

LA FABRICATION D'UN MIROIR DE TELESCOPE

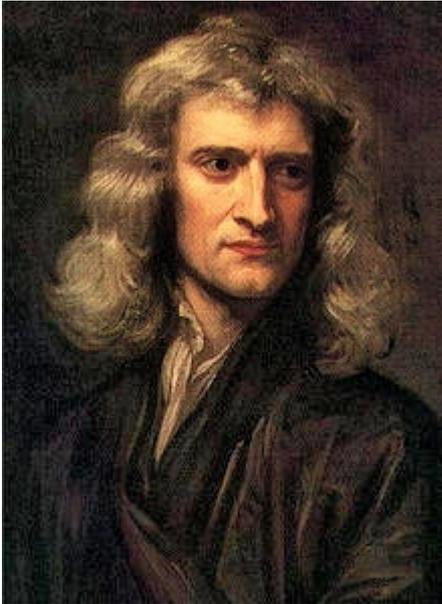
1

La taille d'un miroir de télescope est à la portée de l'amateur, et nous espérons vous montrer dans quelles conditions. Pas question pour nous de réécrire un énième ouvrage sur la construction de télescope d'amateur ! Il en existe beaucoup, d'excellents, écrits par de grands maîtres de l'optique, la référence étant sans conteste Jean TEXEREAU. Notre propos n'est ici que de vous exposer ce que nous pratiquons dans le cadre de l'atelier miroirs de la SAR depuis plusieurs années de façon régulière.

LES MATERIAUX

Les premiers miroirs de **NEWTON** à la fin du 18^e siècle étaient réalisés en bronze, alliage de cuivre et d'étain. Mais souvenons-nous qu'**ARCHIMEDE** aurait incendié la flotte romaine dans la rade de Syracuse grâce à la convergence de nombreux miroirs qui renvoyèrent l'image et surtout la chaleur du soleil sur les voiles des vaisseaux, y mettant le feu. Le bronze donc, ce métal relativement tendre se prête bien à l'activité de l'opticien. Inconvénient majeur, l'oxydation atmosphérique nécessite de le repolir régulièrement, c'est à dire, de retravailler totalement la surface.

C'est à **Léon FOUCAULT** que l'on doit la conception et la réalisation de miroirs en verre. En 1857, il met au point la méthode de contrôle des surfaces optiques que nous aborderons au cours de cet exposé.



LE VERRE

Depuis un bon siècle et demi, le verre est devenu le matériau de base pour la réalisation des miroirs de télescopes équipant tant les professionnels que les amateurs.

La base du matériau est constituée de silice (SiO_2), le sable de Fontainebleau étant la source la plus réputée pour sa pureté. On y trouve aussi du Borax (B_2O_3) comme dans le Pyrex, et de l'acide phosphorique (P_2O_5) autrefois issus de la cendre de bois.

L'adjonction de " fondants " abaisse la température de fusion et modifie les propriétés physiques du verre. L'oxyde de sodium (Na_2O), l'oxyde de potassium (K_2O), le nitrate de potassium (K_2NO_3 plus connu sous le nom de salpêtre) ou l'oxyde de magnésium (MgO) sont ainsi inclus à des concentrations diverses selon les qualités recherchées par le verrier.

2

L'introduction de " stabilisants " permet de protéger le verre de l'action de l'eau. On utilise alors les oxydes alcalino-terreux que sont l'oxyde de calcium (CaO), de zinc (ZnO), de fer (Fe_2O_3) qu'il faut décolorer alors par adjonction de bioxyde de manganèse (MnO_2).

Enfin l'adjonction d'oxyde de plomb (PbO) transforme notre pâte de verre en cristal.

Pour ce qui nous intéresse en astronomie, les colorants ne seront utilisés que dans les filtres optiques avec des caractéristiques très précises en fonction de la longueur d'onde que l'on souhaite sélectionner ou bloquer.

Note : dans la composition des verres, plus le pourcentage de silice est élevé et plus le coefficient de dilatation est faible ; donc, plus le verre est résistant.

Pour clore ce chapitre voici quelques éléments techniques concernant la température de travail du verre

Quelques températures concernant le verre :

1730°C : **fusion** de la silice.

1450 à 1530°C : zone d'**affinage** (deuxième étape de la fonte).

1400°C : fusion de la silice mélangée à un **fondant**.

1500 à 1000°C : zone de **conditionnement thermique** (troisième étape de la fonte).

1400 à 800°C : zone de **fusion du verre** (première étape de la fonte).

1400 à 1000°C : le verre est **visqueux**.

1200 à 1000°C : température de **formage**.

700 à 800°C : passage du verre dans l'**étenderie** (fabrication par soufflage en manchon).
1000 à 1100°C : température de **recuisson** d'un verre de silice.
550 à 600°C : température de **recuisson** d'un verre borosilicate.
450 à 480°C : température de **recuisson** d'un verre sodocalcique.
400 à 420°C : température de **recuisson** d'un crystal au plomb.
700°C : température du réchauffage du verre pour la **trempe thermique**.
700°C : température de **ramollissement** d'un verre sodocalcique pour 70% de silice.
820°C : température de **ramollissement** d'un verre borosilicate pour 80% de silice.
630°C : température de **ramollissement** d'un crystal au plomb pour 60% de silice.
550 à 850°C : risque de **dévitrication**.
550°C : le verre devient **pâteux**.
400°C : température du bain de la **trempe chimique**.
323°C : **fonte** du plomb.
300°C : température d'abaissement brutal pour la **trempe thermique**.
250°C : le verre devient **conducteur d'électricité**.
232°C : **fonte** de l'étain.
70°C : **défournement** des pièces d'un four

Une fois fondu, le verre " astronomique " est coulé dans des cassettes cylindriques à la dimension de ce qui sera la future pièce optique, miroir ou lentille, et " recuit " (cf supra). Il reste dans le four dont on redescend la température de manière progressive et contrôlée pour éviter la " trempe ", c'est à dire la constitution au sein de la masse de verre d'un noyau dont les propriétés mécaniques et optiques diffèrent du reste de la pièce.



