

## CHAPITRE III

## LE MIROIR PLAN DIAGONAL DU TELESCOPE DE NEWTON

49. **Miroir ou prisme, qualités requises.** - Pour dévier le faisceau principal de manière à rendre le plan focal accessible dans le télescope de Newton choisi pour notre type standard, on utilise soit un prisme à réflexion totale, soit un miroir plan incliné en général à  $45^\circ$  par rapport à l'axe du grand miroir.

Les prismes présentent des avantages non négligeables : avec des faisceaux dont l'ouverture ne dépasse pas  $1/5$ , ils dispensent de l'entretien d'une surface métallisée particulièrement exposée au dépôt de rosée. Les prismes sont en outre des pièces courantes relativement faciles à trouver. Malheureusement la qualité requise pour l'application que nous envisageons est rarement atteinte par les prismes ordinaires qui sont destinés le plus souvent à des redresseurs d'images d'appareils à faible grossissement. Les défauts de planéité de la face hypoténuse d'un prisme ont une gravité du même ordre que ceux d'un miroir plan ; ce qui complique la question dans le cas du prisme, c'est qu'ils peuvent cumuler avec les défauts des faces d'entrée et de sortie, les erreurs d'inclinaison des faces entre elles et les défauts internes de la matière. Aussi un très bon prisme de plus de 40 millimètres de côté de l'angle droit est-il un objet fort rare. Dans tous les cas, le prisme se comporte comme une lame à faces parallèles ayant une épaisseur égale à son petit côté ; donc il introduit une surcorrection sphérique et chromatique nullement négligeable pour une traversée d'une quarantaine de millimètres de verre par un faisceau d'ouverture  $1/6$  ou plus. Au contraire, un miroir plan n'introduit aucune aberration. En raison de la proximité relative de l'image, de l'ordre du dixième de la longueur focale du grand miroir, on peut tolérer en principe des défauts à pente dix fois plus considérable que sur ce dernier et c'est la condition relative aux écarts de tautochronisme qui doit surtout retenir l'attention. Pour que la règle de Rayleigh soit satisfaite, si nous prenons le défaut sur le verre et tenons compte de l'incidence  $45^\circ$ , nous considérons comme tolérable une anomalie de  $\lambda/12$  environ. Mais en raison de l'incidence  $45^\circ$  on n'a pas le choix, comme dans le cas du grand miroir entre plusieurs surfaces de référence de courbure un peu différente ; il faut que la courbure soit nulle, autrement le faisceau réfléchi est astigmatique. Si nous admettons pour ce dernier défaut une tolérance de  $\lambda/5,5$  sur l'onde <sup>(1)</sup>, nous

<sup>(1)</sup> A. COUDER, Thèse : *Recherches sur les déformations des grands miroirs employés aux observations astronomiques*, p. 10.

voions que sur le verre nous ne pouvons tolérer une courbure régulière concave ou convexe que si elle ne dépasse pas  $\lambda / 8$ .

Très peu de télescopes en service possèdent un plan de cette qualité. Des défauts d'une frange entière sont tout à fait fréquents et nous avons même eu l'occasion de noter sur le plan d'un beau télescope de 12 pouces, une convexité de 9 franges ! Il n'est pas douteux qu'une partie de la mauvaise répartition des réflecteurs newtoniens de l'industrie provienne de telles négligences.

**50. Forme et dimensions du miroir plan.**- Si l'on rejette le faisceau à angle droit, la surface d'obstruction minimum <sup>(1)</sup> est obtenue en coupant une lame de verre avec un cylindre dont les génératrices font un angle de  $45^\circ$  avec son plan. Le contour de cette surface est donc une ellipse (fig. 53 A) dont les axes sont  $a$  et  $a\sqrt{2}$ .

Cette " tranche de saucisson " n'est pas facile à réaliser en pratique et la figure optique d'un tel miroir est rarement aussi bonne que celle d'un verre d'épaisseur uniforme. Le plus souvent l'amateur s'en tiendra à un miroir ayant son bord d'équerre avec les faces.

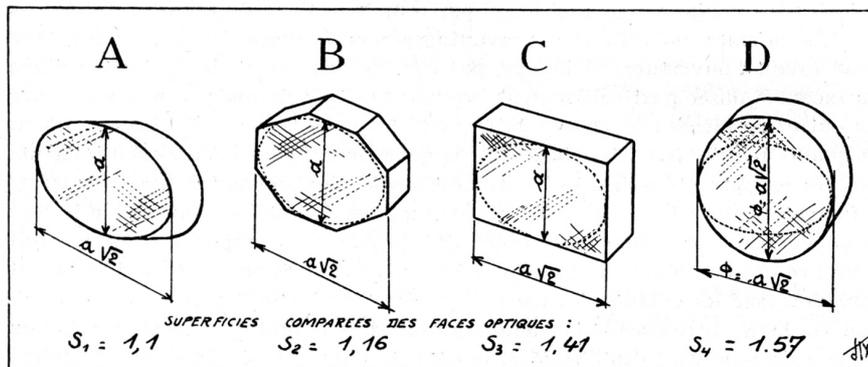


Fig. 53. – Formes diverses pour le miroir secondaire.

Suivant le mode de fabrication adopté, le solide le plus facile ou le plus avantageux aura le contour octogonal (fig. 53 B), rectangulaire (fig. 53 C) ou circulaire (fig. 53 D). Même dans ce dernier cas, l'obstruction supplémentaire dans le faisceau incident est un argument de faible poids devant la meilleure qualité probable de la surface.

Pour déterminer la valeur  $a$  du petit axe de l'ellipse utile (fig. 53), il faut connaître quatre choses (fig. 54) :

Le diamètre optique  $D$  du grand miroir ;

La longueur focale  $f$  du grand miroir ;

La distance  $\ell$  de l'intersection de l'axe avec la surface du miroir plan, au plan focal ;

Le diamètre  $d$  du champ que l'on désire couvrir en pleine lumière.

