

N100

P0.12

SOCIÉTÉ DE PRODUCTION ET DE RECHERCHES APPLIQUÉES

SOPRA

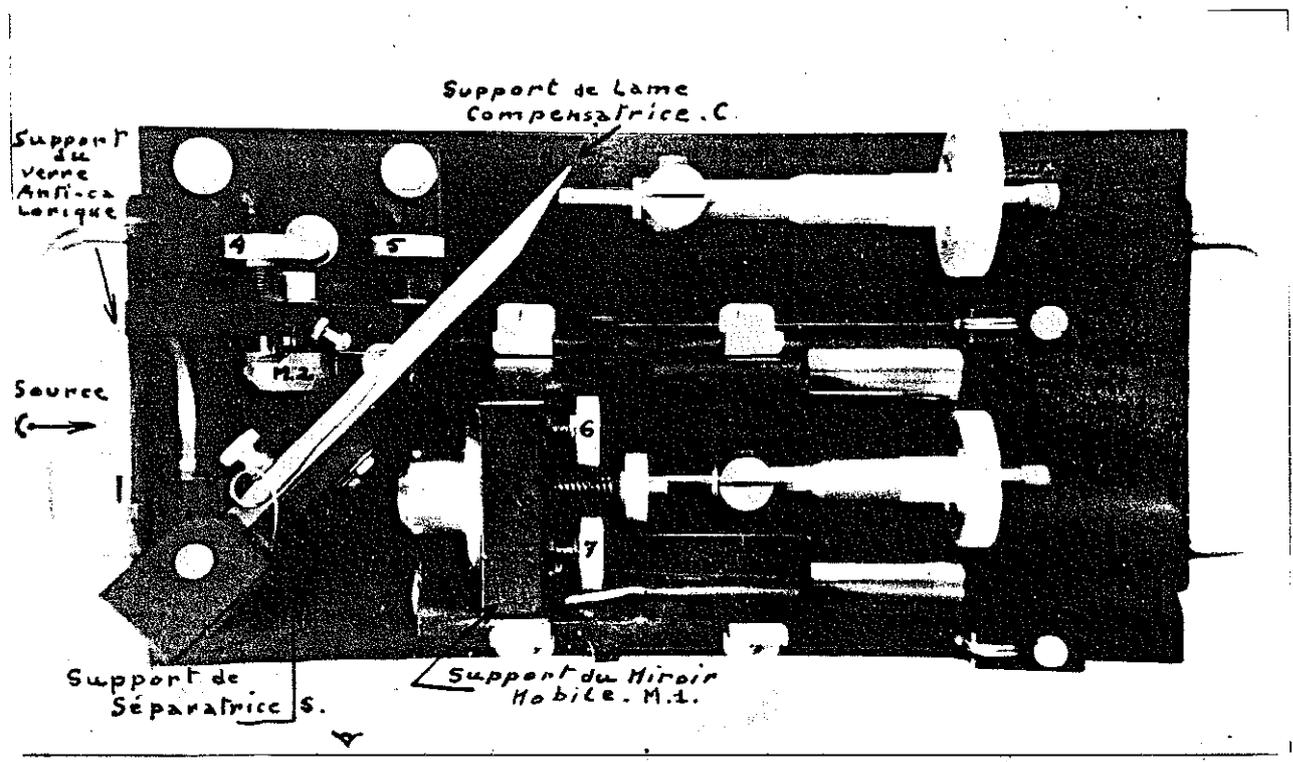
ENS LYON

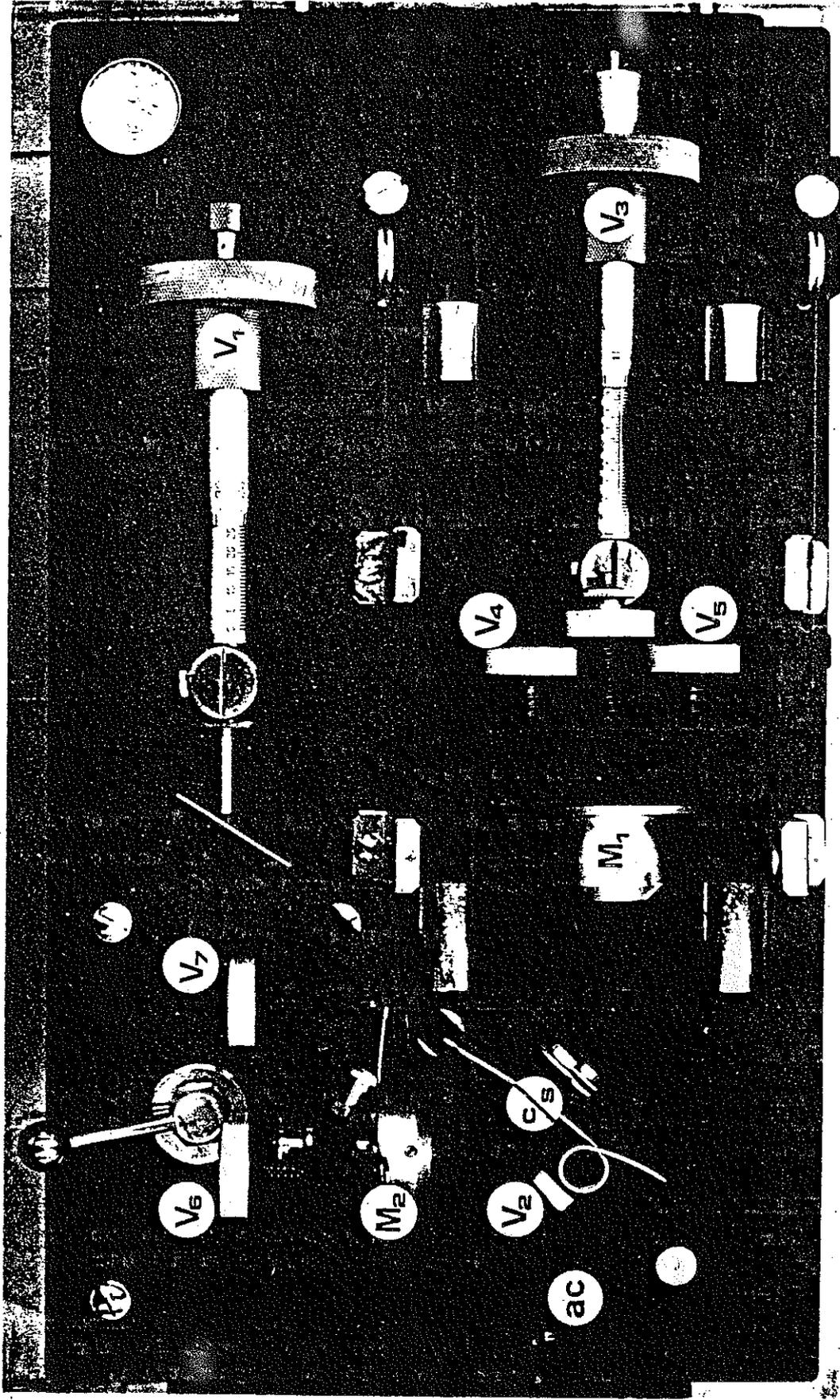
68, rue Pierre-Joigneaux F 92270 BOIS-COLOMBES  
SPECTROMÉTRIE — LASERS — ANALYSE

Tél. : 42 42 04 47  
47 81 09 49

LABORATOIRE DE PHYSIQUE  
ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON  
48, Allée d'Italie  
69364 LYON CEDEX 07

I N T E R F E R O M E T R E  
D E  
M I C H E L S O N





FIGURE

Nous indiquons ici une méthode empirique conduisant au réglage de l'appareil, vous trouverez en Appendice A une méthode plus satisfaisante sur le plan théorique.

### 2.1. NOTATIONS

- AC Verre anti calorique
- C Compensatrice
  - V 2 Réglage grossier de la compensatrice
  - V I Réglage fin de la la compensatrice
- M I Miroir mobile
  - V4-V5 Réglage grossier du miroir mobile
  - V3 Butée micrométrique de Translation du miroir M I
- M 2 Miroir Fixe
  - V6-V7 Réglage fin du miroir fixe
- S Source

s Séparatrice fixe

∠ Oeil

--- Direction du regard

→| Plan d'accomodation du regard

\* Remarques destinées à un expérimentateur " aguerri "

Lumière étendue- Eclairage obtenu en plaçant entre la Source et l'observation un papier ou un verre dépoli.

