

Copie à Monsieur le Professeur SALMON

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

292, RUE SAINT-MARTIN, 292

PARIS-III^e

20 MAI 67

Monsieur H. BOITEUX
Sous-Directeur du Laboratoire
Aimé Cotton C.N.R.S.
Chargé de cours à la
Faculté des Sciences à Orsay
1, place Aristide Briand

N/REF : AD/ING / ME

92 - MEUDON-BELLEVUE

Monsieur,

M. le Professeur SALMON
président du jury de soutenance de thèse d'Ingénieur C.N.A.M.
dans la spécialité :

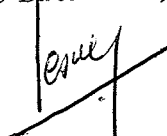
" P H Y S I Q U E "

me fait connaître que vous avez bien voulu accepter de participer aux
travaux du jury qui entendra M. Gaston GOLMAN
soutenir son mémoire le 31 mai 1967 à 10 heures
lieu : Laboratoire Aimé Cotton, C.N.R.S., 1place Aristide Briand
92 - MEUDON-BELLEVUE

Je vous remercie très vivement de bien vouloir nous
apporter votre concours et vous prie d'agréer l'assurance de ma
considération très distinguée.

p. Le Directeur,

Le Directeur-adjoint


M. LÈSNE

MÉMOIRE

présenté au

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

Centre Associé de Paris

pour l'obtention du

Titre d'Ingénieur C.N.A.M.

Spécialité : PHYSIQUE

par

Gaston GOLMAN

SUJET : Réalisation et étude de répliques de surfaces optiques.

Soutenu le 31 Mai 1967 devant la Commission d'Examen

Mr. J. SALMON.....Président

MM. A. FOURNIER..... }
R. CHABBAL..... } Examineurs
H. BOITEUX..... }

PARIS 1967

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ici ma reconnaissance à Monsieur le Professeur Pierre JACQUINOT, Directeur Général du Centre National de la Recherche Scientifique pour la bienveillance avec laquelle il m'a permis d'effectuer ce travail dans son laboratoire.

J'adresse également mes remerciements à Monsieur le Professeur Robert CHABBAL, Directeur du Laboratoire Aimé Cotton au Centre National de la Recherche Scientifique, qui a bien voulu diriger ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à tout le personnel du laboratoire Aimé Cotton pour la collaboration efficace qu'il m'a apportée.

I N T R O D U C T I O N . -

Il est extrêmement difficile de faire d'excellentes surfaces optiques en Spectroscopie Interférentielle et celle-ci en voit son développement ralenti.

Dans les laboratoires où l'on utilise d'une façon toujours plus importante des lames dont l'état de surface est à $\lambda/50$ (λ raie verte de Hg) et des réseaux, il s'avérait très utile de savoir faire les répliques de ces surfaces optiques d'une façon reproductible.

Des répliques de surfaces optiques de qualité moyenne ont déjà été effectuées par des Chercheurs étrangers (1) - (2). D'autre part, on sait que la plupart des réseaux commerciaux sont obtenus par copie de réseaux-matrices, mais aucune publication n'a été faite à ce sujet.

Nous avons divisé notre étude de répliques de surfaces optiques en trois parties distinctes, qui en fait sont complémentaires.

- 1°) Répliques de surfaces de lames de quartz fondu, poli à $\lambda/50$, sur un support de quartz fondu, poli à λ ou même de qualité de surface inférieure.
- 2°) Répliques de surfaces de lames de quartz fondu poli à $\lambda/50$ sur un support de fluorine poli à λ ou même de qualité inférieure.
- 3°) Répliques de la surface d'un réseau sur une lame de verre poli à λ .

Nous décrirons également l'appareillage qui nous a permis de comparer les répliques obtenues par rapport aux matrices utilisées.

Intérêt - Cette étude présente un grand intérêt pour obtenir :

- 1°) des lames dont l'état de surface soit le meilleur possible en vue de leur utilisation dans un interféromètre de Fabry et Perot, ou comme miroirs et lames séparatrices ou

compensatrices de l'interféromètre de Michelson ou d'un S.I.S.A.M. ;

2°) des lames permettant de travailler dans l'infra-rouge à l'aide des interféromètres énumérés ci-dessus;

3°) des répliques de réseaux gravés de différentes caractéristiques et dimensions, et des répliques de réseaux qui soient eux-mêmes des répliques de réseaux gravés.

1ère PARTIE

REPLIQUE DE SURFACES DE LAMES DE QUARTZ FONDU POLI A $\lambda/50$ SUR UN SUPPORT DE QUARTZ
FONDU POLI A λ OU MEME DE QUALITE DE SURFACE INFERIEURE.-

I. 1 - CONTROLE DE LA QUALITE DES REPLIQUES.-

Pour nous permettre de contrôler l'état de surface des lames étalons et des lames répliques, nous avons mis au point un appareil basé sur l'observation des franges du coin d'air ou franges de Tolanski.

A) Franges du coin d'air théorique

Si deux lames de verre, rigoureusement planes, font entre elles un très petit angle, et si nous semi-métallisons les surfaces en regard de nos deux lames de verre et que nous éclairions par un faisceau parallèle sensiblement monochromatique tombant perpendiculairement sur les surfaces, nous observons par transmission des franges localisées entre les deux lames ; elles correspondent au lieu des points où l'épaisseur e entre les lames est constante et donnée par :

(formule 1)
$$2 n e \cos i = K \lambda$$

Dans le cas considéré, ce sont des droites parallèles à l'arête du dièdre formé par les deux lames : précisons leurs positions.

Les conditions énoncées ci-dessus donnent :

$i \simeq 0$ (angle d'incidence) ; $\cos i \simeq 1$

$n \simeq 1$ (indice de l'air).

L'équation (1) se ramène donc à :

$$2 e = K \lambda \quad \text{ou}$$

(formule 2)
$$e = K \lambda / 2$$

e : épaisseur entre les deux lames

K : constante pouvant prendre toutes les valeurs entières entre 0 et ∞ .

λ : longueur d'onde de la lumière monochromatique utilisée.

Dans l'exemple de la figure (1) nos lames font un angle tel que la distance maximum entre nos deux surfaces est :

$$e = 3 \lambda / 2 \quad \text{car } K = 3$$

Les franges existeront pour les valeurs de K comprises entre 0 et 3, c'est-à-dire :

$$K = 0$$

$$e_0 = 0$$

$$K = 1$$

$$e_1 = \lambda / 2$$

$$K = 2$$

$$e_2 = 2 \lambda / 2$$

$$K = 3$$

$$e_3 = 3 \lambda / 2$$

De façon générale la distance Δx entre deux franges, que l'on appelle interfrange, vaut $\Delta x = \lambda / 2 \alpha$, α étant l'angle du dièdre (voir figure 2).

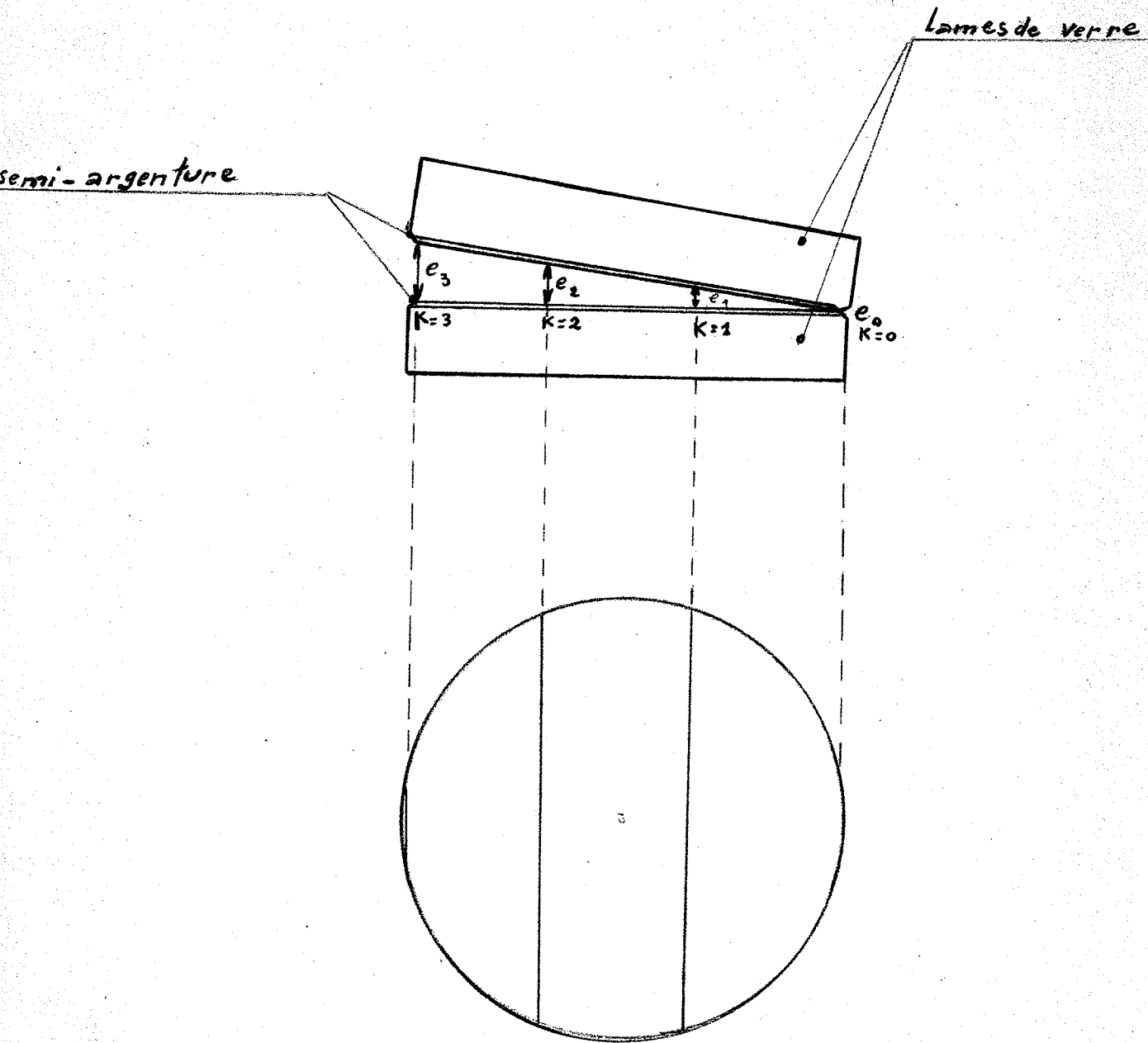


fig 1

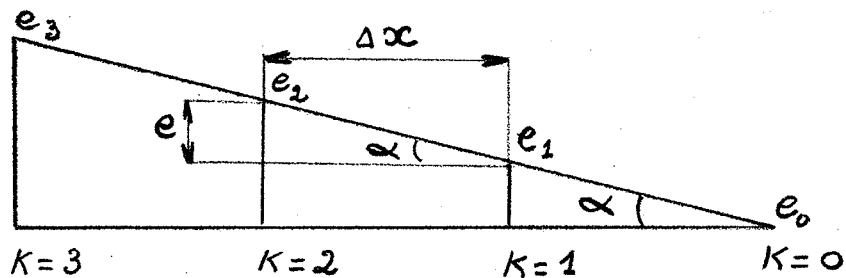


Fig 2

B) Mesure des défauts grâce à l'observation des franges du coin d'air

Supposons que dans le coin d'air que nous venons de considérer, l'une des deux lames ne soit pas rigoureusement plane, les franges observées, c'est-à-dire les lieux des points où la distance entre les lames est constante, ne seront plus des droites mais des courbes quelconques.

L'observation de ces courbes permet de trouver la forme et la grandeur des défauts.

L'interprétation n'est vraiment simple que dans le cas d'un défaut à profil rectangulaire (figure 3). Dans ce cas on observe une brusque translation de la frange : si la profondeur du défaut est $\frac{\lambda}{2n}$, le déplacement δx de la frange est $\frac{1}{n}$ de l'interfrange Δx , celui-ci étant défini comme la distance entre deux franges consécutives pour les lames parfaites, distance qui correspond à une variation de $\lambda/2$ de l'épaisseur du dièdre.

Lorsque le défaut est d'un type quelconque, l'interprétation est plus délicate, la frange observée a une forme quelconque ; on mesure encore le décalage δx entre la frange réelle et la frange rectiligne correspondant aux lames parfaites.

L'examen de la figure 4 montre que le déplacement δx est proportionnel à la profondeur du défaut non ~~pas~~ au point A où passerait la frange rectiligne mais au point B où passe la frange réelle.

Pour connaître la profondeur du défaut et sa forme générale, il faut donc déplacer les franges le long de la surface, la déviation δx maximum étant, dans le cas de la figure 4, observée lorsque la frange rectiligne idéale passe au point D, la frange réelle passant alors par C, sommet du défaut.

En d'autres termes, on procède à un tracé de lignes de niveau donnant l'altitude $\frac{\lambda}{2}$ par $\frac{\lambda}{2}$ pour une position donnée des lames, le plan de référence n'étant pas parallèle au plan moyen de la lame dont on étudie le relief.

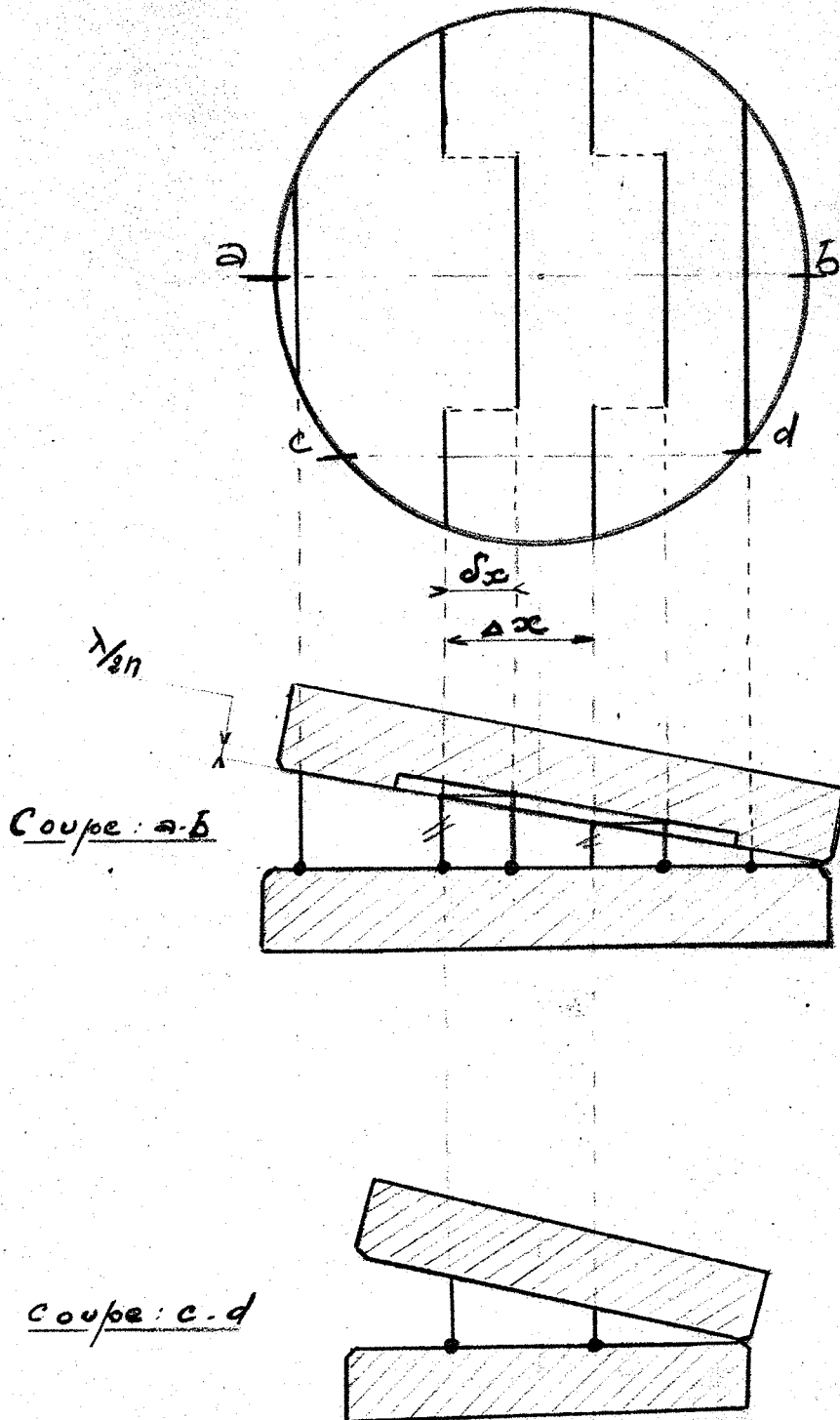


fig 3

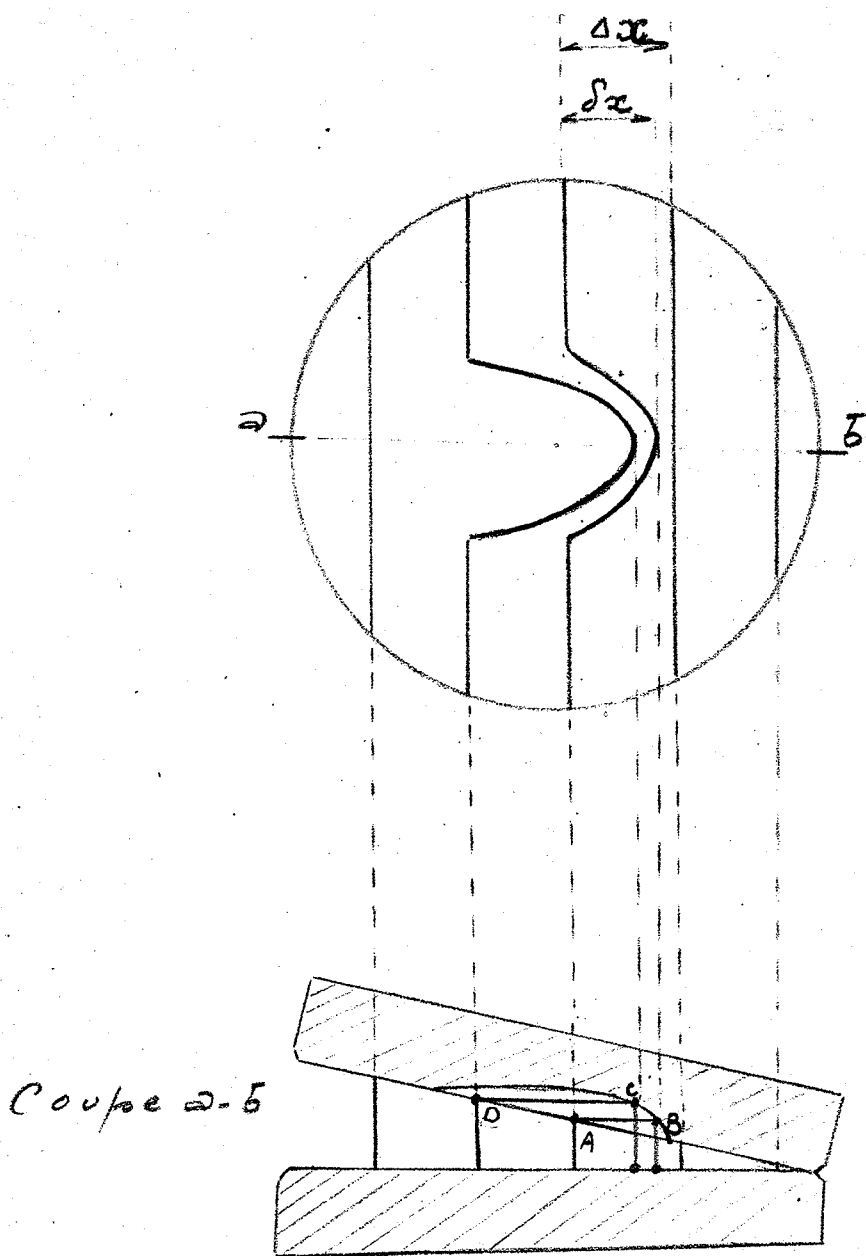


Fig 4

L'interprétation des résultats serait plus simple si le plan moyen de la lame était parallèle au plan de référence.