LES ABRASIFS



Les dalles de verre démoulées vont être rodées l'une contre l'autre avec interposition d'**abrasifs**, c'est à dire d'un matériau pulvérulent, plus dur que le verre, et d'eau. En effet, il faut toujours utiliser les abrasifs en milieu aqueux, sous peine de voir la température des surfaces de s'élever de façon importante. L'expérience de friction de deux morceaux de pierre ou de bois a permis à l'homme préhistorique de découvrir un moyen de faire du feu !

Actuellement, le matériau le plus utilisé est le **carborundum**, ou **carbure de silicium (SiC)**.

Voici ce qu'en dit Wikipedia:

*Le **carbure de silicium** est un **minéral** presque exclusivement artificiel qui peut être considéré comme un **semi-conducteur** lorsqu'il est **monocristallin** ou comme une **céramique** lorsqu'il est **polycristallin**. Il est composée de **silicium** et de **carbone** (SiC).*

*Ce matériau a été découvert accidentellement par **Berzelius** en 1824 lors d'une expérience pour synthétiser du **diamant**. **Acheson**, grâce à ses travaux, fonde la **Carborundum Company** dans l'intention de produire un **abrasif***

On a beaucoup utilisé aussi les **éméris**. Toujours sur la même source:

L'éméri (du grec σμύριδα) est une roche composée de spinelle et de corindon finement cristallisés, associés à la magnétite ou à l'hématite.

L'éméri est de couleur noire ou gris foncé, moins dense que le corindon brun translucide, avec une densité comprise entre 3,5 et 3,8. Étant fait d'un mélange de minéraux, on ne peut lui attribuer de dureté spécifique sur l'échelle de Mohs, la dureté des composants de l'éméri variant d'environ 6, pour la magnétite, à 9, pour le corindon.

On en extrait surtout en Turquie (région de Smyrne) et en Grèce (dans les Cyclades et en particulier à Naxos).

La constitution et granulométrie des abrasifs est différente selon le stade du travail du miroir.

Numérotation actuelle			Mesures historiques	
Granulation Standard # <i>(Note 1)</i>	Taille moyenne microns <i>(Note 2)</i>	Taille maximum microns <i>(Note 3)</i>	American Optical Powder Number <i>(Note 4)</i>	Minutage (Minutes) <i>(Note 5)</i>
40	420	660		
60	254	406	M60	
80	165	292		
100	122	203	M100	
120	102	165		
180	76	114	M180	1
220	63	102		
240	50	85		
280	39	70		
320	32	60		
360	28	55		
	25			
400	22	45	M302	5
500	20	40	M302½	10
	18			
600	15	35	M303	20
800	12	30	M303½	40
900	9	23		
1000	7	23	M304	60
1200	5		M305	
	3			
	1			

Note 1: U.S. Department of Commerce Commercial Standard CS 271-65, de #8 à #240.

Note 2: La taille moyenne des grains est utilisée pour " nommer " l'abrasif.

Note 3: Caractéristique, la taille des particules varie selon les fabricants.

Note 4: Numérotation de Goldring utilisée dans beaucoup d'anciens ouvrages sur la de taille de miroir. 5

Note 5: Le " minutage " est le temps mis par les grains pour sédimenter dans une colonne d'eau de hauteur standard.

LA TAILLE DE MIROIR

Nous disposons maintenant de tous les éléments matériels qui vont nous permettre de nous lancer dans l'entreprise que représente la taille d'un miroir de télescope.

Pas tout à fait, cependant. Il nous manque encore un élément important, pour ne pas dire fondamental: le **poste fixe**. Cet "accessoire" va en partie déterminer la qualité de notre miroir. Je m'explique. Pour travailler une dalle de verre, il faut qu'elle soit fixée sans contrainte sur une surface d'une planéité la plus rigoureuse possible. Contrairement à son apparence triviale, le verre est en effet une substance flexible et cette souplesse relative est préjudiciable à la haute précision dont nous avons besoin.



Notez au pied du poste fixe le parpaing qui va servir de lest lors du travail. Les forces de friction engendrées par le frottement des verres l'un sur l'autre sont capables de déplacer le poste de plusieurs centimètres, voire de le faire basculer, si on ne prend pas la précaution de charger lourdement le plateau inférieur .

La triangulation des pieds permet d'accroître la rigidité de la structure.

Trois cales à 120° immobilisent le disque inférieur. L'une d'elles au moins, réglable, permet de laisser un peu de mou, 1mm suffit, évitant ainsi les contraintes par flexion.

La construction de ce poste fixe va ainsi se révéler la première action du tailleur de verre.

L'ÉBAUCHAGE

Avant d'attaquer le verre, nous aurons défini le projet de miroir en fonction du télescope que nous souhaitons réaliser. Car n'oublions pas que si nous avons décidé de tailler du verre c'est dans la

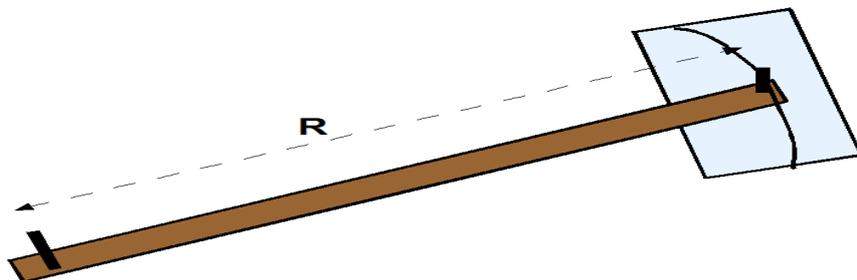
8

perspective de construire l'instrument d'observation qui va le contenir ! A part quelques maniaques peut-être pour qui la taille de pièces d'optique constitue une fin en soi ...

