

# ARTICLE DE FOND

## Le polissage d'un miroir

Manuela Rimbault

M2 Astronomie & Astrophysique Observatoire de Paris, Ingénieure Centrale Nantes

*Voici une future astronome qui se lance dans l'aventure du polissage d'un miroir. Elle présente les aspects techniques des différentes étapes en donnant des conseils. Évidemment sa bible est « La construction d'un télescope d'amateur » de Jean Texereau, auteur, passionné d'astronomie qui nous a quitté cette année. L'apprentissage de la taille de miroirs s'effectue à l'Observatoire astronomique de la Sorbonne par la Commission des Instruments de la SAF (Société Astronomique de France).*

Polir son miroir, voilà une idée ! Si l'expérience vous tente, prévoyez une centaine d'heures, de l'abrasif, des bras en bonne forme et surtout, une motivation à toute épreuve ; capable de faire face à un éventuel retour à la sphère, ou bien au sournois creux central... Les lignes qui suivent présentent les grandes étapes de la réalisation d'un miroir. Elles vous donneront peut-être envie de passer à l'action !

### Pourquoi tailler son propre miroir ?

Les raisons sont multiples, citons par exemple le plaisir de fabriquer son télescope de A à Z, l'occasion de se confronter aux difficultés réelles rencontrées par les fabricants de l'époque pré-industrielle, la possibilité de réaliser un instrument sur mesure, avec des configurations aussi nombreuses que l'imagination le permet. Vous pourrez ainsi rester standard avec un Dobson ouvert à 6, un Strock, ouvert à 5, ou bien opter pour un système plus exotique, comme un Dall Kirkam.

Un miroir plus ouvert vous apportera plus de luminosité, vous permettra de raccourcir la focale et donc de pouvoir observer au zénith debout, offrira un bon équilibre via un centre de gravité proche du primaire. Mais, il sera plus difficile à paraboliser...

Passons donc aux différentes étapes de l'élaboration d'un miroir.

Tout d'abord, il vous faut acquérir un morceau de verre, disponible dans le commerce sous la forme de cylindres. Choisissez bien sûr un verre au faible taux de dilatation thermique, à savoir un borosilicate, Pyrex ou Zérodur, pour ne citer que deux marques.

### L'ébauchage, le réunissage et le doucissage

La première étape, l'ébauchage a pour objet de commencer à creuser le miroir et à rabattre les bords de l'outil. On frotte le centre du miroir sur les

bords de l'outil de manière à ce que le disque-miroir se creuse au centre et le disque-outil voit ses bords se rabattre.

À chaque étape, on utilise un abrasif, du carborundum dans un premier temps, dont la taille diminuera au fur et à mesure que les irrégularités s'amenuiseront (dès cette étape, l'état de surface commence à s'améliorer). Le verre brut présente des irrégularités facilement observables à la loupe binoculaire, il est intéressant d'observer régulièrement l'évolution de la surface.



*Miroir : outil phase d'ébauchage fait de plâtre et carreaux de céramique, abrasif : carborundum.*

L'outil est un cylindre de plâtre (plâtre synthétique, qui ne craint pas l'eau), sur lequel on a collé des carreaux de céramique, en ménageant des interstices d'environ 5 mm.

Miroir dessus, outil dessous, saupoudrez le carborundum 80 (taille du grain) avec un peu d'eau. Nous voilà prêts à ébaucher. Comment ? En frottant l'outil sur le miroir avec des courses rectilignes, et en tournant régulièrement autour de ce dernier, tout en faisant pivoter l'outil. Le bruit généré à cette étape est assourdissant, on entend clairement le

moment où l'abrasif est usé, signe qu'il faut recharger. Tourner, frotter, tourner, frotter... Vous verrez apparaître un disque central, qui va progressivement s'étendre vers les bords (les bords, ce sont les pires !). En effet, la force s'applique principalement au centre, qui est donc creusé en premier. Lorsqu'on atteint le dernier anneau, on peut passer à la taille inférieure, du carbo 60. N'oubliez pas de jeter un œil à la binoculaire : observer l'évolution de la surface est très intéressant, et motivant. À ce niveau, les différences sont frappantes.

Naturellement, votre miroir prend la forme d'une calotte sphérique. Vous devez arrêter de creuser lorsque votre flèche est atteinte.

