

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 77 (2019)  
**Heft:** 4

**Artikel:** Comparaison de méthodes de contrôle des miroirs de télescopes.  
Première partie  
**Autor:** Falco, Lucien  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-960564>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Petite étude compare expérimentalement (Première partie)

# Comparaison de méthodes de contrôle des miroirs de télescopes

**Tous les amateurs tailleurs de miroirs de télescopes connaissent la méthode de Foucault pour effectuer le contrôle optique des surfaces paraboliques. Avec l'évolution des technologies, l'arrivée des lasers et des caméras numériques, cette méthode a pu être modernisée et de nouvelles techniques, comme l'interférométrie, sont désormais à la portée des amateurs. Cette petite étude compare expérimentalement diverses méthodes de mesure appliquées à un miroir taillé par l'auteur.**

Les deux grandes méthodes testées, l'une basée sur la détermination de la pente de la surface (méthode de *Foucault*) et l'autre sur la mesure directe de la surface (interférométrie), donnent des résultats homogènes, mais leur comparaison laisse toutefois apparaître une certaine différence entre les caractéristiques mesurées. Une dernière méthode, basée sur l'observation de l'image stellaire défocalisée, est également essayée, mais les résultats trouvés sont plus discutables.

## INTRODUCTION

Les techniques de contrôle des miroirs de télescopes à disposition des opticiens-astrophotographes amateurs ont considérablement évolué au cours de ces dernières décennies. Vers 1950 la seule méthode utilisable était celle du couteau présentée par *L. Foucault* [1], complétée par une intégration graphique, qui aboutit à la détermination d'un profil relativement grossier du miroir. Le remplacement de l'œil de l'observateur par une caméra numérique et l'intervention de l'ordinateur a permis d'améliorer considérablement la qualité de ces résultats. D'autre part, l'apparition des lasers, rendant possible la réalisation d'interféromètres, ouvre une nouvelle voie dans le contrôle des miroirs par les amateurs.

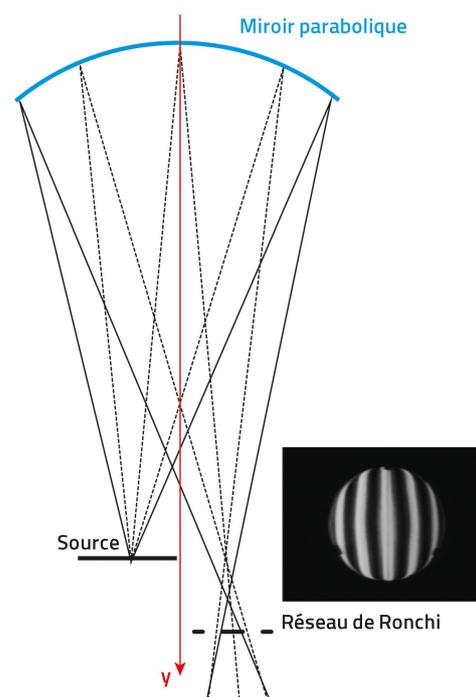
Il a été choisi de comparer expérimentalement quelques méthodes accessibles aux amateurs. Les conditions imposées étaient de ne pas avoir à procéder à de coûteux achats et d'utiliser autant que possible les logiciels libres accessibles sur internet.

Pour opérer ces mesures comparatives, un miroir taillé par l'auteur est utilisé. Il s'agit du miroir d'un télescope de *Newton*, dont les caractéristiques sont: diamètre 200 mm, distance focale 962 mm.

A signaler, en préambule à cette petite étude, l'excellent article de *M. Bartels* [2] qui offre une discussion des diverses méthodes de contrôle des miroirs et des grandeurs standards relatives à leur caractérisation.

## MÉTHODE DE RONCHI

Cette méthode a été proposée par *Vasco Ronchi* en 1923 [3]. Elle consiste à placer côte à côte au voisinage du centre de courbure du miroir, de chaque côté de l'axe optique: une source ponctuelle (ou une source étendue limitée par une fente) et un réseau de lignes (le négatif d'un film photographique convient) constitué typiquement de 10 lignes/mm (fig. 1).