Nous avons défini la **distance focale F** du miroir, donc son **rayon de courbure R** qui vaut $2 F$ et en conséquence la **flèche**, c'est à dire la concavité de la dalle de verre transformée en calotte sphérique par l'ébauchage. Le rayon de courbure sera affiné lors du travail qui mènera progressivement le tailleur au polissage . De toute manière, nous réaliserons le télescope en fonction de la focale réelle du miroir terminé, donc la caisse suivra les dimensions de l'optique.

Il faut creuser le centre de cette dalle de la valeur de la flèche du futur miroir. Pour vérifier cette flèche, nous fabriquons un gabarit, découpé dans du carton fort ou de la tôle légère au rayon de courbure du miroir. Une longue règle porte 2 pointes séparées par la bonne distance. Le tout est assujéti de façon à tourner autour d'un point fixe, le "**centre de courbure**", l'autre pointe va

tracer sur la tôle également immobilisée, l'arc de cercle correspondant, sur une longueur au moins égale au diamètre du miroir. Le gabarit sera découpé ensuite avec soin. Sa précision, même si elle n'est pas micrométrique, est suffisante pour contrôler l'avancée de notre travail.



Nous choisissons évidemment les abrasifs les plus agressifs, Carborundum de 36 ou 40 pour attaquer plus rapidement les surfaces et creuser le verre jusqu'à presque la flèche désirée.

LES COURSES D'ÉBAUCHAGE

Nous devons encore donner quelques définitions qui serviront pendant toute la durée de l'exposé.

On appelle " **course** " le déplacement relatif des dalles de verre l'une par rapport à l'autre.

Une " **séchée** " est la durée de frottement des dalles l'une sur l'autre avec une charge d'abrasif et d'eau, qui se termine lorsque la purée de verre arraché et d'abrasif écrasé est trop sèche et inefficace pour poursuivre le travail. En moyenne, elle est très courte, de l'ordre de 1 à 2 minutes avec les gros abrasifs d'ébauchage et peut atteindre 5 à 10 minutes en fin de doucissage.

Lors des courses, l'opticien déplace les disques selon plusieurs mouvements conjugués.

9

Voyons comment on peut creuser le disque miroir. Par convention, nous l'appelons " **M** " comme nous nommons " **O** " le disque outil. L'expérience des opticiens a permis de constater que la dalle supérieure se creuse lors des mouvements de friction, pendant que la dalle inférieure se bombe pour rester au contact. C'est donc la dalle M que nous positionnerons dessus.

Dernier préparatif indispensable si on ne veut pas risquer d'endommager les disques, réaliser un **chanfrein** avec une pierre à aiguiser. Cette chanfrein se taille sous un filet d'eau, il faut toujours travailler le verre en milieu humide, sur tout le pourtour des surfaces qui vont être en contact. Il peut faire 3 à 5 mm de large sans crainte. Encore devons nous sûrement le refaire en cours d'ébauchage pour peu que notre miroir soit très ouvert, donc " creux ".



Nous installons O sur le poste fixe, déposons de l'abrasif en saupoudrant et humidifions avec un pulvérisateur (récupération de flacon de produit ménager soigneusement rincé malgré tout !). M vient se placer sur O, avec précaution, c'est quand même du verre ! Et la première séchée d'ébauchage commence.

Deux façons d'ébaucher sont possibles: soit des courses très longues quasi-centrées, soit des courses plutôt courtes très excentrées, sur le bord de l'outil. Dans les deux cas, il faut être attentif à ne pas faire dépasser au centre du miroir le bord de l'outil sous peine de voir basculer le disque supérieur et faire éclater une écaille sur le bord de l'outil. Et comme toujours, on le verra au cours de tout le travail des disques, vigilant à accompagner ces mouvements de va-et-vient de rotation régulière du M sur l'O d'une dizaine de degrés environ et de révolution en sens inverse de l'ouvrier autour du poste d'une fraction d' $1/4$ à $1/5^\circ$ de tour tous les 5 ou 6 aller-retours du disque. N'oubliez pas que le rodage est fait de milliers de courses et que la loi des grands nombres va contrebalancer celle de Murphy qui voudrait que la tartine tombe toujours du côté de la confiture. Tout ça pour résumer que toutes les erreurs commises lors d'un mouvement se trouve compensées par les suivants. Et que les mouvements sont effectués " à peu près " selon les modalités décrites.



LE REUNISSAGE

Le travail des deux surfaces de manière aussi intense et excentrée entraîne une forme de "creux", en fait une hyperbole, assez éloignée de la sphère idéale que nous souhaitons réaliser. Les surfaces ne sont pas au même rayon de courbure, et il va falloir les y amener. Comme son nom l'indique, le réunissage va faire coïncider au plus près cette fois les courbures de l'outil et du miroir, au diamètre des grains d'abrasif près.

On fera désormais des courses dites "**normales**", en ce sens qu'elle nous amènerons automatiquement très près de la sphère, si elles sont conduites de façon assez aléatoire. Il est donc judicieux de varier le plus possible la longueur, le déport, les rotations et révolutions autour du poste fixe tout en respectant la valeur moyenne d'un tiers du diamètre, c'est à dire $1/6^\circ$ de chaque côté du centre dans toutes les directions. Pour un miroir standard de 200 mm ce déplacement est donc d'environ 3cm de chaque côté, ce qui n'est pas forcément toujours facile à doser ! Une technique facilite le respect de cette valeur, elle consiste à tracer au crayon à verre ou au feutre au dos des disques un cercle de diamètre correspondant à la limite moyenne des courses, le temps de l'intégrer dans le schéma corporel sensori-moteur que nous développons au cours de l'activité de taille de miroir.

Voici globalement les trois types de courses que l'on peut être amené à pratiquer pour le travail qui nous reste jusqu'à la fin du polissage. Les courses normales en W ou en M que l'on a tendance à "mécaniser" avec le risque de reproduire la même erreur de geste et aboutir à une forme inadéquate, et le "8" ou l'" ∞ " qu'on est incapable de reproduire de façon identique à chaque mouvement et qui du coup nous amène plus facilement à la sphère.