Quelques méthodes de ce type ont été développées ailleurs (3), (4), (5), mais leur mise en oeuvre actuellement assez délicate n'était pas justifiée par la précision des mesures que nous avons à effectuer.

29. // Signalons que, lorsqu'on utilise une lampe à plusieurs raies monochromatiques, on obtient une interprétation plus facile des courbes obtenues (6).

ou fines précises?

C) Précisions des mesures.

Les franges dont il a été question précédemment ne sont pas des courbes géométriques infiniment fines. Elles ont une certaine épaisseur qui limite la précision des pointés et finalement la précision de la mesure du défaut.

Les franges sont élargies :

1°) par la largeur de la bande spectrale du faisceau incident ; si l'on veut utiliser des Sources intenses de profil spectral toujours très large, telle que la lampe Hg à haute pression sans que les franges soient notablement élargies il faut que les lames soient très rapprochées (distance de l'ordre du 1/100 de millimètre);

2°) par l'angle solide du faisceau incident, on montre que l'élargissement correspondant est négligeable si l'angle solide est inférieur à :

(formule 3)
$$\Omega = \frac{\pi \cdot \lambda}{\mathcal{F} \cdot e} \quad \Omega R = 2\epsilon \quad R = \frac{2\mathcal{F}e}{\lambda}$$

λ : longueur d'onde de la raie utilisée.

e : épaisseur du coin d'air à l'endroit de la frange observée.

\mathcal{F} : c'est un nombre sans dimension qui mesure le rapport de la distance de deux franges adjacentes à la largeur des franges données par la fonction d'Airy dans un interféromètre à onde multiples. Ce facteur est appelé finesse de l'interféromètre. On démontre que sa valeur est pour des lames ayant un revêtement de pouvoir réflecteur R :

(formule 4)
$$\mathcal{F} = \frac{\pi \sqrt{R}}{1-R} \approx \frac{3}{1-R} \quad \text{pour } R \text{ voisin de } 100\%$$

Finalement si l'épaisseur est suffisamment faible, si le faisceau incident est bien choisi, la largeur des franges ne dépend que du pouvoir réflecteur R du revêtement des lames.

Celui-ci est couramment de l'ordre de 95% et la largeur des franges est de l'ordre de 1/60 de l'interfrange ($\mathcal{F} \approx \frac{3}{1-0.95} = \frac{3}{0.05} = 60$)

*

Ce-ci permet de déceler des défauts de l'ordre de $1/60 \lambda/2$ c'est-à-dire pratiquement d'environ $\lambda/100$.

D) Réalisation du coin d'air variable

Nous produirons notre coin d'air à l'aide de trois cales de papier à cigarette disposées à 120° et c'est la différence des épaisseurs de ces trois cales qui provoquera entre les lames un angle différent de zéro permettant l'observation des franges du coin d'air - voir figure 5.

Pour faire varier l'angle des lames, il nous suffira de tirer légèrement une des cales, la surface de papier de cette cale comprise entre les deux lames diminuant, la pression sur le papier augmente d'où un léger écrasement qui provoque une diminution en ce point de l'écart des deux faces.

La première frange apparaitre dans l'espace le plus étroit quand :

$$e_1 = k_n \lambda/2$$

la frange suivante apparait pour

$$e_2 = (k_n + 1) \lambda/2$$

la troisième frange apparait pour

$$e_3 = (k_n + 2) \lambda/2$$

et la $p^{\text{ème}}$ frange apparait pour :

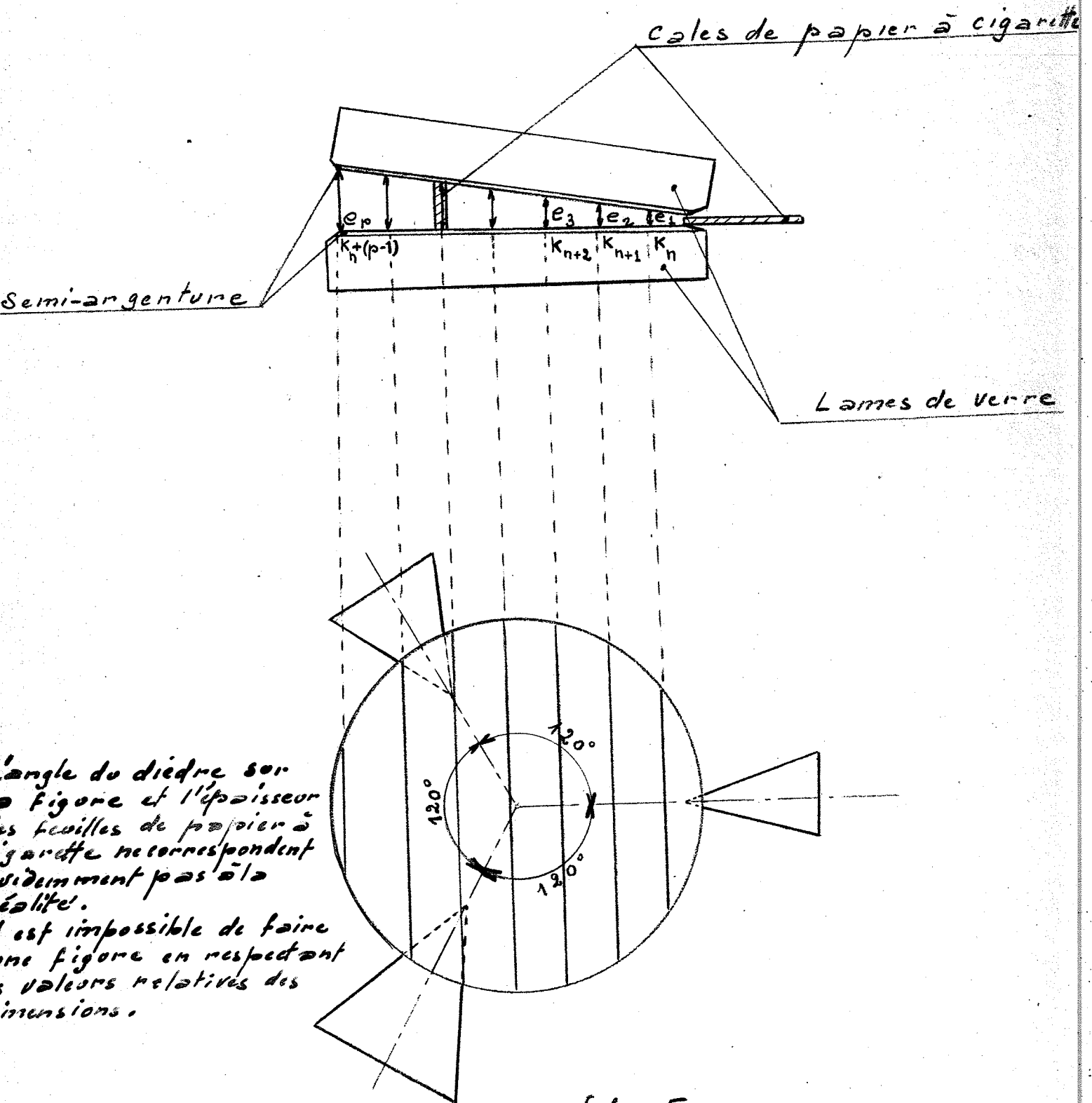
$$e_p = [k_n + (p-1)] \lambda/2$$

Calculons l'ordre d'interférence donné par une feuille de papier à cigarette, sachant que son épaisseur $e_0 = 2,5/100$ de millimètre.

Si $\lambda = 5461 \text{ \AA}$ (raie verte de Hg), nous calculons aisément $k_n - 1$:

$$k_n - 1 = \frac{2e}{\lambda} = \frac{5 \cdot 10^5}{5461} \approx 95 \text{ (seule la valeur entière de ce rapport est à considérer)}$$

d'où $k_n = 96$; $k_n + 1 = 97$; $k_n + 2 = 98$ etc.



l'angle du dièdre sur la figure et l'épaisseur des feuilles de papier à cigarette ne correspondent évidemment pas à la réalité.

Il est impossible de faire une figure en respectant les valeurs relatives des dimensions.

Fig 5

E) Bâti de contrôle - voir figure 6

La source S est placée au foyer de la lentille L_1 qui en donne une image à l'infini, cette disposition facilitant la détermination de l'angle solide du faisceau qui traverse les lames.

L'ensemble des lentille $L_2 L_3$ donne du plan perpendiculaire au faisceau, situé entre les deux lames, une image agrandie deux fois sur l'écran E.

Dans le plan D_2 , qui est le plan focal de l'ensemble des lentilles $L_2 L_3$, se forme une image intermédiaire de la source ; on y place un diaphragme circulaire de position et de diamètre tels que l'angle solide qu'il détermine soit celui qui, fourni par la (formule 3) : $\Omega = \frac{\pi \Delta}{\mathcal{F} e}$ corresponde sensiblement à celui donné par ce diaphragme.

L'écran D_1 est destiné à limiter l'énergie parasite pénétrant dans les lames. C est un verre anti-calorique qui évite que le faisceau n'échauffe les galets. La source S' est une lampe à mercure haute pression. Le filtre f est choisi de façon à ne laisser passer que la raie verte.

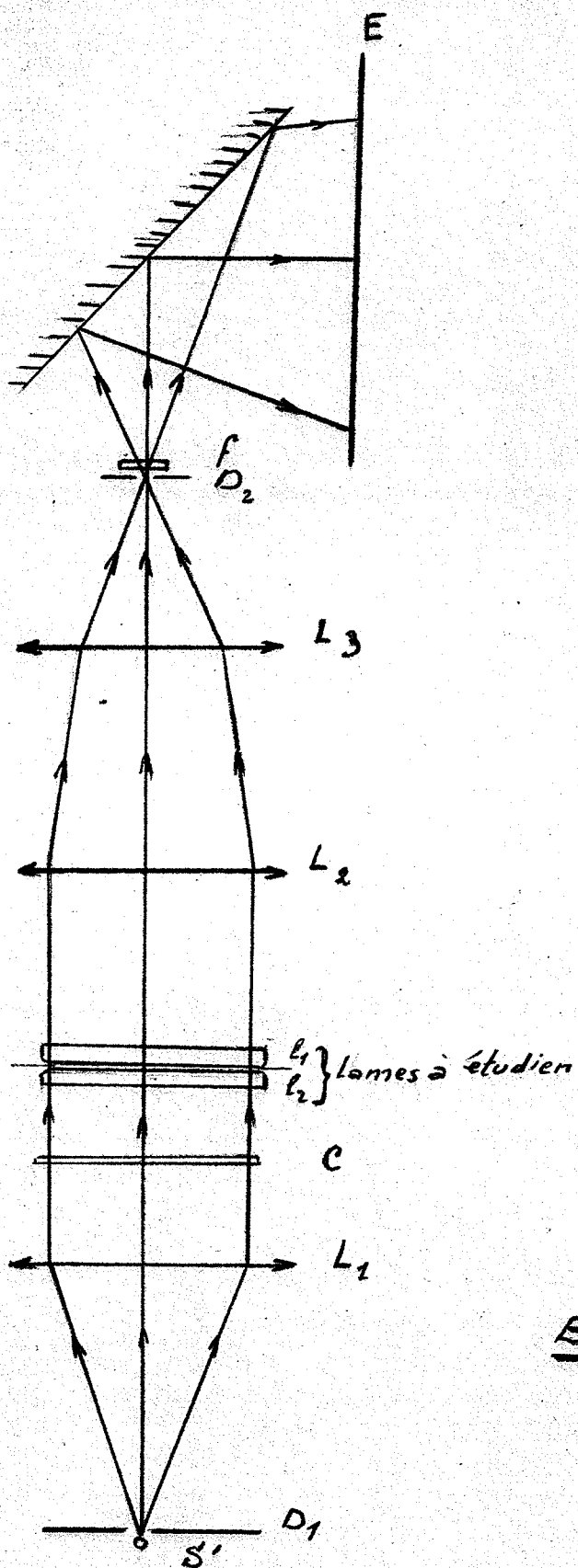


fig 6
Bati de contrôle

MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION NATIONALE

292, RUE SAINT-MARTIN (III^e)
TÉLÉPH. : TURBIGO 64-40

CONSERVATOIRE NATIONAL
DES
ARTS & MÉTIERS

PARIS, LE 9 mai 1967

Monsieur,

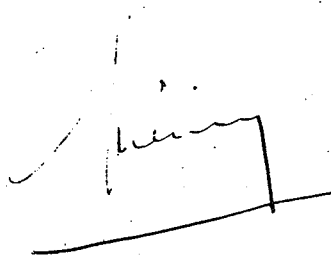
Vous avez bien voulu accepter de participer aux travaux du jury de thèse d'un candidat au titre d'Ingénieur du Conservatoire National des Arts et Métiers.

Je vous fais parvenir, sous ce pli, un exemplaire du mémoire.

Je vous adresserai par un prochain courrier la convocation à la soutenance de ce mémoire.

Vous remerciant de votre collaboration, je vous prie d'agréer, Monsieur, l'assurance de mes sentiments distingués.

Le Directeur,



P. GUERIN

F) Mesure pratique des défauts d'état de surface

Soit δx la distance de deux droites parallèles limitant la frange la plus déformée du tracé - voir figure 7 - Δx étant la distance de deux franges consécutives.

Nous écrirons que la qualité Q de l'état de surface de la lame exprimée en fonction de λ est :

$$Q = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\delta x}{\Delta x} \quad \text{ce qui peut se mettre sous la forme}$$

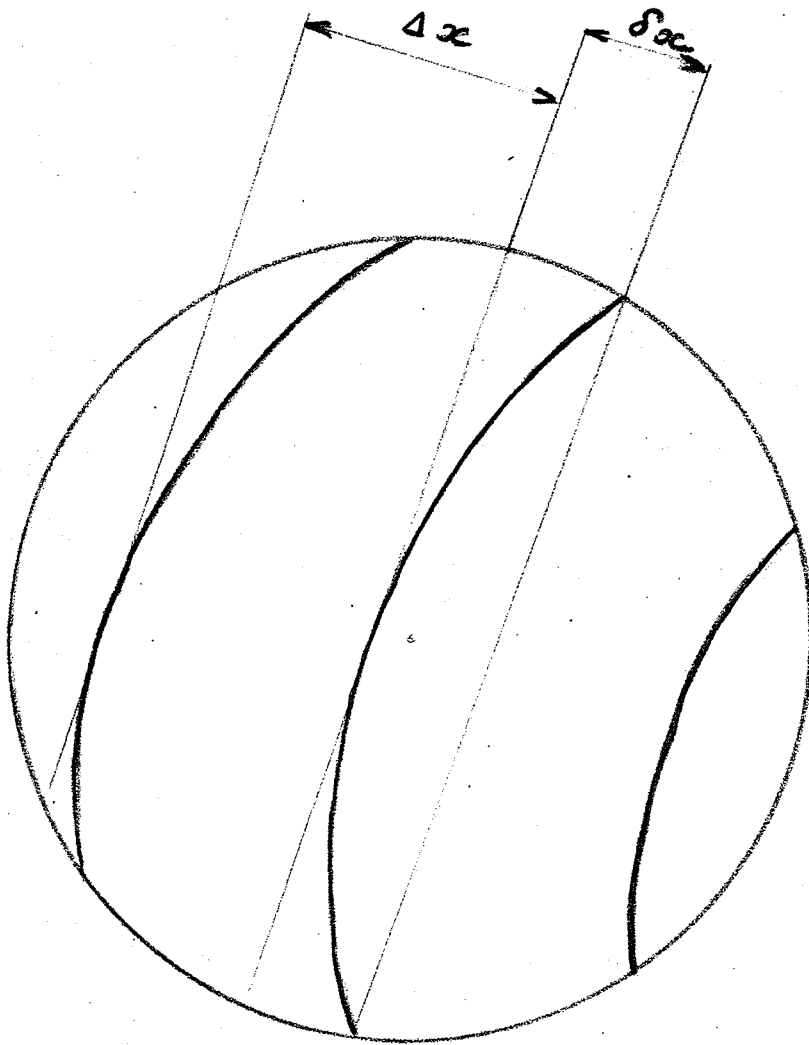
(formule 6)
$$Q = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{\frac{\Delta x}{\delta x}}$$

en posant
$$\frac{\Delta x}{\delta x} = n$$

(formule 7)
$$Q = \frac{\lambda}{2 n}$$

Le tracé des franges sera effectué après avoir laissé nos deux lames à la même température durant 8 heures.

Le plan de référence est une lame d'état ^{de} surface $\frac{\lambda}{50}$.



Cas d'un défaut de courbure
fig 7

1. 2 - MISE AU POINT DE LA FABRICATION DES REPLIQUES DE LAMES DONT L'ETAT DE SURFACE EST DE QUALITE INTERFEROMETRIQUE.

A) Principe de l'expérience (voir Fig. 8)

Le principe de l'expérience est le suivant : on dépose par évaporation sur la lame matrice à copier deux couches métalliques. Ces deux couches sont très fines (épaisseur comprise entre 500 et 1000 Å) et épousent fidèlement le contour de cette lame à reproduire.

C'est entre ces deux couches métalliques que doit se faire la séparation entre la matrice et la réplique.

On applique alors sur l'ensemble ainsi formé la lame support en interposant une goutte de matière polymérisable ; celle-ci se répand entre la lame support et la ~~la~~ matrice recouverte de ses deux couches métalliques ; s'il existe une différence d'état de surface entre la lame support et la lame matrice, la matière encore fluide remplit l'espace existant entre les deux surfaces. On laisse durcir la matière. Puis on essaie de séparer les deux lames. L'expérience réussira si le plan de moindre résistance se trouve entre les deux couches métalliques. On sépare alors les deux lames : la matrice et la réplique d'état de surface complémentaire ; si la matrice est parfaite la réplique l'est aussi. En revanche, à tout défaut en creux de la matrice doit correspondre un défaut en relief de la réplique de même profil et de même amplitude.

Pour réussir l'expérience nous avons essayé successivement différentes méthodes pour lesquelles nous avons utilisé :

1°) les résines polymérisables :

a) résine épikote b) araldite c) polyester

2°) les métallisations sous vide de différents métaux :

a) aluminium b) argent c) cuivre d) or

Toutes les expériences ont été effectuées avec des galets circulaires polis à $\lambda/50$ pour la matrice et à λ pour le support de réplique.

Le verre matrice et le verre réplique seront de même diamètre et munis d'un chanfrein.

