entre la position d'origine et la nouvelle position), les deux ondes ne seront plus identiques, que ce soit :

- 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 demie période.



Une superposition complète sera source d'interférences constructives, un décalage d'une demie 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

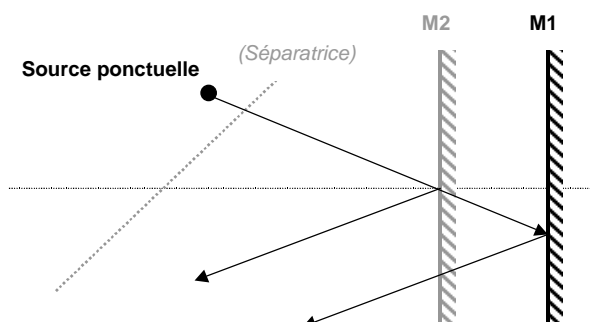
Ces propriétés géométriques sur la forme des figures d'interférences permettront de tirer des propriétés extrêmement précises sur la nature de la source ou de la valeur du déplacement D.

## 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

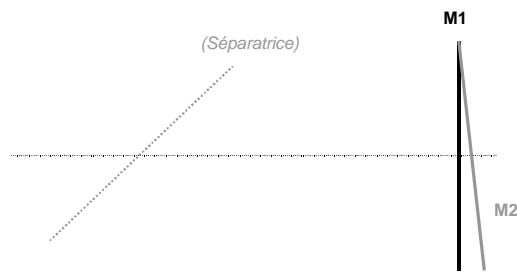


Lorsque M1 est strictement parallèle à la projection de M2, un même angle d'incidence correspondra toujours à la même différence de marche en sortie de l'interféromètre.

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.

## Ca 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...

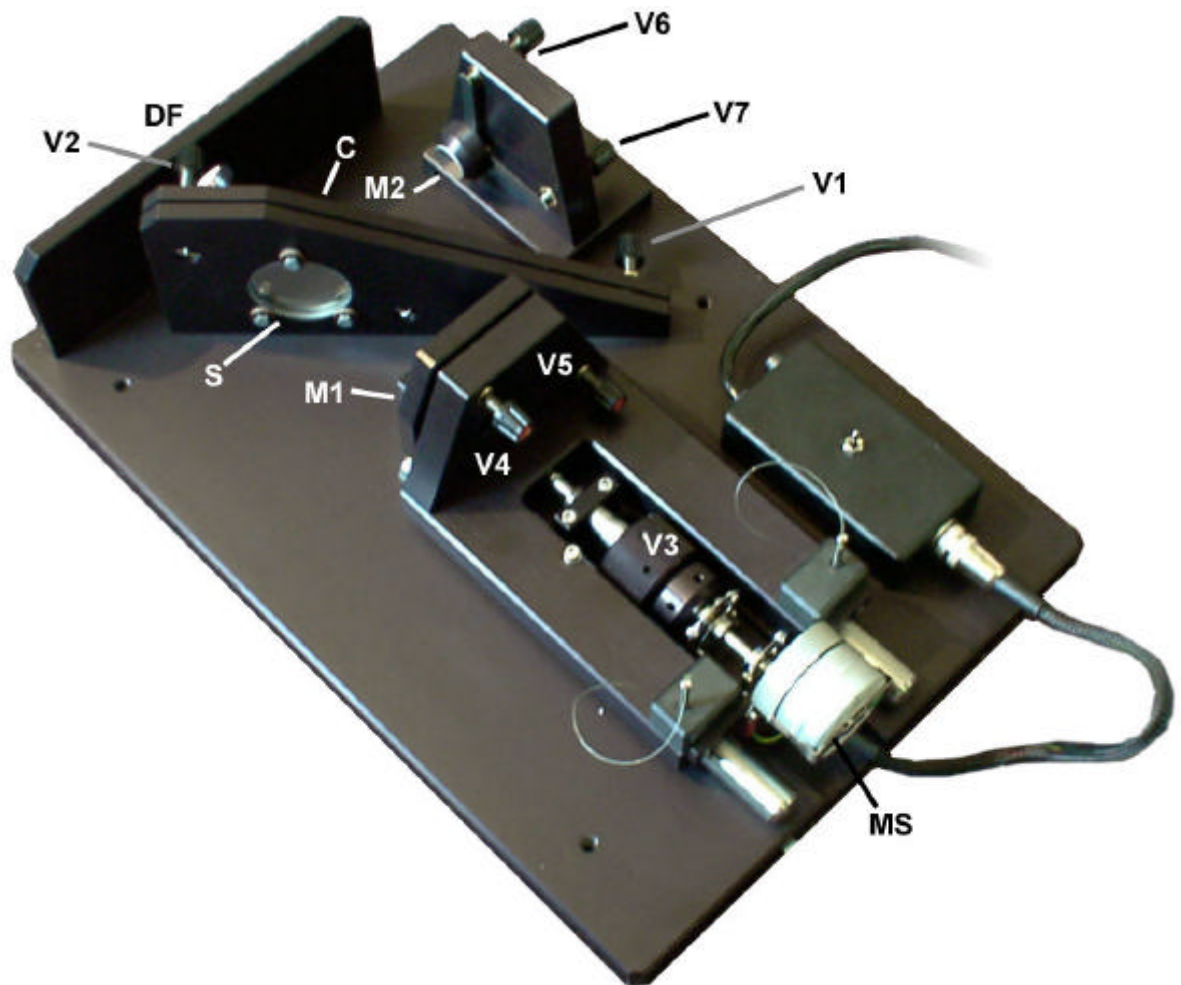
## Dans le cas d'une source étendue :

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.

## MIC2-2, description et fonctionnement

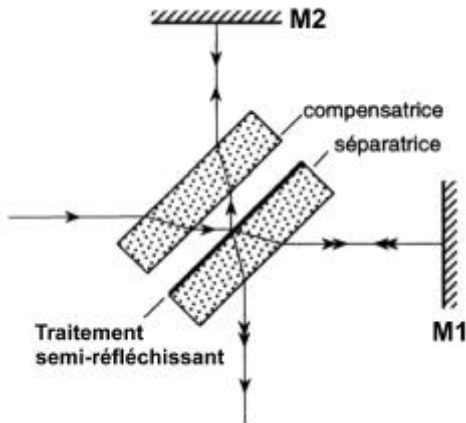
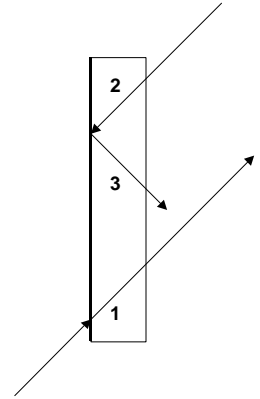


- DF : Diaphragme et support de filtre
- C : Compensatrice
  - V2 : réglage vertical de la compensatrice
  - V1 : réglage horizontal de la compensatrice
- S : Séparatrice
- M1 : Miroir mobile
  - V4 : Réglage vertical rapide
  - V5 : Réglage horizontal rapide
- V3 : Translation micrométrique du miroir mobile – embrayage moteur
- MS : Moteur Synchrone
- M2 : Miroir fixe (de référence)
  - V6 : Réglage vertical fin
  - V7 : Réglage horizontal fin

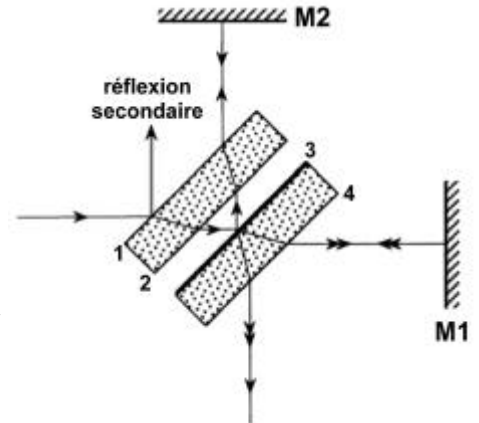
## Séparatrice, compensatrice

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.



