

SOCIÉTÉ DE PRODUCTION ET DE RECHERCHES APPLIQUÉES

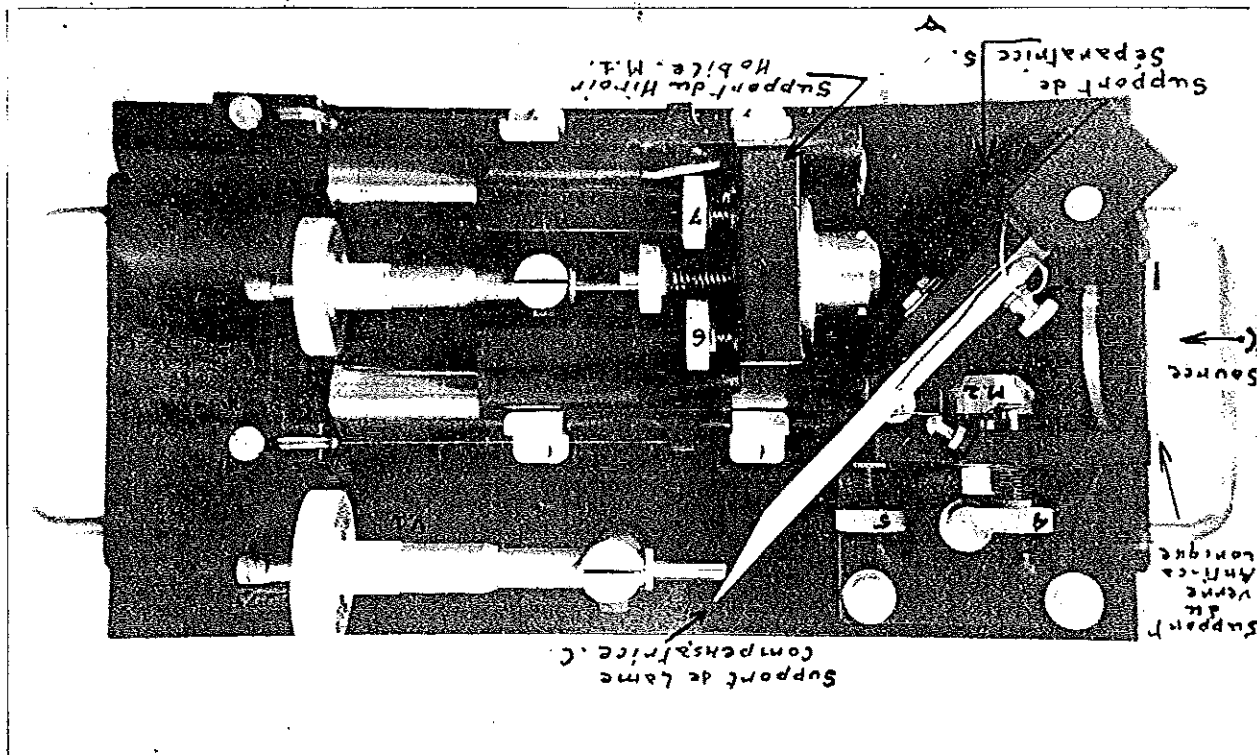
SOPRA

P0.12

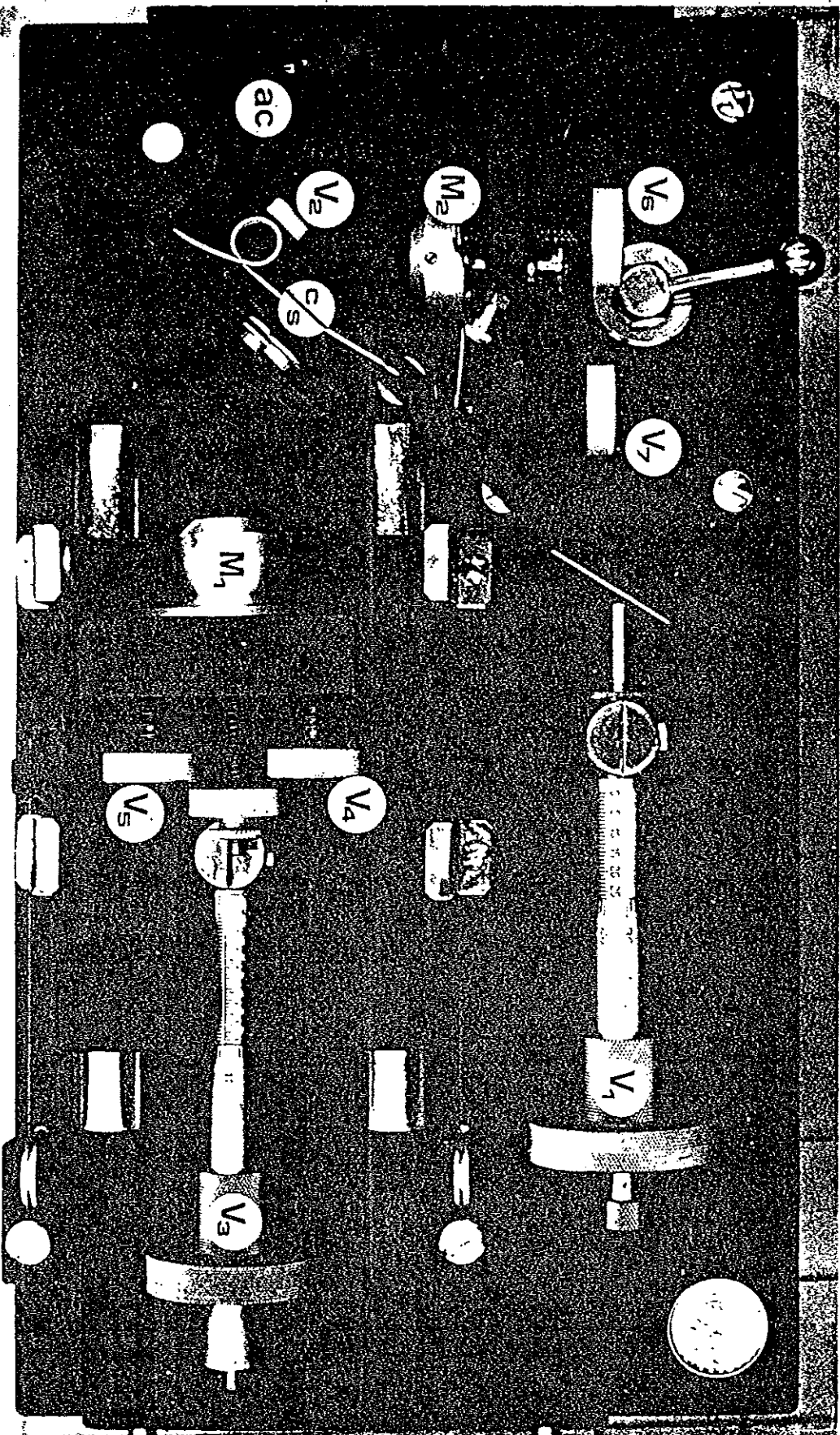
68, rue Pierre-Joigneaux F 92270 BOIS-COLOMBES
SPECTROMÉTRIE — LASERS — ANALYSE

Tél. : 42 42 04 47
47 81 09 49

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



Télex SOPRABC 614472 F - C.C.P. PARIS 644761 H
S.A.R.L. ou capital de 870.000 F - R.C.S. PARIS B 582 010 195 - S.I.R.E.T. 582 010 195 00029 - A.P.E. 3404