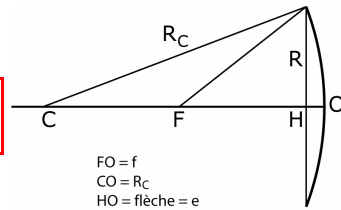
### Calcul de la flèche

$$R_C^2 = R^2 + (R_C^2 - e)^2 \Leftrightarrow R^2 - 2R_C e + e^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow R_C = \frac{R^2 + e^2}{2e} = \frac{1}{2} \left( e + \frac{R^2}{e} \right) \approx \frac{R^2}{2e} \text{ car } e \ll R$$

Or,  $R_C = 2f$  donc

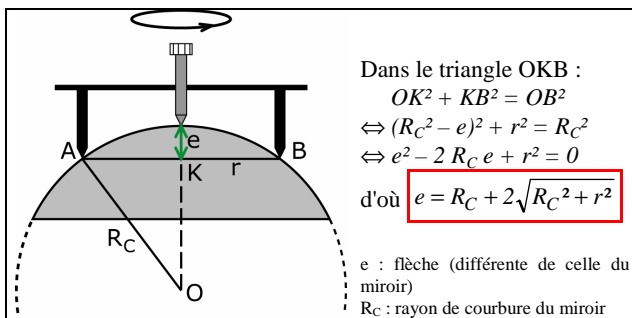
$$e \approx \frac{R^2}{2R_C} = \frac{D^2}{8R_C} = \frac{D^2}{16f}$$



Cette valeur est déterminée par votre choix de focale (cf encadré ci-dessus). Deux outils vous permettront de mesurer la flèche : le profondimètre, qui n'est rien d'autre qu'un pied à coulisse, et le sphéromètre. Vous êtes alors au carbo 120.

### Sphéromètre

Permet de déterminer la flèche à partir d'une portion de sphère.



Pour plus de précision, la flèche est déterminée par moyenne des mesures sur le miroir et sur l'outil.

Tout en améliorant la surface au fil des grains de plus en plus petits, votre outil s'est adapté à votre miroir. Il est maintenant nécessaire de peaufiner cette complémentarité, sans pour autant continuer de creuser significativement pour ne pas modifier la flèche obtenue. C'est ce que permettent les grains de tailles inférieures, allant du 120 au 220. Votre outil

va épouser la forme sphérique du miroir jusqu'à en être parfaitement complémentaire : c'est le réunissage. Le réunissage consiste à ce que l'outil et le miroir voient leurs formes se rapprocher et se réunir. On obtient une sphère concave pour le miroir et une sphère convexe pour l'outil.

L'étape suivante sera le doucissage pendant lequel l'état de surface va encore s'améliorer.

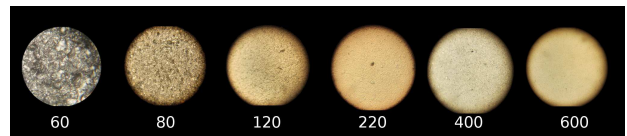
Comment savoir lorsqu'il est temps de changer de grain ? En observant la surface à la binoculaire. Si des structures de tailles correspondant au grain précédent sont encore visibles, il faut continuer jusqu'à les éliminer. Lorsqu'on n'observe plus de trous plus grands que les autres, on peut passer au grain suivant. Attention à ne pas brûler les étapes, ce ne serait qu'une perte de temps car plus on descend en taille, plus il est difficile d'estomper un gros défaut.

Durant tout ce travail, il faut être très vigilant à ne pas mélanger les grains. Un unique grain de taille supérieure vous trace inévitablement une belle rayure. Dans ce cas, pas le choix : retour au grain de taille correspondante pour la faire disparaître...

Plus nous avançons, plus les temps nécessaires à chaque étape sont courts. Nous arrivons au grain de taille 400, puis 600. On peut même finir par 5 minutes de grenat W16.

Vous en avez fini avec la phase de doucissage.

Il faudra prêter attention au chanfrein, qui ne doit jamais disparaître, sous peine de créer des éclats. Refaites-le dès qu'il commence à disparaître, grâce à une plaque incrustée de diamant. Placez-vous sous un robinet, et frotter à 45°, de l'intérieur vers l'extérieur.



Grains : évolution de l'état de surface du miroir lors de la phase d'ébauchage et doucissage.

## Le polissage

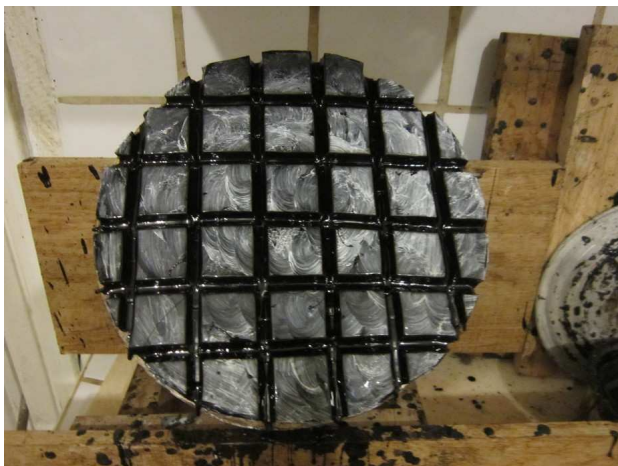
Une grande étape est effectuée. Passons aux choses sérieuses. Nous allons désormais côtoyer les nanomètres.