**Figure 1:** Montage de *Ronchi*: la source ponctuelle et le réseau sont placés de chaque côté de l'axe optique, près du centre de courbure.

Grafik: ORION nach Vorlage

# ATHOS Astrofinca Copernicus

## La Palma · Kanarische Inseln



Das Ferienhaus speziell für 2-3 Amateurastronomen. Wohnzimmer, Schlafzimmer, Küche, Bad, Garten, Terrasse, eigener Beobachtungsplatz. Direkt neben dem ATHOS Star Campus  
Kontakt: [team@athos.org](mailto:team@athos.org) · Tel.-Nr. (Deutschland): +49 172 6966106  
Mehr Infos über die Finca, Miet-Teleskope und Downloads: [www.athos.org](http://www.athos.org)

## Ein finsterer «Ferien-Vollmond»

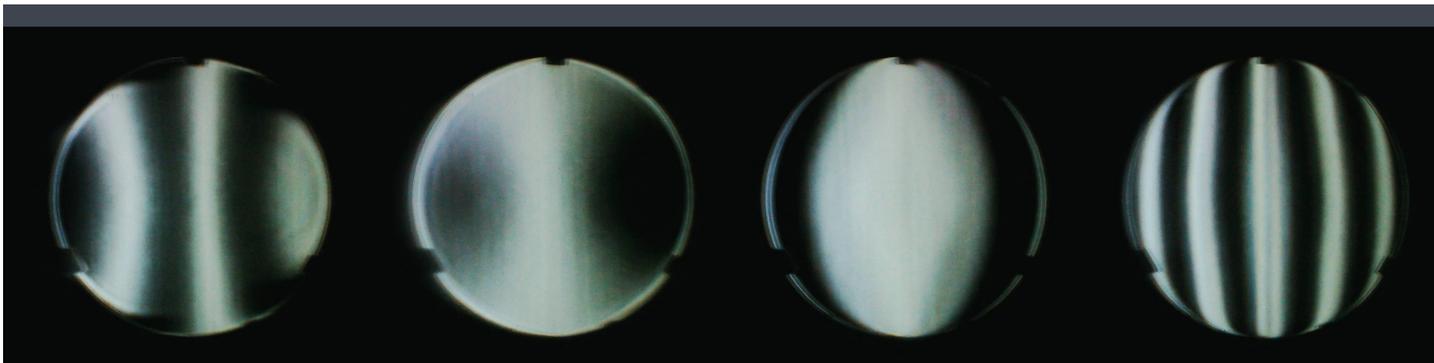
Die partielle Mondfinsternis in den späten Abendstunden des 16. Juli 2019 konnte vor allem im Osten der Schweiz gut beobachtet werden, während im Westen des Landes zeitweilig Schleierwolken die Sicht auf den Erdtrabanten etwas trübten, so auch über Winterthur, wo über 200 Gäste, darunter zahlreiche Familien mit Kindern, die Sternwarte Eschenberg aufsuchten. Bis zum Beginn des Naturschauspiels um 22 Uhr bot die Astro-nomische Gesellschaft Winterthur (AGW) mit einem Kurzvortrag einen Einblick in die vielfältigen Arbeitsgebiete des lokalen Observatoriums.

Natürlich fanden auch die Erläuterungen zu den hochwertigen Instrumenten guten Anklang bei Gross und Klein. Ab 22:00 Uhr MESZ zeigte der im Südosten eben aufgegangene Vollmond auf seiner linken Seite eine erste dunkle Einkerbung: Die «Mo-Fi», wie dieses Naturschauspiel von erfahrenen Naturfreunden liebevoll genannt wird, hatte begonnen. Doch es waren noch lange 90 Minuten angesagt, bis der Erdbegleiter zu zwei Dritteln seiner Scheibe in den Kernschatten unserer Erde eingetaucht war. Die liegende Mondsichel bot einen höchst ungewöhnlichen Anblick. Erst nach dem Maximum um 23.31 Uhr MESZ leerten sich die Beobachtungsräume der Winterthurer Sternwarte rasch. Sicher hing dies auch mit den deutlich kühleren Temperaturen zusammen, die gar so manchen Mondgucker offensichtlich überrascht haben.