Selon l'article 1583 du Code Civil, SOPRA se réserve la propriété des marchandises livrées jusqu'au paiement intégral du prix



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'acomodation 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.

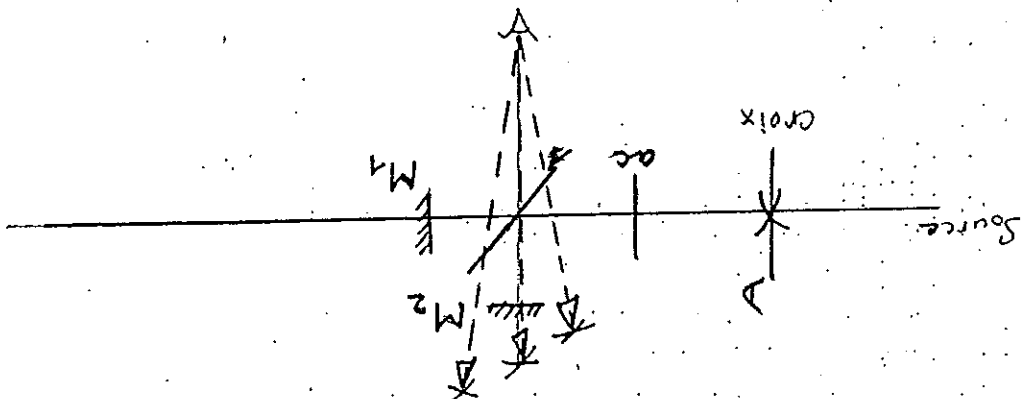
Régler la butée micrométrique, immobiliser le miroir dans cette position.