D Objet diffusant ( verre ou papier dépoli)

### 2. REMISE A MI - COURSE DES VIS DE REGLAGES

#### 2.2.1. Miroir Fixe

Le miroir fixe est orienté par deux vis qui poussent deux lames de ressort. L'extrémité des vis est conique. Faire affleurer le cône des vis.

#### 2.2.2. Miroir Mobile

Le miroir mobile est orienté par deux vis qui poussent le support de miroir. La monture du miroir doit être parallèle au support de miroir.

Observer ensuite hors de l'axe les bords des miroirs à travers la séparatrice. Déplacer à la main le miroir mobile afin d'obtenir une impression de superposition.

Régler la butée micrométrique, immobiliser le miroir dans cette position.

# SOPRA

## 2.3. REGLAGE DE LA COMPENSATRICE

Nous devons positionner la compensatrice parallèle à la séparatrice.

Retourner l'appareil

Observer par réflexion un petit point brillant : Lampe

En faire superposer les images multiples

On "accroche" les images multiples par un déplacement manuel rapide de la monture de la compensatrice.

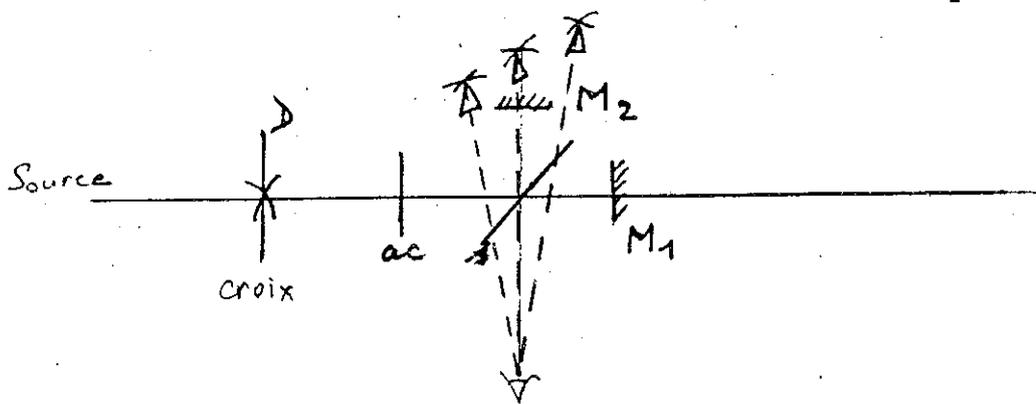
Orientation autour de 2 axes Orthogonaux grâce à la butée micrométrique et à la molette située sur sa monture.