B) Première série d'essais

Nous recouvrons notre verre matrice, préalablement nettoyé à la potasse et à l'acide nitrique dilué, d'une première couche d'aluminium qui est obtenue de la façon suivante :

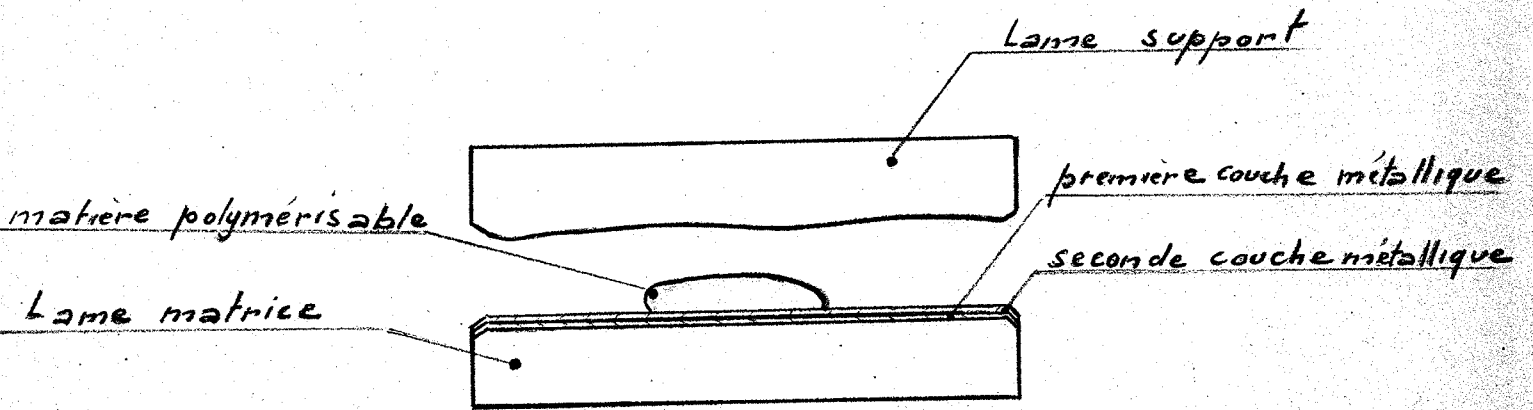


fig 8

- dans le meilleur vide possible de l'ordre de 10^{-5} millimètre de mercure et avec le maximum de rapidité, nous évaporons une couche opaque d'aluminium (l'épaisseur d'une couche d'aluminium est obtenue pour une épaisseur de la couche de l'ordre de 250 \AA ou $0,025 \mu$) en chauffant des cavaliers d'aluminium sur trois fils de tungstène torsadés.

Nous vérifions l'adhérence de cette couche d'aluminium en appliquant puis décollant un ruban adhésif sur un verre témoin qui a été mis dans l'enceinte à vide avec notre verre matrice. La qualité de la couche est bonne si l'aluminium n'est pas entraîné lors du décollement du ruban adhésif.

Avant d'évaporer une seconde couche d'aluminium, nous effectuons une entrée d'air pour provoquer la formation sur l'aluminium d'une couche d'alumine. La seconde couche d'aluminium sera effectuée dans un mauvais vide de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4}$ mm de Hg et l'évaporation sera effectuée lentement pour rendre la couche peu adhérente à l'alumine. Nous procédons ainsi car plusieurs essais répétés nous ont permis de constater qu'à valeur de vide égal, plus l'évaporation est effectuée rapidement meilleure est l'adhérence de la couche d'aluminium, et à vitesse d'évaporation égale plus l'évaporation est faite dans un vide poussé, meilleure aussi sera l'adhérence ; ceci est d'ailleurs également vrai pour les autres métaux que nous avons utilisés.

La résine polymérisable employée est la résine épikote 828 (poids moléculaire), qui est préparée de la façon suivante :

- nous mettons notre résine épikote 828 dans une éprouvette et nous y ajoutons 10 % de polymérisant qui est le diéthylène triamine ; nous mélangeons l'ensemble de façon à rendre la solution bien homogène.

Pour se servir du mélange, il nous faut évacuer les bulles d'air ; nous y parvenons en faisant le vide dans notre éprouvette à l'aide d'une pompe à palette.

La viscosité rend cette opération délicate ; nous ferons subir à notre éprouvette pendant le pompage des échauffements et refroidissements successifs : on chauffe pour provoquer une diminution de la viscosité, puis on refroidit pour éviter d'avoir une polymérisation trop rapide.

Quand la solution est sans bulles d'air, nous en déposons une grosse goutte sur notre verre matrice (qui est recouvert de ses deux couches d'aluminium séparées par une couche d'alumine). Sur cet ensemble il faut appliquer le verre support de réplique (préalablement nettoyé à la potasse diluée et à l'acide nitrique dilué) sans introduire de bulles d'air.

Cette opération est délicate - voir figure 9 -

Nous mettons l'ensemble durant 24 heures dans l'étuve réglée à 50° C pour obtenir une bonne polymérisation, ensuite nous effectuons le décollement en introduisant une lame de couteau entre les deux chanfreins et nous donnons de légers coups de marteau sur le dos de cette lame (voir figure 10) de façon à provoquer un décollement par propagation d'une vibration transversale.

Résultats obtenus pour ces premiers essais

Pour ces différents essais nous avons fait varier la concentration du polymérisant de la résine ainsi que la température et la durée de polymérisation. A côté de quelques réussites, nous avons abouti à de nombreux échecs tels que :

- a) Impossibilité de séparer à l'aide du couteau et du marteau nos deux surfaces sans casser les galets.
- b) Décollement se produisant entre le verre support et la résine au lieu de se produire entre une des couches d'aluminium et la couche d'alumine.
- c) Décollement s'effectuant sur des plans variables entre les galets suivant l'endroit de la surface.
- d) Apparition d'une tache laiteuse sur la réplique à l'endroit où a été déposée la goutte de résine, de même dimension que cette goutte.

Origine ?

Lame support de réplique

Lame matrice

Résine époxyte polymérisable

2^{ème} couche d'aluminium

couche d'alumine - plan de séparation

1^{ère} couche d'aluminium

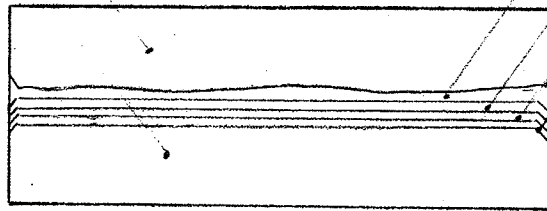


Fig 9

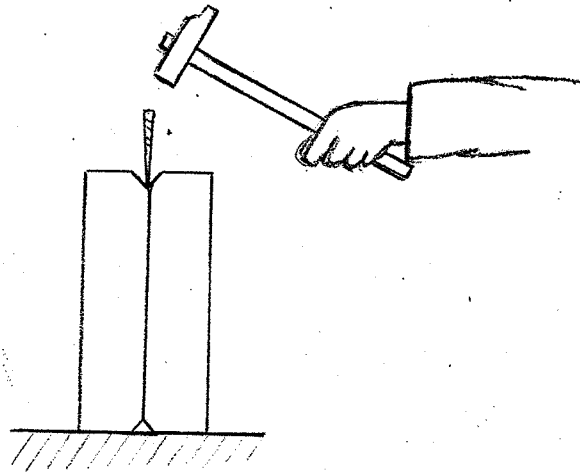


Fig 10

e) Même dans le cas le plus favorable où la séparation s'effectue très correctement nous détériorons la réplique quand nous voulons enlever la couche d'aluminium qui la recouvre ; cette opération en effet ne peut se faire qu'à l'acide nitrique dilué ou à la potasse diluée ou au chlorure mercurique très dilué.

Ces trois corps attaquent la résine polymérisable et provoquent un léger dépoli .

Remarque - A ce stade des essais, la méthode n'est pas suffisamment au point pour effectuer des mesures d'état de surface.

Conclusion

L'ensemble des échecs obtenus semblait dû essentiellement à une adhérence trop grande des deux couches métalliques (§ a, page 21), à une adhérence insuffisante de la couche de résine (§ b, page 21).

Dans les essais suivants, nous avons donc fait varier, d'une part la nature de la résine, d'autre part la nature des couches métalliques.

C) Deuxième série d'essais : nature de la résine à utiliser

Dans cette série, au lieu d'utiliser les résines épikotes qui n'ont pas un pouvoir d'adhérence suffisant, nous avons utilisé d'autres résines.

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les araldites. Différentes araldites ont été essayées ; celle qui a donné les meilleurs résultats a été l'araldite 103 avec le polymérisant HY 951.

Nous avons opéré sensiblement comme au paragraphe I. 2 - B.

La température de polymérisation est de 40 à 45° durant 48 heures.

L'avantage de cette méthode par rapport à la précédente est que nous avons éliminé le décollement entre la résine et le verre support qui se produisait précédemment au moment de la séparation des deux surfaces.

.../...

L'élimination des bulles d'air dans l'araldite est plus difficile que dans les résines épikotes étant donné qu'elles sont plus visqueuses.

Des essais ont été également effectués avec les polyesters suivants :

- stratyl A 16 avec 1 % de polymérisant X 8
- stratyl A 28 avec 1 % de polymérisant X 8

Ces résines, comme les résines épikotes, présentent un pouvoir d'adhérence insuffisant.

Conclusion

Cette deuxième série d'essais nous a permis de résoudre un point important qui est le décollement entre la résine et le verre au cours de la séparation des surfaces.

Les autres défauts de la première série d'essais (a -, d -, e-,) n'ont cependant pas systématiquement disparu.

D) Troisième série d'essais : nature des couches métalliques

Dans ce cas, nous avons étudié systématiquement les métaux à évaporer sous vide sur nos surfaces afin, d'une part obtenir une adhérence moins grande entre les deux couches métalliques, afin d'autre part que la couche métallique puisse être enlevée sans que la couche d'araldite soit détériorée.

Nous avons essayé successivement :

- 1°) une couche d'aluminium opaque (évaporé sous vide) sur le galet matrice , une entrée d'air d'environ 1 heure, plus une couche d'argent (évaporé sous vide dans un creuset de tantale).

Nous avons obtenu des séparations plus faciles, mais les résultats n'ont pas toujours été reproductibles. D'autre part, il nous a été impossible d'ôter l'argent de la réplique sans attaquer la couche d'araldite (les produits essayés ont été : l'acide nitrique dilué, la potasse diluée et le chlorure mercurique dilué ; l'attaque par le mercure n'est pas suffisante pour enlever l'argent).

- 2°) une couche d'aluminium opaque (évacué sous vide),
une entrée d'air de 1 heure,
une couche semi-transparente de cuivre (évacué sous vide dans un creuset de molybdène).

Dans ce cas la séparation a été encore plus facile mais, comme pour l'argent, il est difficile d'ôter le cuivre sur la réplique sans attaquer l'araldite (produits essayés : acide nitrique, potasse et chlorure mercurique dilués).

Il est à signaler que dans ce cas si l'on tarde après la séparation des surfaces à enlever la couche de cuivre, il se produit sur toute la surface de cuivre des petits sillons dans toutes les directions et si l'on ôte le cuivre, on constate que ces sillons existent sur l'araldite. L'interprétation de ce phénomène est assez délicate ; toujours est-il que nous l'avons observé d'une façon systématique.

- 3°) une couche d'aluminium opaque (évacué le plus rapidement possible et dans le meilleur vide possible),
une entrée d'air de 30 minutes,
une couche d'or semi-transparente (une couche d'or dont l'épaisseur est de l'ordre d'une couche opaque d'aluminium et semi-transparente).

L'or est évaporé lentement dans le plus mauvais vide possible compatible avec l'évaporation dans des creusets qui ont été confectionnés dans une feuille de tungstène de 1/10 de millimètre, travaillé dans la flamme.

Dans ce cas, la séparation des surfaces s'effectue correctement et d'une façon reproductible. Le nettoyage de la couche d'or se fait à l'aide d'un bain de mercure, celui-ci ayant l'avantage de ne pas attaquer l'araldite.

Conclusion

De cette série d'essais, on voit que c'est l'empilement d'une couche d'aluminium et d'une couche d'or (voir figure 11) qui satisfait aux deux conditions de décollement correct et d'un nettoyage sans attaque de l'araldite.

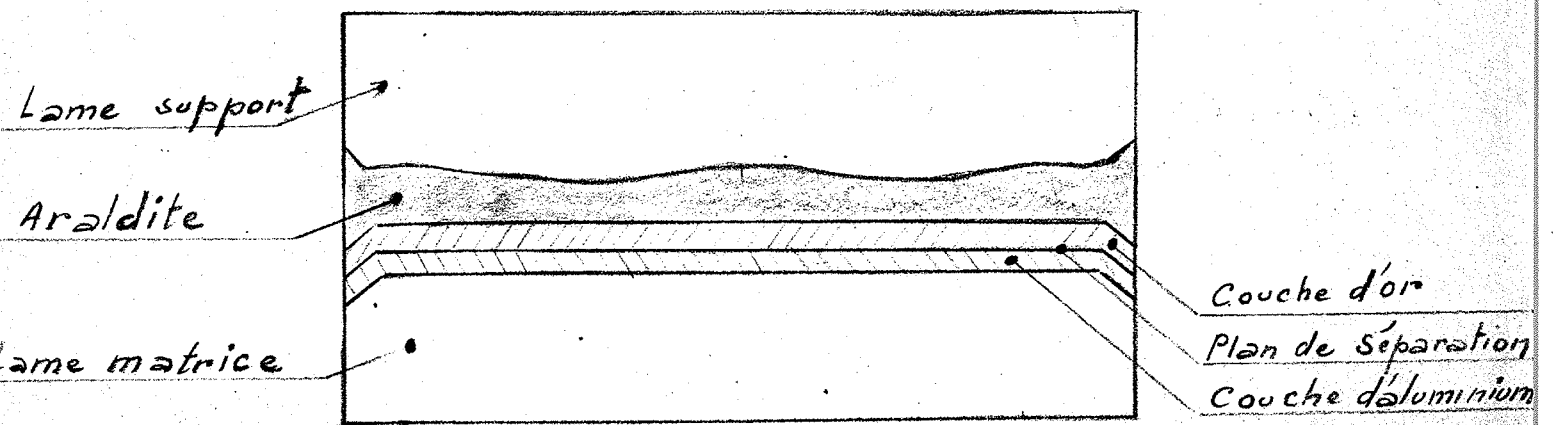


Fig 11

E) Quatrième série d'essais

Un seul défaut subsiste, c'est l'apparition quelques fois sur la réplique d'une tache laiteuse à l'endroit où la goutte d'araldite a été déposée sur la matrice recouverte de ses deux couches de métaux. Il semble que l'humidité de l'air soit la cause de l'apparition de cette tache car si l'on prépare l'araldite dans une atmosphère dont l'état hygrométrique est faible le défaut constaté n'apparaît plus.

F) Contrôle du décollement des galets

Lorsque nous effectuons le décollement de nos surfaces, si nous regardons nos galets du côté de la lame support (figure 12), nous observons des franges de coin d'air localisées dans le plan de décollement, c'est-à-dire entre la couche d'aluminium et la couche d'or (qui est semi-transparente).

Ces franges nous permettent de suivre d'une façon rigoureuse la séparation des deux surfaces.

G) Conclusion générale

Chaque série d'essais nous a permis de trouver une solution satisfaisante pour chaque défaut constaté.

A ce stade des essais, la méthode est suffisamment au point pour que l'on puisse procéder à des mesures d'état de surface des répliques.

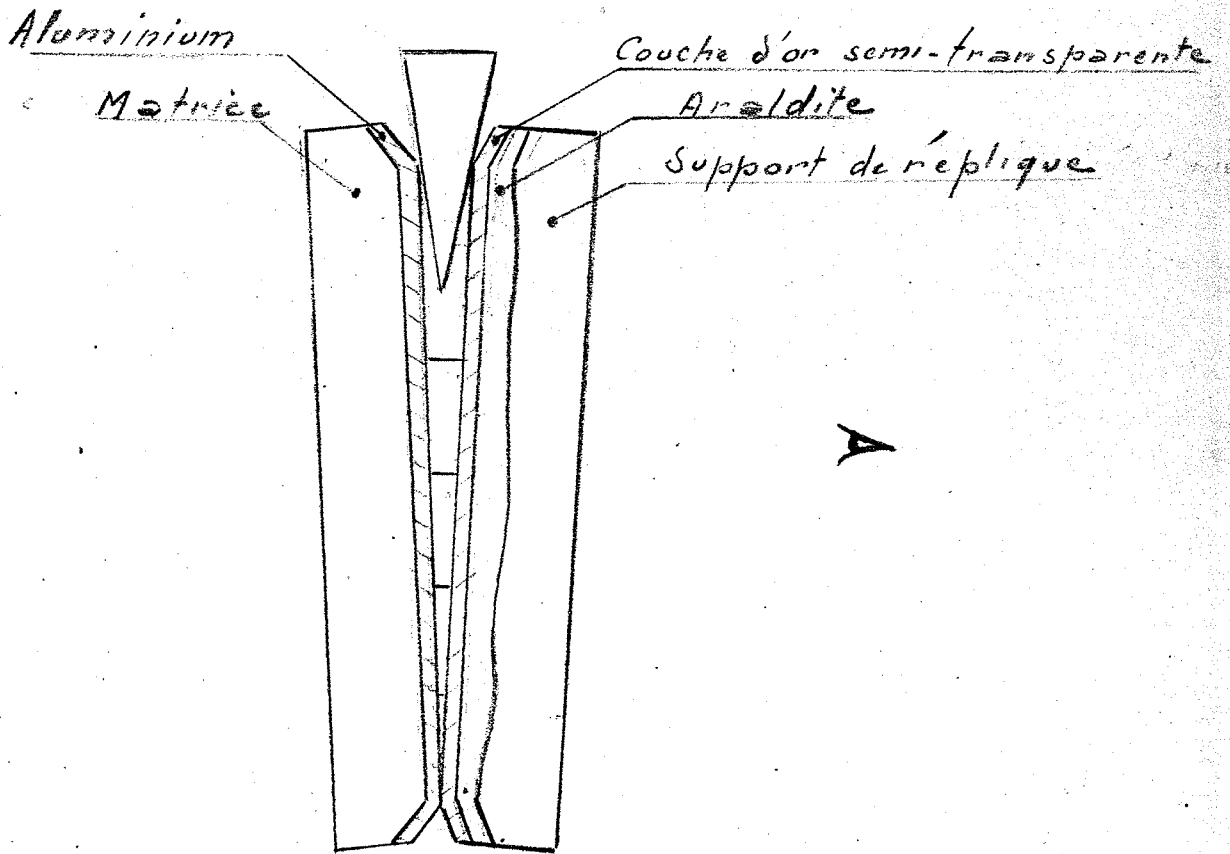
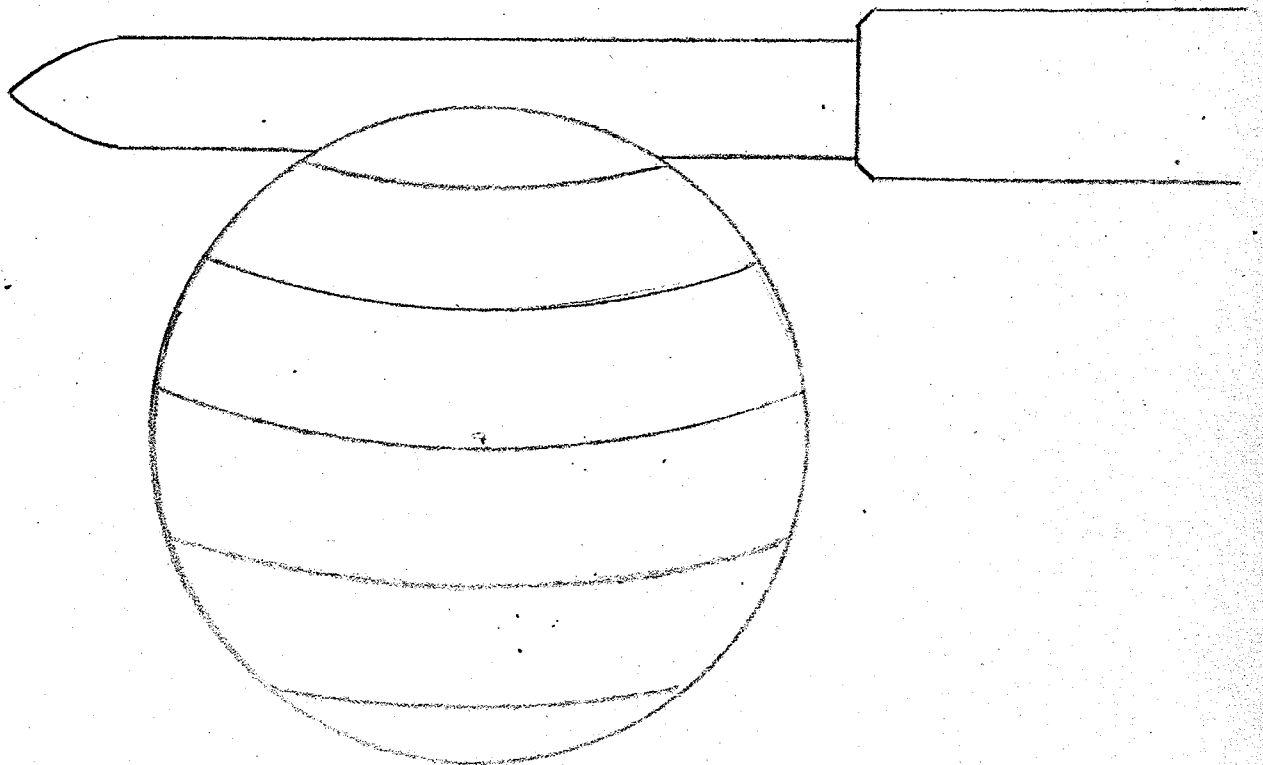


Fig 12



I. 3 - RESULTATS OBTENUS DANS LA FABRICATION DES REPLIQUES DE LAMES DONT L'ETAT DE SURFACE EST DE QUALITE INTERFEROMETRIQUE.-

A l'aide de notre bâti de contrôle décrit page 15, nous avons suivi d'une façon systématique la qualité de surface des répliques effectuées.