La traversée de chaque dioptre 1,2,3 et 4 engendre une réflexion et une transmission. Si la réflexion en 3 est de 50%, en 1, 2 et 4 elle est d'environ 4%. Ces réflexions secondaires seront utilisées en phase de réglage. Elles donnent une indication de la position respective de la compensatrice par rapport à la séparatrice, facilitant ainsi le réglage.



## Miroir mobile, motorisation

Le miroir mobile M1 est orienté par deux vis V4 et V5 qui poussent le support de miroir. Ces deux vis sont utilisés dans toutes les phases de réglages préliminaires. Le contact vis-support est direct, le réglage est rapide.

La motorisation de l'interféromètre est constituée d'un moteur synchrone démultiplié. Le chariot peut être embrayé au moteur, ou laissé en position de déplacement manuel. L'arbre du moteur parcourt 2 flectors et s'embraye par serrage d'une noix en laiton entre deux mollettes.

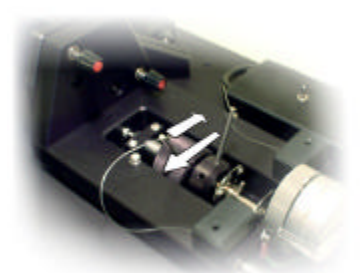
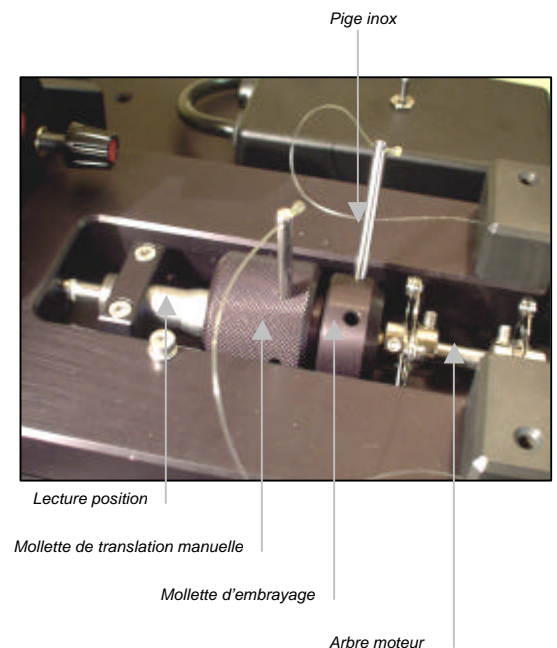
### Embrayage / Débrayage

Pour embrayer le moteur, procéder comme suit :

- Visser la mollette d'embrayage jusqu'au contact avec la mollette de translation manuelle.
- Positionner les deux piges dans chacune des mollettes, et effectuer le serrage (l'effet en est de rendre une noix en laiton interne « entraînant » pour le chariot – un serrage moyen suffit).
- Remettre les piges en position d'origine. Le moteur est couplé au chariot.

Le débrayage du moteur s'effectue en utilisant la procédure d'embrayage à l'envers.

*Remarque, une fois la mollette d'embrayage juste desserrée, le moteur n'entraîne plus le chariot. Il n'est pas nécessaire de la dévisser davantage.*



### Caractéristiques du moteur

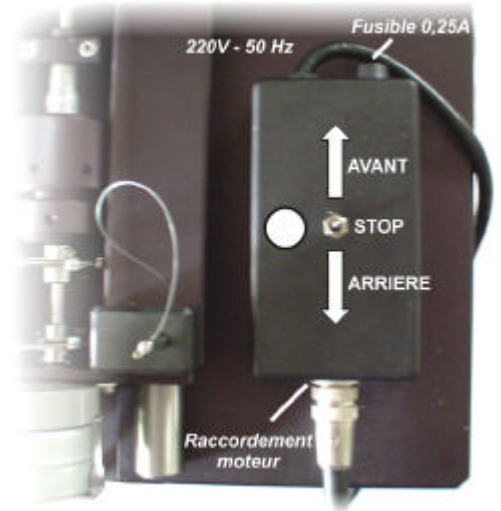
Le moteur effectue **un tour en un quart d'heure** (900 secondes), soit une translation du miroir de **0,555  $\mu\text{m}$  par seconde**.

### 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 –  $V=-0,555 \mu\text{m} / \text{sec}$ .

Lors de la mise en marche, la compensation des jeux internes peut demander quelques secondes avant que l'entraînement soit effectif.

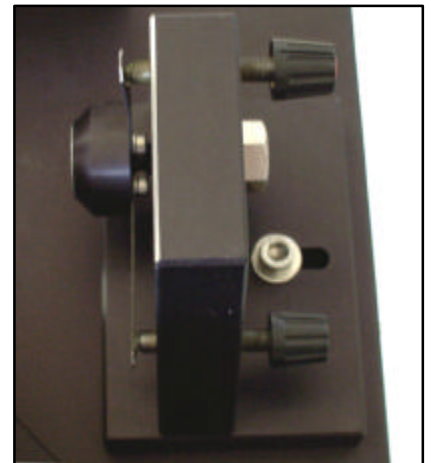


### Miroir fixe, réglage fin

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 torsion de lames à effet ressort applique une contrainte sur l'embase particulièrement fine du miroir. La torsion qui en découle permet un ajustement très précis.

Avant un réglage rapide, vérifiez que les lames ressort sont dans une position intermédiaire, à même de se tendre ou de se détendre.



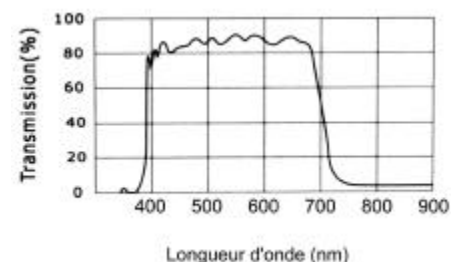
### Accessoires et filtre anti-calorique

L'interféromètre est livré avec un porte filtre destiné notamment à recevoir un filtre anti-calorique. Ce type de filtre a 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.

Pour procéder au montage du filtre, dévisser à mi-course les 3 vis de fixation, placer le filtre entre le métal et les rondelles d'isolement, et revisser.

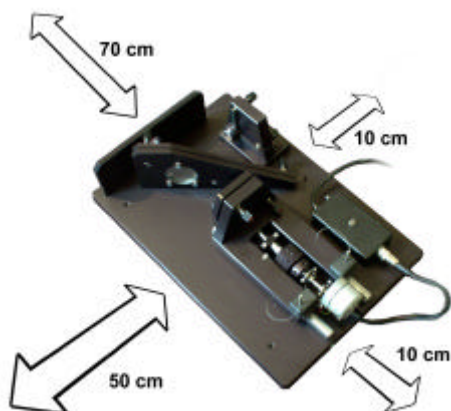


*Remarque : les filtres anti-caloriques antérieurs à 2002 sont des filtres à bande large, qui laissent passer les infra-rouges proches (sans danger). Afin de faciliter les enregistrements à partir de détecteurs optoélectroniques (souvent sensibles aux infra rouges proches), ULICE livre désormais des filtres à bande « restreinte » conformes à la transmission indiquée ci-contre.*



## Conseils et environnement d'utilisation

### Salle et table



Comme toute expérience d'optique, nous recommandons 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.