## 2.4. OBTENTION DES FRANGES

Eclairer l'interféromètre en lumière étendue monochromatique

Tracer une croix sur le dépoli

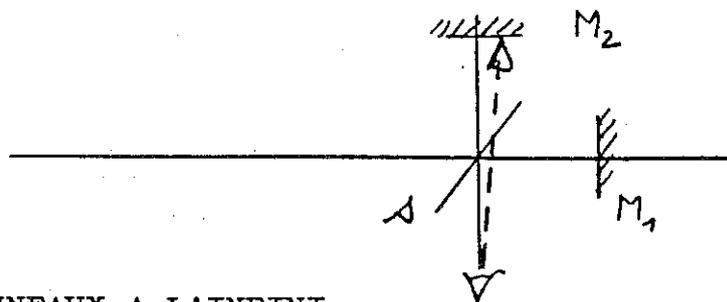
Avec le V4 et V5 faire superposer les images multiples de cette croix données par les miroirs à travers la séparatrice.



Observer dans le plan des miroirs les franges qui apparaissent (quasi rectilignes)

L'observateur a intérêt à utiliser un filtre monochromatique pour gagner en contraste.

Le filtre peut-être placé devant l'oeil ou bien n'importe où entre la source et le verre anticalorique AC



## 2.5 ANNEAUX A L'INFINI

En agissant toujours sur les vis V4-V5, faire augmenter l'interfrange. Les franges paraissent plus courbes. Obtenir le centre des anneaux à l'infini dans l'axe de l'appareil.

Vérifier que les miroirs sont parallèles en déplaçant l'oeil verticalement puis horizontalement, les anneaux ne doivent plus défiler, agir sur le réglage fin V6-V7

Les franges rectilignes serrées étaient localisées sur les miroirs les anneaux sont à l'infini, le vérifier avec une lentille F 150

# SOPRA

## 2.6. FRANGES ACHROMATIQUES

Approcher l'oeil au maximum de l'interféromètre.

Agir sur V3 pour faire diminuer l'ordre d'interférence  
( les anneaux rentrent ) Eventuellement recentrer les anneaux avec V4 et V5

S'arrêter, observer, reprendre- Lorsque le rayon apparent du 1er anneau est de l'ordre du rayon des miroirs, introduire un coin d'air avec une vis V6 ou V7 ( 1/2 tour )

Ajouter un éclairage en lumière blanche ( tube fluorescent dont la lumière se réfléchit sur un papier par exemple ) ou lampe de poche.

Continuer dans le même sens V 3 très délicatement. Repérer les franges achromatiques ( mise au point sur les miroirs )

En cas d'échec, augmenter avec V6 ou V7 le coin d'air.

Observer les franges rectilignes ; les faire défiler par action sur V3 dans le sens qui augmente le contraste.

## 2.7 TEINTE PLATE

Les franges achromatiques obtenues, chercher l'axe de symétrie du système.

Observer la frange centrale blanche avec V6 et V7, l'étaler sur toute la surface des miroirs.

L'appareil est réglé en teinte plate frange centrale blanche, " ordre zéro ", Si la frange centrale n'est pas blanche, régler en franges verticales.

Visser V1 les franges sortent du champ, les ramener par action sur V3- Voir si le champ d'interférences tend vers une symétrie 2 franges noires autour de la centrale blanche

Continuer ou revenir- Même chose avec les franges horizontales et V 2

Repérer avec soin les indications des deux vis micrométriques pour retrouver le réglage sans peine, réintroduire toujours un coin d'air avec V6 ou V7 et tourner V3 autour de la valeur notée.

## III INTERFERENCES EN LUMIERE BLANCHE

- . . La source peut être une lampe de bureau ou une lampe de poche à travers un diffuseur D

### 3.1. VARIATIONS D'INDICE- DE CHEMIN OPTIQUE

Régler à l'ordre zéro

Insérer dans le bras du chariot mobile les objets suivants:

- Flamme d'allumette
- Extrémité chaude d'une allumette éteinte
- Doigt échauffé par frottement
- Veine de gaz sortant d'un briquet non allumé
- Feuille mince de mica clivé

-Dans chacun des bras deux morceaux d'un même verre à vitre

### 3.2. SPECTRE CANELE

Observer les franges achromatiques-  
Visualisation des teintes de Newton

Utiliser un spectroscopie -Introduire une très faible différence de marche avec V3 -

Observer l'évolution du spectre.