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.

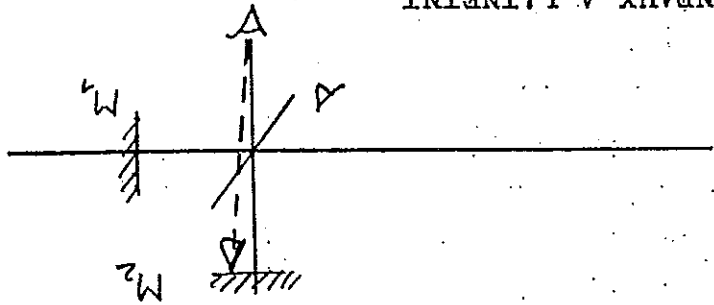
2.4. OBTENTION DES FRANGES

Éclairer l'interféromètre en lumière étendue monochromatique
 Tracer une croix sur le dépôt
 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'œil 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 ∞ dans l'axe de l'appareil.
 Vérifier que les miroirs sont parallèles en déplaçant l'œil
 verticalement puis horizontalement, les anneaux ne doivent plus
 dévier, 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

2.6. FRANGES ACHROMATIQUES

Approcher l'ocul au maximum de l'interféro-mètre.
 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 V3 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 dériver par action
 sur V3 dans le sens qui augmente le contraste.

2.7 TRINTE 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 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 V2
 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'alumette
 -Extrémité chaude d'une alumette 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 spectroscope - Introduire une très faible différence
 de marche avec V3 -
 Observer l'évolution du spectre.
 (Méthode rigoureuse pour trouver aisément l'ordre zéro)

3.3. ELLIPSES - HYPERBOLES

Visser V4 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 sans pour les franges de l'

IV ETUDE DE SOURCES LUMINEUSES

Nous ne reviendrons pas sur les expressions mathématiques de la transformée de Fourier (voir rél Bousquet et Françon) 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 ANTI-COINCIDENCES

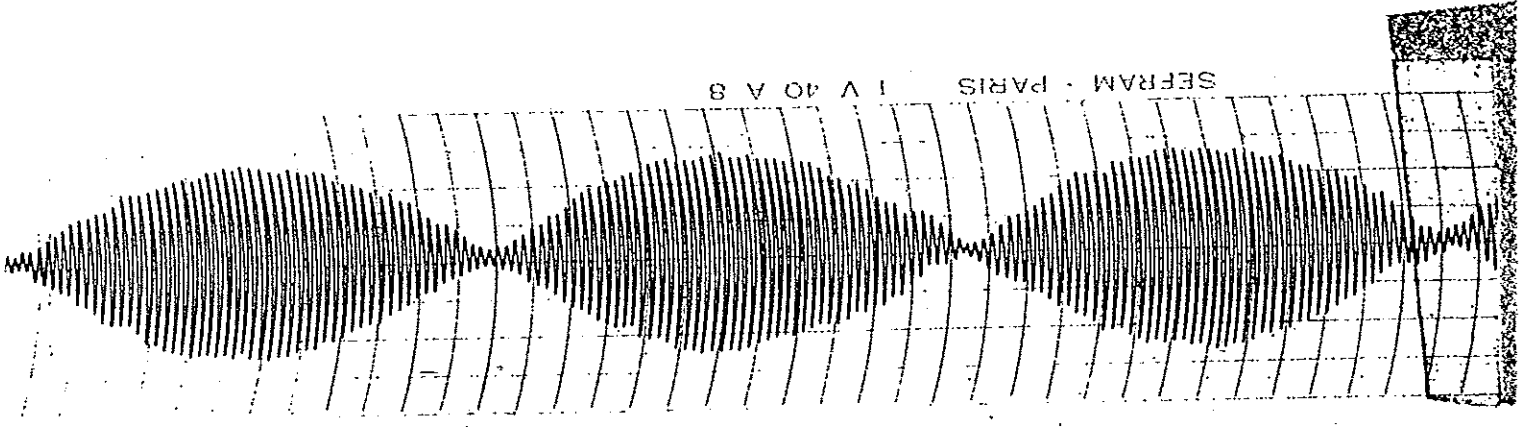
Utiliser comme source une lampe spectrale au sodium. En connaissant une rate, déterminer l'autre. En profiter pour observer les anneaux à l'infini, par projection sur un écran. On peut déterminer la loi de progression des rayons angulaires des anneaux (2 paramètres) Utiliser une lampe au cadmium non 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.