Les dimensions d'installation requises sont indiquées ci-contre. Il s'agit de dimensions minimales.

### 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)

### Matériel optionnel, références ULICE

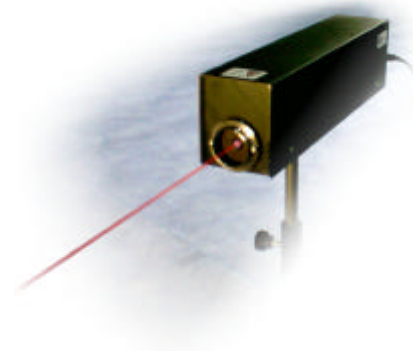
Les références suivantes seront rappelées lors des suggestions d'expériences. Elles concernent du matériel prévu pour travailler avec l'interféromètre, et compatible avec la plupart des matériels d'optique conventionnels. Si vous souhaitez de plus amples renseignements sur ce matériel ou consulter la dernière version de cette liste, nous vous invitons à nous contacter, ou à visiter notre site Internet <http://www.ulice.com>

#### Bancs

- *KP\_100 / Banc prismatique et cavaliers 1 m*
- *KP\_50 / Banc prismatique et cavaliers 0,5 m*
- *PP\_LH / Cavalier pour banc prismatique*
- *PP\_TR2 / Cavalier à translation latérale pour banc prismatique*

#### Sources lumineuses

- *AM\_HN / Laser Helium Néon Classe II*
- *LS\_KNB / Lampe spectrale et alimentation Sodium basse pression*
- *LS\_KHH / Lampe spectrale et alimentation Mercure haute pression*
- *LS\_K50 / Lampe Halogène collimatée 50W basse tension*





### Accessoires

- AM\_EHN / Lentille courte focale et support pour extension de faisceau laser
- AM\_DIA / Support universel pour lentilles et composants optiques
- AM\_KLM / Jeu de lentilles pour l'interféromètre
- AM\_SUP / Support de composants (de 2 à 10 cm de diamètre)
- AM\_KOD / diaphragme, ouverture de 1 à 25 mm, monté
- AM\_F436 / Filtre interférentiel 436 nm
- AM\_F546 / Filtre interférentiel 546 nm
- AM\_F578 / Filtre interférentiel 578 nm
- AM\_F589 / Filtre interférentiel 589 nm
- AM\_EB1 / Ecran blanc 20x23 cm métallique

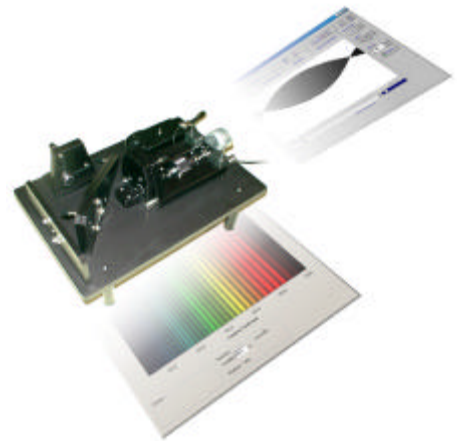


### Accessoires dédiés à l'interféromètre

- MIC\_KCU / Ensemble cuve à vide pour mesure de l'indice de l'air

### Détecteurs

- AM\_DLUX / Photodiode étalonnée, 2 niveaux de gain, filtrage secteur
- OP\_1002 / Caméra CCD linéaire et logiciel
- CAL\_FILTRES / polariseurs et filtres pour caméra CCD
- SPD\_HR / Spectromètre temps réel SPID-HR





## Expériences avec l'interféromètre

Toutes les images figurant dans cette documentation sont obtenues en conditions réelles. La physionomie exacte des figures dépend en revanche du matériel utilisé, du rendu de la chaîne des couleurs (appareil photo, éclairage, écran ou imprimante) ainsi que des réglages de votre interféromètre.

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 quand aux observations (vision sur écran), la méthode par vision directe est plus universelle mais nécessite une concentration 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

AM_HN	1	AM_EB1	1	AM_EHN	1	KP_050	1
-------	---	--------	---	--------	---	--------	---

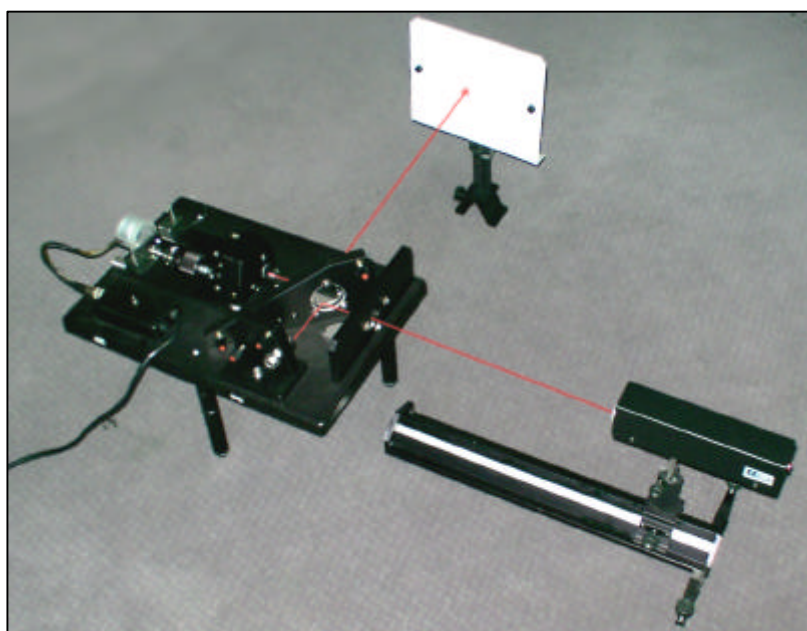
#### Mise en place

Utiliser la configuration ci-contre.

Le laser est positionné à la même hauteur que l'interféromètre, le faisceau passe par les miroirs en leur centre.

Sur l'écran apparaissent plusieurs points issus des réflexions multiples du laser au cours de sa traversée de l'interféromètre.

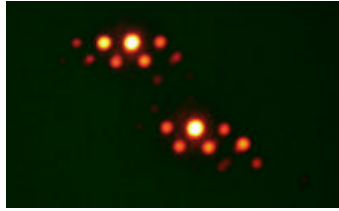
Afin de s'assurer que la configuration de départ est bien quelconque, nous vous conseillons de dérégler volontairement les vis de la séparatrice et du miroir mobile



## Protocole de réglage

### *Alignement des axes*

Etape 1



Les réflexions multiples se situent autour de deux groupes, chacune des 2 tâches les plus brillantes étant issue de l'un des miroirs. Pour s'en assurer, occulter avec un morceau de papier chacune des voies à tour de rôle.

Etape 2



Recentrer la compensatrice afin de regrouper sur une ligne les réflexions multiples. Pour cela, agir sur le réglage vertical.

Etape 3



Agir sur le réglage horizontal pour superposer les réflexions multiples. A ce niveau, la compensatrice est réglée et ne doit donc plus être touchée.