La distance  $\ell$  est égale au rayon extérieur (ou au demi-côté si c'est un carré)

<sup>(1)</sup> Nous laissons volontairement de côté les « chinoiseries » sans intérêt pratique.

du tube prévu pour le télescope, plus l'épaisseur du porte-oculaire complet quand il est enfoncé au maximum, plus une certaine distance de dégagement entre le plan focal et le repos du porte-oculaire ; en effet, actuellement, on rend presque toujours le plan focal accessible. Il faut donc qu'il sorte de l'instrument quand le porte-oculaire est rentré à fond. Si l'on n'envisage que les observations visuelles, il suffit que l'on puisse mettre au point avec les plus forts oculaires négatifs ; avec les montures rentrantes habituelles, une distance de dégagement de l'ordre du centimètre suffira. Mais si l'on veut faire des photographies au foyer, la distance de dégagement doit tenir compte de l'épaisseur de la chambre ; plus généralement, l'interposition de tout appareil accessoire raccourcissant le tube impose des distances de dégagement plus grandes, par conséquent des miroirs plans secondaires plus grands. Il est bon de ne pas

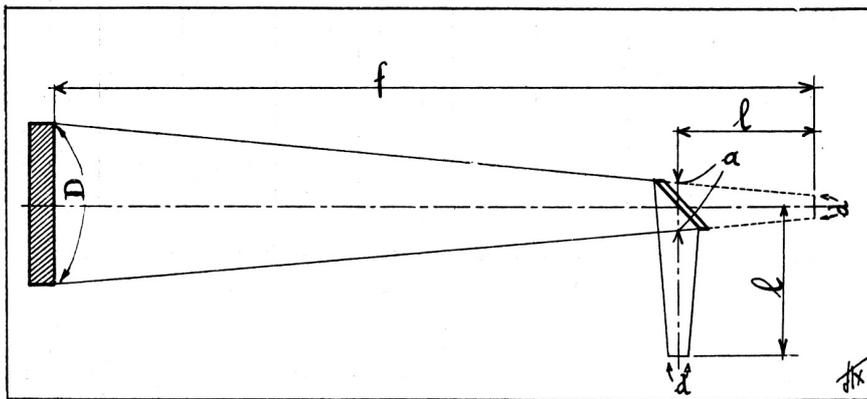


Fig. 53. – Dimensions du miroir secondaire.

chercher à interposer un hélioscope à polarisation ou un redresseur à prismes, à moins que ces accessoires soient munis d'une lentille divergente destinée à allonger le foyer de la quantité voulue.

Il reste à fixer le diamètre  $d$  du champ que l'on désire couvrir en pleine lumière. Pour la plupart des observations visuelles on peut s'en tenir au diamètre de la Lune qui vaut angulairement  $31'$ , soit un diamètre linéaire dans le plan focal égal aux 9 millièmes de la longueur focale  $f$  (11 millimètres du foyer d'un télescope de 1,20 de foyer). Si l'on veut faire des photographies au foyer dans un champ aussi étendu que possible (les grandes nébuleuses débordent le champ usuel d'un télescope de moyenne puissance), c'est l'importance des aberrations extra-axiales du miroir parabolique qui nous fixera la limite raisonnable. Le diamètre des plus petites étoiles que l'on peut enregistrer photographiquement au foyer d'un télescope de moyenne puissance est voisin de  $35 \mu$ . Au bord du champ nous sommes forcés d'être moins difficiles : posons comme limite tolérable pour la longueur radiale de l'aigrette due à la coma et l'astigmatisme la valeur de  $100 \mu$ . Le tableau de la page suivante, calculé avec cette donnée indique le diamètre  $d$  du champ en minutes d'arc et en millimètres dans le plan focal, pour différents miroirs d'amateurs.

Dans le cas d'un petit miroir peu ouvert, l'adoption d'un tel champ peut conduire à une obstruction centrale prohibitive. Si l'on veut aussi faire des

observations visuelles, il est recommandable de prévoir un dispositif permettant le remplacement du miroir secondaire employé en photographie par un autre plus petit.

En possession des quatre données nécessaires, on peut dessiner l'épure du télescope à l'échelle 1 / 2 par exemple, en traçant les rayons émergents limitant le champ utile (fig. 54) ; il suffit de relever le diamètre du faisceau à la distance  $\ell$  du plan focal, pour avoir le petit axe de l'ellipse du miroir plan ; le grand axe, on se le rappelle, vaut 1,414 fois le petit.

$f/D =$ = D	5		6		7		8	
150 mm.	103'	22 mm.	116'	30 mm.	130'	40 mm.	138'	48 mm.
200 mm.	80'	23 mm.	92'	32 mm.	102'	42 mm.	110'	51 mm.
250 mm.	66'	24 mm.	76'	33 mm.	86'	44 mm.	92'	54 mm.
300 mm.	55'	24 mm.	64'	34 mm.	73'	45 mm.	80'	56 mm.

On peut aussi obtenir la valeur  $a$  du petit axe avec la formule :

$$a = \frac{(D-d) \ell}{f} + d.$$

*Exemple.* - On veut connaître la valeur du petit axe du miroir plan du télescope standard à  $f/d = 6$  pour lequel on a  $D = 200$  millimètres,  $f = 1200$  millimètres,  $\ell = 160$  millimètres (avec le tube standard et pour les observations visuelles ordinaires),  $d = 11$  millimètres (diamètre de la Lune dans le plan focal), on aura donc :

$$a = \frac{(200-11) \times 160}{1200} + 11 = 36,2 \text{ mm.},$$

le grand axe devra mesurer  $36,2 \times 1,414 = 51,2$  millimètres

*Autre exemple.* - Même question avec un télescope de 300 millimètres à  $f/D = 7$  que l'on veut employer pour des photographies à longue pose au foyer, sachant que le diamètre extérieur du tube du télescope mesure 350 millimètres, que la monture de mise au point rentré à fond mesure 50 millimètres et que la chambre qui se monte dessus a 40 millimètres d'épaisseur ; si l'on veut un dégagement supplémentaire du plan focal de 10 millimètres, on aura :

$$\ell = 175 + 50 + 40 + 10 = 275 \text{ mm.},$$

le tableau ci-dessus nous donne  $d = 45$  millimètres.