( Méthode rigoureuse pour trouver aisément l'ordre zéro )

# SOPRA

## 3.3. ELLIPSES - HYPERBOLES

Visser V1 et ramener toujours les franges dans le champ avec V3  
Plusieurs millimètres de translation sont nécessaires.  
Les franges rectilignes se transforment en ellipses, puis hyperboles.

## 3.4. PROJECTION

Dans tous ces cas conjuguer la source diffusante avec les miroirs à l'aide d'un condenseur.  
Conjuguer le lieu de localisation (surfaces des miroirs) avec le plan de projection sauf pour les franges de 1'

## IV ETUDE DE SOURCES LUMINEUSES

Nous ne reviendrons pas sur les expressions mathématiques de la transformée de Fourier (voir réf Bousquet et Françon) retenons seulement que plus le spectre est étroit, plus la cohérence est grande et plus longue est la différence de marche sur laquelle on peut observer des franges.

### 4.1. COHERENCE SPECTRALE

Etude de la variation de la cohérence d'une lampe spectrale Hg haute pression au cours de son échauffement.

### 4.2. COINCIDENCES ANTICOINCIDENCES

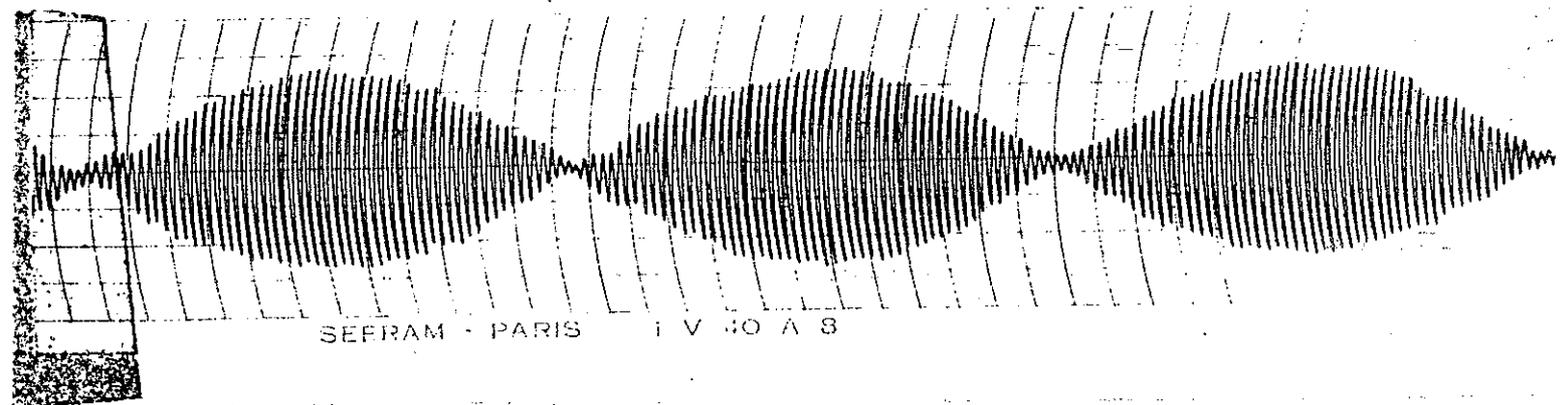
Utiliser comme source une lampe spectrale au sodium  
En connaissant une raie, déterminer l'autre.  
En profiter pour observer les anneaux à l'infini, par projection sur un écran, On peut déterminer la loi de progression des rayons angulaires des anneaux (2 paramètres)  
Utiliser une lampe au Cadmium non filtrée et mesurer la longueur sur laquelle on obtient des franges.  
Toutes ces mesures peuvent-être réalisées de part et d'autre de l'ordre zéro.