Etape 4



Ajuster la position du miroir mobile (réglage horizontal) afin que les deux voies optiques soient verticalement alignées.

Etape 5



Agir maintenant sur le réglage vertical afin de superposer aussi parfaitement que possible les deux groupes. Si-besoin, ajuster la position horizontale.

### *Obtention de la teinte plate*

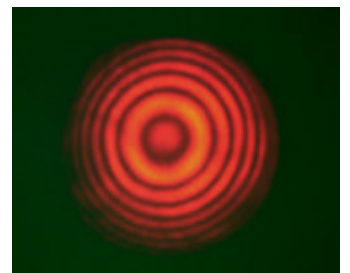
Intercaler entre le laser et l'interféromètre la lentille d'extension du faisceau. Ajuster la position de la lentille afin que la tâche soit centrée sur les miroirs. Ce réglage est délicat.

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.

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



## Réglage, vision directe

### Principe

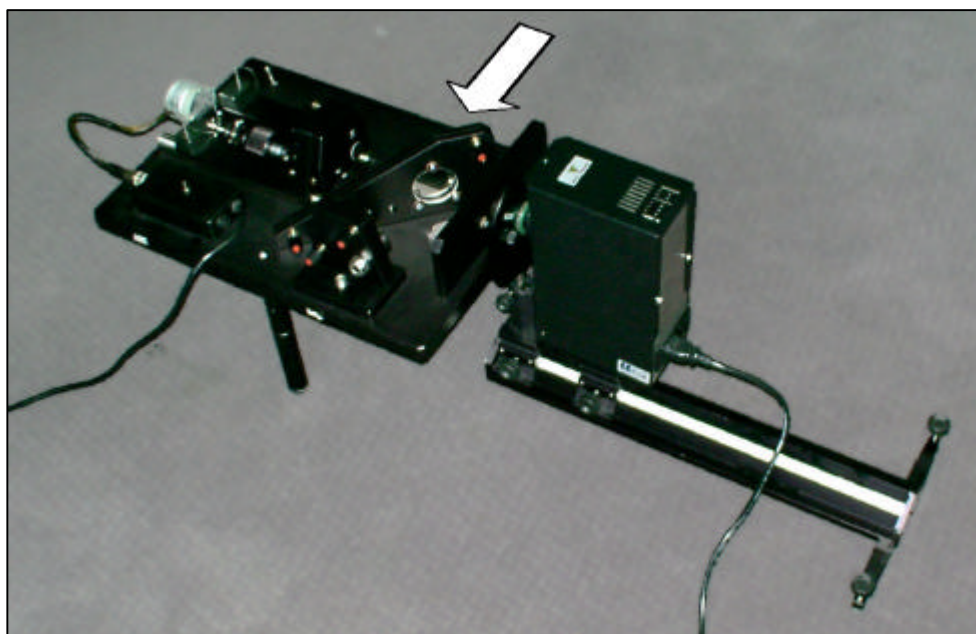
A partir d'une source de raies, cette méthode permet d'utiliser l'œil en vision directe. Elle suit d'assez près la démarche permettant d'obtenir la description théorique de l'interféromètre. La démarche séquentielle reste identique à la méthode au laser.

### Nomenclature

LS_KHH	1	AM_KOD	1	KP_050	1
--------	---	--------	---	--------	---

Optionnellement : filtre interférentiel vert à 546 nm / AM\_F546

### 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 dépoli ou feuille de papier.

### Attention :

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

- Filtre anti-UV

ET / OU

- Filtre anti-calorique ULICE 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



Les réflexions multiples se situent autour de deux groupes, chacune des 2 tâches les plus brillantes étant issue de l'un des miroirs. Pour s'en assurer, occulter avec un morceau de papier chacune des voies à tour de rôle.

Etape 2



Recentrer la compensatrice afin de regrouper sur une ligne les réflexions multiples. Pour cela, agir sur le réglage vertical.

Etape 3



Agir sur le réglage horizontal pour superposer les réflexions multiples. A ce niveau, la compensatrice est réglée et ne doit donc plus être touchée.

Ajuster la position du miroir mobile (réglage horizontal) afin que les deux voies optiques soient verticalement alignées.

Etape 4



Agir maintenant sur le réglage vertical afin de superposer aussi parfaitement que possible les deux groupes. Si-besoin, ajuster la position horizontale.

### **Obtention de la teinte plate**

*Remplacer le diaphragme* par un dépoli, ou un morceau de papier. Dans ce cas, la source n'est plus ponctuelle. Observer alors le résultat. L'œil va effectuer une mise au point sur le miroir, lieu de localisation des 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 (il 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, translatez le tête latéralement, et vérifiez que des anneaux n'apparaissent pas sur l'un des bords. Dans ce cas, maintenez cette position, et ajustez 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

AM_HN	1	AM_EB1	1	AM_EHN	1	KP_050	1
LS_KHH	1	AM_KOD	1	KP_100	1	AM_SUP	1
Lent. F100	1	Lent. F500	1				

Optionnellement : filtre interférentiel vert à 546 nm / AM\_F546, lanterne 50W LS\_K50

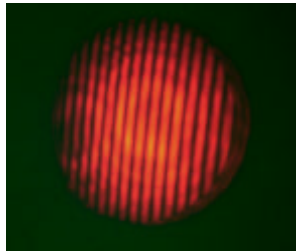
### Mise en place

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

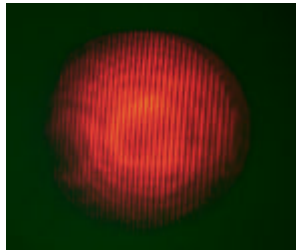
#### Observation au laser

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

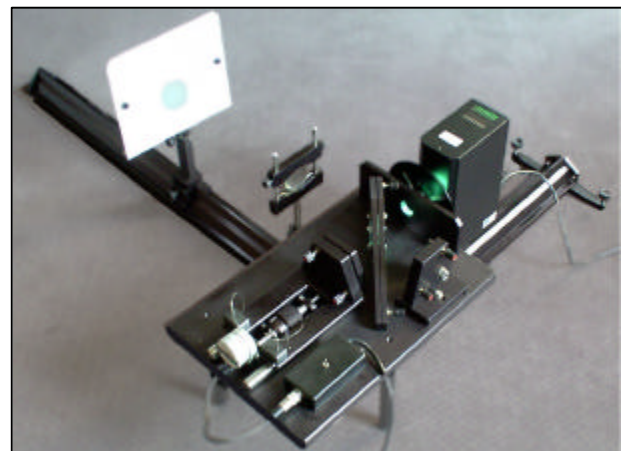
Réaliser le montage suivant :

- Sur un banc de 0,5 m est 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.



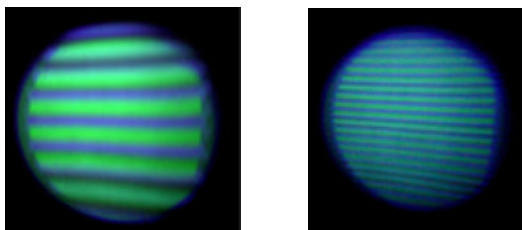


En ajoutant la lentille, et en plaçant l'écran dans le plan focal, les anneaux réapparaissent, et ce sur tout le voisinage (ordre de grandeur de 1 mm) du contact optique. A une inclinaison donnée, correspond une différence de chemin optique donnée.

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 antiprincipaux).

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.