On a donc :

$$a = \frac{(300-45) \times 275}{2100} + 45 = 78,4 \text{ mm.},$$

et pour le grand axe :

$$78,4 \times 1,414 = 110,9 \text{ mm.}$$

51. **Contrôle interférentiel des miroirs plans.** - Soit une lame d'air d'épaisseur  $e$  (fig. 55 A), comprise entre deux surfaces optiques. Un rayon lumineux d'incidence  $i$  tel que  $S$  arrivant sur la lame d'air, subit une première réflexion partielle en A au passage du verre dans l'air, en donnant naissance au rayon réfléchi  $R$  ; puis une seconde réflexion en B au passant de l'air dans le verre en donnant naissance au rayon réfléchi  $R'$ . Ces deux rayons  $R$  et  $R'$  sont susceptibles d'interférer (§ 2), les réflexions en A et B étant de nature différente, il en résulte une différence de phase de  $\lambda / 2$  à laquelle on doit ajouter le chemin supplémentaire :  $2e \cos i$  parcouru par le rayon  $R'$ . Pour une différence de marche égale à  $\lambda / 2$  ou un nombre impair de  $\lambda / 2$ , l'interférence est totale, si la lame d'air a une épaisseur variable, les points d'épaisseur convenable, paraissent sombres ; on voit des franges localisées dans la lame d'air.

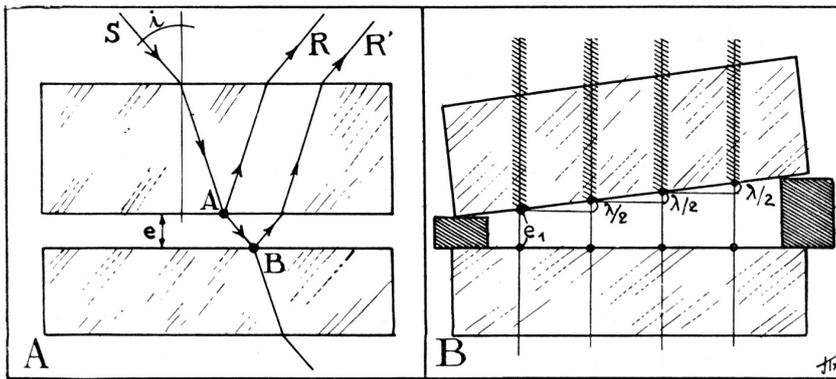


Fig. 55. - Interférences dans une lame d'air.

Un cas particulier important qui nous intéresse directement, est celui où les faces de la lame d'air sont planes et font entre elles un angle très petit, on a un *coin d'air* (fig. 55 B). Si l'incidence est normale, à chaque fois que l'épaisseur du coin augmente de  $\lambda / 2$ , à partir d'une certaine épaisseur  $e_1$  pour laquelle l'interférence est complète, on voit une nouvelle frange puisque le retard s'est augmenté de  $\lambda$ . Cette frange est évidemment une droite parallèle à l'arête du coin puisque c'est le lien des points de même épaisseur. Entre deux points du verre où l'on compte  $k$  franges, on peut dire que l'épaisseur a varié de  $k \cdot \lambda / 2$ . Si nous sommes certains de la planéité de l'une des faces du coin (calibre étalon contrôlé par une autre méthode), nous pouvons directement interpréter les altérations des franges d'égale épaisseur, par rapport à la ligne droite, comme des défauts de planéité de la seconde face du coin ; les franges nous fournissent, un moyen précis pour contrôler la planéité d'une surface optique à la seule condition que nous disposions d'un plan étalon de référence.

52. **Pratique du contrôle interférentiel des miroirs plans.** -- Dans les ateliers industriels on pratique le contrôle interférentiel simplement à la lumière du jour, dans ces conditions les franges ne sont visibles que pour des épaisseurs de coin très faibles, elles présentent des colorations vives de l'échelle de Newton.

Les surfaces doivent être parfaitement propres et appliquées avec le plus grand soin directement l'une sur l'autre sans glissement latéral, même une

main experte n'est jamais sûre de ne pas faire d'accrocs dès que le diamètre du verre atteint 5 centimètres, de plus, il existe souvent pour de faibles épaisseurs d'air des phénomènes d'adhérence très nuisibles par les contraintes mécaniques qu'ils infligent aux pièces. Si l'on ajoute qu'il est rare à l'atelier que l'on opère avec l'incidence normale et des temps de refroidissement suffisants après manipulation du calibre et du miroir encore glanté sur le bloc, on comprendra que l'on ne peut guère demander à cette technique qu'une précision de  $\lambda/2$ .

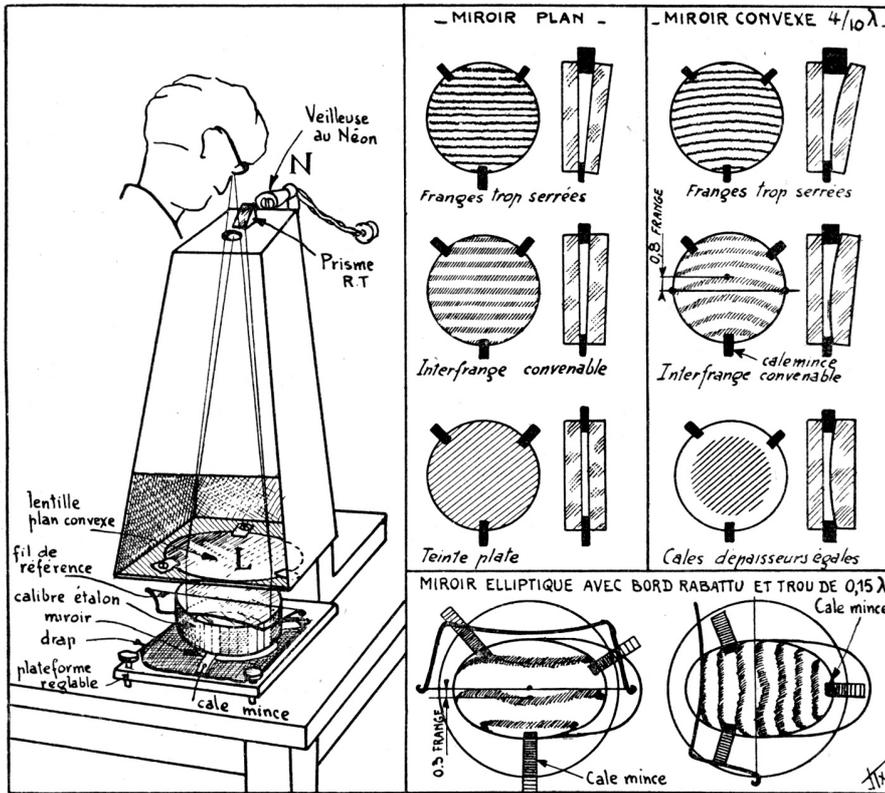


Fig. 56. – Contrôle interférentiel de plan avec le montage de Fizeau.