**Abbildung 1:** Die Rotfärbung war bei dieser Mondfinsternis visuell kaum wahrnehmbar. Erst beim Blick durch ein Teleskop sah man den finsternen Teil in seiner typischen Tönung.

Bild: Thomas Baer





**Figure 2:** Images du miroir observé à travers un réseau de Ronchi de 10 lignes/mm pour diverses positions au voisinage du centre de courbure: plus proche du miroir pour les deux premières images, plus éloigné pour les deux dernières.

Grafik: ORION nach Vorlage

L'observation du faisceau réfléchi par le miroir après le passage à travers le réseau montre des déformations des lignes, consécutives aux diverses orientations des rayons réfléchis. L'image observée est donc liée à la forme du miroir. Dans le cas d'un miroir sphérique parfait, ces lignes devraient apparaître parfaitement rectilignes et régulièrement espacées, leur espacement étant fonction de la distance entre le réseau et le point de focalisation des rayons. Ces lignes se déforment par contre si la surface du miroir n'est pas parfaitement sphérique. L'observation de ces déformations fournit une information sur la forme de l'onde incidente. Cette information reste cependant essentiellement qualitative; l'image observée ne peut qu'être comparée à une image synthétique calculée. En effet, un traitement quantitatif est beaucoup plus complexe et aucun logiciel libre effectuant cette tâche n'a été trouvé. Les seuls logiciels découverts permettent de tracer l'image théoriquement observée pour une forme préalablement déterminée de la surface du miroir. Du fait de son caractère essentiellement qualitatif, cette méthode n'est que peu utilisée par les amateurs.

La figure 2 montre les images observées avec le réseau en situation intérieure et extérieure par rapport au centre de courbure, avec des déplacements de quelques millimètres entre les images.

### MÉTHODE DE FOUCAULT

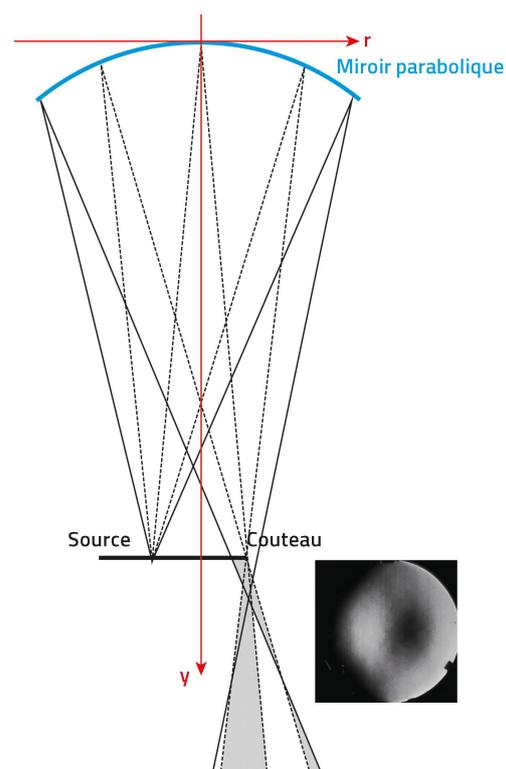
Cette méthode a été décrite par *L. Foucault* et expliquée avec force de détails

dans l'ouvrage de référence de *J. Texereau* [4], destiné à tout amateur tailleur de miroir. Son principe est assez proche de celui de *Ronchi*: un faisceau lumineux issu d'une source ponctuelle, ou étendue mais limitée par une fente, située près du centre de courbure, est projeté sur le miroir. L'image est analysée en coupant le faisceau réfléchi au moyen d'un couteau placé toujours au voisinage de ce centre de courbure, de l'autre côté de l'axe (fig. 3).