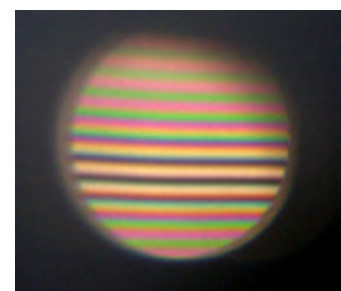


*Interférences de coin d'air, 2 inclinaisons distinctes de miroir.*

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 en $\sqrt{N}$

### Principe

Vérifier la théorie de constitution des anneaux d'égale 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

AM_EB1	1	AM_SUP	1	KP_050	1	
LS_KNB	1	AM_KOD	1	KP_100	1	KP_100 1

Afin de réaliser de conserver une trace des résultats, nous vous conseillons l'utilisation du détecteur CCD Caliens.

Lent. F250	1	OP1002	1	CAL_FILTRES	1
------------	---	--------	---	-------------	---

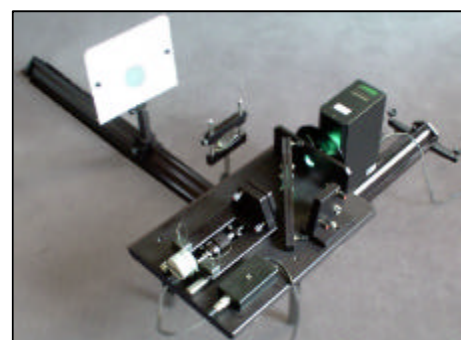
Dans le cas contraire (mesure sur écran), utiliser de préférence une lentille de focale plus longue.

Lent. F500	1
------------	---

### 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.

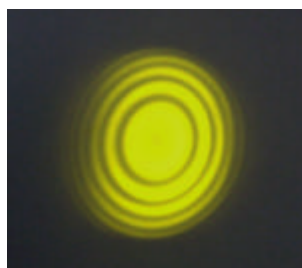
*Remarque : l'essentiel de l'émission visible du sodium est rassemblée dans deux longueurs d'onde très proche. Ce doublet va être à la source d'un phénomène de modulation du contraste. Il est donc normal que le contraste des anneaux passe par un maximum et s'annule régulièrement. Cette propriété sera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



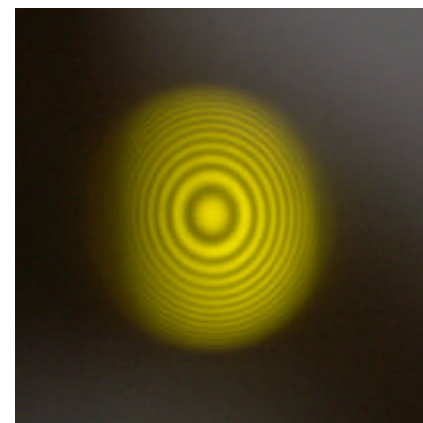
### Protocole

#### Mesure

Après réglage, on obtient assez 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 CCD CALIENS munie uniquement de deux polariseurs.

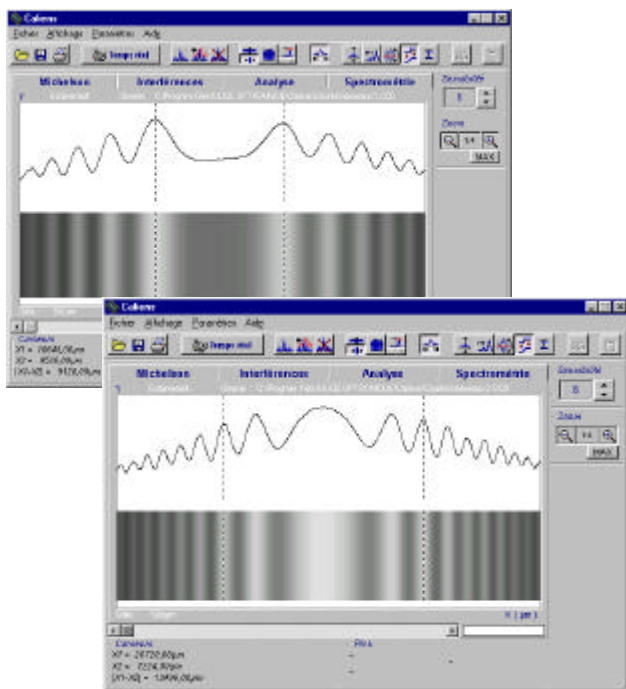
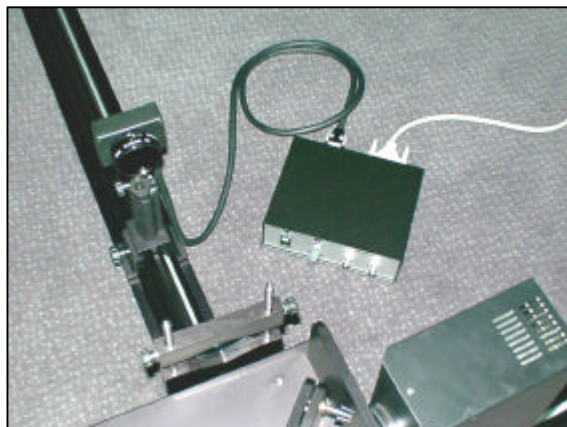


Deux photos des anneaux, à épaisseur de lame d'air différente et contraste maximum



**Caméra CCD**

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	à l'ordre 1	
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

AM_EB1	1	AM_SUP	1	KP_050	1
LS_KNB	1	AM_KOD	1	KP_100	1

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

Lent. F250	1	AM_DLUX	1
------------	---	---------	---

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

ou

Lent. F250	1	OP1002	1	CAL_FILTRES	1
------------	---	--------	---	-------------	---

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

Lent. F500	1
------------	---

### 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.
- Tourner légèrement la mollette afin d'obtenir la première annulation du contraste. Noter aussi précisément que possible la position.
- Continuer à charioter, et relevez chaque position d'annulation du contraste.

*A quoi cela correspond t-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
5,79 mm	6,18 mm	6,48 mm	6,75 mm	7,06 mm	7,35 mm	7,64 mm

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  $1/1000^{\text{ème}}$ , soit 0,6 nm en première estimation.

### Mesure – enregistrement avec motorisation

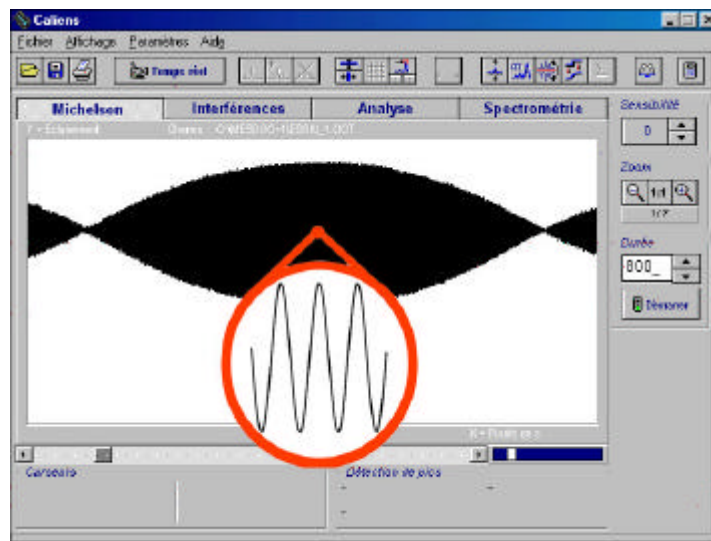
Pour accéder simplement à la mesure de la longueur d'onde, nous allons utiliser maintenant un système d'enregistrement d'interférogrammes. Dans le principe, nous allons traduire à vitesse parfaitement régulière et connue le miroir mobile, et enregistrer les variations de lumière en un point donné. Il 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 caméra CCD ou 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 nm (AM\_F589), soit le filtre anticalorique livré avec l'appareil (modèle postérieur à janvier 2002).