Une méthode plus correcte consiste à utiliser une source étendue de lumière monochromatique (tube à décharge à vapeur de mercure par exemple) de telle façon que l'incidence soit normale. Même sans isoler la raie verte, il est possible de voir les franges de coin en interposant des cales de papier entre les surfaces.

Il est à la fois beaucoup plus économique et meilleur d'avoir recours à une simple veilleuse au néon, facile à trouver dans les grands bazars d'électricité, associée à un dispositif imaginé par Fizeau. Nous empruntons la plupart des détails pratiques suivants à M. A. Couder. La veilleuse N est placée au foyer d'une lentille ordinaire plan convexe L (fig. 56), la face plane est tournée du côté de la source et la longueur focale ne doit pas être trop petite (40 ou 50 centimètres pour un diamètre de 10 centimètres).

Si la veilleuse est trop encombrante, on peut la rejeter sur le côté grâce à un prisme quelconque, en tous cas le pinceau incident doit être un peu hors de l'axe pour que le faisceau de retour après réflexion sur le plan soit directement accessible. Il est commode de pouvoir régler au moyen de vis calantes ou de cales, l'orientation de l'appareil ou des surfaces examinées de manière à réaliser l'autocollimation sur le plan.

Les cales de séparation sont coupées dans la même feuille de papier de 1 ou 2 / 10 d'épaisseur par exemple, le papier de journal relativement compressible est pratique ; leur largeur peut être de 5 à 10 millimètres.

On pose le calibre d'abord sur une cale puis on bascule sur les deux autres sans toucher directement au miroir. En général, au début, on voit un grand nombre de franges, ce qui indique que la pente du coin est notable et que par conséquent les cales ont des épaisseurs trop différentes, en tirant la cale épaisse ou en la comprimant, on élargit les franges, quand il n'y en a plus qu'une dizaine sur le verre il n'y a pas intérêt à égaliser davantage l'épaisseur des cales, les franges s'étaleraient en une « teinte plate » générale même s'il subsiste

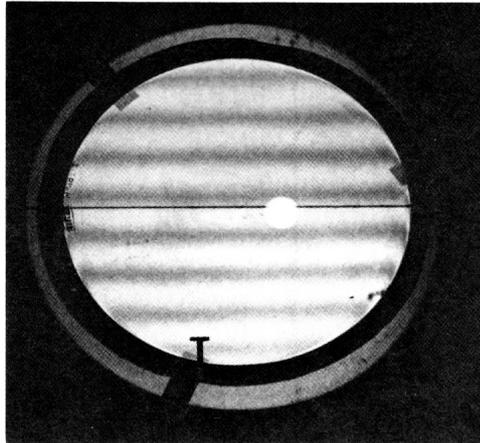


Fig. 57. – Contrôle interférentiel d'un plan.

Noter : Me fil rectiligne de référence près de la frange centrale. La tache blanche est le reflet de la lampe au néon. La cale mince est marquée T. Le bord extrême est rabattu.

des défauts de 1 ou 2 / 10 de frange tandis qu'avec un interfrange d'environ 10 millimètres une courbure ou un accident de 1 / 2 millimètre est visible, cela représente 1 / 20 de frange ou  $\lambda / 40$  sur le verre. Le plus souvent, il existe des défauts zonaux ou une courbure d'ensemble ; pour éviter des erreurs d'interprétation, on commence par repérer la cale mince (c'est celle qui, comprimée par une légère pression du doigt sur le verre dans son aplomb, montre les franges allant en se resserrant puisque la pente du coin d'air augmente) et on la tourne en face de soi (fig. 56 et 57) alors : *la frange centrale représente la coupe de la pièce contrôlée, telle qu'on pourrait la voir si ses accidents étaient grossis à raison de  $0 \mu 3$  environ (1 / 2 efficace au Néon) pour un interfrange.*

Les figures 56 et 57 donnent des exemples d'application de cette règle. Les accidents sont mesurés en comparant la courbure des franges à la valeur de l'interfrange, grâce à un fil tendu sur un archet en fil de fer qui matérialise une ligne droite. Quand le défaut n'est pas de révolution, l'interprétation des franges n'est pas toujours simple, il faut changer la direction de plus grande pente du coin d'air, en intervertissant deux cales par exemple, de manière à étudier d'autres diamètres, ceci est particulièrement utile avec un verre qui n'est pas circulaire (fig. 56).

Bien entendu, les précautions pour l'égalisation thermique des verres et pour éviter leur échauffement au cours de l'essai sont indispensables et même encore plus sérieuses que pour le grand miroir concave ; n'oublions pas qu'ici la surface de référence est imposée. Un délai de plusieurs heures après manipulation du calibre et du miroir, est ordinairement nécessaire ; le mieux est de laisser les verres reposer une nuit, il ne faut se pencher devant l'appareil que pendant le temps nécessaire et il est bon de protéger les verres contre la chaleur du corps au moyen d'un entourage en papier ondulé constituant une cheminée jusqu'à la lentille de l'appareil de Fizeau.