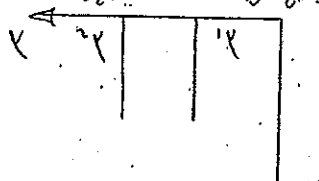
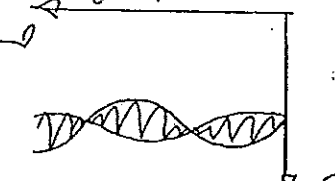
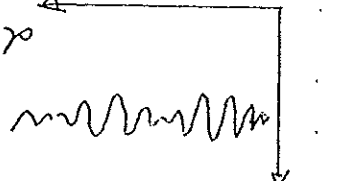
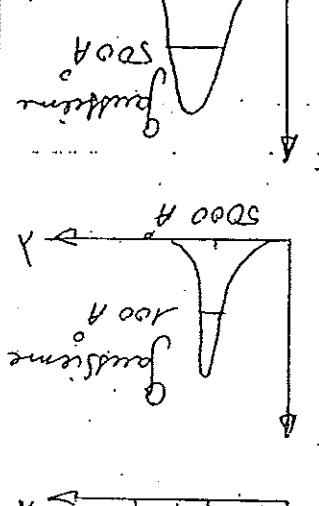
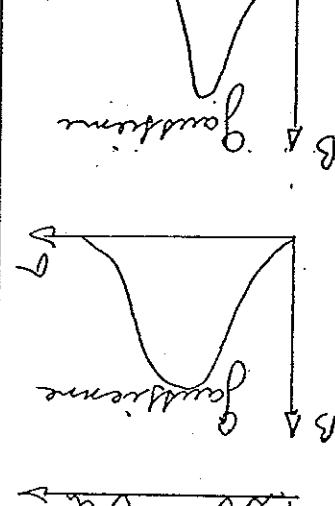
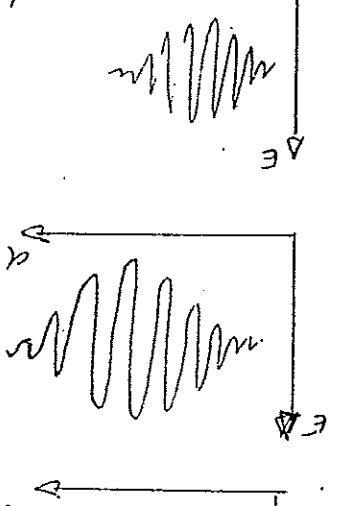
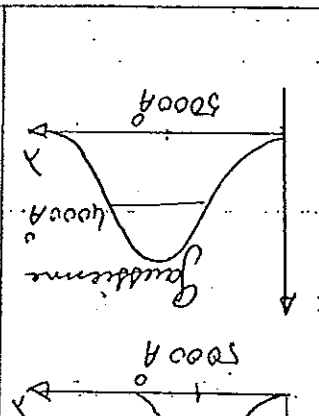
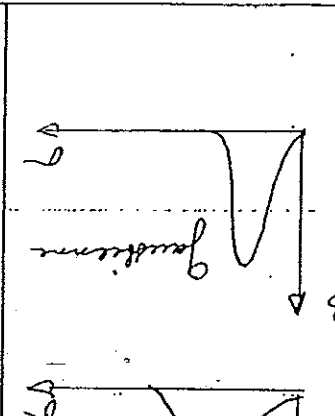
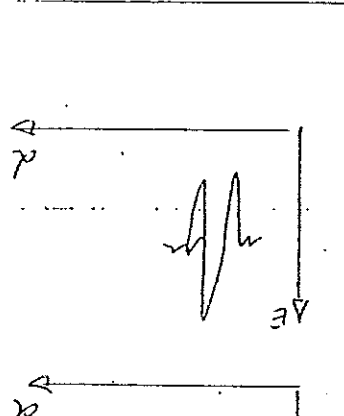
4.3. TRANSFORMEE DE FOURIER ENREGISTREE

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 rates.