L'abrasif évolue au cours du travail. Pour la démonstration, il est plus aisé de montrer un gros grain. Vous voyez successivement l'abrasif sec puis humide en début de séchée, puis la purée d'abrasif et de verre à la fin de la même séchée.



LE DOUCISSAGE

Le grain des abrasifs utilisés est réduit progressivement à mesure que nous approchons de la bonne courbure. A partir du 180, on peut dire que l'action sur la focale ne change guère. Il faut malgré tout continuer à alterner miroir dessus, miroir dessous pour équilibrer le travail des deux surfaces.

Le nombre de séchées aussi se réduit en même temps que le diamètre des grains.

SECHEES ABRASIFS				
	Goldring	emeris	carbo	Nb
120				20
180				15
W1	302	1'		12
W2	302 ½	2'	240.	12
W3	303	5'		6
W4	303 ½	10'	400	6
W6	304	20'		6
W8			WCA 9μ	6

Lorsque le douci du miroir a pris des allures de satin, nous pouvons envisager de nous attaquer à la fabrication du polissoir.

LE POLISSAGE

Historiquement, deux matériaux supports d'abrasifs ont été utilisés pour le polissage des lentilles et sans doute aussi des miroirs métalliques: le drap de billard et le papier.

Pour les amateurs que nous sommes, il est plus pratique de fabriquer un polissoir à base de poix, à l'origine une résine de sapin nordique. Actuellement, semble-t-il certaines " poix " seraient



fabriquées à partir de résidus d'hydrocarbures...?

16

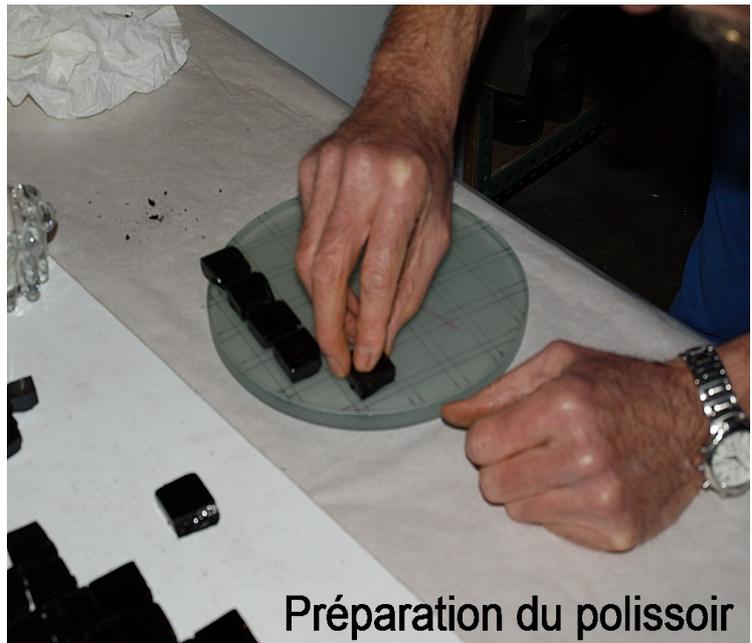
Les blocs de poix brute sont fondus doucement pour ne pas évaporer les solvants et conserver la souplesse du matériau.

Le liquide sirupeux est alors coulé dans des moules, ici de 50X25 mm, permettant de réaliser des carrés de 25x25 mm pour des miroirs de 150 à 250 mm de diamètre, ou de 50x50 mm pour de plus grands diamètres.



Les carrés de poix sont ensuite collés sur l'outil frotté à la cire d'abeille et tiédi pour mieux adhérer.

Chaque carré est présenté au dessus de la flamme d'une bougie jusqu'à ce qu'une goutte de poix soit prête à se détacher, Il est alors appliqué à sa place déterminée par un quadrillage dessiné sur l'outil.



Préparation du polissoir

Le polissoir est ensuite retaillé puis pressé à chaud avec interposition de papier calque pour que chaque carré porte sur toute sa surface. Il laisse alors une marque mate sur le calque.

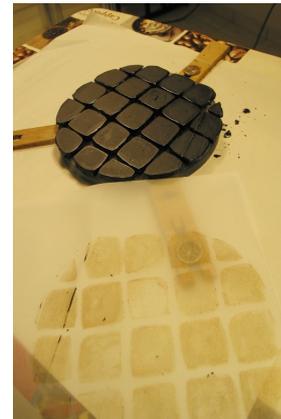
17



Carrés collés ...



Carrés retaillés



Très bel état du polissoir après 3 heures de travail



Première charge en rouge à polir

La préparation de l'outil se poursuit par un pressage à froid et au rouge, ou au rose selon l'abrasif choisi pour le polissage.

Au cours de la phase de polissage, les carrés du polissoir ont tendance à s'écraser et à se rapprocher, risquant en se collant par leurs bords, de ne plus remplir leur office. Il faut ainsi retailler régulièrement le polissoir au cours des 12 à 15 heures minimales que nécessite le polissage complet de la surface.