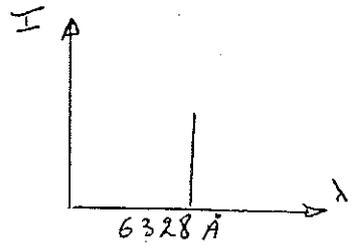
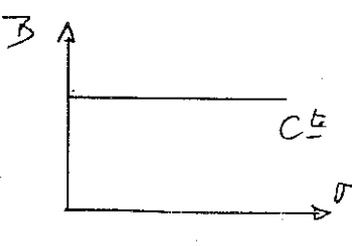
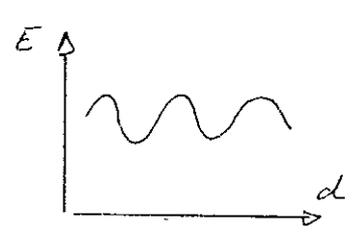
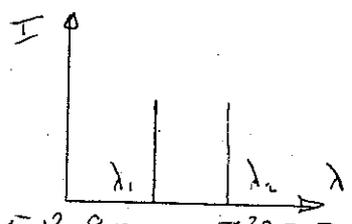
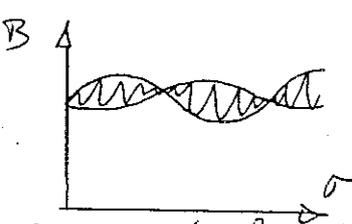
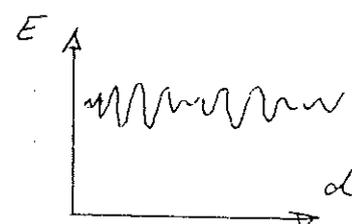
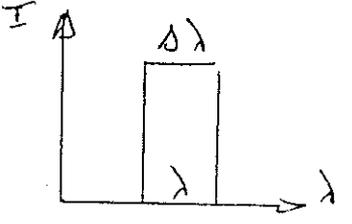
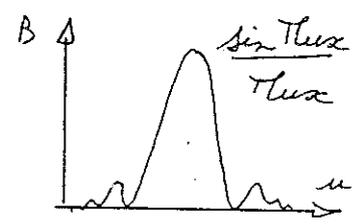
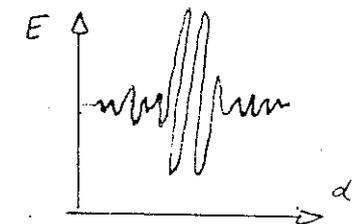
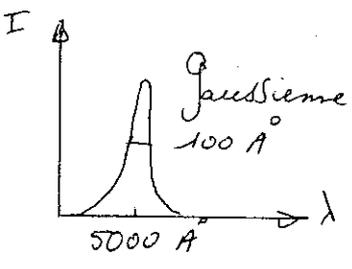
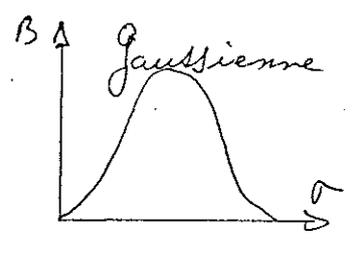
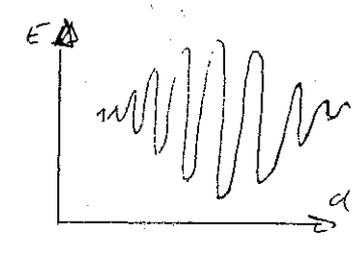
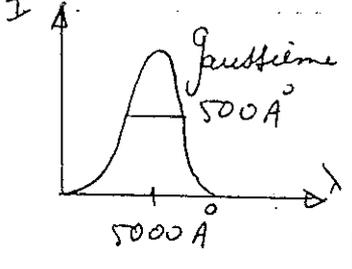
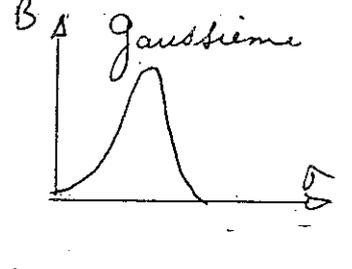
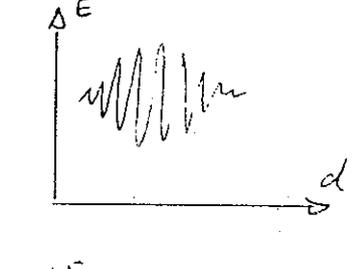
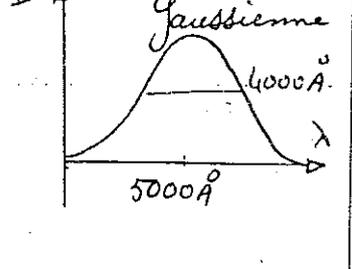
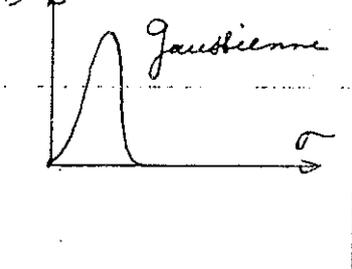
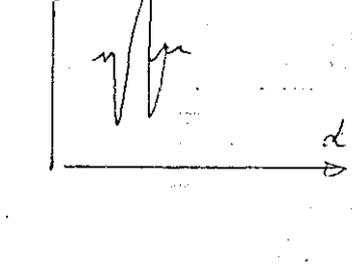
### 4.3. TRANSFORMEE DE FOURIER ENREGISTREE

Par adjonction d'un moteur synchrone pour l'entraînement du miroir mobile, et en captant l'énergie lumineuse au foyer d'un condenseur dans la direction d'observation, on peut réaliser un enregistrement graphique des battements de différentes raies.