4.3. I EXEMPLE DE BATTEMENTS ENREGISTRES

Rb



Source S	Spectre de S	TF du Spectre	Enregistrement
Laser He Ne à Rose Doublet Spectral Ent d'un Spectroscopie Lincee Blanche + Filtre interférentiel	 <p>6328 Å</p> <p>5890 - 5895 Å</p> <p>7664 - 7699</p> <p>7800,23 - 7947,6</p> <p>8521,1 - 8943,5</p>	 <p>5,9 / 5,890</p> <p>35 / 7,680</p> <p>147,33 / 7,870</p> <p>422,4 / 87,30</p>	 <p>1000 franges</p> <p>820</p> <p>57</p> <p>21</p>
Lincee Blanche + Filtre Photo Lincee Blanche (Fonction Telle moiré) Fonction d'appareil	 <p>5000 Å</p> <p>5000 Å</p> <p>5000 Å</p> <p>5000 Å</p>	 <p>5000 Å</p> <p>5000 Å</p> <p>5000 Å</p> <p>5000 Å</p>	
Lincee Blanche (Fonction Telle moiré) Fonction d'appareil	 <p>5000 Å</p> <p>4000 Å</p> <p>5000 Å</p>	 <p>5000 Å</p> <p>5000 Å</p> <p>5000 Å</p> <p>5000 Å</p>	

Utiliser une lampe spectrale Hg et éclairer l'interférogramme en lumière parallèle (collimateur - fente)
 Régler à l'ordre zéro
 Introduire des franges rectilignes parallèles à la fente.
 Dans le plan ou l'on positionnera le plan film, les franges mesureront 50μ (mesure à l'oculaire ou au viseur)
 On peut mesurer l'interfrange par la mesure de l'angle entre les 2 ondes réfléchies $\lambda = 2$
 Ajuster la largeur de la fente source pour obtenir la meilleure visibilité

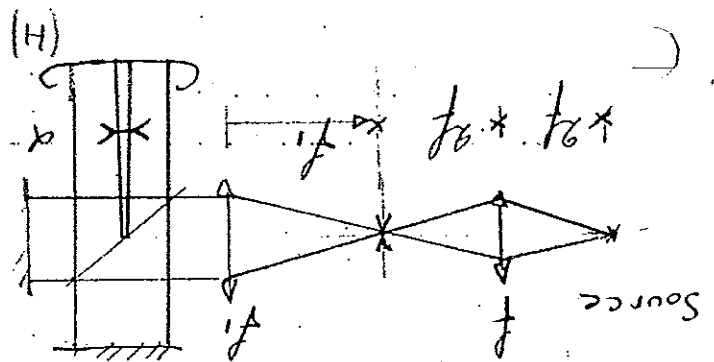
Enregistrer sur film tri X par exemple.
 Faire plusieurs poses avec 2 variables = largeur de la fente durée d'exposition.

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

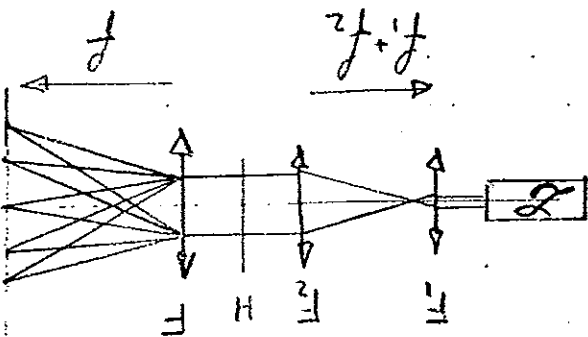
L'enregistrement diffracte le faisceau Laser parallèle de grand diamètre.
 On observe dans le plan focal d'un objectif la répartition lumineuse.