L'enregistrement minimum dure un quart d'heure.



La mesure de la période moyenne de la quasi sinusoïde 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 demie 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 (AM\_F578). Ce doublet, plus séparé, sera plus rapide à enregistrer (environ 200 oscillations par fuseau). De plus, le spectromètre SPID\_HR placé dans le champ de sortie de l'interféromètre permet l'observation de l'opposition de phase du doublet (en fonction de la position du chariot mobile : au niveau du contraste nul, on observe que l'une des longueurs d'onde interfère positivement alors que l'autre est détruite, et au niveau du contraste maximum, les deux pics sont parfaitement en phase l'un avec l'autre).

## 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

LS_KHH	1	AM_KOD	1	KP_100	1
AM_EB1	1	AM_SUP	1	KP_050	1
LS_K50	1	AM_DIA	1	AM_F546	1

Afin de réaliser l'interférogramme (interféromètre motorisé) :

Lent. F250	1	AM_DLUX	1
------------	---	---------	---

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

ou

Lent. F250	1	OP1002	1	CAL_FILTRES	1
------------	---	--------	---	-------------	---

### 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.

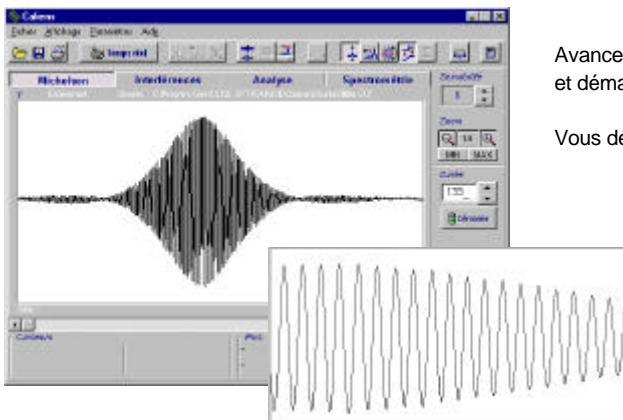
Dans un second temps, remplacer la lampe spectrale par la lanterne halogène. Retrouver la teinte plate.

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 :

$$\Delta\lambda_{nm(bp)} = \lambda_0^2 / \text{Demie longueur du lobe central (nm parcourus)}$$

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 large (effet Doppler à l'intérieur de la source). Pour un laser, elle atteint environ 10 cm.

## Interférométrie par transformée de Fourier

### Principe

Les analogies de calcul entre les techniques d'interférométrie et l'outil de la Transformée de Fourier vont donner à l'interprétation des résultats de l'interféromètre un aspect systématique très appréciable.

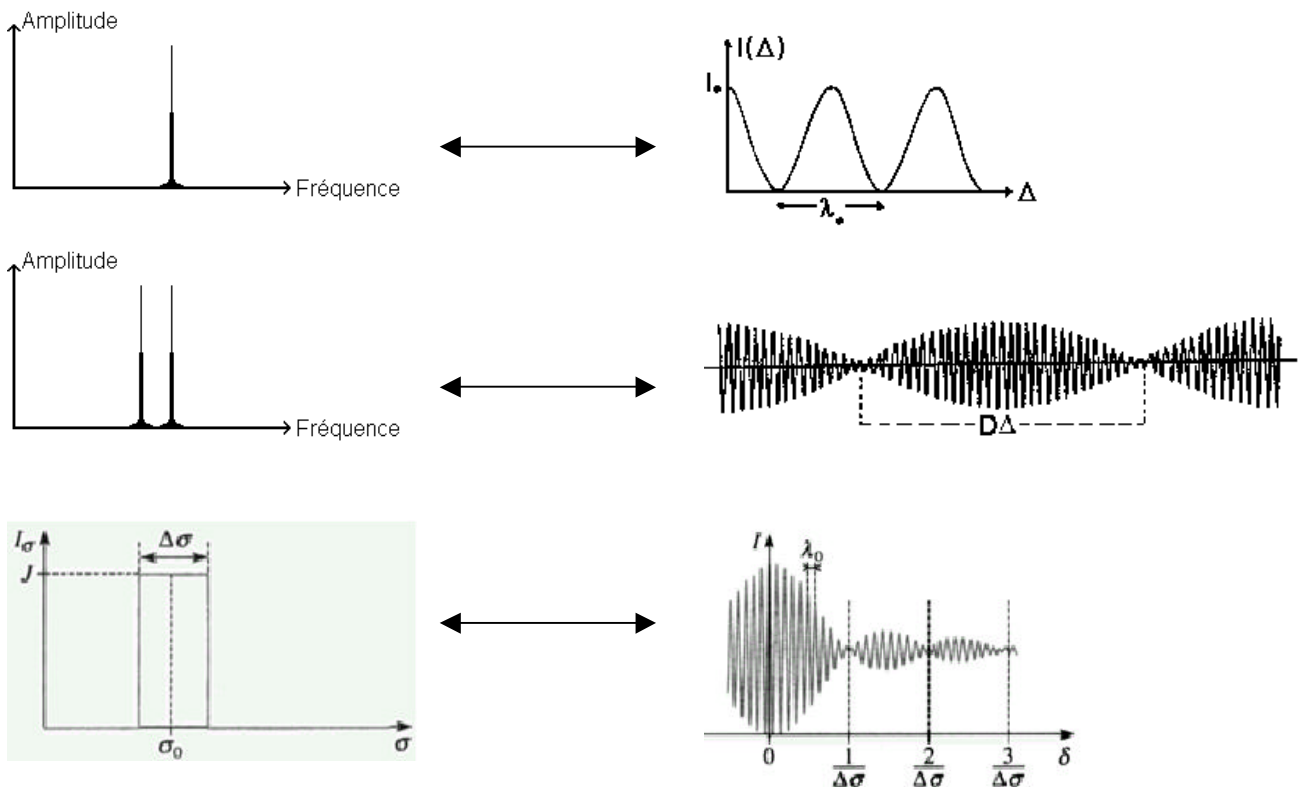
La transformée de Fourier ne change pas la nature des observations. Elle a pour principal intérêt dans notre application de simplifier grandement l'interprétation et l'exploitation des résultats. Ainsi, une gaussienne modulée par une sinusoïde se traduira immédiatement en une gaussienne centrée sur la fréquence donnée (longueur de cohérence), un sinus cardinal modulé une sinusoïde par une fonction « porte » (filtre)...

*Remarque :*

*L'interféromètre de Michelson dont vous disposez n'est pas destiné à devenir un spectromètre à transformée de Fourier. Ce type d'appareil nécessite de connaître encore plus précisément que cela est fait ici la position exacte du miroir mobile à chaque instant. Par conséquent, nous vous proposons ici uniquement une introduction aux phénomènes.*

L'expérience que nous proposons consiste à analyser deux sources par transformée de Fourier : une bien connue constituée par le laser, et une autre, composée de plusieurs raies (source mercure haute pression). Dans le premier cas, l'interférogramme est simple et connu, dans le second, il paraît à première vue « inexploitable ».