### 4.3. I EXEMPLE DE BATTEMENTS ENREGISTRES

Rb



Source S	Spectre de S	TF du Spectre	Enregistrement												
<p>Laser He Ne 1 Raie</p> <p>Doublet Spectral</p>	 <p>6328 Å</p>	 <p>CE</p>													
<p>Na K Rb Cs</p>	 <p><math>\lambda_1</math> <math>\lambda_2</math></p> <table border="1"> <tr> <td>Na</td> <td>5890 - 5895,5</td> <td>5,9 / 5890</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>7664 - 7699</td> <td>35 / 7680</td> </tr> <tr> <td>Rb</td> <td>7800,23 - 7947,6</td> <td>147,33 / 7870</td> </tr> <tr> <td>Cs</td> <td>8521,1 - 8943,5</td> <td>422,4 / 8730</td> </tr> </table>	Na	5890 - 5895,5	5,9 / 5890	K	7664 - 7699	35 / 7680	Rb	7800,23 - 7947,6	147,33 / 7870	Cs	8521,1 - 8943,5	422,4 / 8730		 <p>1000 franges 220 54 21</p>
Na	5890 - 5895,5	5,9 / 5890													
K	7664 - 7699	35 / 7680													
Rb	7800,23 - 7947,6	147,33 / 7870													
Cs	8521,1 - 8943,5	422,4 / 8730													
<p>Fente d'un Spectroscope</p>	 <p><math>\Delta \lambda</math> <math>\lambda</math></p>	 <p><math>\frac{\sin Thux}{Thux}</math></p>													
<p>Lumière Blanche + Filtre interférentiel</p>	 <p>Gaussienne 100 Å 5000 Å</p>	 <p>Gaussienne</p>													
<p>Lumière Blanche + Filtre Photo</p>	 <p>Gaussienne 500 Å 5000 Å</p>	 <p>Gaussienne</p>													
<p>Lumière Blanche (Fonction T de montage) Fonction d'appareil.</p>	 <p>Gaussienne 4000 Å 5000 Å</p>	 <p>Gaussienne</p>													

# SOPRA

## 4.4. SPECTROMETRIE PAR TRANSFORMEE DE FOURIER

Utiliser une lampe spectrale Hg et éclairer l'interféromètre en lumière parallèle ( collimateur - Fente)

Régler à l'ordre zéro

Introduire des franges rectilignes parallèles à la fente.

Dans le plan où l'on positionnera le plan film, les franges mesureront  $50 \mu$  (mesure à l'oculaire ou au viseur)

On peut mesurer l'interfrange par la mesure de l'angle entre les 2 ondes réfléchies  $i = 2$

Ajuster la largeur de la fente source pour obtenir la meilleure visibilité

Enregistrer sur film tri X par exemple.

Faire plusieurs poses avec 2 variables = Largeur de la fente  
Durée d'exposition.

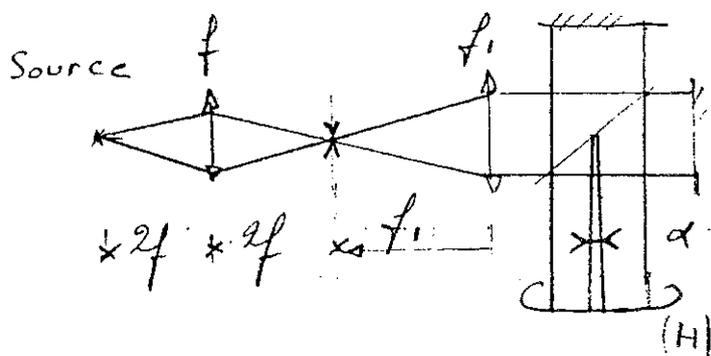
Développer et réaliser une manipulation de diffraction à l'infini pour la restitution.

L'enregistrement diffracte le faisceau Laser parallèle de grand diamètre.

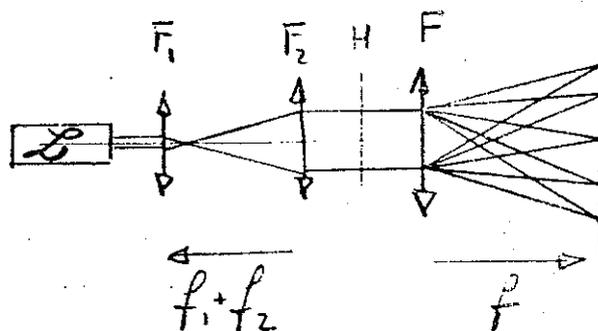
On observe dans le plan focal d'un objectif la répartition lumineuse.

En déduire les longueurs d'onde des raies

Enregistrement



Restitution



à la restitution = dans le plan focal on a le T.F. de la plaque  
sur la plaque on a le T.F. du spectre =

$$TF ( TF S ) = S$$

**V. METROLOGIE INTERFERENTIELLE****5.1. MESURES DES DEFAUTS OPTIQUES D'UN OBJET TRANSPARENT**

Filter la raie verte Hg et reprendre l'analyse d'un morceau de mica ou de la somme des défauts d'un verre à vitre  
Faire une cartographie de l'objet  
Le sens de variation d'épaisseur optique est déterminé par un déplacement du miroir mobile.

**5.2. VARIATIONS D'INDICE**

Régler à l'ordre zéro  
Utiliser 2 cuves à faces parallèles de spectrophotométrie (fournisseurs HELLMA ( France ) - PROLABO - SEARLE DANNAT )  
Les remplir d'eau  
Saler l'eau de l'une des cuves jusqu'à saturation  
Observer les franges rectilignes avec la raie verte Hg filtrée.

**5.3. MESURE D'ÉPAISSEUR D'UN OBJET SOLIDE**

Régler à l'ordre zéro  
Insérer une lame de rasoir entre VI et le chariot mobile  
Revenir à l'ordre zéro en ne jouant que sur VI  
Faire une lecture sur VI, en déduire l'épaisseur de l'objet  
Cette mesure sera considérablement perfectionnée si l'on introduit dans le champ un faisceau Laser et que l'on compte le nombre de franges séparant les 2 ordres zéro.