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 =

$$TF(S) = S$$

V. METROLOGIE INTERFERENTIELLE

5.1. MESURES DES DEFAUTS OPTIQUES D'UN OBJET TRANSPARENT

Filtrer la rate 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 HELIMA (France) - PROLABO - SEARLE DANMAT) Les remplir d'eau Saler l'eau de l'une des cuves jusqu'à saturation Observer les franges rectilignes avec la rate 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 ÉTALON DE FABRY-PÉROT

En lumière blanche, éclairer le Michelson en faisceau parallèle à travers un étalon de Fabry-Pérot Le spectre camélé 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'étalon. 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

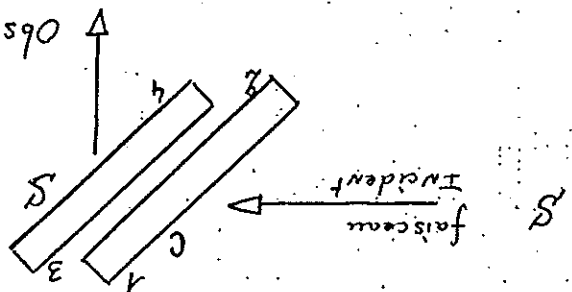
T : coefficient de transmission

$R + T = 1$

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

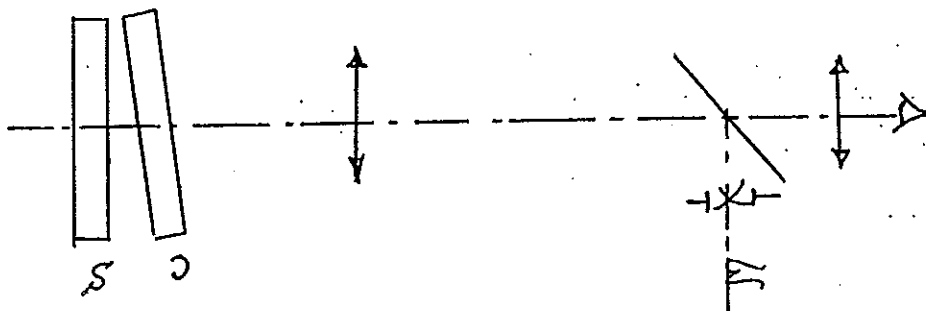
Viser la face traitée de la séparatrice avec une lunette auto-collimatrice à travers la compensatrice. Ce montage permet le meilleur contraste pour l'observation des lunes de la compensatrice (lune = image dans la lunette de la réflexion sur face plane).

* 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%

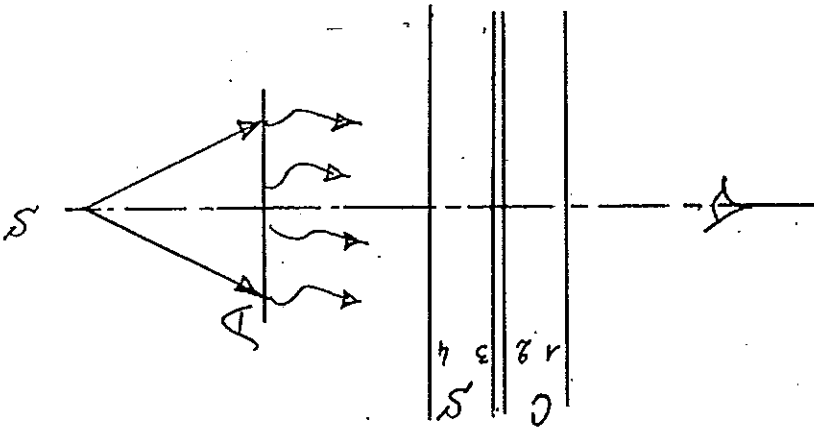
Les lunes 1 et 2 sont superposées
 Les lunes 3 et 4 sont superposées
 D'où l'énergie de la compensatrice : 8%
 de la séparatrice : 50%

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



12. Réglage interférométrique

Les lames séparatrices et compensatrices sont plan parallèles 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'éclatage se fait maintenant avec une lampe spectrale S non filtrée ; le faisceau est diffusé avec un dépôt D et la séparatrice reçoit la première des faisceaux.