La méthode interférentielle est d'application facile et d'interprétation immédiate, sans calcul, elle suppose seulement que l'on possède un calibre plan étalon au moins aussi grand que la pièce à contrôler et dont la qualité soit hors de question. Un des premiers devoirs d'un groupement d'amateurs, c'est de posséder un étalon plan et d'être à même de pouvoir contrôler les pièces montées par ses membres. L'amateur isolé en province peut à la rigueur éviter les plus grosses fautes en contrôlant deux par deux, trois miroirs ayant le dos poli, il obtiendra un système de trois équations à trois inconnues de résolution immédiate qui fournira les indications sur la courbure en importance et signe des trois verres. Malheureusement si les défauts sont compliqués (glace de Saint-Gobain), ce système est insuffisant, on ne peut guère l'appliquer avec succès que dans le cas de courbures régulières. Il est préférable d'employer la méthode suivante, au moins pour le contrôle du premier étalon.

**53. Contrôle des miroirs plans en combinaison avec un sphérique.** - Il faut disposer d'un miroir sphérique concave auxiliaire au moins aussi grand que le petit axe du plan à contrôler, en fait, même pour un tout petit miroir on n'a pas intérêt à descendre en dessous de 10 centimètres de diamètre et 2 mètres de rayon de courbure. Pour le fervent tailleur de miroirs, un sphérique parfait assez grand est une précieuse pièce de référence ; celui qui ne construit qu'occasionnellement un télescope ne taillera pas spécialement un miroir sphérique, nous lui conseillons de prendre tout bonnement son miroir principal, même s'il est déjà parabolisé, pourvu qu'il n'ait pas un défaut petit et net juste au centre. On vérifiera en foucaultant un miroir de 20 centimètres à  $f/d = 8$ , ou même 6, muni d'un diaphragme de 50 millimètres, que cette partie centrale peut être assimilée à un miroir sphérique.

Reprenons le dispositif décrit § 40, à propos de l'étude de l'astigmatisme du miroir principal et appliquons à l'examen du miroir diaphragmé pour vérifier que l'astigmatisme de montage est insensible avec un oculaire fort.

Pour l'interposition du plan dans le faisceau, un support spécial est nécessaire. La figure 58 en montre un exemple réalisé avec trois planchettes dont l'une portant sur trois têtes de clous, sert de socle et les deux autres forment un dièdre à  $45^\circ$  par exemple <sup>(1)</sup> qui a ses plans matérialisés par des têtes de clous servant d'appui aux dos des miroirs dont le glissement vertical est empêché par des grands clous portant sur leur tranche. Le centre du miroir sphérique doit se projeter évidemment au centre du plan.

<sup>(1)</sup> L'angle optimum pour le contrôle des plans est de  $54^\circ 45'$  (thèse A. COUDER, p. 9). On prend souvent également  $60^\circ$ .

Pour avoir assez de lumière malgré trois réflexions, comme le plan en examen et éventuellement en retouche n'est généralement pas métallisé, il faut que le sphérique le soit.

L'expérience de Foucault pratiquée dans ces conditions nous révèle les défauts zonaux du plan s'il y en a mais ne peut pas nous dire si le miroir a une faible courbure sphérique concave ou convexe ; en effet avec notre montage le plan d'incidence est horizontal, l'astigmatisme créé par la non planéité du miroir diagonal se manifestera près de l'image sous forme de *droites focales* rectangulaires, l'une d'elles : *la focale sagittale* est contenue dans le plan d'incidence elle est donc horizontale avec notre montage mais l'autre - *la focale*

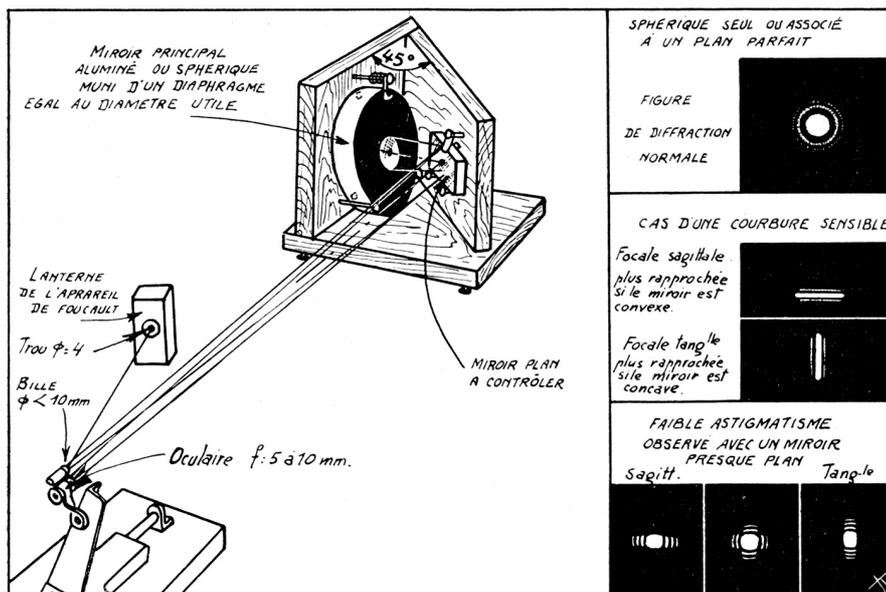


Fig.58. – Contrôle d'un miroir plan en association avec un miroir sphérique.

*tangentielle* - qui lui est orthogonale est verticale comme notre couteau et si ce dernier fait une coupe dans son plan nous observerons la teinte plate comme dans un faisceau stigmatique. On peut cependant mettre en évidence et mesurer l'astigmatisme avec une grande précision par la méthode de Foucault si l'appareil est muni d'un couteau (et d'une fente) pouvant tourner dans son plan ; en disposant l'arête horizontale, on peut trouver une autre position longitudinale d'extinction en teinte plate correspondant au pointé de la sagittale, en retranchant à ce second pointé l'astigmatisme de montage (position extra-axiale de la source) la différence restant entre les deux tirages mesure la *longueur d'astigmatisme*  $l$  qui permet de calculer, avec la formule donnée plus loin, la courbure du miroir. Mais nous pouvons éviter une transformation de notre appareil de Foucault en pointant simplement les focales avec un oculaire fort, la précision est un peu moins bonne, mais cela nous familiarisera avec une image affectée d'astigmatisme pur. La bille étant collée contre l'oculaire et notre montage à faible ouverture angulaire, on peut négliger l'astigmatisme

de montage et obtenir la longueur d'astigmatisme simplement en retranchant l'un de l'autre les deux tirages trouvés pour les plans de mise au point correspondant à chaque focale (fig. 58). Si l'on trouve la *focale sagittale* (horizontale) *plus proche* du miroir que la tangentielle (verticale) cela veut dire que le miroir est *convexe*, au contraire si c'est elle qui est la plus *éloignée* le miroir est *concave*.