**5.4. MESURE DE COEFFICIENT DE DILATATION D'UN OBJET**

Même chose que précédemment avec un objet introduit à 2 températures connues.  
Etalonnage d'une cale piézo électrique.

**5.5. MESURE DE L'ÉPAISSEUR D'UN ETALON DE FABRY-PEROT**

\* En lumière blanche, éclairer le Michelson en faisceau parallèle à travers un étalon de Fabry-Pérot  
Le spectre canelé issu de l'étalon est analysé par le Michelson.  
Il n'y a maximum d'énergie transmise que pour des différences de marche multiples de l'épaisseur optique de l'Etalon  
En déduire cette épaisseur.

**VI CONTROLES DE QUALITE OPTIQUE**

6.1. Planéité d'un miroir.

6.2. Contrôle d'un réseau

6.2.1. Planéité du réseau à l'ordre zéro

\* 6.2.2. Régularité du tracé- qualité de surface d'onde diffractée  
Observer à travers un trou

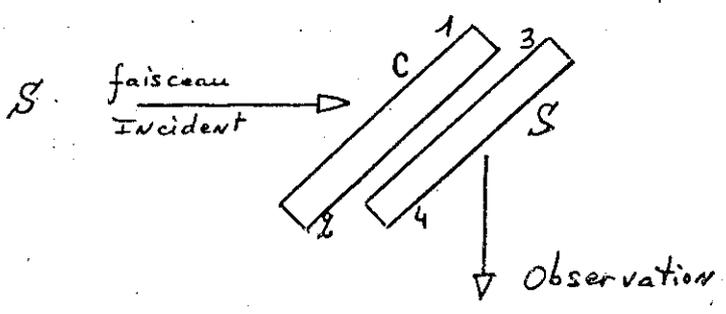
\* 6.3. Contrôle d'un objectif avec F sur miroir  
ou miroir convexe

REGLAGE "ACADEMIQUE"

Le réglage est préparé comme au paragraphe 2.2 de la notice

Nous utiliserons pour cet appendice les notations suivantes :

- R : coefficient de réflexion
- T : coefficient de transmission
- R + T = 1
- C : indice de la compensatrice
- S : indice de la séparatrice
- 1-2-3-4 l'ordre des faces selon plan ci-dessous :



Nous avons  $R_1 = R_2 = R_4 = 4\%$   
 $R_3 = T_3 = 50\%$

1 - Réglage de la compensatrice

Nous proposons deux techniques pour positionner la compensatrice parallèle à la séparatrice.

11. Réglage à la lunette autocollimatrice

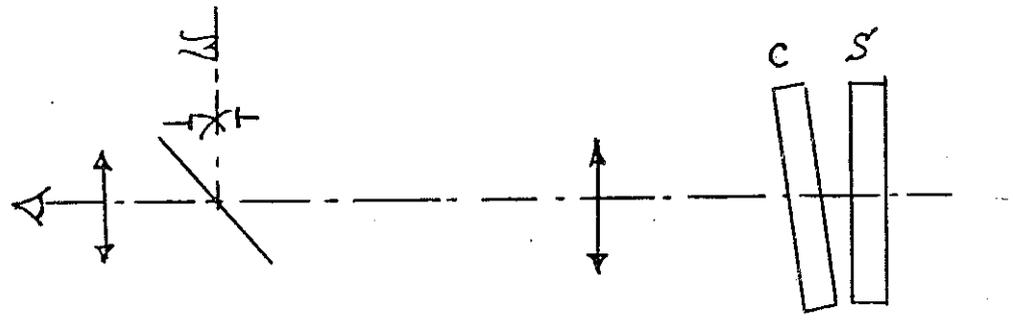
Viser la face traitée de la séparatrice avec une lunette autocollimatrice à travers la compensatrice.  
 Ce montage permet le meilleur contraste pour l'observation des lunes de la compensatrice (lune = image dans la lunette de la réflexion sur face plane).

• Energies relatives des lunes :

- Lune 1 :  $R_1 = 4\%$
- Lune 2 :  $T_1 R_2 T_1 \# 4\%$
- Lune 3 :  $T_1 T_2 R_3 T_2 T_1 \# 50\%$
- Lune 4 :  $T_1 T_2 T_3 R_4 T_3 T_2 T_1 \# 1\%$

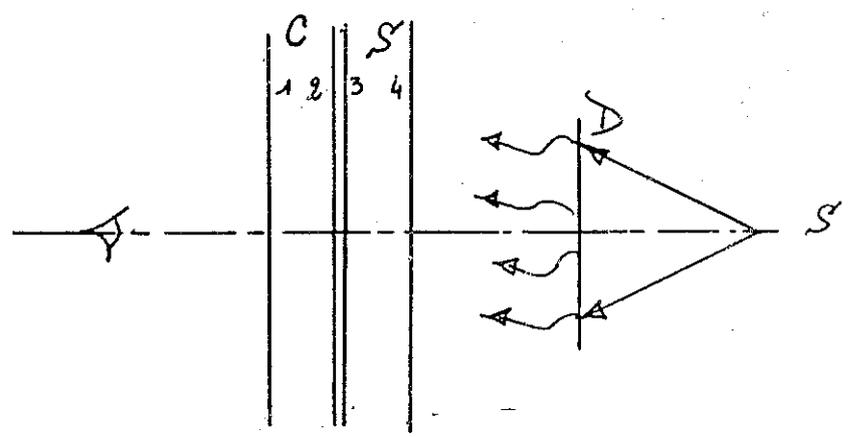
Les lunes 1 et 2 sont superposées  
 Les lunes 3 et 4 sont superposées.  
 D'où l'énergie de la compensatrice :  $8\%$   
 de la séparatrice :  $50\%$

Lorsque la lunette est orientée en autocollimation sur la lune fixe de la séparatrice, agir sur la compensatrice réglable pour obtenir la superposition des images.