Dans chaque essai nous avons fait varier un paramètre à la fois pour en déterminer son influence.

Nous nous contenterons ici de décrire certains des derniers résultats obtenus.

A) Essai N° 1 - figure 13 -

Par rapport à une lame étalon, la lame matrice est à $\lambda/35$, la lame support de réplique à λ .

La réplique présente des défauts de l'ordre de $\lambda/10$ par rapport à la lame étalon et de $\lambda/12$ par rapport à la lame matrice.

Il s'agit déjà d'un résultat très positif puisque c'est la qualité exigée pour les miroirs, lames séparatrices et compensatrices d'un interféromètre de Michelson, instrument de base de la spectroscopie par transformées de Fourier.

B) Essai N° 2 - figure 14 -

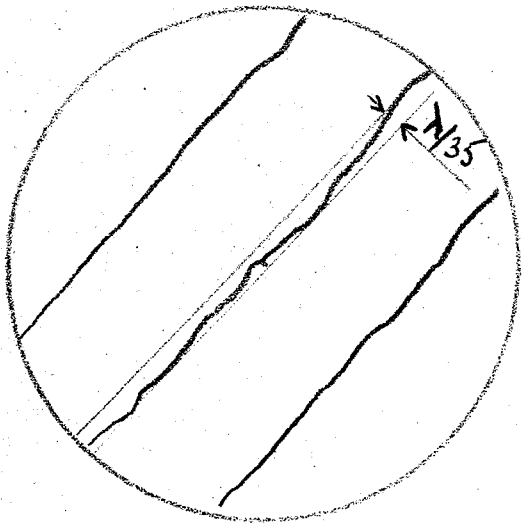
Dans cet essai nous avons effectué la réplique d'une lame matrice qui était de qualité $\lambda/10$ par rapport à la lame étalon, sur un verre support de réplique qui lui est à λ par rapport à la lame matrice et à la lame étalon.

Par rapport à la lame étalon la réplique est à $\lambda/7$, mais par rapport à la lame matrice cette réplique est à $\lambda/15$.

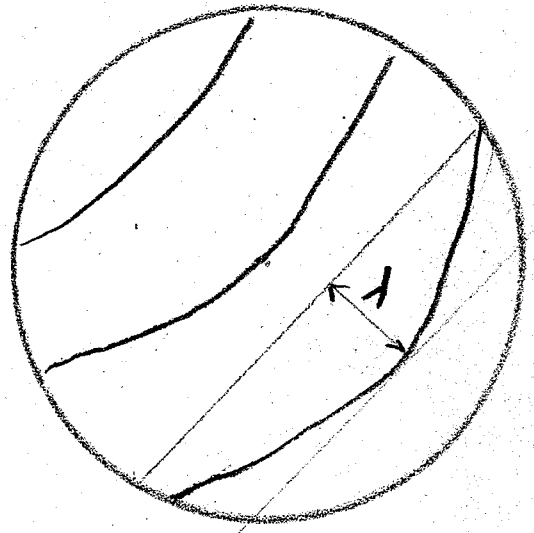
Ce résultat met en évidence un gros avantage à priori de la méthode des répliques : supposons (ce qui n'est pas encore le cas) que le procédé n'introduise pas de défaut. Dans ce cas, tous les défauts de la matrice sont reproduits par la réplique. Les deux surfaces sont alors strictement parallèles (figure 15)

.../...

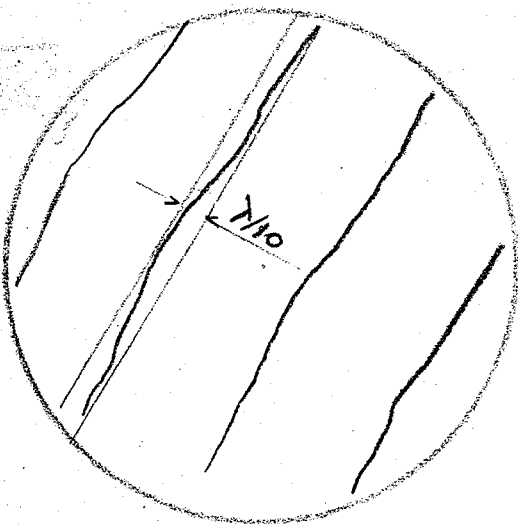
Essai n° 1



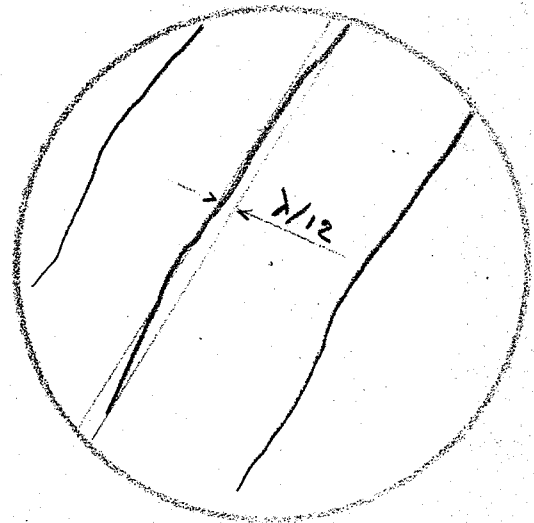
Etalon - matrice
- $N/35$ -



Matrice - support
- λ -



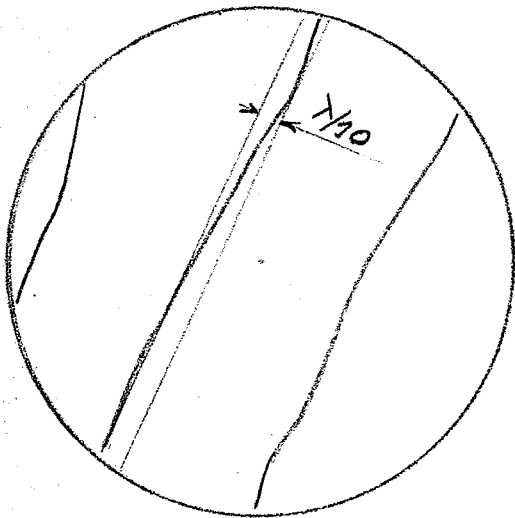
Etalon - réplique
- $N/10$ -



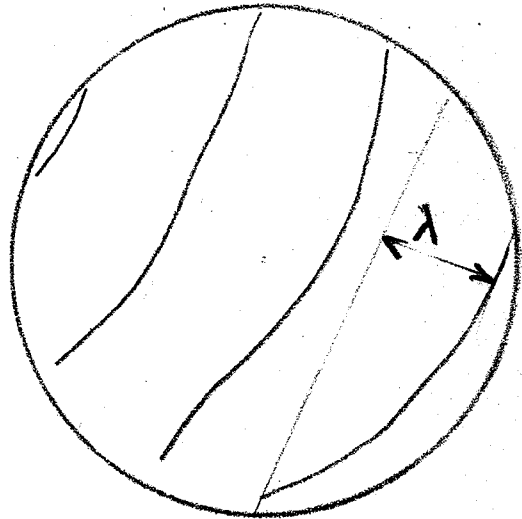
Matrice - réplique
- $\lambda/12$ -

fig 13

Essai 12° 2

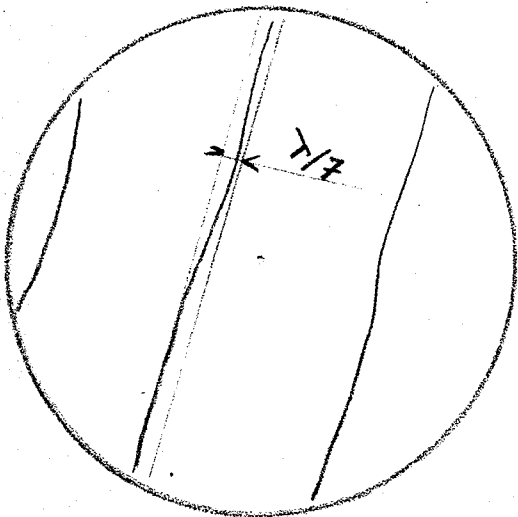


Etalon-matrice
- $\lambda/10$ -

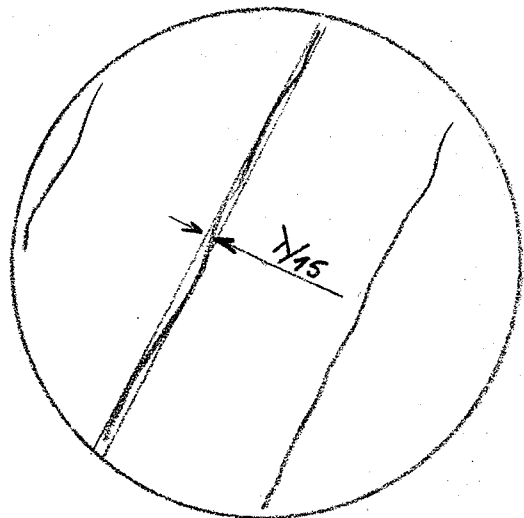


Matrice-support
- λ -

$\lambda/8$



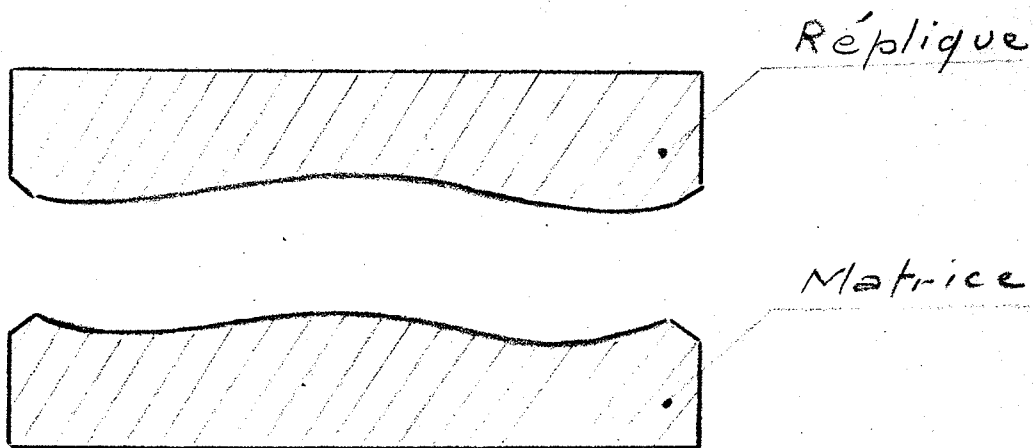
Etalon-réplique
- $\lambda/7$ -



Matrice-réplique
- $\lambda/15$ -

$\lambda/25$

fig 14



Exemple de Fabry - Perot constitué par l'association d'une matrice de mauvaise qualité et de sa réplique.

fig 15

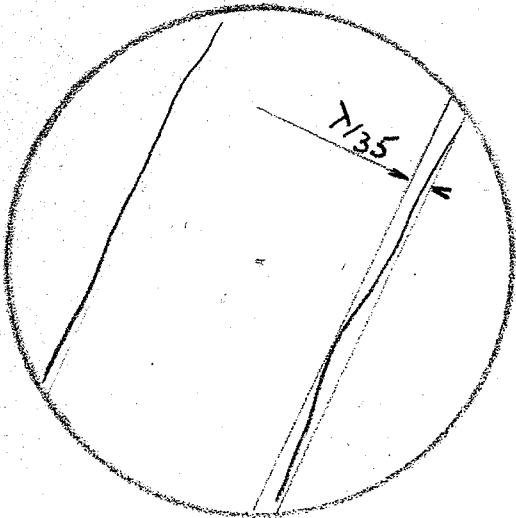
or, pour le Fabry-Perot par exemple, c'est la constance de l'épaisseur le long de la lame qui importe et non pas la planéité individuelle de chaque lame. On peut ainsi obtenir, comme dans le cas présent, un ensemble réplique-matrice qui est bien supérieur à l'ensemble matrice plan parfait.

c) Essai N° 3 - figure 16 -

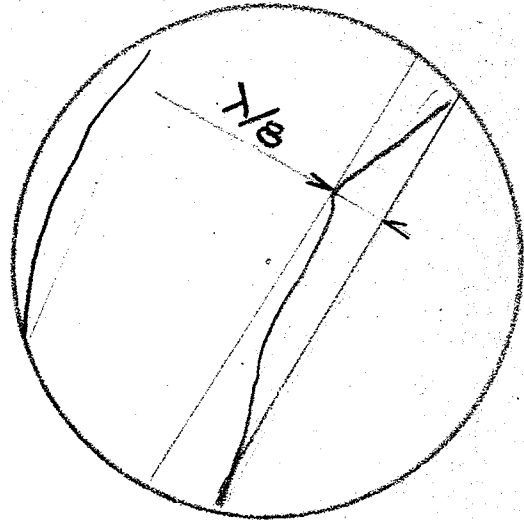
La lame matrice en quartz fondu est à $\lambda/35$ par rapport à la lame plan étalon.

La lame support de réplique est aussi en quartz fondu et à $\lambda/18$ par rapport à la lame matrice. La réplique obtenue est à $\lambda/20$ par rapport à la lame étalon et à $\lambda/25$ par rapport à la lame matrice. A l'endroit des franges on observe un léger dépoli.

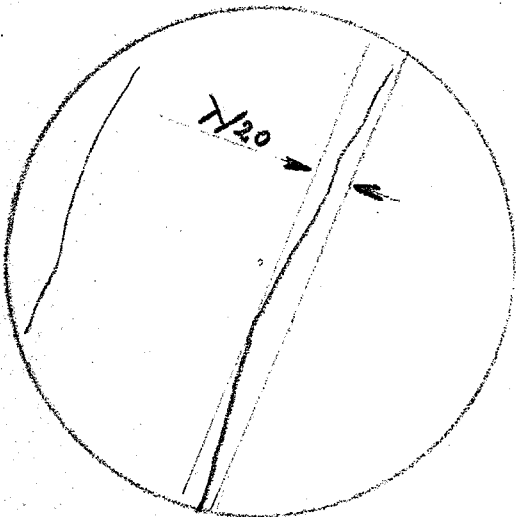
Essai n° 3



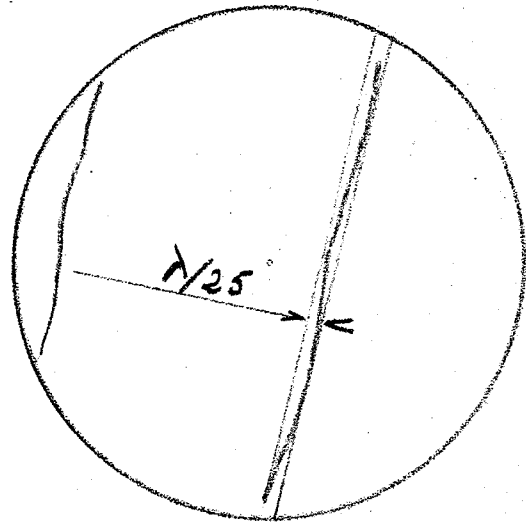
Etalon-matrice
- $\gamma/35$ -



Matrice-support
- $\gamma/8$ -



Etalon-réplique
- $\gamma/20$ -



Matrice-réplique
- $\gamma/25$ -

Fig 16

IIème PARTIE

REPLIQUES DE SURFACES DE LAMES DE QUARTZ FONDU POLI A $\lambda/50$ SUR UN SUPPORT EN FLUORINE
POLI A λ .-

II. 1 - INTERET.-

Dans l'état actuel de la technique il est impossible de polir à mieux que $\lambda/5$ la fluorine, celle-ci étant pourtant la substance transparente dans l'infrarouge la plus facile à polir.

Savoir réaliser des lames pour ce domaine spectral de qualité interférométrique permettrait d'étendre au domaine infrarouge les méthodes de spectroscopie interférentielle et en particulier la spectroscopie par Fabry-Perot.

II. 2 - MISE AU POINT DE LA FABRICATION DES REPLIQUES SUR DES GALETS DE FLUORINE DONT
L'ETAT DE SURFACE EST λ .-

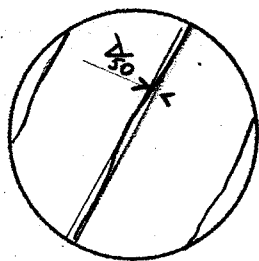
Le contrôle des états de surface sera effectué par la même méthode qui a été exposée dans la première partie (Bâti fig.6 - page 16).

La technique de réalisation des répliques d'état de surface sur support en fluorine sera identique à la technique qui a donné les meilleurs résultats sur support en quartz fondu et qui est exposée dans la première partie.

Ces répliques ont été effectuées à partir d'une lame matrice en quartz fondu dont le diamètre est 27 mm et l'épaisseur 15 mm. La qualité d'état de surface de cette lame est $\lambda/50$ par rapport à une lame étalon ; cette lame

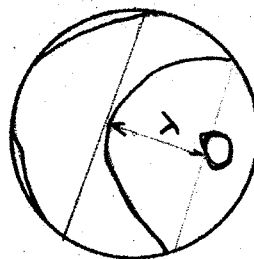
est munie d'un petit chanfrein. La lame support de réplique était en fluorine, de même diamètre et de même épaisseur que la lame matrice et munie elle aussi d'un petit chanfrein. La qualité d'état de surface de cette lame était λ .

Les premières répliques effectuées sur support en fluorine nous ont permis d'obtenir une réplique à $\lambda/15$ par rapport à la matrice (voir figure 17).



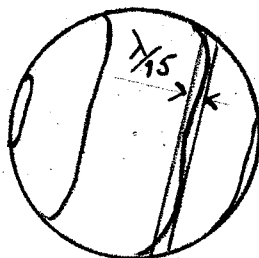
Etalon - matrice

$$\frac{\lambda}{50}$$



Etalon - support de réplique
en fluorine

$$\frac{\lambda}{10}$$



Matrice - réplique

$$\frac{\lambda}{15}$$

fig 17

II. 3 - ETUDE DE L'ABSORPTION DANS L'INFRAROUGE DES RESINES POLYMERISABLES.-

L'épaisseur de résine polymérisable introduite au cours de la réalisation d'une réplique sur le galet support est comprise entre 0,5/100 et 2/100 de mm. (Ces mesures en épaisseur de la résine ont été effectuées sur des couches décollées de leur support).