Avant toute chose, nous changeons de salle. Un grain étranger serait fatal, ou presque. Nous fabriquons également un nouvel outil, puisque les caractéristiques que nous en attendons sont différentes.

## Un nouvel outil

Nous allons aborder la phase de polissage, dont le but est d'enlever le « gris ». Contrairement aux étapes précédentes qui ont permis de modifier la surface en donnant des « coups de pelle » dans la matière, et faisant ainsi disparaître des morceaux ; le polissage consiste en une érosion des points les plus hauts. Le but étant de supprimer les « pics » pour se ramener au plus près possible des « creux ». Le matériau adéquat est la poix, qui est suffisamment fluide pour se réunir au miroir, tout en étant suffisamment abrasive, une fois chargée de cérium, terre rare qui accompagnera maintenant notre travail.

Nous commençons donc par créer ce nouvel outil : cylindre de plâtre coulé sur le miroir pour en avoir la forme complémentaire, sur lequel on dépose (une fois qu'il a durci bien sûr), une couche d'un centimètre d'épaisseur de poix liquide (chauffée doucement pour ne pas faire évaporer les composés volatils). Lorsque cette couche est solidifiée, nous la quadrillons de sillons à l'aide d'un fer à souder aménagé. Voici nos carreaux formés.



*Carreaux poix : outil phase de polissage, carreaux de poix, abrasif : cérium.*

Nous sommes fin prêts pour le polissage. Enlever le gris est très long et nécessite un œil expérimenté pour le discerner. Nous pourrions mettre à profit un rayon de soleil se réfléchissant sur les bords du miroir pour le voir, puis, proches du but, l'appareil de Foucault sera nécessaire.

## La parabolisation

Enfin ! Nous sommes contents d'arriver à cette étape cruciale de la finalisation. Mais ne croyez pas être tiré d'affaire ! Non, non. La parabolisation peut durer quelques heures comme elle peut vous occuper plusieurs semaines.

Actuellement, vous avez une belle sphère, de surface lissée. Plus question ici de modifier l'état de cette dernière. En revanche, c'est de la forme du miroir qu'il va falloir se charger. Afin que les rayons focalisent tous au même endroit, le miroir doit être parabolique. Or, la sphère génère ce que l'on nomme des défauts de sphéricité : suivant la provenance des rayons incidents et donc de leur point de réflexion sur le miroir, ceux-ci se réfléchiront plus ou moins en avant du point focal. C'est le joli phénomène que vous observez dans votre bol de thé, ou de café !

Si la sphère se forme naturellement, il n'en va pas de même de la parabole. Nous devons à Léon Foucault, un appareil optique fabuleux et astucieux : l'appareil de Foucault ou Foucault-mètre. Je ne m'étendrai pas ici sur le principe de fonctionnement qui fait intervenir quelques notions d'optique géométrique et de trigonométrie. Le lecteur intéressé pourra cependant se reporter au très bon livre de Jean Texereau *La construction du télescope d'amateur*.



*Foucault : Le principe du Foucault-mètre est d'envoyer un fin faisceau de lumière depuis de centre de courbure et d'observer sa réflexion en coupant les rayons réfléchis grâce à un couteau.*

Dès lors, finies les longues heures passées à frotter en ayant l'impression de ne pas avoir d'action sur le miroir. Au contraire, il faudra être avare de ses mouvements, compter le nombre de tours, et procéder par essai - vérification - correction.

Grâce à des mouvements différents sur le miroir, placé au-dessus de l'outil, nous déformons la sphère pour l'amener progressivement à la parabole. Plus votre miroir est ouvert, plus la parabole à atteindre s'éloigne de la sphère, plus elle sera difficile à obtenir.

Après quelques courses, nous vérifions les modifications apportées par un test au Foucault. Nous calculons ensuite les pentes, relevées au moyen d'un écran de Couder placé sur le miroir lors du test. Un logiciel vous permettra de visualiser la forme du miroir. Vous déduirez alors la suite à donner. À ce stade très délicat, se faire conseiller par un chevronné n'est pas du luxe.

Armez-vous de patience, de motivation, entourez-vous d'autres polisseurs jamais à cours d'anecdotes sur leurs déboires passés... Et vous finirez par obtenir un miroir à  $\lambda / 10$  !

Polir son miroir est un acte très gratifiant lorsqu'on est enfin à l'oculaire. Polir en groupe est aussi beaucoup plus motivant, les novices pouvant bénéficier des conseils indispensables des plus expérimentés. N'hésitez pas à rejoindre un club, c'est vraiment la meilleure façon d'apprendre.

Ensuite (ou simultanément) débute une nouvelle aventure, celle de la construction du télescope !



*Cache : On utilise un cache (du carton fait très bien l'affaire) dans lequel sont découpées plusieurs zones. L'intensité de la lumière dans des zones diamétralement opposées nous renseigne sur la forme du miroir. On observe en fait la déformation par rapport à la sphère, pour laquelle on obtient une teinte plate (éclairage uniforme du miroir).■*