132 Compensation des trajets optiques

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

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 VI. Ces observations sont beaucoup plus délicates avec V2.

13. Remarques

Revenir ensuite sur la butée si nécessaire.

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

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 VI (déplacements de l'oeil G à D).

- épaisseur optique de l'interféromètre 2 - 3 = 1 mm
- épaisseur optique des interféromètres 1 - 2 et 3 - 4 = 12 mm

L'interféromètre 2 - 3 fait apparaître des anneaux de grands diamètres. Les faces 2 et 3 font apparaître des anneaux de grands diamètres. Lorsque les lames sont parallèles, l'interféromètre formé par le réglage consiste à faire superposer les deux jeux d'anneaux. Le centre apparent des anneaux dus à la compensatrice se déplace avec l'orientation de la compensatrice. Le réglage consiste à faire superposer les deux jeux d'anneaux. Le centre apparent des anneaux dus à la compensatrice se déplace (optique). Les anneaux de Fabry-Pérot dus à la compensatrice sont de plus faible énergie, mais de même diamètre apparent (même épaisseur de Fabry-Pérot). L'observateur reconnaît les anneaux de Fabry-Pérot dus à la normale S). L'oeil accommode alors à l'infini ou sont localisés les anneaux dans la face 3, en accommodant sur cette pupille (oeil sur une des franges de Fabry-Pérot dans la bibliographie. L'oeil est positionné de façon à pouvoir observer sa pupille normale S).

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 condensateur ou un objectif

de Cléart 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,

mieux 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.

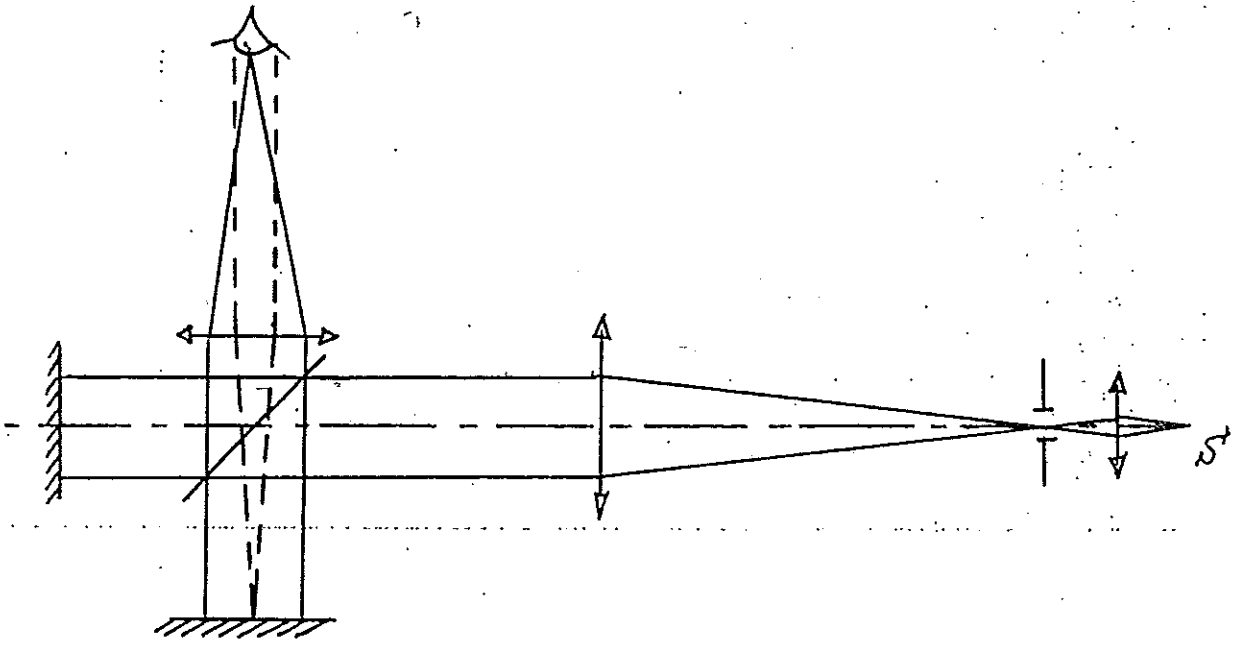
Avec l'interfrange, le diamètre de la pupille du collimateur peut

croître. L'interfrange est en mesure de supporter une cohérence

plus faible.