Les mesures d'absorption dans l'infrarouge sur l'araldite 103 ont été effectuées à l'aide d'un spectromètre à miroirs et à prisme de Na Cl dont le domaine spectral s'étend de 0,4 à 15 μ .

Mesures effectuées

La courbe N° 1 (figure 18) représente la transmission en %, en fonction de la longueur d'onde ou du nombre d'ondes du galet de fluorine sans araldite qui sera le support de réplique. La courbe N° 2 représente la transmission en %, en fonction de la longueur d'onde de ce même galet recouvert d'une couche d'araldite 103 dont l'épaisseur est celle que nécessite une réplique.

Nous constatons que l'araldite présente des bandes d'absorption non négligeables dans le domaine spectral utilisable par la fluorine au-dessus de 0,4 μ .

Nos répliques ne pourront être utilisées que dans les domaines spectraux suivants :

0,4 à 2,8 μ
et 3,8 à 5,7 μ

Or pour le domaine spectral de 0,4 à 2,8 μ le quartz ordinaire est utilisable.

Le domaine spectral pour lequel nos répliques seront utilisables sera de 3,8 à 5,7 μ (voir figure 18).

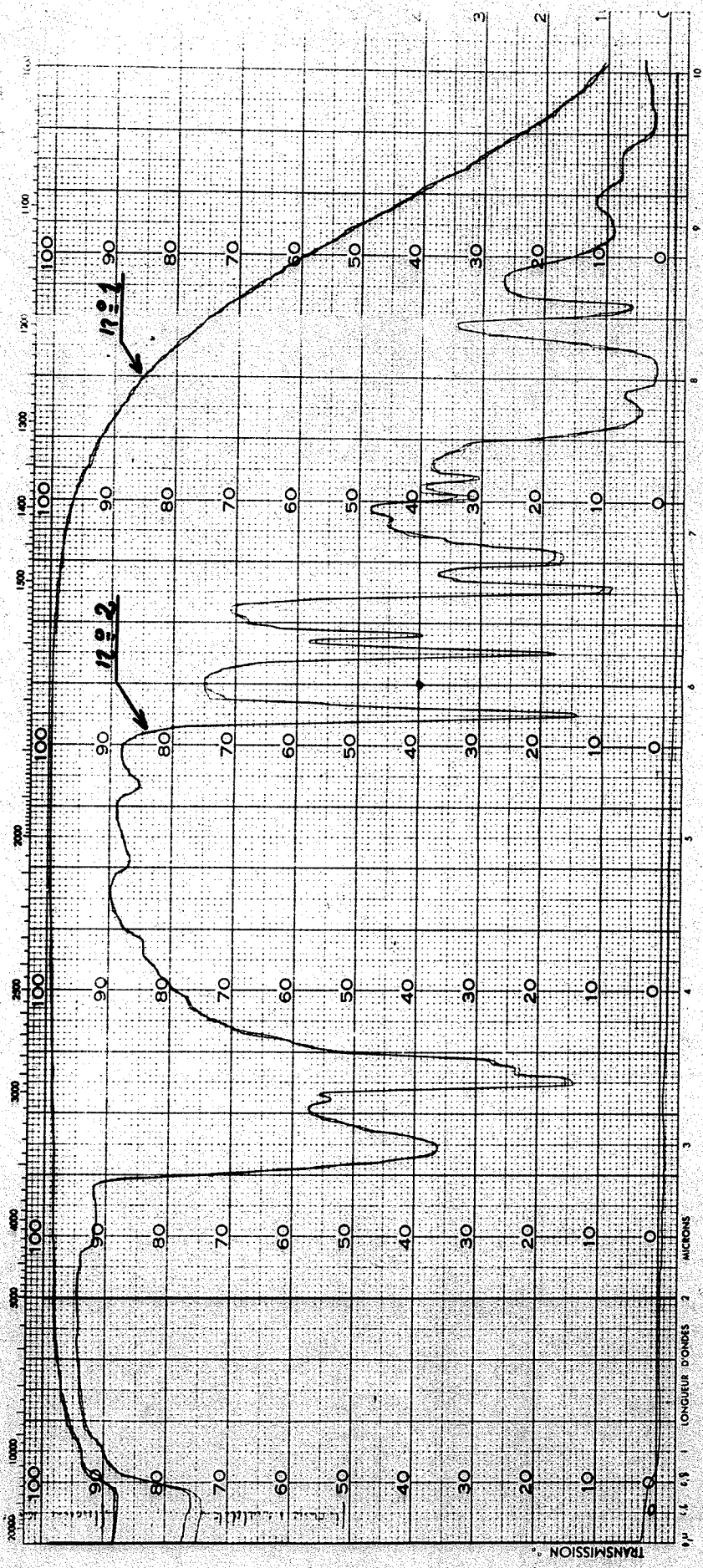


Fig 18

Ce type de lames prendrait le relais des lames en infrasil (silice fondue préparée d'une certaine façon) qui sont utilisables jusqu'à $3,8 \mu$.

Pour confirmer ces résultats, il a été effectué un film d'araldite sans support dont l'épaisseur était de l'ordre de $2,5/100$ de mm ; nous en avons mesuré l'absorption à l'aide du même spectromètre (voir figure 19). La courbe de transmission obtenue confirme bien l'allure générale de la courbe précédente mais l'absorption y est plus importante du fait que le film d'araldite sans support était d'une épaisseur bien supérieure à la couche d'araldite qui recouvre le galet de fluorine, obtenue au cours d'une réplique.

Nous avons effectué la même mesure sur un film de Stratyl A 28 et la courbe obtenue a encore la même allure, ce qui semble indiquer une composition similaire de ces différentes résines polymérisables (voir figure 20).

Conclusion

Les résultats obtenus sont très encourageants et nous espérons améliorer encore les résultats obtenus, non pas tant au point de vue de la qualité (en effet $\lambda/15$ à $0,5 \mu$ -visible- correspond à $\lambda/150$ à 5μ -infrarouge- ce qui est correct), que du domaine spectral utilisable. Il est en effet probable que nous arriverons à réduire l'épaisseur d'araldite, ce qui devrait affiner et réduire les bandes d'absorption de l'araldite et rendre exploitable le domaine spectral de $5,5$ à $7,5 \mu$.

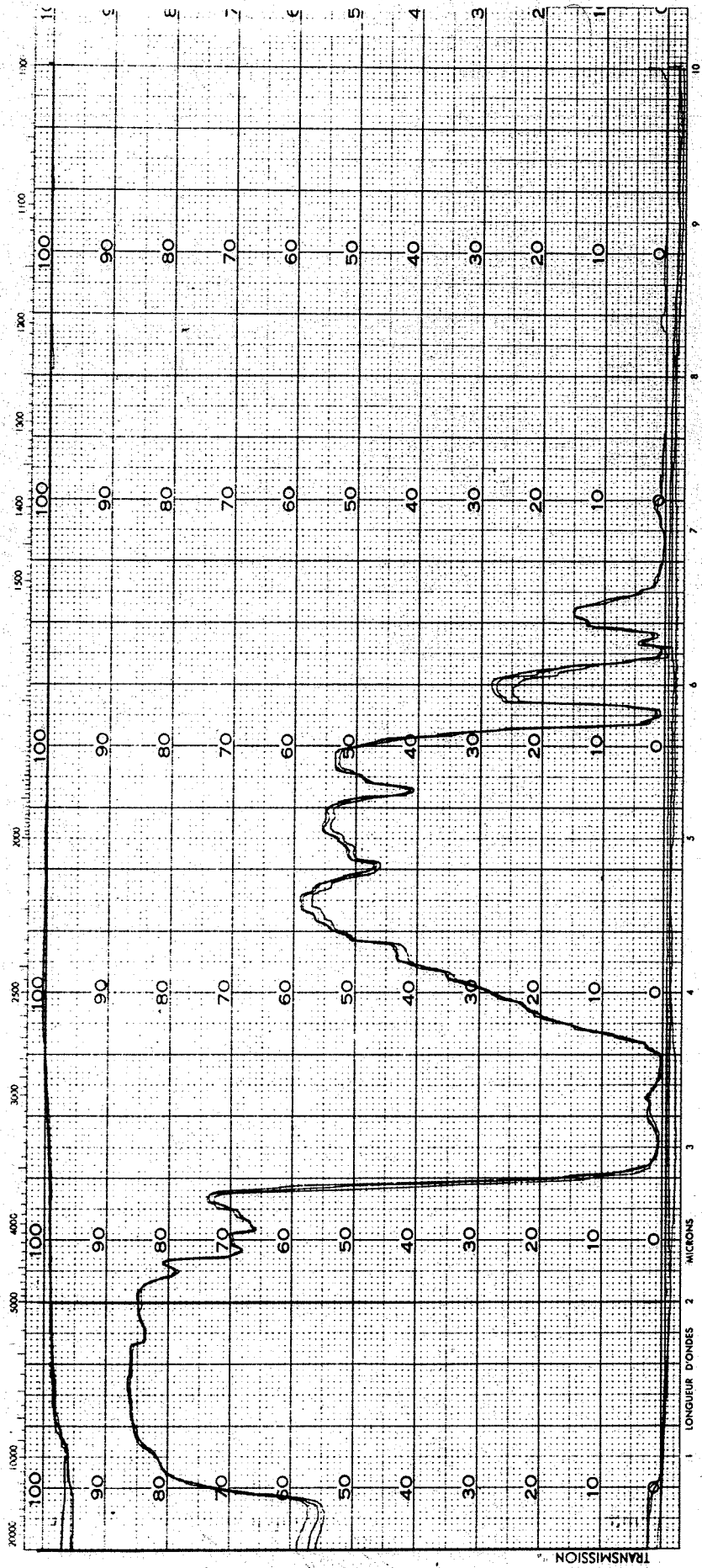


Fig 19

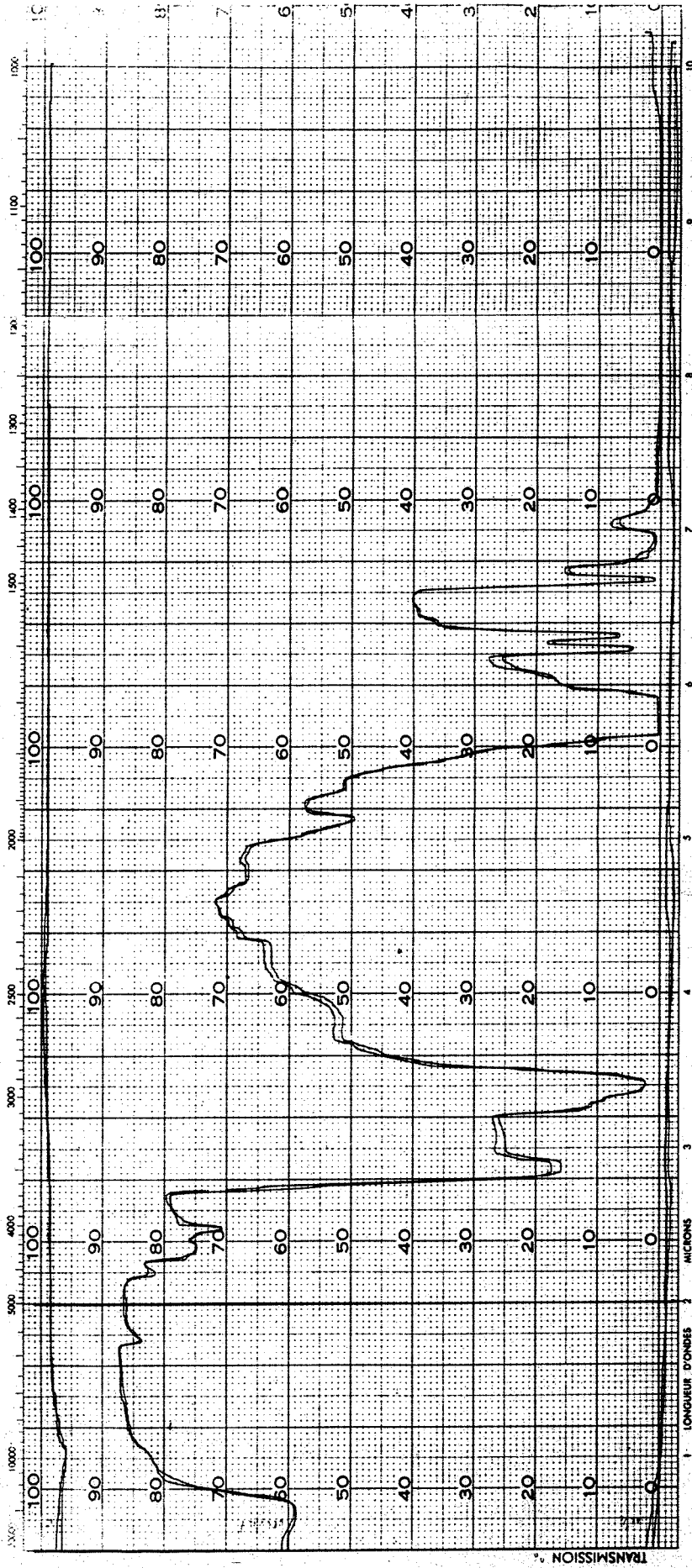


Fig 20

IIIème P A R T I E

REPLIQUES DE RESEAUX

III. 1 - INTERET.--

Graver un réseau de bonne qualité présente des difficultés considérables et l'usage des réseaux n'a pu être généralisé que le jour où l'on a su faire des copies ou répliques de réseaux.

En France où les physiciens utilisent d'une façon toujours plus importante les réseaux, il s'avérait extrêmement utile de savoir faire les répliques de ces surfaces optiques d'une façon reproductible.

III. 2 - MISE AU POINT DE LA FABRICATION DE REPLIQUES DE RESEAUX.--

En utilisant sensiblement la méthode exposée dans la première partie nous avons effectué les répliques de plusieurs réseaux de différentes dimensions et caractéristiques.

Les premiers essais ont été faits à partir d'un réseau circulaire de diamètre 50 mm, d'épaisseur 10 mm, gravé sur 30 x 32 mm, de 600 traits par millimètre, d'angle de blaze $17^{\circ} 27'$, fabriqué par la maison BAUSCH et LOMB (U.S.A.).

Ce réseau qui nous a servi de matrice est lui-même une copie de réseau constitué, par conséquent, comme indiqué sur la figure 21, d'un verre support, d'une couche de résine polymérisable et d'une couche d'aluminium ~~totalement~~ réfléchissante.

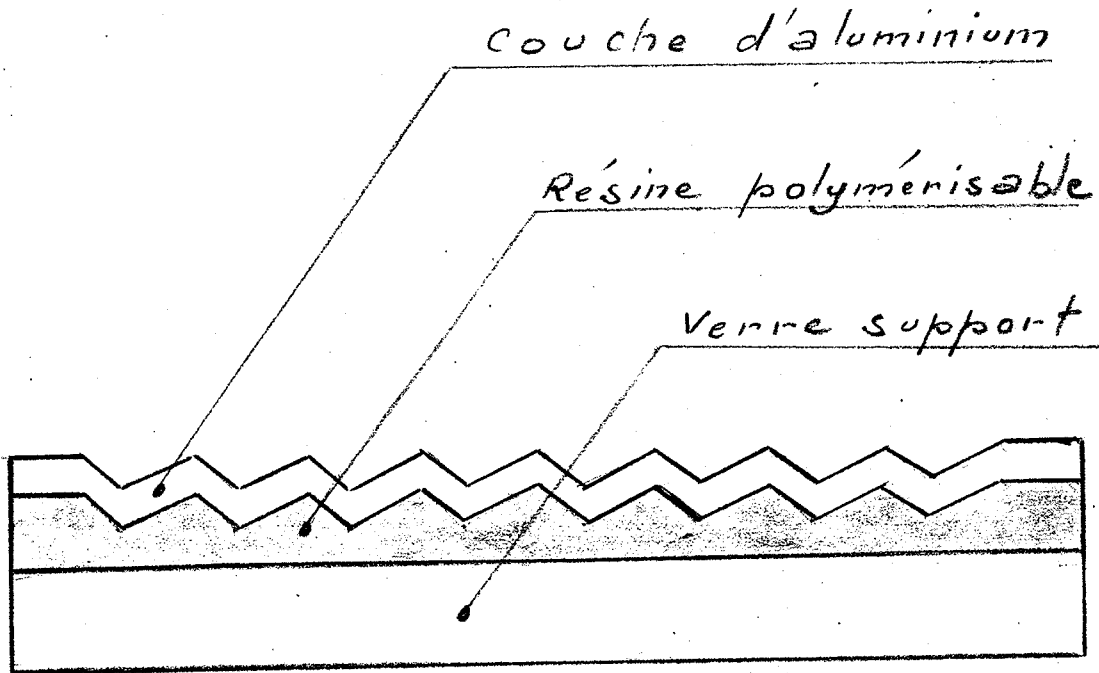


fig 21

Pour effectuer notre réplique nous évaporons sous vide sur ce réseau une couche d'or semi-transparente en mettant le réseau à une distance la plus grande possible du creuset pour que la couche d'or soit d'épaisseur uniforme. Il faut éviter de faire la couche d'or trop épaisse car le relief des sillons sur la réplique s'en trouverait atténué. Le contrôle d'épaisseur de cette couche d'or se fait à l'aide d'un verre témoin. Il est préférable d'effectuer cette évaporation d'or en faisant tourner le réseau, pour éviter l'effet d'ombre dû au relief des sillons.

Sur la couche d'or du réseau nous versons l'araldite 103 préparée avec le polymérisant H Y 951. Il est recommandé d'évacuer totalement les bulles d'air, car chaque bulle d'air qui restera dans la résine polymérisable donnera sur la réplique du réseau un trou de la grosseur de cette bulle. Pour appliquer notre verre support de réplique nous procédons comme pour les lames planes (voir CHAPITRE I).

L'ensemble réseau matrice et réplique se présente en cours de polymérisation comme sur la figure 22.

Le démoulage se fait comme pour les lames planes à l'aide d'un couteau et d'un marteau en observant les franges de coin d'air du côté du verre support de réplique (voir CHAPITRE 1 - page 28).

La séparation se fait entre la couche d'aluminium et la couche d'or (voir figure 23).

Nous avons procédé ensuite avec succès à la réplique de cette réplique et nous sommes allés ainsi jusqu'à la quatrième génération.