Nous empruntons à M. A. Couder les formules suivantes <sup>(1)</sup> ;

Le rayon de courbure R du miroir quasi plan essayé est égal à :

$$R = \frac{4 p^2}{l} \left( \frac{1}{\cos i} - \cos i \right).$$

La bille et l'oculaire étant solidaires on multiplie par 2 la longueur  $l$  mesurée.

En comptant les deux réflexions, en appelant  $p$  la distance du miroir plan à l'image visée par l'oculaire et  $l$  la longueur d'astigmatisme.

Pour notre montage où nous avons pris  $i = 45^\circ$ ,  $\cos i = 0,707$  et la formule se ramène à :

$$R = \frac{2,83 p^2}{l}.$$

Toujours dans le cas de l'incidence  $45^\circ$  la flèche de courbure  $e$  du miroir quasi plan est donnée par :

$$e = \frac{l}{22,6} \cdot \frac{D^2}{p^2}.$$

D = diamètre du faisceau utile dans le plan du miroir essayé.

Exemple : On a trouvé une longueur d'astigmatisme  $l$  de 2 millimètres entre les deux focales, la focale sagittale étant plus éloignée, sachant en outre que  $p = 3\ 100$  millimètres (miroir de 20 centimètres à  $f / 8$  utilisé comme sphérique) et D = 50 millimètres, nous en concluons que le miroir essayé est concave et que son rayon de courbure est égal à :

$$R = \frac{2,83 \times 3\ 100^2}{2} = 13,6 \times 10^6 \text{ mm} = 13,6 \text{ km},$$

la flèche de courbure du petit axe est de :

$$e = \frac{2}{22,6} \cdot \frac{50^2}{3\ 100^2} = 2 \times 10^{-5} \text{ mm soit } 0 \text{ m } 023 \text{ ou } \frac{1}{24}.$$

La méthode est très sensible parce que le miroir est loin de l'image ( $p$  est ici vingt fois plus grand que dans l'instrument en service) et que le faisceau passe deux fois sur le plan.

**54. Matière première.** - Glace de Saint-Gobain. - La planéité de la glace est souvent vantée dans les ouvrages de physique et dans ceux consacrés aux télescopes d'amateurs ; elle est assurément remarquable pour un produit industriel aussi banal. Si l'on dispose d'un stock suffisant de débris de glace de fabrication ancienne et d'un appareil de contrôle interférentiel (§ 52), il ne sera pas trop difficile de trouver un morceau assez grand et assez parfait pour constituer un miroir diagonal de 20 à 30 millimètres de petit axe. Actuellement

<sup>(1)</sup> *Lunettes et Télescopes*, p. 501, thèse, p. 9.

la glace ordinaire est surfacée par des machines à fonctionnement continu et il est presque impossible de trouver un morceau acceptable. Ce qu'il faut proscrire absolument, c'est la pratique, trop fréquente chez les amateurs, qui consiste à prendre le premier morceau de glace venu sans le contrôler ; on n'a pas une chance sur mille d'obtenir un bon plan de cette façon ! Il existe presque toujours des défauts astigmatiques, dont l'interprétation est d'ailleurs difficile et dont l'amplitude atteint facilement 5 à 10 franges sur 50 millimètres, le *resurfaçage est indispensable*.

La glace ordinaire de 8 millimètres d'épaisseur peut suffire à la rigueur pour un miroir diagonal de 30 à 40 millimètres de petit axe ; on lui préférera cependant une épaisseur de 10 à 15 millimètres, surtout si le petit axe atteint 50 ou 60 millimètres.

*Pièces d'optique récupérées.* - Nous citerons comme principale mine de miroirs plans : les écrans photographiques réalisés notamment par C. Zeiss et Goerz, pour les anciennes chambres d'aviation de grandes dimensions, et que l'on trouve généralement à très bon compte, sur le marché de l'occasion <sup>(1)</sup>. Ces écrans sont constitués par deux lames à faces planes et parallèles de 150 millimètres de diamètre et 11 millimètres d'épaisseur, ou mieux 180 millimètres de diamètre et 14 millimètres d'épaisseur, collées, avec interposition d'une gélatine teintée. Il est généralement nécessaire de scier la monture pour récupérer les lames que l'on peut décoller dans une casserole d'eau mise à chauffer. Les faces intérieures collées ont ordinairement des défauts de deux ou trois franges sur tout le diamètre, mais souvent les faces extérieures ne présentent pas un défaut de plus d'une frange et si l'on étudie judicieusement son plan de découpage, on pourra trouver une région assez grande pour un miroir exact à  $\lambda / 10$ . Il nous arrive à l'atelier de la Commission de tirer quatre miroirs plans standard irréprochables, d'une seule lame de 150 millimètres revenant à 100 francs ! De toutes façons, la retouche est beaucoup plus facile que s'il s'agissait d'un morceau de glace de Saint-Gobain.

Mentionnons aussi certains miroirs de forme rectangulaire, provenant d'équerres optiques de télémètres, reconnaissables à des pattes usinées à la base du rectangle et qui sont exacts à 1 / 10 de frange en général. Il faut toujours bien se garder de généraliser sans contrôle de telles constatations ; les pièces industrielles finies avec cette précision sont très rares ; ce n'est pratiquement jamais le cas pour les prismes à réflexion totale.