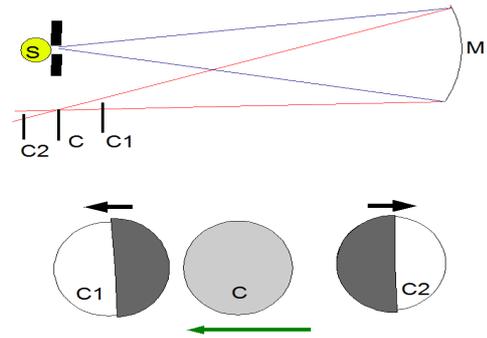
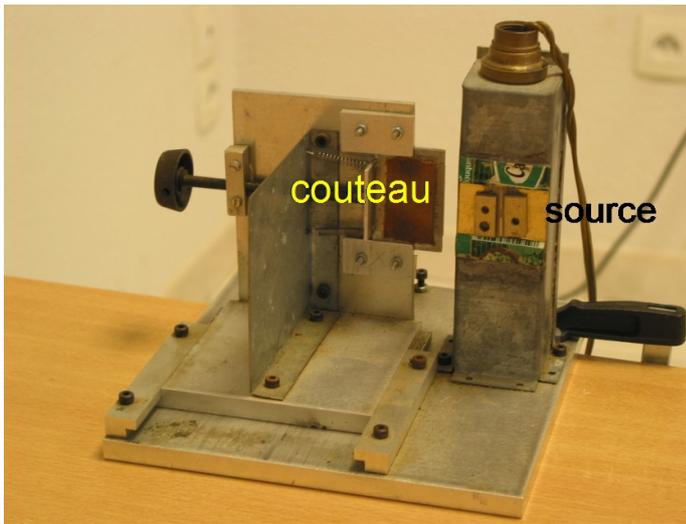
18

Lorsque le miroir ne montre plus à l'oeil la moindre trace de " gris ", c'est à dire qu'aucune zone de la surface n'a échappé au passage réitéré du polissoir, on examine la surface à la loupe forte 10 à 20x face à une lumière vive devant un fond noir de préférence. Mieux vaut parfois prolonger d'une heure ou deux le polissage pour être sûr de son coup. On n'est plus à cela près !



LE FOUCAULTAGE

Le stade suivant est le " Foucaultage ", c'est à dire l'évaluation de la qualité optique de la surface. Notre miroir est-il en état de fournir les images qu'on est en droit d'attendre de lui ?



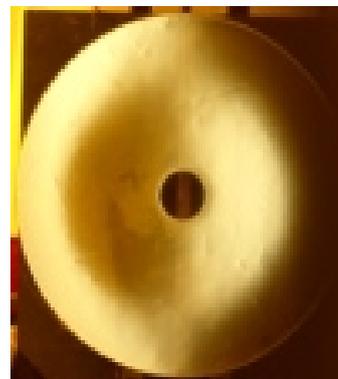
L'appareil de Foucault vous est présenté ici vu depuis le miroir.

Pour ce faire, nous allons encore devoir abandonner le verre pour des matériaux et des outils plus rustiques, le contre-plaqué, la ferraille, la tige filetée, la scie et la perceuse. Mais d'abord un peu de théorie pour comprendre à quoi correspond le bricolage que nous allons réaliser.

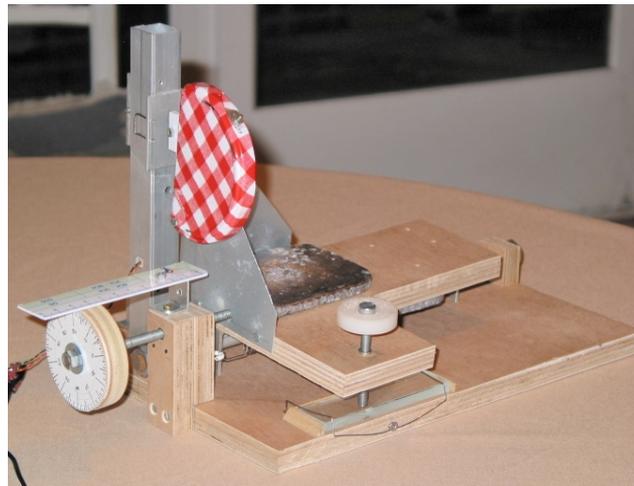
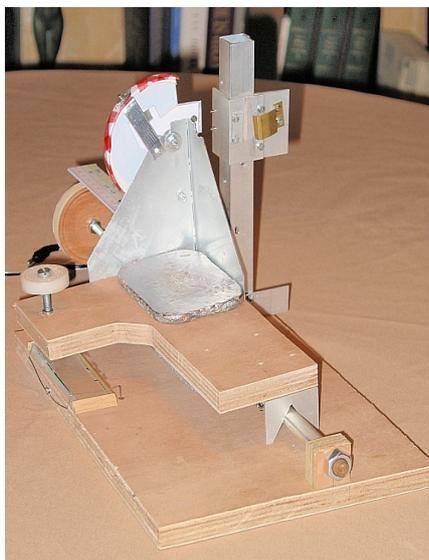
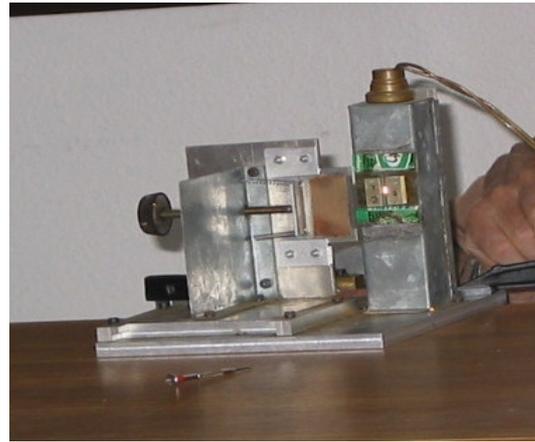
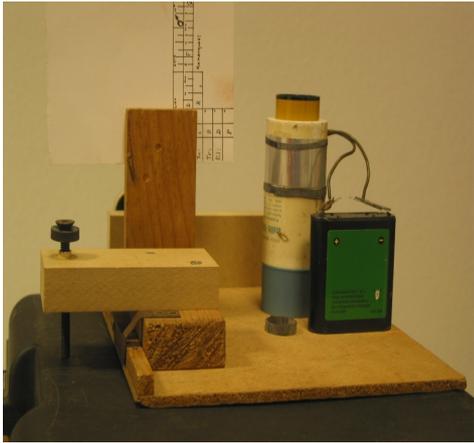
Un miroir sphérique donne une image ponctuelle d'une source ponctuelle située près du centre de courbure, Le faisceau émis par la source, en l'occurrence une fente, somme de sources ponctuelles pour disposer de plus de lumière, éclaire la surface du miroir encore vierge de tout revêtement. Le faisceau réfléchi est concentré symétriquement à la source par rapport au centre de courbure et proche de lui, et examiné au niveau du couteau. Sur le schéma, vous notez que le déplacement du couteau se fait de droite à gauche (flèche verte) pour couper le faisceau réfléchi. Selon la position du couteau dans le faisceau, son ombre va se déplacer dans le sens du couteau si l'on se trouve en avant du point de convergence (C1). Le déplacement se fait en sens inverse si l'on est en arrière de ce point (C2). La position qui nous intéresse particulièrement est celle où le