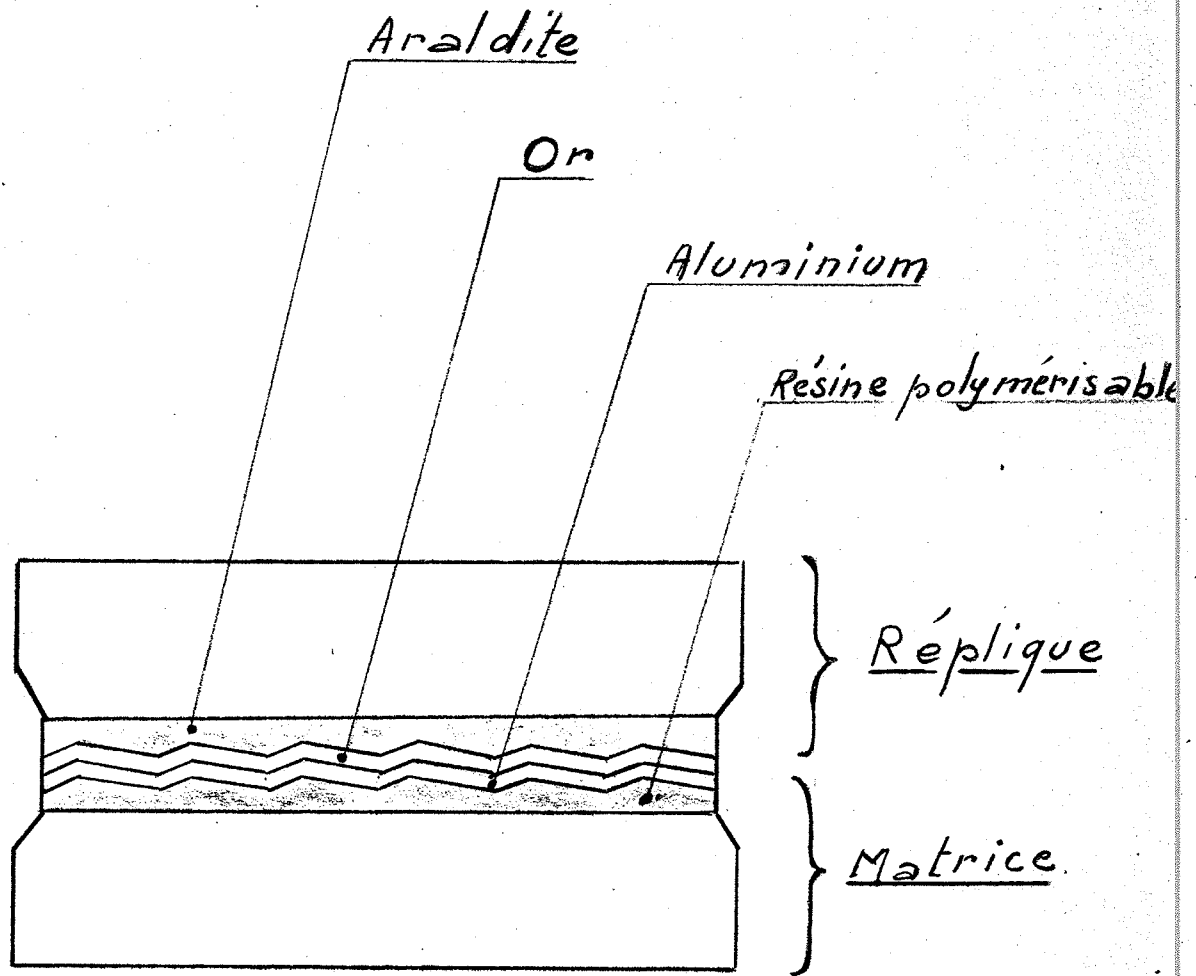


fig 22

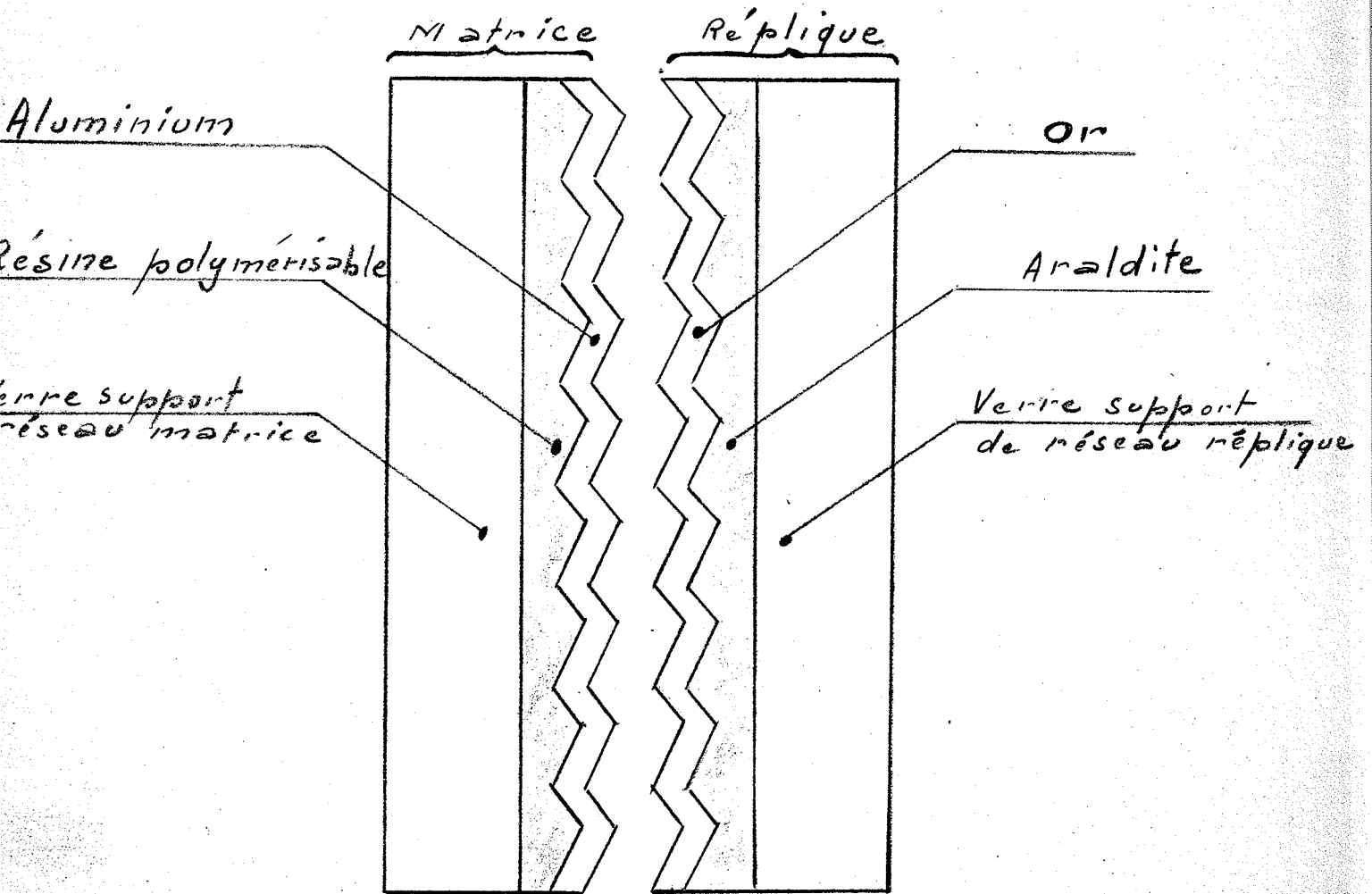


Fig 23

Le profil d'un réseau gravé présente des sillons qui ont de très petits "talus" sur les bords et qui sont dus à l'aluminium que le diamant traceur rejette de part et d'autre du sillon (voir figure 24a). Ces "talus" qui se trouvent sur le chemin optique des faisceaux diffusent un peu de lumière ; or, à la réplique, ces "talus" se trouvent au bas des sillons et n'entrent pas dans la marche des faisceaux (figure 24b), ce qui fait que la réplique d'un réseau gravé est de meilleure qualité que le réseau gravé lui-même ; nous en tiendrons compte lorsque nous effectuerons la réplique d'un réseau qui est lui-même déjà une réplique, car sa réplique sera identique au réseau gravé (cas de la figure 24 a) et c'est seulement la deuxième génération qui donnera un réseau identique à notre matrice.

Nous avons effectué d'une façon identique, avec succès, la réplique d'un réseau de plus grande dimension de la maison BAUSCH et LOMB (U.S.A.)

Les caractéristiques du réseau étaient :

- diamètre 110 mm - épaisseur 16 mm - gravure 65 x 76 mm - 2160 traits par mm,
- angle de blaze $18^{\circ} 22'$.

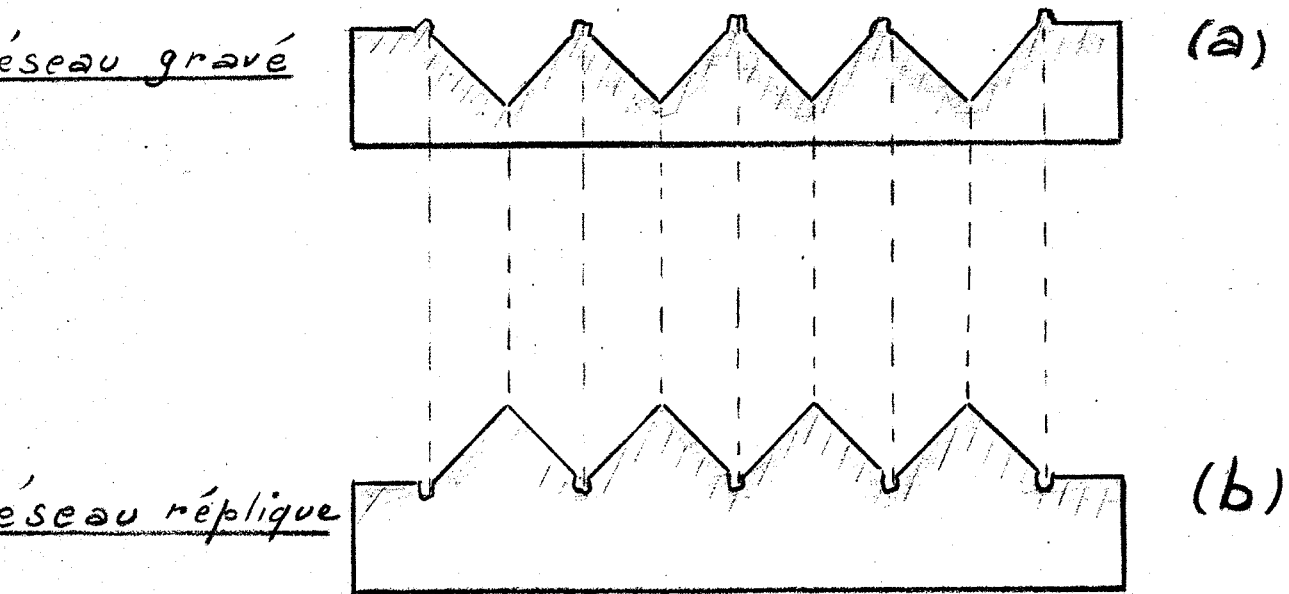


fig 24

III. 3 - MESURE DES RESULTATS OBTENUS DANS LA FABRICATION DES REPLIQUES DE RESEAUX.-

Les mesures ont porté sur la réplique et la matrice d'un réseau de diamètre 110 mm - épaisseur 16 mm - gravure 65 x 76 à 2160 traits au millimètre - blaze 18°22'.

a) Mesure comparative de planéité

Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'un interféromètre de Michelson (figure 25) dans lequel un des miroirs est remplacé par le réseau à étudier qui sera dans ce cas placé sensiblement perpendiculairement au faisceau incident pour travailler dans l'ordre.0.

Nous chercherons à obtenir des franges de coin d'air localisées entre le miroir M_1 (qui sera une lame dont l'état surface est à $\sqrt{50}$) et l'image R'_1 du réseau. L'ensemble des lentilles L_1 et L_2 donne du plan où sont localisées les franges une image que nous photographions.

Pour obtenir ces franges il faut satisfaire à des règles analogues à celles que nous avons présentées à la Première Partie. Les plans de l'image R'_1 et du plan de M_1 (figure 25) sont bien voisins et forment un petit angle ; en faisant varier la dimension de cet angle et son arête, on modifie la distance et la direction des franges. Celles-ci sont moins fines que celles décrites à la Première Partie car il y a cette fois interférence entre deux ondes seulement.

Nous avons effectué deux photos pour le réseau matrice. La première de ces photos ayant les franges horizontales, la seconde les franges verticales, de façon à explorer croisé tous les défauts sur la surface du réseau.

En remplaçant le réseau matrice par le réseau réplique et en procédant de même, nous pouvons comparer le réseau réplique à sa matrice.

*Franges de la figure 25
de l'interferomètre ?*

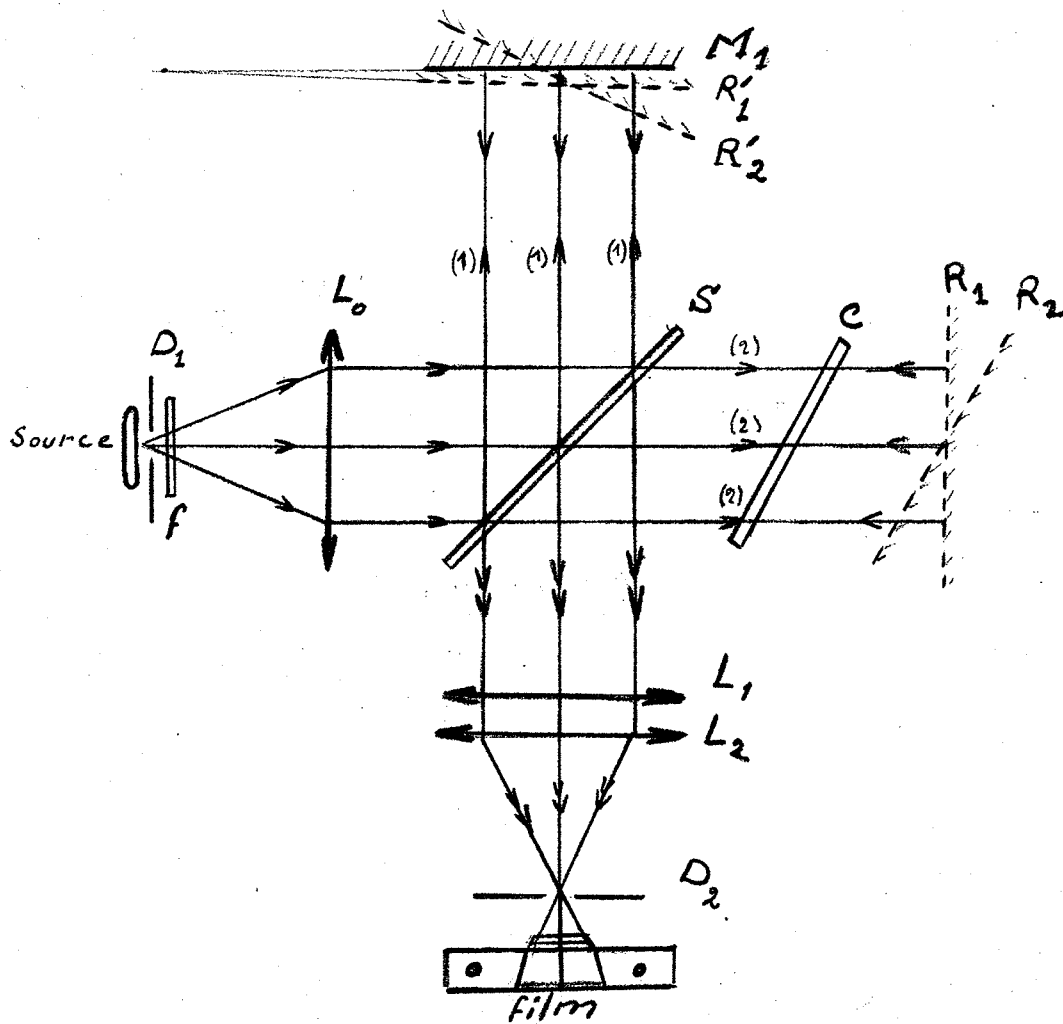


fig 25

- Golman -

1°) Lames de FP

2°) Réseaux

3°) Mirrors Annulaires concentriques

4°) Mirrors Paraboliques

$$0,033 \text{ \AA}$$

$$0,041$$

$$0,002$$

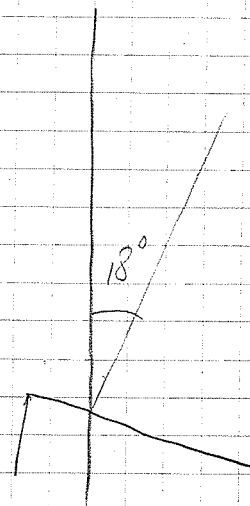
dans du coin d'air 1°) Influence de $d\sigma$

2°) $R \quad F = \frac{\pi R}{1-R}$

3°) $\Omega \leq \frac{\pi \lambda}{\sigma e}$

4°) e

Séparation de l'or



$$a = \frac{1}{2,16} p = 0,54$$

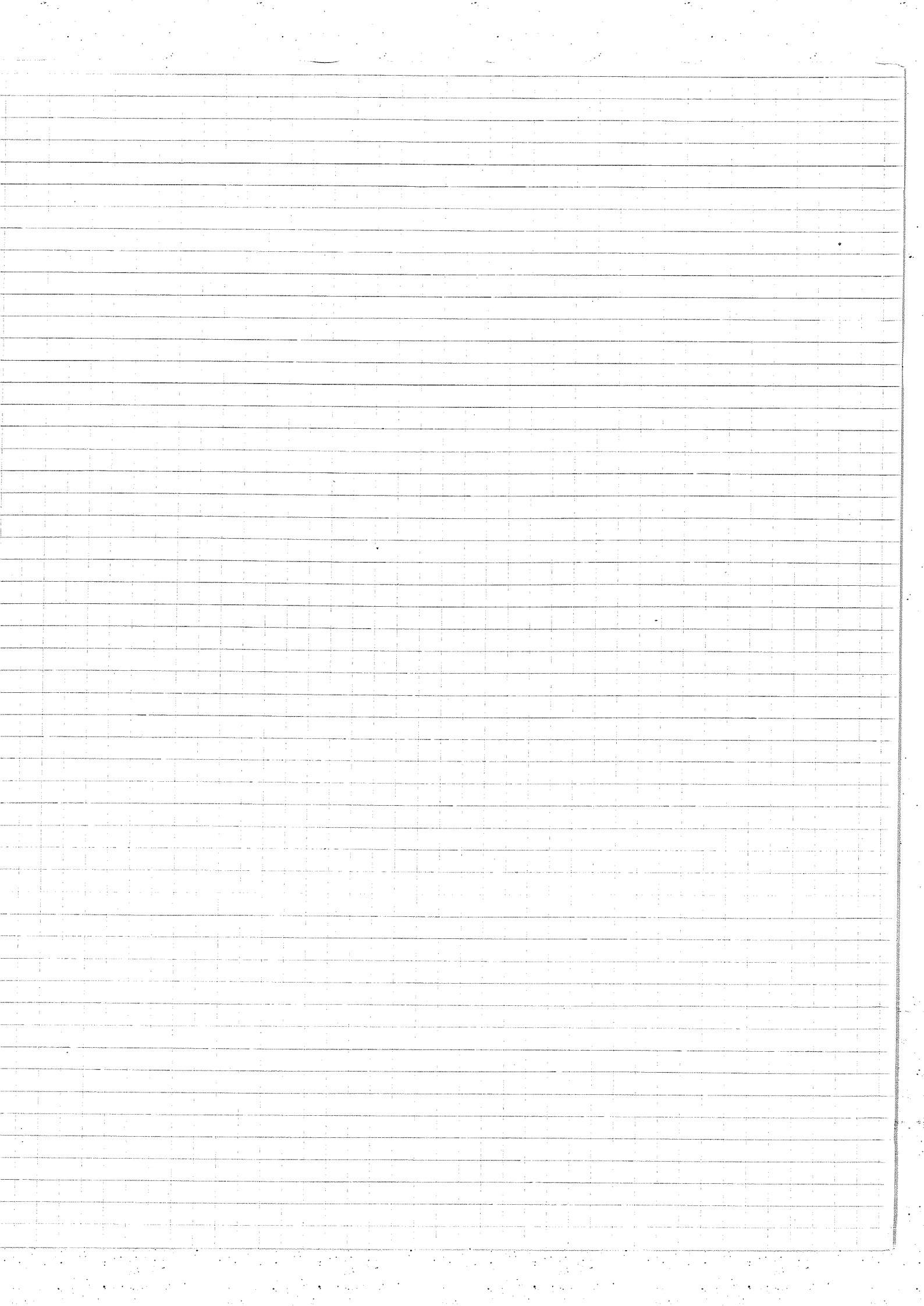
$$\frac{\sin \frac{\pi a x'}{\lambda}}{\frac{\pi a x'}{\lambda}}$$

$$\alpha' = 0,2 \quad \frac{a}{\lambda} \sim 1$$

$$\frac{\sin 0,2\pi}{0,2\pi} = \frac{\sin 36^\circ}{0,63}$$

$$= \frac{3}{2} \sin 36^\circ \sim 0,975$$

$$(0,75)^2 = 0,56$$



Les photos (figure 26 a et b) montrent que la réplique du réseau est au point de vue état de surface peu différente du réseau matrice.