**55. Resurfaçage des miroirs plans.** - Si l'on voit qu'il est possible d'utiliser telle quelle, ou de retoucher au polissage, la face d'un morceau de glace ou d'un écran, il faut bien se garder de dépolir l'autre côté, ce qui aurait pour résultat de provoquer une concavité de plusieurs franges de la face choisie à cause des forces de compression de l'abrasif (effet Twyman). Dans le cas le plus général où une retouche est nécessaire, on peut hésiter entre deux techniques :

Découper d'abord le miroir à sa forme définitive et le surfacer ensuite monté en « bloc », c'est-à-dire glanté sur un plateau avec des cales latérales rétablissant un contour à peu près circulaire (fig. 59 A). Inconvénient : déglantage, on libère inévitablement des contraintes, qui rendent ordinairement

<sup>(1)</sup> Renseignement valable en 1950, actuellement ce genre d'occasion est rare.

nécessaire la retouche finale du verre seul et cette retouche, effectuée sur une pièce non de révolution est aléatoire.

Découper sommairement un miroir circulaire nettement plus grand que le grand axe du plan désiré, par exemple 100 millimètres de diamètre pour un plan de 40 à 50 millimètres de petit axe. Si la pièce à retoucher est une lame d'écran de 150 millimètres, on peut la retravailler telle quelle (fig. 59 B). Surfacer ce verre exactement plan, puis découper finalement le miroir à sa forme définitive. Inconvénient : si la matière possède des résidus de trempé notables (glace), on peut libérer des tensions et provoquer un défaut imprévu au découpage.

Cette seconde méthode a cependant notre préférence car avec les verres minces, considérés ici, l'effet dû aux tensions éventuelles du verre est généralement

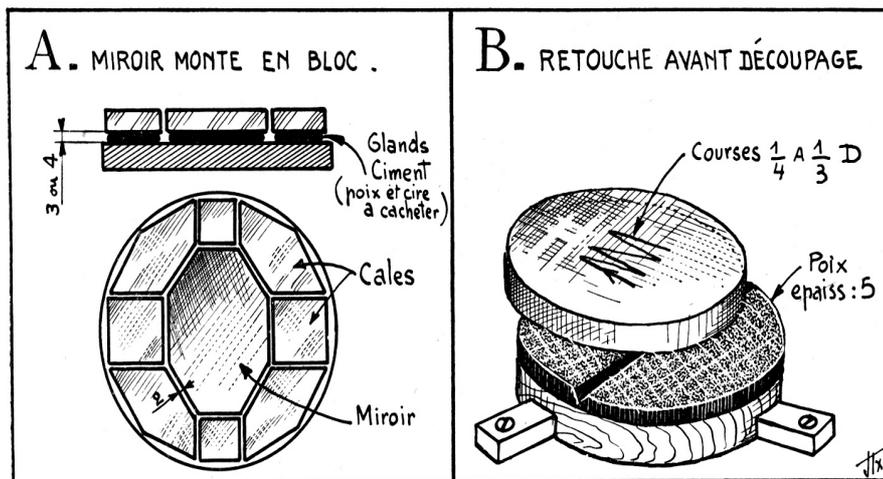


Fig. 59. – Les deux procédés de surfacage d'un miroir plan.

bien plus faible que celui dû aux tensions de glantage il est même nul si l'on utilise un plateau en Calex recuit fin de Parra-Mantois ; de plus, on élimine au découpage les bords de la pièce initiale qui sont presque toujours défectueux.

Pour reprendre au polissage la forme d'un plan de 10 à 15 centimètres de diamètre, utiliser un polissoir à la poix non carrelé, mais ayant un diamètre un peu plus grand que celui du verre (1 centimètre par 10 centimètres). On peut prendre comme outil un disque métallique, en verre ou en bois paraffiné à faces planes qui sera muni d'une bande de papier fort dépassant son contour et bien nivelé pour recevoir une couche de poix de 5 millimètres environ d'épaisseur. La poix doit être assez dure, l'angle ne la marque que faiblement. Avant refroidissement complet on procède à un pressage sur papier avec une surface plane assez grande, puis à un pressage au rouge. Pendant le travail l'outil sera dégarni par une rainure diamétrale et au besoin par des petits coups de grattoirs croisés pour augmenter l'adhérence. Rappelons qu'une climatisation à 20°C au moins et un travail prolongé ininterrompu sont indispensables.

En principe le travail se conduit verre en dessus et courses variées comme avec un miroir ordinaire. La plupart des renseignements donnés à ce sujet

pourront être transposés ici. L'amplitude des courses ne doit pas dépasser  $1/3 D$ . La tendance à concaver est combattue par l'excédent de diamètre de l'outil, mais si le verre est déjà concave, on travaillera momentanément avec le polissoir en dessus, le verre étant posé sur plusieurs épaisseurs de molleton.

Le bord rabattu éventuel, même s'il est très important, n'est pas à prendre en considération, puisqu'il disparaîtra avec les chutes du découpage. Les graves défauts astigmatiques irréguliers de la glace de Saint-Gobain s'éliminent automatiquement par un travail suffisamment prolongé : un temps d'action de trois ou quatre heures suffit le plus souvent. Il n'y aura plus que la courbure d'ensemble et les défauts zonaux à abaisser à moins d'un dixième d'interfrange dans la portion centrale utile qui peut être délimitée par un diaphragme en carton placé sur le verre pendant le contrôle.

**50. Découpage des miroirs plans.** - Il est beaucoup plus facile et expéditif de faire un découpage droit. Pour couper un verre un peu épais, on utilise de préférence une grosse roulette à tourillons dans une monture rabot ; en effet, il faut appuyer fortement pour faire une grosse rayure. Le verre est posé sur un support de planéité vérifiée. Si l'on se guide contre une règle, il est prudent d'assujettir celle-ci avec des serre-joints et il faut tenir compte bien entendu de la demi-épaisseur du rabot. Pour séparer correctement le verre on opérera