### Quelques résultats utiles :



### Nomenclature :

AM_HN	1	AM_EB1	1	AM_EHN	1	KP_050	1
LS_KHH	1	AM_KOD	1	KP_100	1	AM_SUP	1
Lent. F250	1						

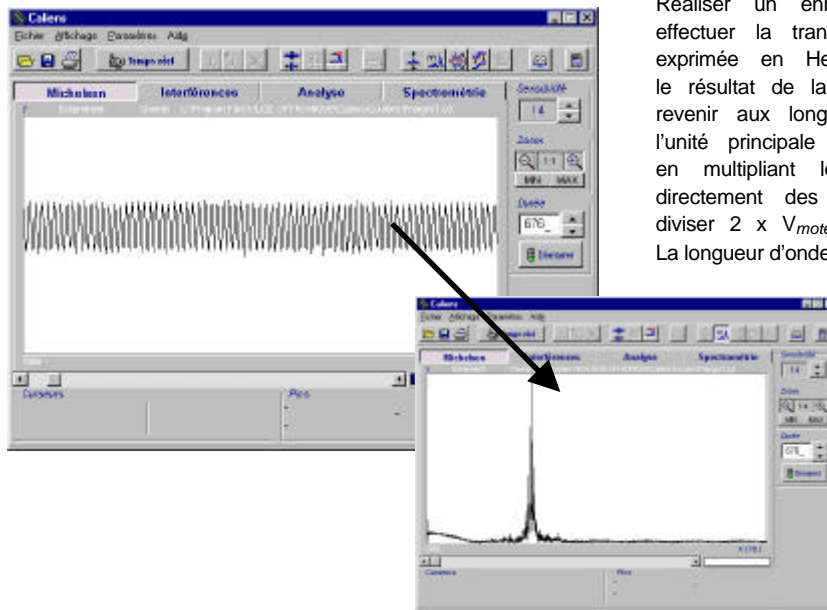
Système d'enregistrement obligatoire et pourvu d'une possibilité de calcul de la transformée de Fourier.

AM_DLUX	1	<b>ou</b>	OP1002	1	CAL_FILTERS	1
---------	---	-----------	--------	---	-------------	---



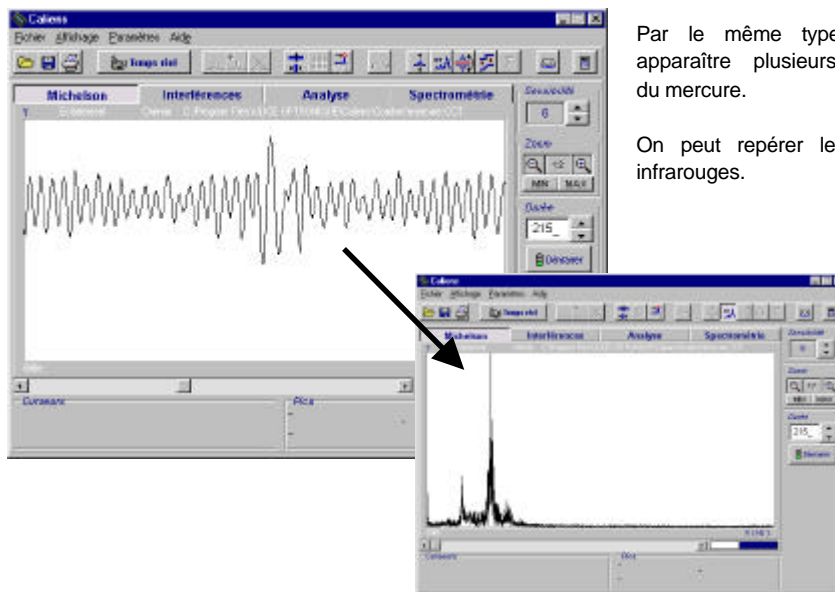
### Mise en place, protocole

Mettre en place le même montage que celui utilisé pour visualiser la lame d'air avec le laser (3<sup>ème</sup> expérience). Placer le détecteur à la focale de la lentille (anneaux).



Réaliser un enregistrement en lumière laser (motorisation), et effectuer la transformée de Fourier. Mesurer la raie principale, exprimée en Hertz (l'enregistrement est effectué en secondes, le résultat de la TF est en unité inverse, soit des Hertz). Pour revenir aux longueurs d'onde, il faut simplement considérer que l'unité principale est en fait une différence de marche obtenue en multipliant les secondes par  $2 \times V_{moteur}$ . Pour obtenir directement des longueurs d'onde en nanomètres, il suffit de diviser  $2 \times V_{moteur}$  par la fréquence mesurée (adapter les unités). La longueur d'onde approchée du laser est 633 nm.

Remplacer maintenant le montage laser par la lampe spectrale mercure. Positionnez vous au niveau de la teinte plate, et réaliser un enregistrement pendant environ 2 minutes.



Par le même type d'observations, la transformée de Fourier fait apparaître plusieurs pics issus des différentes longueurs d'onde du mercure.

On peut repérer les raies à 546 et 436 nm, et parfois des raies infrarouges.

Remarques :

- La méthode décrite est applicable dans le principe à plusieurs autres expériences, notamment la largeur et la fréquence centrale d'un filtre.
- Le système proposé ne permet pas à lui seul de mesurer des longueurs d'onde avec des résolutions meilleures que quelques nanomètres. Ceci exclu notamment la mesure par cette méthode du doublet du sodium, et rend difficile à résoudre celui du mercure. Afin d'améliorer considérablement la précision du système, il est conseillé d'utiliser deux voies d'enregistrement : l'une servant de référence avec un laser He-Ne par exemple, et l'autre étant celle de mesure. Cette méthode, développée par un établissement parisien, est en l'état de nos connaissances celle qui s'applique le mieux à cette classe d'interféromètres. Elle nécessite cependant une mise au point délicate.

## Spectres cannelés

### 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 :

LS_K50	1	AM_EB1	1	Lent. F100	1	AM_SUP	1
AM_DIA	1	SPD_HR	1				

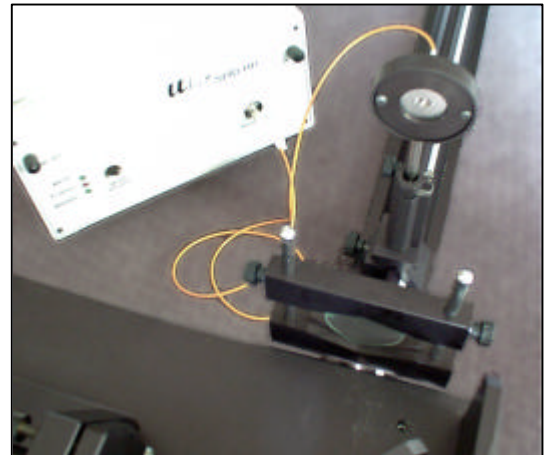
Le spectromètre SPID-HR peut être remplacé pour des expériences uniquement qualitatives par un prisme à vision directe ou un montage spectrométrique élémentaire.