Remarquons que la planéité exigée (de l'ordre de $\lambda/4$) est inférieure à celle que nous recherchions dans la Première Partie.

b) Mesure de la régularité des traits

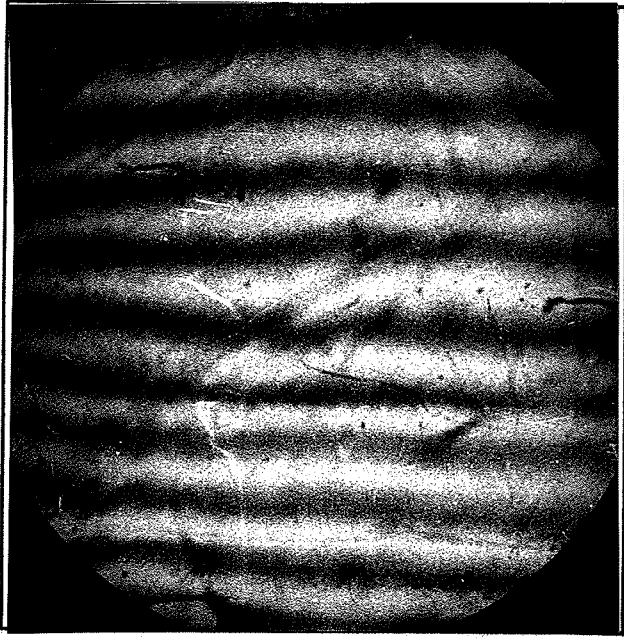
Dans le montage de Michelson (fig.25) nous orientons le réseau R_1 de façon à le faire travailler dans l'ordre 1 (position R_2) et en effectuant comme ci-dessus nous relevons deux photos pour le réseau matrice et deux photos pour le réseau réplique (voir figure 27 a et b)

Les franges obtenues contrôlent cette fois la qualité de planéité de l'onde issue du réseau dans l'ordre 1, qualité reliée à la régularité des traits du réseau (7).

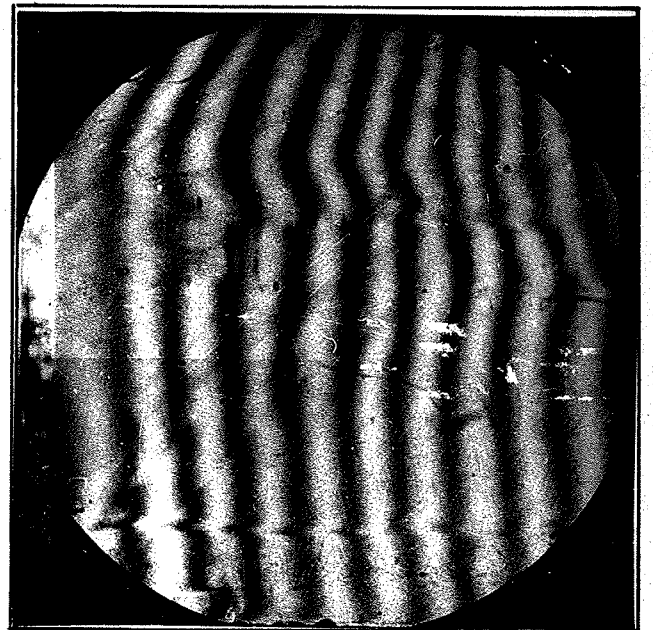
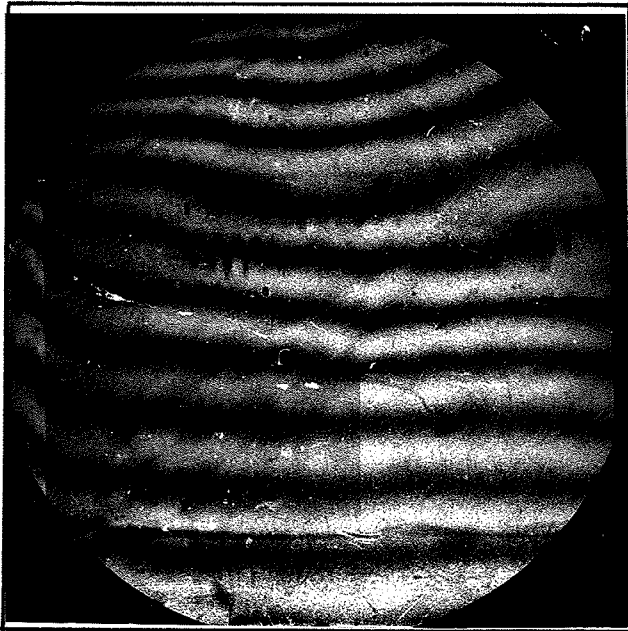
Ce montage montre de façon particulièrement nette sur la photo N° 8 une cassure dans l'onde qui s'interprète comme un glissement d'ensemble de la partie supérieure des traits du réseau.

Ce défaut de la surface d'onde serait gênant si l'on voulait atteindre la résolution théorique. En fait, dans ce cas, on serait amené à utiliser la partie inférieure du réseau qui s'avère excellente. Si, au contraire, ce qui arrive dans 90 % des cas, on utilise le réseau non plus pour ses qualités résolventes mais pour ses qualités de haute dispersion et de grande luminosité, on ne demande au réseau qu'une résolution de l'ordre du 1/10 de sa résolution théorique et le défaut observé est totalement négligeable et n'altère en rien l'efficacité du réseau.

a - M A T R I C E



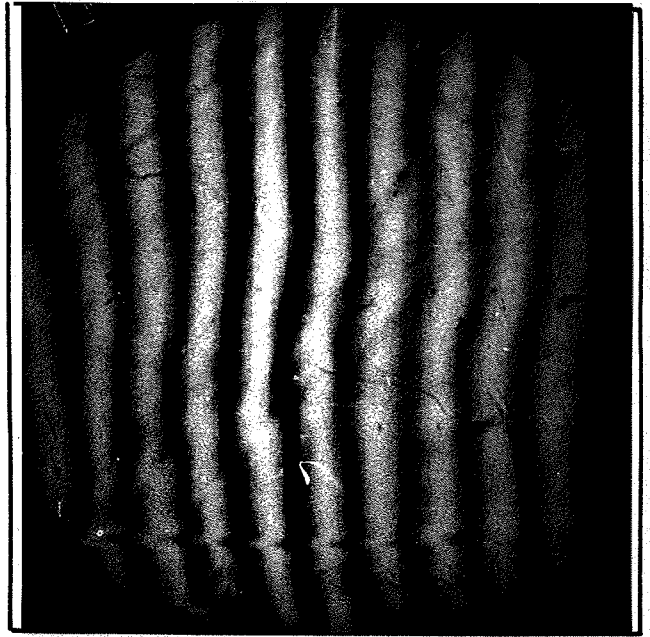
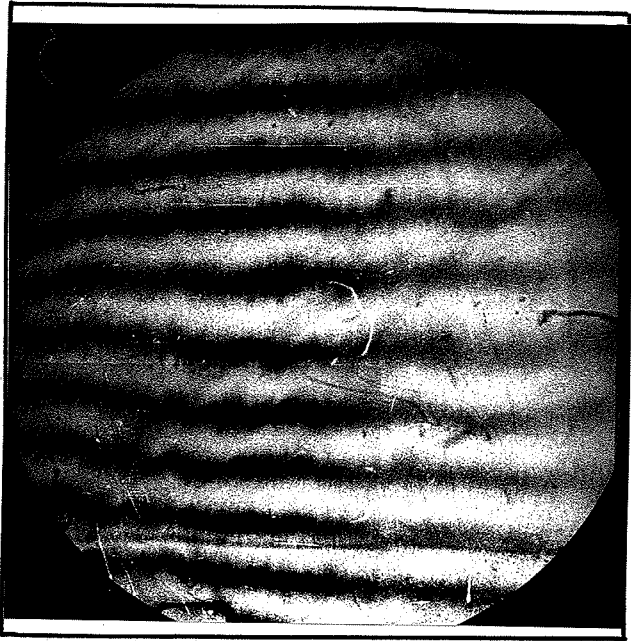
b - R E P L I Q U E



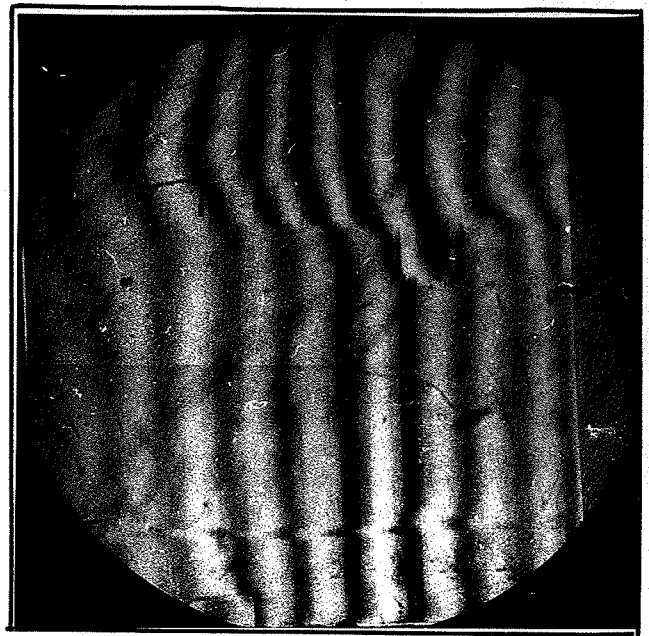
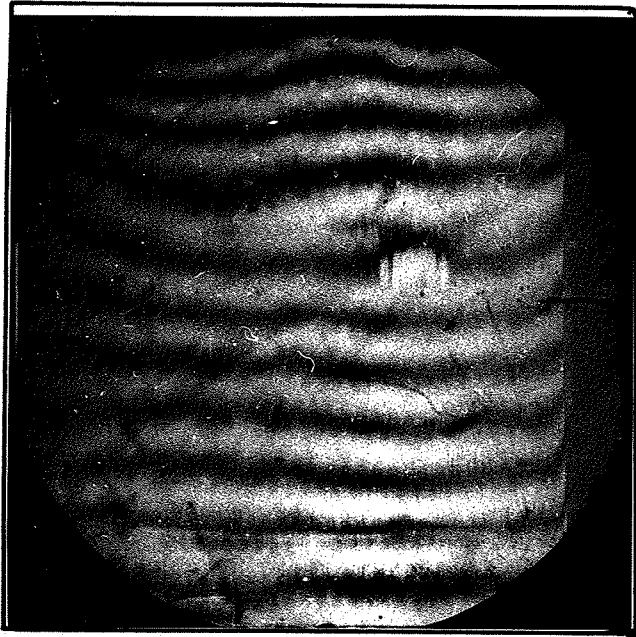
Mesures comparatives de la planéité

fig.26 a et b

a - M A T R I C E



b - R E P L I Q U E



Mesures comparatives de la régularité des traits

fig.27 a et b

c) Mesure du pouvoir réflecteur d'un réseau

Actuellement nous étudions un montage qui permettrait de comparer rapidement par rapport à un miroir totalement réfléchissant le pouvoir réflecteur du réseau pour certaines raies monochromatiques.

d) Résultat global

Nous effectuons les photographies comparatives de la structure de la raie verte d'une lampe à mercure basse pression à l'aide d'un spectroscopie à réseau, montage Littrow (figure 28) à haut pouvoir dispersif en mettant à l'emplacement du réseau le réseau matrice pour effectuer une photo et nous effectuons une seconde photo en remplaçant le réseau matrice par le réseau réplique.

Les figures 29a et 29b représentent ces photos agrandies de 2 fois environ.

Dans le montage, le prisme Pellin-Broca P B sert de prémonochromateur tout en couplant le faisceau incident à 90°.

La lentille L_2 a une distance focale très grande, ce qui donne une valeur élevée du pouvoir dispersif linéaire.

Les figures 30a et 30b montrent les 2 courbes obtenues après développement des 2 plaques photographiques (figures 29a et 29b) que nous avons passées au microphotomètre Challonge (réglé, pour donner, multipliée par 100, la largeur des raies) pour mieux apprécier les structures données par chacun des réseaux.

La résolution théorique de ces réseaux qui ont 2160 traits au millimètre sur 76 millimètres de gravure est égale à :