20

couteau se trouve exactement au centre de courbure (C), dans cette position le miroir " s'éteint " d'un coup en laissant place à ce qu'on nomme la " **teinte plate** ". En effet tout apparaît comme si notre miroir était plan, d'une teinte gris uniforme. Cette image n'est exacte que si le miroir est rigoureusement sphérique. Toute différence avec la sphère apparaît sous l'aspect d'ombres concentriques, d'autant plus contrastées que la différence est importante.



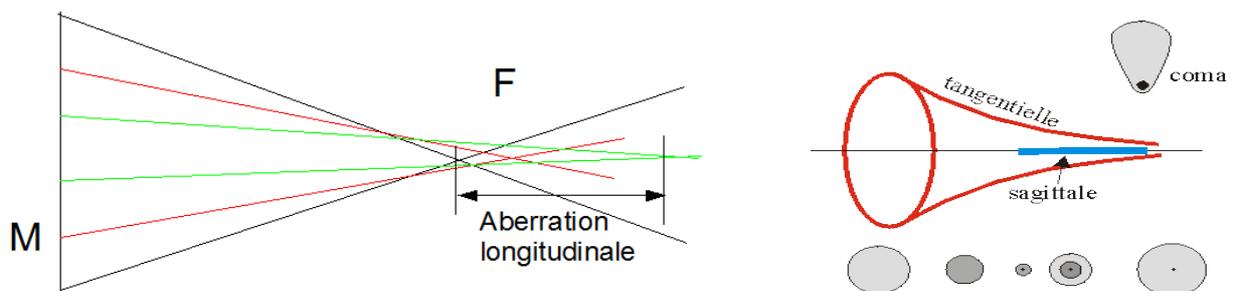
Le principe de l'appareil de Foucault étant posé, sa réalisation ne pose pas de difficulté majeure. Un appareil stable et doux à manipuler permet des mesures précises.



Le déplacement du couteau dans l'axe du faisceau réfléchi permet de mesurer l'**aberration longitudinale**, c'est à dire la distance entre le point focal des rayons marginaux et celui des rayons centraux. En effet, nous examinons un miroir parabolique au centre de courbure.

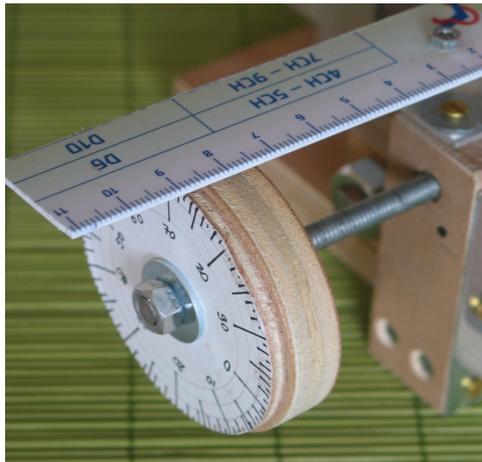
21

Nous avons vu qu'un miroir sphérique donnait une image stigmatique d'une source située et observée au centre de courbure. Le miroir parabolique, lui, est censé permettre d'observer à son foyer l'image d'un objet situé à l'infini. Cette différence va se traduire par le fait que l'image donnée lors de l'examen au Foucault est surtout représentée par l'image " sagittale " de la caustique, c'est à dire l'axe de la " trompette ", enveloppe des courbes rassemblant tous les rayons réfléchis par le miroir en examen. Nous mesurons la longueur de cette image sagittale

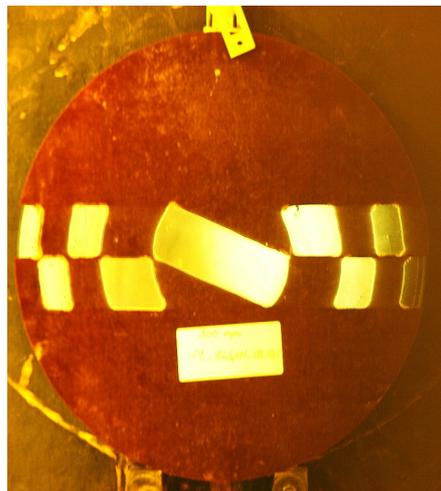
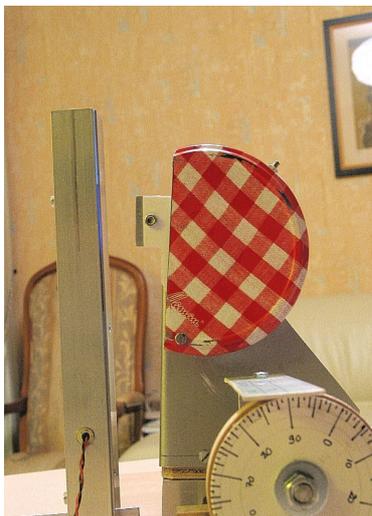


Cette mesure se fait en déplaçant longitudinalement le couteau grâce à la rotation d'une tige filetée. L'industrie fournit de la tige de 6mm au pas de 100, c'est à dire qu'un tour de vis avance ou

recule l'extrémité de la tige de 1mm. Une division d'un tambour porté par la tige permet ainsi de mesurer le 1/100° de mm.