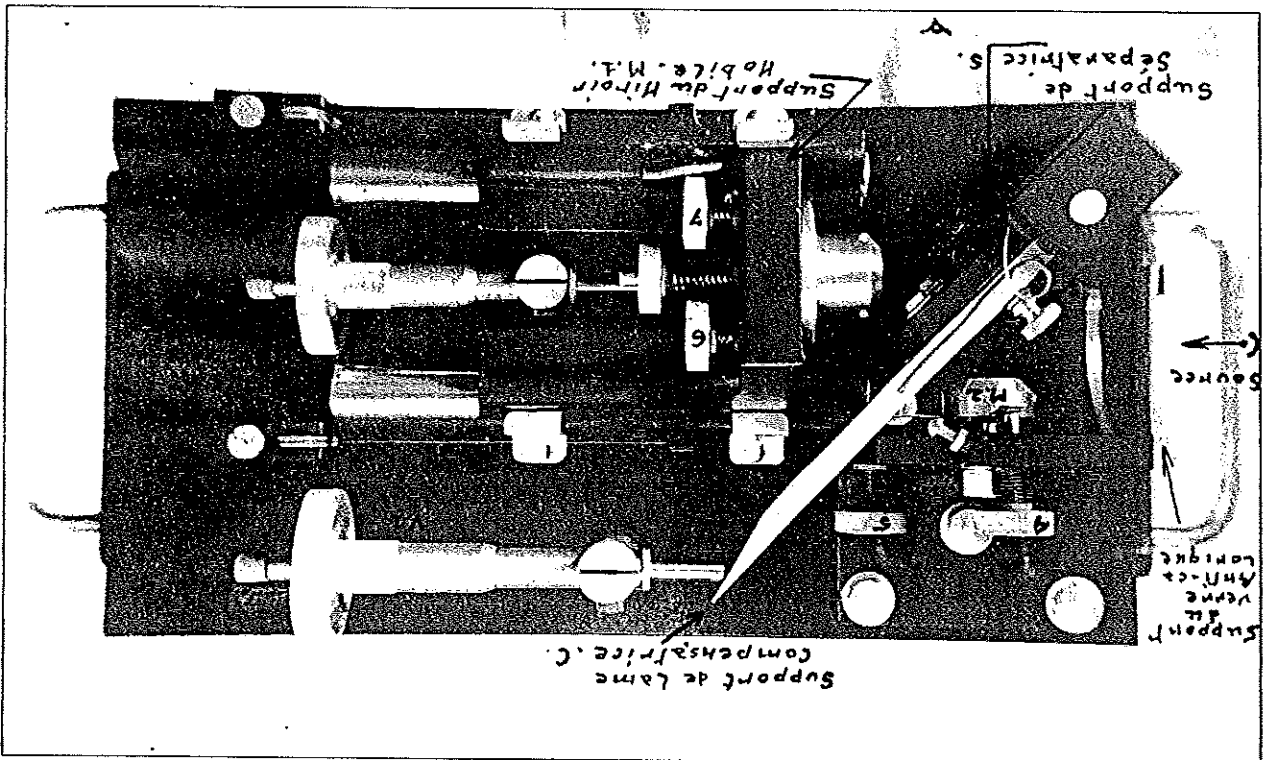
Modifier l'accommodation pour passer à l'observation des anneaux

à l'infini. On retrouve comme ci-dessus l'étape 2 - 5 du texte.



UTILISATIONS

PRINCIPE



Interféromètre de Michelson type travaux pratiques

Interférences à deux ondes d'un faisceau divisé spatialement par une lame séparatrice.
Une lame compensatrice, identique à la lame séparatrice permet la compensation absolue des trajets optiques (frange centrale blanche).
Deux miroirs plans munis des réglages fins et grossiers permettent l'observation de franges.

DOMAINE D'APPLICATION

- Enseignement : Expériences de travaux pratiques — Optique
- Interférences
- Transformée de Fourier.
- Métrologie : Mesures dimensionnelles
- Mesures d'indices
- Mesures d'épaisseur optique
- Contrôles d'objets, de réseaux, de surfaces optiques.