**12. Réglage interférométrique**

Les lames séparatrices et compensatrices sont plan parallèle. Elles forment donc toutes deux, chacune un étalon de Fabry-Pérot solide. Il est donc possible d'observer les anneaux de Fabry-Pérot de ces deux étalons. L'interface 2 - 3 peut être considérée comme un interféromètre de Fabry-Pérot réglable, à épaisseur d'air. Comme dans le cas précédent, l'observation se fait à travers la compensatrice. L'éclairage se fait maintenant avec une lampe spectrale S non filtrée ; le faisceau est diffusé avec un dépoli D et la séparatrice reçoit la première les faisceaux.



Voir le rôle des coefficients de réflexion sur la visibilité des franges de Fabry-Pérot dans la bibliographie.

L'oeil est positionné de façon à pouvoir observer sa pupille dans la face 3, en accommodant sur cette pupille (oeil sur une normale S).

L'oeil accommode alors à l'infini où sont localisés les anneaux de Fabry-Pérot.

L'observateur reconnaît les anneaux de Fabry-Pérot dûs à la séparatrice par leur énergie prédominante.

Les anneaux de Fabry-Pérot dûs à la compensatrice sont de plus faible énergie, mais de même diamètre apparent (même épaisseur optique).

Le centre apparent des anneaux dûs à la compensatrice se déplace avec l'orientation de la compensatrice.

Le réglage consiste à faire superposer les deux jeux d'anneaux.

Lorsque les lames sont parallèles, l'interféromètre formé par les faces 2 et 3 fait apparaître des anneaux de grands diamètres apparents.

- épaisseur optique de l'interféromètre 2 - 3 = 1 mm

- épaisseur optique des interféromètres 1 - 2 et 3 - 4 = 12 mm

L'interféromètre 2 - 3 voit son réglage affiné par des déplacements horizontaux et verticaux de l'oeil. L'ordre d'interférence au centre doit se conserver au cours de ces déplacements. Commencer

par la butée micrométrique V1 (déplacements de l'oeil G à D).

Régler ensuite selon les mouvements verticaux par la vis micrométrique à tête molletée V2.

Revenir ensuite sur la butée si nécessaire.

### 13. Remarques

#### 131 Franges du coin d'air

A l'approche du réglage de l'interféromètre 2 - 3, l'observateur peut accommoder sa vision sur l'espace compris entre les 2 lames C et S.

Il aura alors la possibilité d'observer les franges du coin d'air, et la variation de l'interfrange avec les réglages sur V1.

Ces observations sont beaucoup plus délicates avec V2.

#### 132 Compensation des trajets optiques

Nous avons décrit ici une méthode qui permet la compensation parfaite achromatique des trajets optiques pour le cas de deux lames C et S rigoureusement égales en épaisseur et de même matière (indice et constringence égaux).

Introduire un angle sur le coin d'air permet de compenser une différence de trajet optique due à la traversée de deux lames légèrement différentes.

La qualité de l'interférogramme à l'ordre zéro dépend de ces défauts.

## 2 - Réglages des miroirs

Préparer les réglages comme indiqué au paragraphe 2.2 de la notice

### 21. Réglages à la lunette autocollimatrice

A l'aide d'un papier, cacher le miroir fixe, et se régler en autocollimation sur le miroir mobile.

Régler ensuite le miroir fixe en cachant le miroir mobile.

Dégager les deux miroirs, placer un condenseur ou un objectif de Cléaut du côté source.

Introduire une source spectrale dans le plan focal de la lentille et aligner le dispositif d'éclairage.

L'observateur voit les anneaux à l'infini dont on fera croître les rayons apparents du 1er ordre, par diminution de la différence de marche.

### 22. Réglages avec un collimateur et une loupe

Régler un collimateur sur l'infini

Collimater les faisceaux d'une source spectrale parallèlement à l'axe de déplacement du miroir mobile.

Orienter chacun des deux miroirs en autocollimation sur la pupille du collimateur. Plus faible sera le diamètre de la pupille, meilleure sera la collimation des miroirs.

Observer avec une loupe les franges rectilignes du coin d'air résiduel créé entre les images des miroirs (mettre au point avec la loupe sur le plan des miroirs).

Augmenter l'interfrange des franges rectilignes en agissant sur les réglages grossiers du miroir mobile.

Avec l'interfrange, le diamètre de la pupille du collimateur peut croître. L'interférogramme est en mesure de supporter une cohérence plus faible.

Modifier l'accommodation pour passer à l'observation des anneaux à l'infini. On retrouve comme ci-dessus l'étape 2 - 5 du texte.