On explore successivement un méridien de la surface du miroir par l'observation de la teinte plate obtenue dans les fenêtres homologues d'un écran placé devant le miroir. Nous devons à André COUDER, opticien et astronome, la conception de cet écran.



Caractéristiques du miroir parabolique

Diamètre optique = 200 mm
 F/D = 0,58
 Rayure de la surface de réflexion = 2,47 µm (pour λ = 550 nm) / µm de surface = 2204 mm
 Courbure = 1/20 mm
 Forme parabolique
 Nombre de zones de Fresnel = 5

Zones	1	2	3	4	5
Ext. (mm)	18,51	28,51	37,21	44,51	50,51

Feuille de travail du miroir parabolique

Diamètre optique = 200 mm
 F/D = 0,58
 Rayure de la surface de réflexion = 2,47 µm (pour λ = 550 nm) / µm de surface = 2204 mm
 Courbure = 1/20 mm
 Profondeur de la concavité = 41,25 mm
 Volume de la concavité = 125 cm³

Diamètre = 200 mm
 Rayon de courbure = 100 mm
 Poids = 400 g
 Masse de verre = 24 g
 Masse de l'acier = 2,50 kg

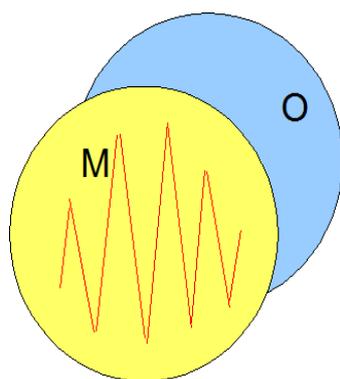
Zones	1	2	3	4	5
Ext. (mm)	18,51	28,51	37,21	44,51	50,51
Int. (mm)	17,50	45,50	63,50	79,50	93,50
Rayon (mm)	15,947	0,953	1,450	1,911	2,333
2,µR (mm)	0,297	0,350	0,399	0,441	0,478
Tal. (mm)	0,016	0,200	0,363	0,500	0,608
Tal. (µ)	0,000	0,000	1,107	1,190	1,201

LA PARABOLISATION

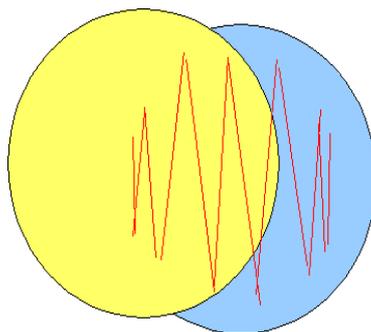
Dernière étape du travail du verre, la parabolisation consiste à rendre notre miroir compatible avec l'observation astronomique: donner une image nette au foyer d'un objet situé à l'infini

Nous travaillons miroir dessus pour quelques minutes seulement, en procédant par étapes successives pour éviter de délabrer la surface quasi-sphérique que nous venons d'engendrer après de nombreuses heures de labeur !

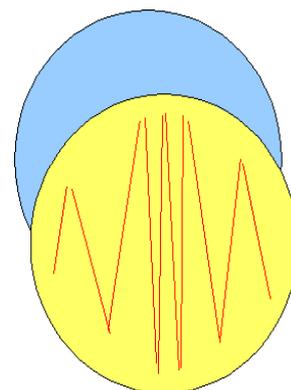
Texereau décrit fort bien les courses à effectuer pour obtenir la surface souhaitée.



Parabolisation normale



Déprimer le centre



Rabattre le bord

LE BULLETIN DE CONTRÔLE

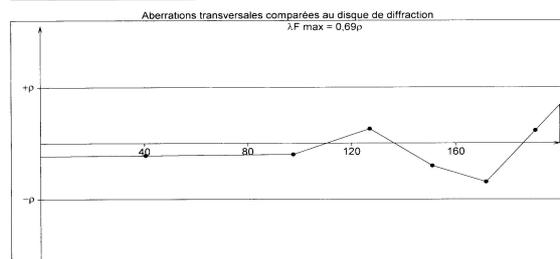
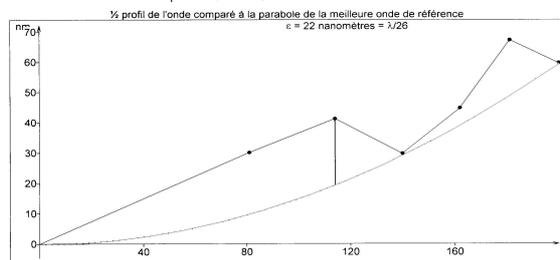
Le Foucaultage nous permet de vérifier au cours des quelques minutes de travail comment évolue notre surface.

Un savant calcul permet de savoir si la totalité des rayons issus du miroir sont contenus dans la tache de diffraction, la fameuse figure d'AIRY donnée par une étoile au foyer de notre télescope. Les mesures de l'aberration longitudinale réduite permettent de le savoir.

Heureusement pour les tailleurs de miroirs actuellement existent des logiciels qui réalisent très bien toute la séquence entre la collecte des mesures et le tracé du bulletin de contrôle.