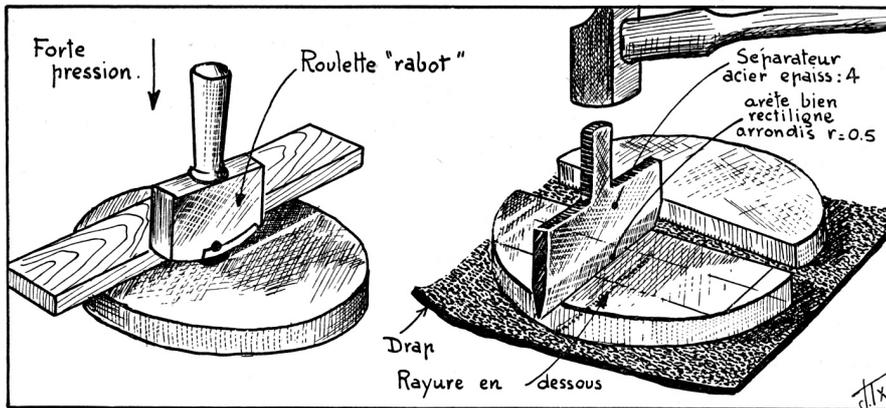


Fig. 60. - Découpage d'un verre épais.

de la façon suivante (fig. 60) : poser le miroir face rayée en dessous sur un drap de billard aussi grand que lui, recouvrant une surface plane assez massive (un marbre du mécanicien est idéal) ; exactement en face du trait on pose le séparateur qui est une sorte d'outil en acier terminé par une surface cylindrique de court rayon (fig. 60). Pour produire la rupture par flexion on frappe la queue du séparateur d'un coup sec avec un petit marteau. Il est toujours préférable de séparer le verre en fragments de longueurs à peu près égales. Quand on taille plusieurs miroirs dans le même disque, il faut donc commencer par la coupe diamétrale. La forme la plus facile à découper est évidemment celle d'un rectangle. On peut se contenter de biseauter les bords pour éliminer les petites égrèures et les arêtes coupantes en frottant la pièce présentée

à 45° par rapport à un morceau de glace avec interposition d'émeri cinq minutes. Pour éviter les rayures sur la face optique, on peut l'enduire d'une couche d'arcanson ou de gomme-laque.

Les miroirs octogonaux pourront nécessiter un travail de rodage un peu plus laborieux car les angles ne se séparent pas toujours aussi bien. Si l'on possède un lapidaire à axe vertical ou tout élément de machine permettant d'en improviser un, ce travail n'offre aucune difficulté.

Pour réaliser la forme elliptique oblique, on peut ébaucher le verre, collé entre deux glaces de protection, sur un lapidaire ou une platine, grâce à une pièce cylindrique coupée à 45° sur laquelle il doit être glanté solidement avec un ciment d'opticien ; le doucissage s'opère ensuite sur un tour avec une plaque de fer montée sur le porte-outil (fig. 61 A). Le découpage au « biscuit cutter », peut se faire avec une simple perceuse. Le biscuit cutter est un tube en métal

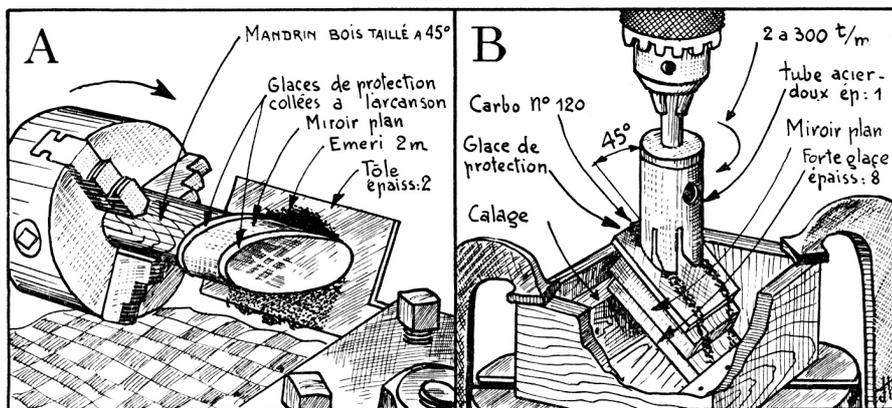


Fig. 61. – Réalisation d'un contour elliptique.

tendre (laiton, acier doux) qui sert aussi pour percer ou réaliser les miroirs Cassegrain, son diamètre intérieur doit avoir environ 2 millimètres de plus que le petit axe du miroir à découper et son épaisseur est de l'ordre du millimètre ; la partie supérieure est munie d'une pièce épaulée ou d'un cône Morse se montant sur la perceuse, la section droite inférieure est pourvue de fentes et de dégagements permettant la circulation de l'abrasif. Pour éviter les écailles, le verre doit être collé entre deux glaces de protection avec de l'arcanson (trois quarts de résine, un quart de cire d'abeilles).

On peut caler le tout, à 45°, dans un cube rempli de plâtre, pour éviter la présentation oblique du biscuit cutter. On se contentera souvent d'un calage à 45° dans une boîte, en bois paraffiné par exemple, qui recueille aussi l'eau et l'abrasif usé (fig. 61 B) et qui doit être solidement bridée sur le plateau de la perceuse. Il faut alimenter abondamment en eau et en carborundum n° 120, par exemple, et dégager souvent le biscuit cutter de la coupe pour assurer un bon travail d'abrasion, sans échauffement exagéré. Le carborundum est évidemment un voisinage malsain pour la machine qu'il ne faut toucher qu'avec la main qui ne manipule pas l'abrasif et protéger le plus possible avec des morceaux de toile cirée. Après découpage et décollage du miroir on abat tout de suite un petit biseau : l'arête aiguë s'écaille avec une grande facilité.

*Retouches finales.* - Le contrôle après découpage n'est pas exempt de toute surprise ; dans le cas d'un miroir elliptique le moins qu'il puisse arriver c'est un léger relèvement du bord aigu dû à l'effet Twyman de la tranche inclinée. Cette anomalie est le plus souvent assez petite et localisée pour être négligée. Si elle atteint 2 / 10 de frange, on pourra procéder à une retouche au doigt. Les libérations de contraintes peuvent, dans certains cas, nécessiter une intervention plus sérieuse qu'une simple retouche locale. Si le défaut atteint ou dépasse une frange, ce qui est heureusement assez rare, il faut avoir recours à un polissoir aussi grand que le grand axe de l'ellipse. Le rabatement du bord est à craindre. Si l'on veut un miroir réellement impeccable, il est plus économique de découper un autre miroir dans un plan en verre d'optique recuit fin.