### Mise en place

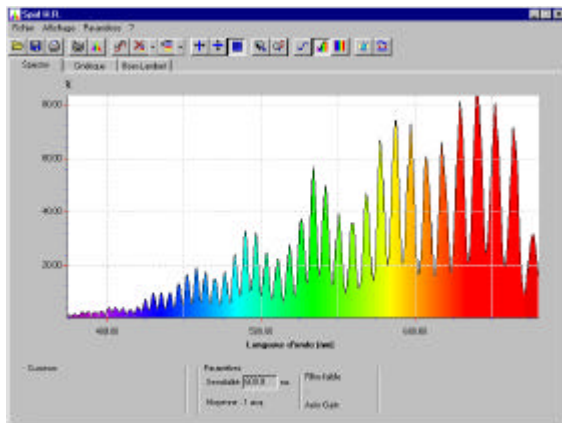


L'éclairage de l'interféromètre est réalisé par l'intermédiaire de la lanterne halogène. La fibre optique d'analyse du spectromètre est placée au niveau de la focale de la lentille.

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



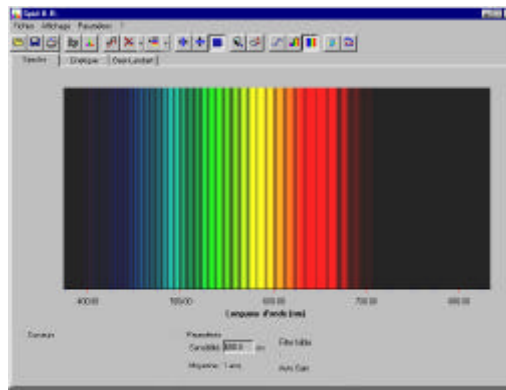
### Protocole



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 teinte plate.



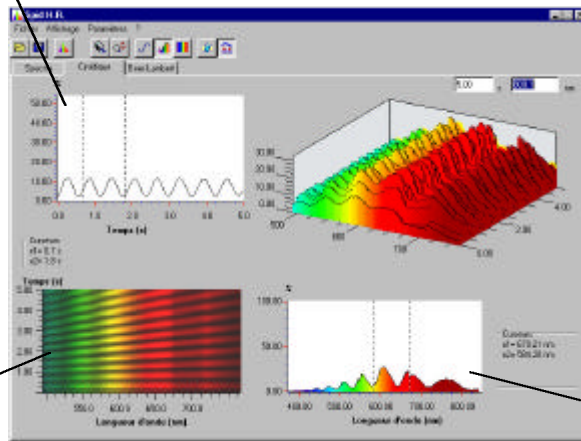
Représentation en couleurs du spectre précédent

**Aller plus loin**

L'expérience consiste à utiliser toutes les possibilités de l'interféromètre en conservant le même montage que précédemment. L'utilisation du spectromètre permet de donner une dimension supplémentaire à la mesure en isolant le résultat pour chacune des longueurs d'ondes. Utiliser le mode cinétique pour réaliser au voisinage de la teinte plate un enregistrement du spectre au cours du temps.

Débuter l'enregistrement au même moment que la mise en marche du moteur.

Sur cette vue, vous obtenez une coupe à une longueur d'onde donnée. Le résultat, c'est l'interférogramme d'une source monochromatique



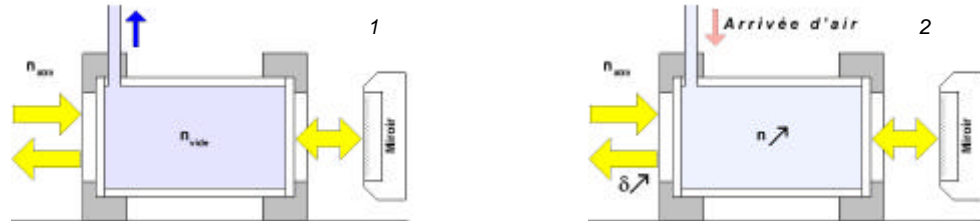
Cette vue schématise l'évolution au cours du temps. En bas, c'est la teinte plate. En haut, le spectre est canelé.

Ici figure le spectre de la lumière issue de l'interféromètre à un moment donné. C'est un spectre canelé (blanc d'ordre supérieur ici).

## Applications, mesure de l'indice de l'air

### Principe

Une enceinte étanche est placée sur une des voies de l'interféromètre. Cette enceinte est mise sous vide (1). Lors du retour progressif à la pression atmosphérique (2), le chemin optique se trouve progressivement modifié.



La mesure du nombre de franges en sortie du Michelson permet d'approcher l'indice de l'air.

### Nomenclature

AM_HN	1	AM_EB1	1	AM_EHN	1	MIC_KCU	1
-------	---	--------	---	--------	---	---------	---

+ système d'enregistrement (AM\_DLUX ou OP\_1002 et CAL\_FILTERS)

### Mise en place

L'interféromètre est éclairé par une source laser étendue (voir expérience sur la lame d'air)

La cuve à vide est placée entre la compensatrice et le miroir fixe.

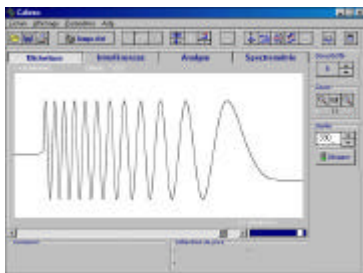
Le réglage de l'interféromètre doit être réalisé avec la cuve. L'éclairage au laser permet de s'affranchir des notions de source étendue et de cohérence.

Régler l'interféromètre en position de lame d'air.



### Protocole

Effectuer une dépression dans l'enceinte. Observer l'effet sur l'écran.



Dépressuriser la cuve successivement pour plusieurs valeurs de la pression: -200, -400, -600, -800, -900 hPa (dépression par rapport à la pression atmosphérique). A chaque ouverture, lancer un enregistrement, et noter le nombre d'oscillations en sortie (il est possible de déterminer facilement  $\frac{1}{4}$  de sinusoïde).

Relever les résultats dans un tableau. L'indice est bien une fonction linéaire de la pression. La valeur de l'indice de l'air est aisée à calculer. Typiquement, l'incertitude maximale est celle du manomètre qui travaille en pression relative.

En utilisant le même matériel, il est possible de mesurer l'indice relatif de gaz différents de l'air.

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**

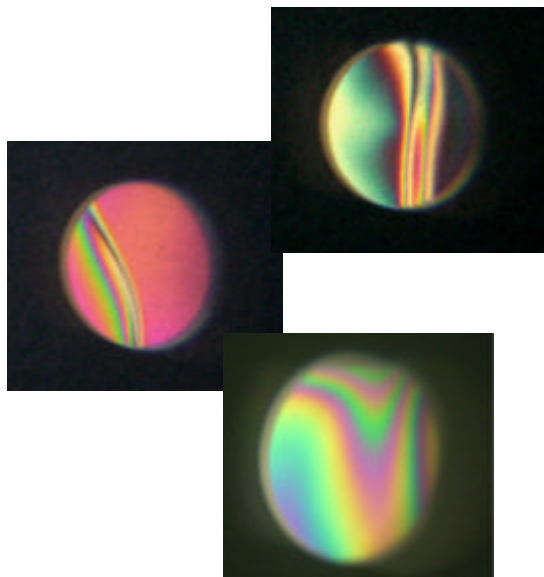
*Des applications seront proposées ultérieurement*

## **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 de vos éventuelles astuces, idées, expériences l'ensemble des utilisateurs ...*

*Ulice Optronique  
30, rue Juliette ADAM  
91190 Gif sur Yvette*

[michelson@ulice.com](mailto:michelson@ulice.com)  
[www.ulice.com](http://www.ulice.com)  
tél. 01 69 07 93 83