Diamètre optique = 400 mm Distance focale = 1613 mm
 F/D = 4,03 Rayon de courbure = 3226 mm
 Rayon de la tache de diffraction = 2,76 μm (pour λ = 560 nm)
 Épaisseur = 42 mm R²/4 = 9070 cm²

Zones	1	2	3	4	5	6
H. Ext	81,0	114,0	140,0	162,0	181,0	200,0
Hm	40,50	97,50	127,00	151,00	171,50	190,50
Hm ² /R	0,508	2,947	5,000	7,068	9,117	11,249
100Hm ² /4F	0,628	1,511	1,968	2,340	2,658	2,953
Mesures	0,002	2,500	4,625	6,610	8,635	10,860
Moy.-Cte	0,413	2,911	5,036	7,021	9,046	11,271
Δc	-0,096	-0,036	0,036	-0,047	-0,071	0,021
1000Δ.F	-0,601	-0,544	0,710	-1,103	-1,900	0,634
λF/p	-0,218	-0,197	0,258	-0,400	-0,690	0,230
-10 ⁶ u	0,372	0,337	-0,440	0,684	1,178	-0,393



Document réalisé avec le logiciel BULLCO - <http://serge.bortorello.free.fr/>

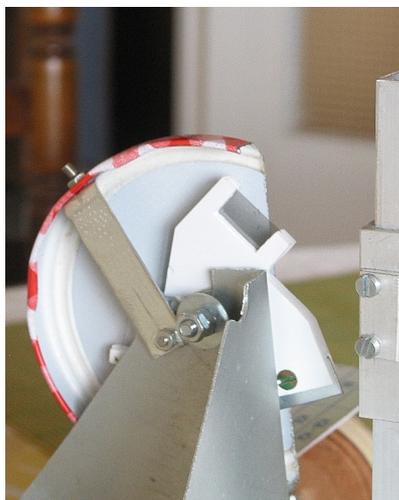
D'AUTRES MOYENS DE CONTRÔLE

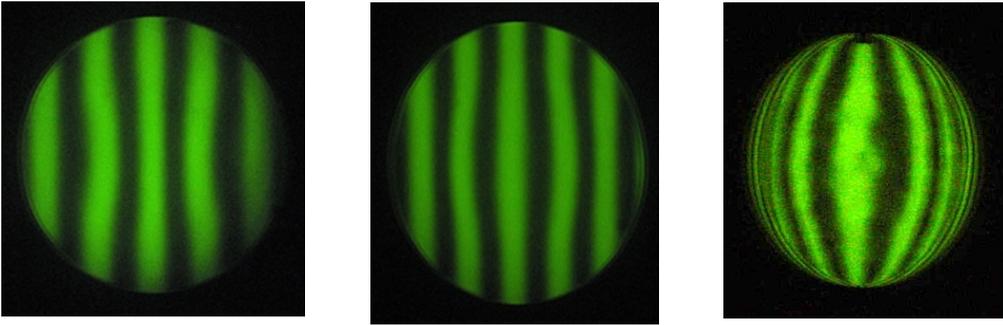
Il existe d'autres méthodes de contrôle des surfaces optiques que l'amateur peut mettre en pratique.

LE TEST DE RONCHI

Il est possible de vérifier la sphéricité d'un miroir par le test de RONCHI. Un réseau est interposé en intrafocal et en extrafocal (c'est à dire en avant puis en arrière du point de convergence des rayons), dans le faisceau réfléchi pour obtenir l'image de 5 à 8 franges verticales. Si la surface est sphérique, ces franges montrent des bords rectilignes et parallèles. On interprète ensuite l'image en fonction du type et de la qualité de polissage de la surface examinée.

On peut pour ce faire modifier l'appareil de Foucault classique en remplaçant le couteau par le réseau.



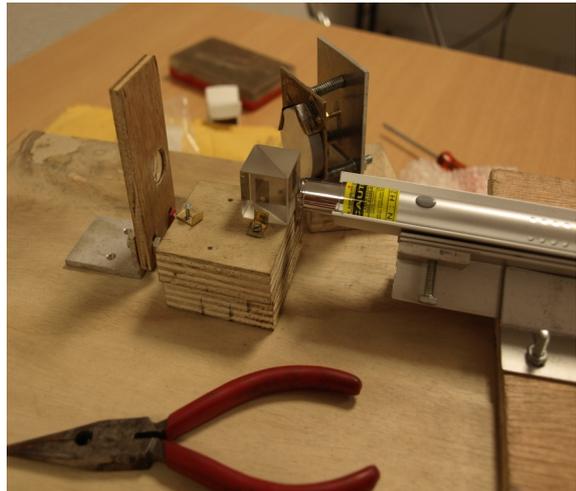


Les images de gauche montrent une surface dont la courbure est différente des droites données par un miroir sphérique, les franges sombres sont déformées mais leur bord est régulier. A gauche, l'image est observée en intrafocal et en extrafocal au centre. Celle de droite révèle une surface très irrégulière qui se manifeste par des bords de franges festonnés, preuve d'une surface pleine de trous et de bosses.

L'INTERFEROMETRIE

Une autre technique d'examen d'une surface optique met en jeu la nature ondulatoire de la lumière à l'aide d'un laser dont on divise le faisceau lumineux pour réaliser un autocontrôle de la qualité de la surface.

Notre collègue Eugène HAMONIAUX a réalisé un prototype d'interferomètre de BATH qui nous a permis de commencer à explorer ce nouveau domaine. Qu'il trouve ici l'expression de nos remerciements.



CONCLUSION

Nous voici arrivés au terme de notre voyage initiatique du travail pour transformer un bloc de verre brut en un collecteur de lumière. Cette activité nous a mise au contact de disciplines diverses, tant intellectuelles que manuelles.



Le dépôt sous vide d'une fine couche d'aluminium multiplie le pouvoir réflecteur de notre miroir et, installé dans l'instrument que nous appelons télescope, il permettra à notre oeil de capter le moindre photon et de nous restituer ainsi la beauté et la complexité de l'Univers auquel nous appartenons.



Mes remerciements vont à toutes celles et ceux qui ont et/ou participent à l'Atelier Miroirs de la SAR depuis que nous avons initié cette activité dans le garage de la maison que j'occupais alors à Janzé.

Une mention toute particulière pour Michel MAUDUIT et Laurent CHAPPELLIERE, mes deux complices actuels à la Maison du Parc de Beauregard, ainsi qu'une pensée pour Sandra EGAY que son activité professionnelle a expatriée outre-Rhin.

Merci à Serge HETERIER pour sa photo de M42 et la logistique de diffusion de ce papier.

Michel LEGRAND

13/02/2011