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = p N$$

N : nombre total de traits sur le réseau

p : ordre dans lequel travaille le réseau

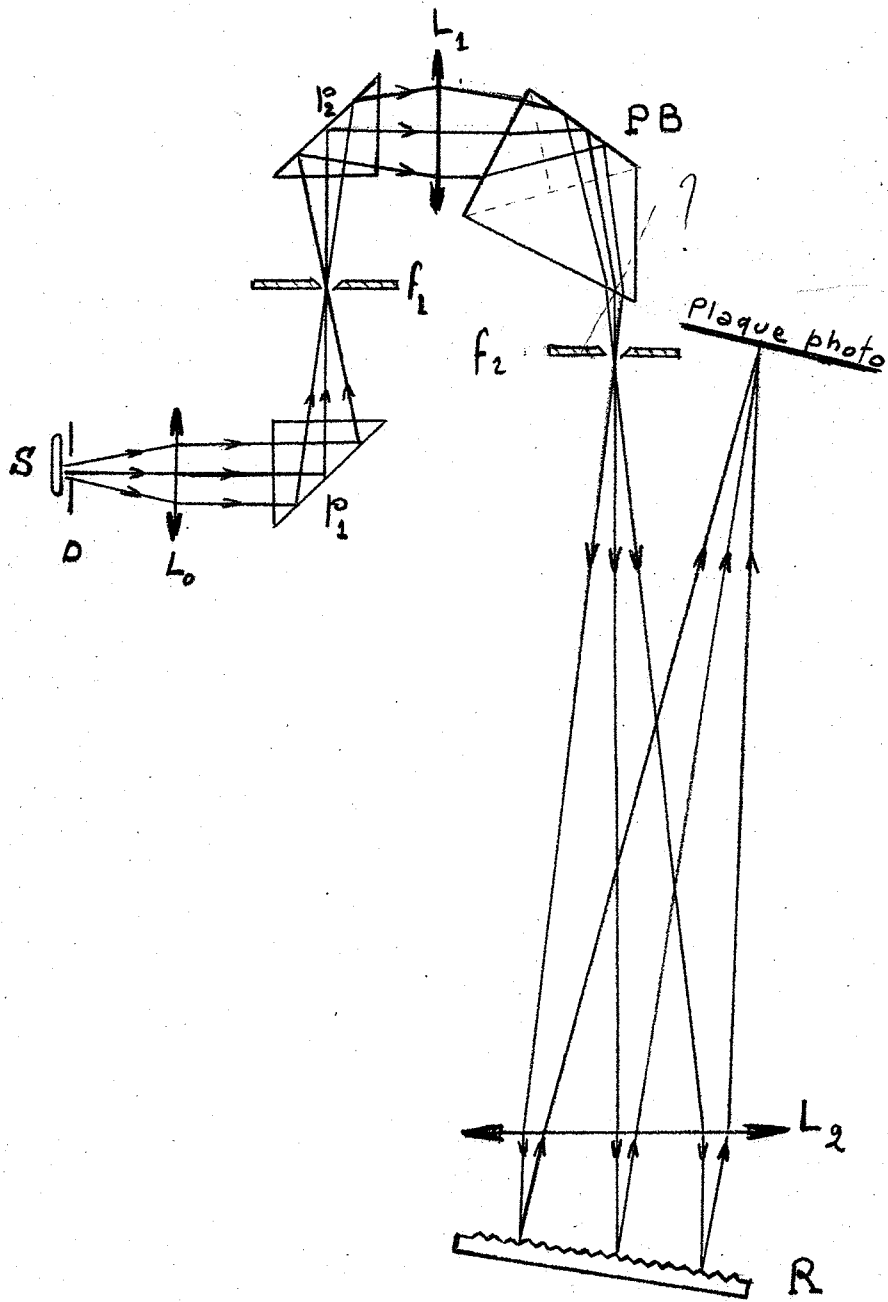


Fig 28

- 57 - bis

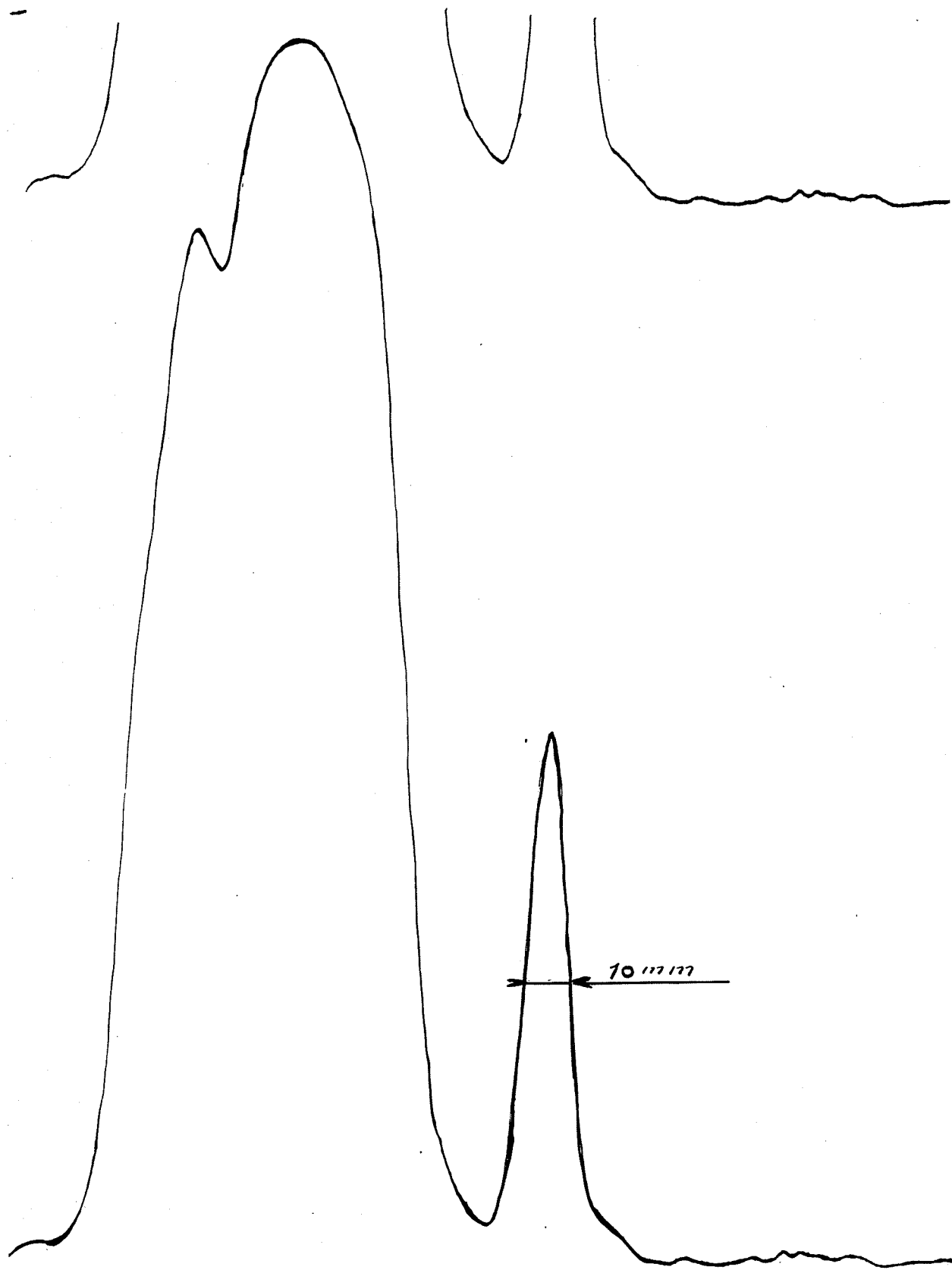


fig 30-a

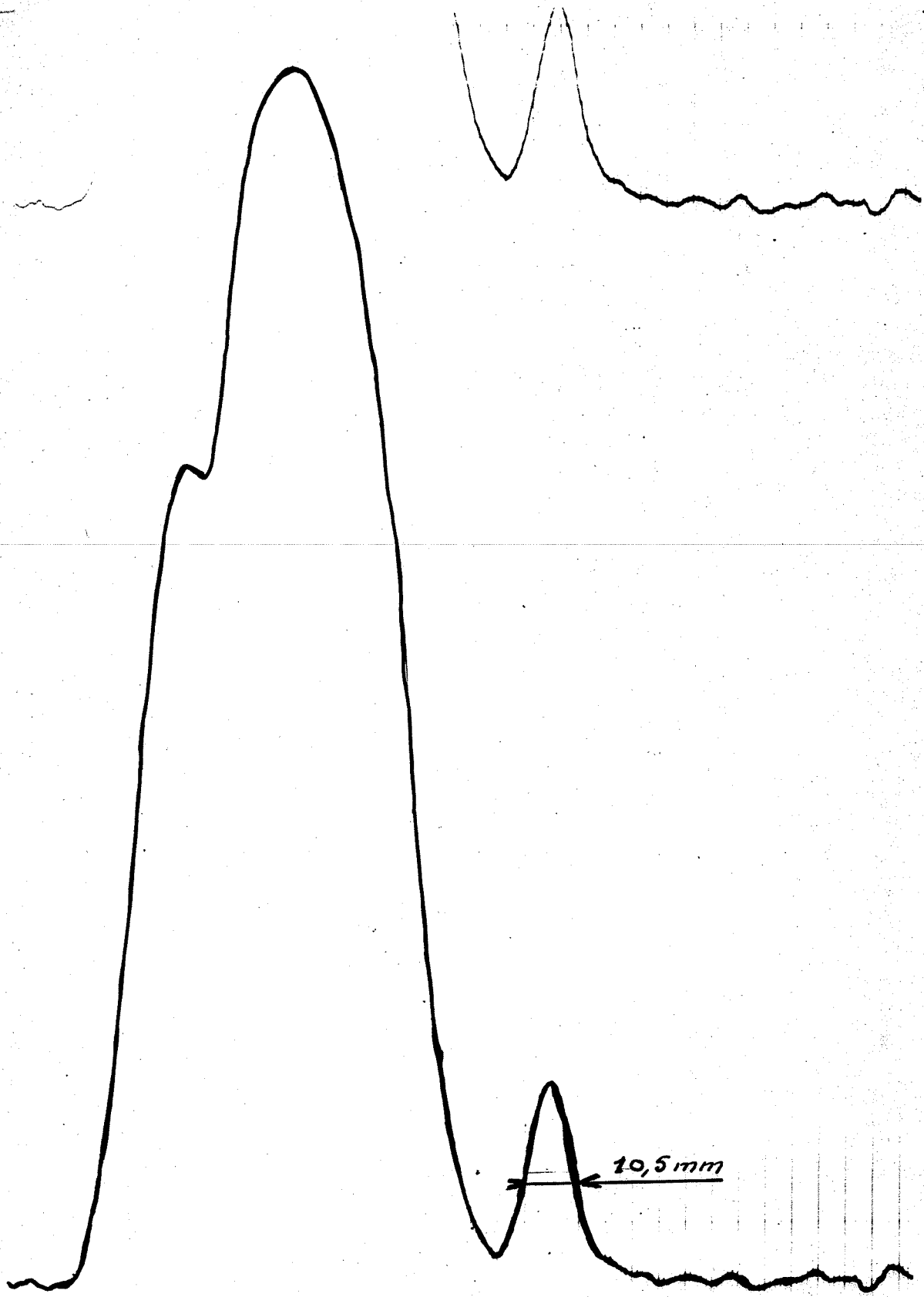
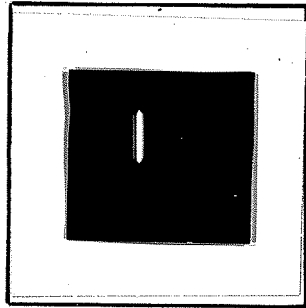
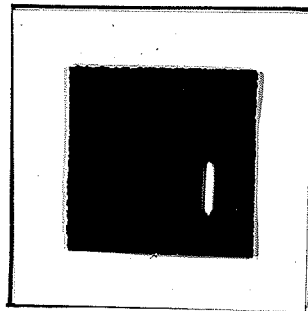


fig 30-b



M A T R I C E

fig.29 a



R E P L I Q U E

fig.29 b

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = 1.2160.76 \approx 164.000$$

Le pouvoir séparateur théorique du réseau pour la raie étudiée ($\lambda = 5461 \text{ \AA}$) est :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{pN} = \frac{5461}{164\ 000} \approx 0,033 \text{ \AA}$$

Nous déterminerons approximativement la largeur spectrale à mi-hauteur de la petite composante qui se situe à droite de la raie principale (figure 30a) ; pour cela nous calculons la dispersion $\frac{ds}{d\lambda}$ du spectroscopie à réseau (montage Littrow - figure 28). La distance focale F de la lentille L_2 est de 9 mètres, la fente d'entrée f_2 est ouverte à 1/10 de millimètre.

Calcul de la dispersion $\frac{ds}{d\lambda}$

Pour un réseau on a :

(formule 8)	$\frac{1}{n} (\sin i_1 + \sin i_2) = p \lambda$	}	i_1 : angle d'incidence
			i_2 : angle d'émergence
			n : nombre de traits du
			réseau par millimètre = 2160
			λ : longueur d'onde de la raie étudiée = 5461 \AA
			p : ordre dans lequel travaille le réseau = 1

Dérivons la formule (8) par rapport à i_2 :

(formule 9) $\frac{d\lambda}{di_2} = \frac{\cos i_2}{n p}$

d'autre part,

$$ds = F \cdot di_2 \quad \text{et}$$

$$\frac{ds}{d\lambda} = \frac{F \cdot di_2}{d\lambda}$$

; en remplaçant $\frac{di_2}{d\lambda}$ tiré de l'expression 9, nous aurons :

(formule 10) $\frac{ds}{d\lambda} = \frac{F \cdot n p}{\cos i_2}$

Calculons $\cos i_2$:

Dans le cas du montage Littrow, la formule 8 peut se mettre sous la forme :

$$2 \sin i_2 \approx np \lambda$$

d'où :

$$\sin i_2 \approx \frac{np \lambda}{2} = \frac{2160 \cdot 1 \cdot 5461 \cdot 10^{-7}}{2} \approx 0,59$$

$$\cos i_2 = \sqrt{1 - \sin^2 i_2} \approx \sqrt{1 - (0,59)^2} \approx 0,8$$

Finalement l'expression 10 donnera :

$$\frac{ds}{d\lambda} = \frac{F \cdot n p}{\cos i_2} \approx \frac{9 \cdot 10^{10} \cdot 2160}{0,8 \cdot 10^7} \approx 2,43 \cdot 10^7 \text{ \AA / \AA}$$

ou en millimètres

$$\frac{ds}{d\lambda} \approx 2,43 \text{ mm/\AA} \quad \text{et}$$

$$\frac{d\lambda}{ds} \approx \frac{1}{2,43} \approx 0,41 \text{ \AA/mm}$$

La largeur à mi-hauteur donnée par le réseau matrice de cette petite composante est de 1/10 de millimètre mais comme le microphotomètre a été réglé pour donner des largeurs 100 fois plus grandes, nous mesurons sur la figure 30a, 10 millimètres, ce qui donnera une largeur spectrale de :

$$ds, \frac{d\lambda}{ds} = \frac{10}{100} \cdot 0,41 = 0,041 \text{ \AA}$$

Si le réseau réplique était identique au réseau matrice, cette largeur à mi-hauteur devrait être égale à 10 mm. Or en fait nous mesurons sur la figure 30b 10,5 mm, ce qui fait que le réseau réplique en donne une largeur spectrale de :

$$ds, \frac{d\lambda}{ds} = \frac{10,5}{100} \cdot 0,41 \approx 0,043 \text{ \AA}$$

.../...

L'élargissement donné par le réseau réplique sera :

$$ds_2 - ds_1 = 0,043 - 0,041 = 0,002 \text{ \AA}$$

et ceci pour un domaine spectral de $0,041 \text{ \AA}$ (valeur légèrement supérieure au pouvoir séparateur théorique que nous avons calculé ci-dessus).

I V - CONCLUSION GENERALE -

Les premiers résultats ont été très décevants car le décollement entre les surfaces ne s'effectuait pas correctement et entraînait une cassure de la réplique et parfois de la matrice.

Nous avons recherché d'une façon systématique quelles devaient être la nature et les conditions de préparation de la couche de résine polymérisable d'une part, des couches métalliques d'autre part. L'araldite 103 avec le polymérisant H Y 951 et l'association d'une couche d'or et d'aluminium ont donné les meilleurs résultats.

Les nombreuses conditions qui doivent être respectées pour réussir une réplique ont été exposées dans le mémoire.

Nous avons ainsi pu fabriquer des répliques de lames planes de qualité interférentielle allant jusqu'à $\lambda/25$. Nous avons vérifié que l'association d'une matrice et de sa réplique pouvait être supérieure à l'association de la matrice et d'un plan parfait. Ces lames peuvent déjà servir à la fabrication d'un interféromètre de Michelson et sont utilisables dans certains cas pour l'interféromètre de Fabry-Perot.

Nous avons d'autre part réalisé des copies sur un support de fluorine dont la qualité $\frac{\lambda}{15}$ vert ($\approx \frac{\lambda}{100}$ infrarouge) convient tout à fait à l'interféromètre Fabry-Perot utilisé dans l'infrarouge. Ceci permet d'étendre l'emploi de cet interféromètre à la région spectrale 4 à 6,5 μ ; au-delà la couche d'araldite devient absorbante.

Nous avons aussi fabriqué des répliques de réseaux de dimensions allant jusqu'à 110 millimètres de diamètre. Leur qualité ne permet pas toujours d'atteindre la résolution théorique, mais celle-ci n'est exigée que dans des cas très rares et ces réseaux obtenus se sont avérés aussi efficaces que les matrices dont ils étaient issus, dans leur utilisation spectroscopique courante.

Des travaux plus récents nous ont permis de réaliser des répliques de miroirs multicanaux.

Cette surface optique consiste en un système de 12 miroirs annulaires concentriques de même surface dont chaque miroir fait un angle de 5° par rapport à la normale à l'axe et dont les normales des miroirs consécutifs sont décalés de 30° l'une par rapport à l'autre.

Ce dispositif est réalisé à l'aide des sections de 11 tubes en acier inox, emboîtés les uns dans les autres et sur le miroir central, cet ensemble est poli à une extrémité après avoir effectué un angle de 5° par rapport à la normale à l'axe. En tournant chaque tube d'un angle de 30° autour de l'axe du système par rapport au tube qui le précède on obtient cette surface optique, qui a été conçue par le Physicien Américain HIRSCHBERG (8), dans le but de diviser spatialement un intervalle spectral libre donné par l'interféromètre de Fabry-Perot en 12 intervalles de même largeur pour étudier l'évolution dans le temps des profils de raie d'émission (décharge pulsée dans les gaz de très courte durée).

Etant donné les difficultés de réalisation mécanique on conçoit l'intérêt des répliques de ce système qui ont été obtenues en adaptant cette technique à cette surface optique très particulière.

Un problème reste à résoudre pour obtenir des répliques parfaites, c'est d'effectuer la séparation entre la matrice et la réplique sans l'apparition d'une ou deux petites écailles sur les miroirs.

Nous avons aussi fabriqué des répliques ^{de réseaux} de dimensions allant jusqu'à 110 millimètres de diamètre. Leur qualité ne permet pas toujours d'atteindre la résolution théorique, mais celle-ci n'est exigée que dans des cas très rares et ces réseaux obtenus se sont avérés aussi efficaces que les matrices dont ils étaient issus, dans leur utilisation spectroscopique courante.

Des travaux plus récents nous ont permis de réaliser des répliques de miroirs multicanaux.

Cette surface optique consiste en un système de 12 miroirs concentriques de même surface dont chaque miroir fait un angle de 5° par rapport à la normale à l'axe et dont les normales des miroirs consécutifs sont décalées de 30° l'une par rapport à l'autre.

Ce dispositif est réalisé à l'aide des sections de 11 tubes en acier inox, emboîtés les uns dans les autres et sur le miroir central, cet ensemble est poli à une extrémité après avoir effectué un angle de 5° par rapport à la normale à l'axe. En tournant chaque tube d'un angle de 30° autour de l'axe du système par rapport au tube qui précède on obtient cette surface optique, qui a été conçue par le Physicien Américain HIRSCHBERG (8) ~~dans le but de faire l'image de chacun des anneaux d'un Fabry-Perot sur chacun des miroirs concentriques.~~

Etant donné les difficultés de réalisation mécanique on conçoit l'intérêt des répliques de ce système qui ont été obtenues en adaptant cette technique à cette surface optique très particulière.

Un problème reste à résoudre pour obtenir des répliques parfaites, c'est d'effectuer la séparation entre la matrice et la réplique sans l'apparition d'une ou deux petites écailles sur les miroirs.

Ce défaut est dû à la complexité de la structure en marches d'escalier concentriques dont l'inclinaison varie angulairement.

Néanmoins malgré ce petit défaut ces répliques ont pu être utilisées sans diminuer d'une façon sensible la lumière réfléchie, mais, des essais sont prévus pour l'éliminer.

Actuellement à la demande de plusieurs chercheurs nous étudions la possibilité d'obtenir des miroirs paraboliques concaves par réplique d'un paraboloïde convexe de révolution en verre dont les caractéristiques sont : distance focale 21mm, hauteur de l'axe 43mm et diamètre de la section perpendiculaire à l'axe 120mm.

Dans ce cas chaque réplique donnera un miroir parabolique concave que nous diviserons en quatre parties identiques en ayant eu soin de sectionner par deux plans perpendiculaires passant par l'axe le support de réplique qui est lui-même un paraboloïde concave approché en magnésium. Ces répliques permettent d'obtenir aux foyers où seront placés des récepteurs de sulfure de plomb, de surface extrêmement petite (de 0,1 à 5mm) des images sans aberration de faisceaux étendus venant de l'infini et arrivant parallèlement à l'axe.

Dans le cas où les résultats seraient positifs nous envisageons de passer à des essais sur des paraboloïdes de dimensions supérieures.

Il faut aussi souligner que si la façon d'exécuter des répliques paraît semblable, en fait chaque type de surface optique présente des problèmes spécifiques à résoudre.

Pour conclure nous dirons que les quelques répliques que nous avons décrites ouvrent la voie à une technique aux applications multiples.

T A B L E D E S M A T I E R E S (suite)

	P A G E
<u>IIème PARTIE - REPLIQUES DE SURFACES DE LAMES DE QUARTZ FONDU POLI A $\lambda/50$</u> <u>SUR UN SUPPORT EN FLUORINE POLI A λ</u> -	36
II.2 - Mise au point de la fabrication des répliques sur galets de fluorine dont l'état de surface est à λ	36
II.3 - Etude de l'absorption dans l'infrarouge des résines polymérisables	39
Conclusion	41
 <u>IIIème PARTIE - REPLIQUES DE RESEAUX</u>	 44
III.2 - Mise au point de la fabrication des réseaux	44
III.3 - Mesure des résultats obtenus dans la fabrication des répliques de réseaux	51
a) Mesure comparative de planéité	51
b) Mesure de la régularité des traits	53
c) Mesure du pouvoir réflecteur d'un réseau	56
d) Résultat global	56
 <u>I V - C O N C L U S I O N G E N E R A L E</u>	 63

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Seya et Goto - Science of Light - 1956 - 5 N° 2
 - (2) Hass et Erbe - Journal of the Opt. Soc. of America - 1959 - 49 N° 10
 - (3) R.Chabbal - Revue d'Optique (3ème partie de Thèse) - 1956 - N° 35
 - (4) Krebs - Communication au Congrès d'Argonne - JUIN 1961
 - (5) Roessler - Communication au Congrès d'Argonne - JUIN 1961
 - (6) Herriott - Communication privée - JUILLET 1961
 - (7) G.W.Stroke - Revue d'Optique - 1960 - tome 39 N° 7 & 8
 - (8) J.G.Hirschberg et P.Platz - Applied Optics - Volume 4 -Nov. 1965.
-

p. 12 + faible ou + précise ?

19 rétro épikole

21 il y a 3 couches

22 supra bel sache lantaise / p. 28

39 ~~donc~~ ~~peut~~ Vu

46. La réponse ~~pour~~ ~~est~~ ~~elle~~ ~~aluminium?~~
51 Réponse ~~intente~~ de l'ado 3010.

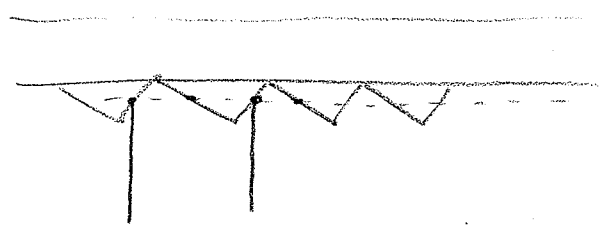
53 Pourquoi le digressif ?

56 Mesure de pour. ~~reflexion?~~

57 Figure ?



A/isle 8869



INTRODUCTION p. 3

1^{er} Partie

Réplique de surfaces de lames de quartz fondu poli à $\lambda/50$...

I-1	Contrôle de la qualité des répliques	17
	A. Frauges du ou d'air	9
	B. Mesure de défauts	12
	C. Précision	13
	D. Réalisation de crin d'air variable	15
	E. Bâti de contrôle	17
	F. Mesure pratique	
I-2	Mise au point de la fabrication des répliques...	19
	A. Principe	19
	B. Première série d'essais	24
	C. Dernière série d'essais : nature de brosse	25
	D. Traitements	28
	E. Quaternes (tach laiteuse)	28
	F. Contrôle du décollement	28
	G. Conclusion	30
I-3	Résultats obtenus	30
	A. Essai n°1	30
	B. — 2	34
	C. — 3	

2^e Partie :

Réplique de surfaces de lames de quartz fondu poli à $\lambda/50$
sur un support en fluorene poli à λ

II-1	Intérêt	36
II-2	Mise au point de la fabrication des répliques sur des galets de fluorene dt	36
II-3	Etude dans l'IR des résines polymérisables (absorption)	39

3^e Partie

Répliques de réseaux

III-1	Intérêt	44
III-2	Mise au point de la fabrication de répliques de réseaux	44
III-3	Mesure des résultats obtenus	51
	a) Mesure comparative de planéité	51
	b) Mesure de la largeur de traits	53