Avec un miroir idéalement sphérique, l'image de la source est parfaitement ponctuelle. En plaçant le couteau exactement en

cette position, le miroir est perçu uniformément gris car tous les rayons lumineux sont simultanément coupés de la même façon. Si par contre le miroir n'est pas sphérique, l'image présente alors une aberration longitudinale. Il apparaît alors des zones claires et sombres liées à l'écart de pente entre les diverses zones du miroir où se produit la réflexion. La zone grise neutre située à une hauteur radiale  $r$  est repérée par la position longitudinale de focalisation  $y$  correspondante du couteau.

A partir de la mesure de la relation entre ces positions longitudinales  $y$  et les hau-



**Figure 3:** Montage de Foucault: les pinces de lumière coupés par le couteau sont représentés en grisé.  $r$  pour les deux premières images, plus éloigné pour les deux dernières.

Grafik: ORION nach Vorlage



Figure 4: Tête de mesure du montage de *Foucault*: la LED d'illumination munie d'une fente est à droite de l'image, le couteau est fixé contre le bloc d'illumination (au centre de l'image). La caméra de mesure est fixée juste derrière.

Image: Lucien Falco

teurs  $r$  de la réflexion sur le miroir, il est possible, par intégration, de déterminer la forme de ce miroir. L'étendue longitudinale de la plage de focalisation du pinceau lumineux entre les réflexions sur les parties centrale et périphérique du miroir est de l'ordre de  $\Delta y = 3$  à  $6$  mm, en fonction évidemment des caractéristiques du miroir (diamètre et distance focale).

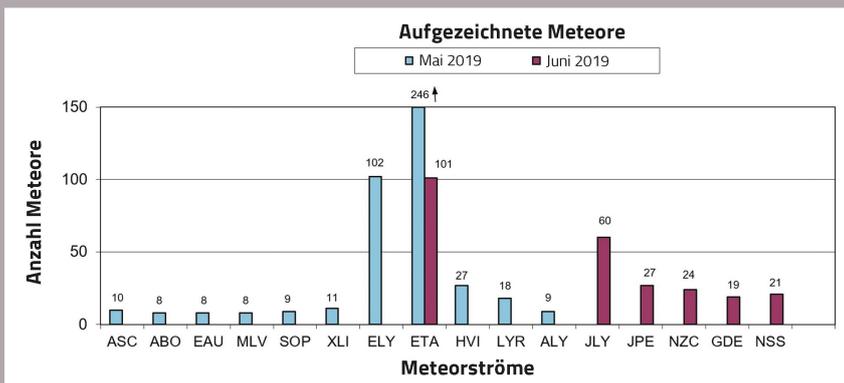
Dans le montage réalisé, la source est constituée d'une LED blanche associée à une fente, le couteau est une lame de rasoir fixée sur ce même bloc (fig. 4).

Dans la description originale, il était nécessaire de placer contre le miroir un masque comportant des ouvertures à des hauteurs radiales déterminées et de mesurer les positions de focalisation  $y$  correspondant aux centres de chaque zone (fig. 5) en observant le miroir à l'arrière du couteau.

Une intégration, réalisée à l'origine graphiquement, permettait de déterminer la forme du miroir. Pour faciliter le tracé de l'intégration graphique, l'allure de la courbe représentant la surface parabolique, soit

## Swiss Meteor Numbers 2019

Fachgruppe Meteorastronomie FMA (www.meteore.ch)



ID	Beobachtungsstation	Methode	Kontaktperson	05/2019	06/2019
ALT	Beobachtungsstation Altstetten	Video	Andreas Buchmann	60	113
BAU	Beobachtungsstation Bauma	Video	Andreas Buchmann	0	14
BOS	Privatsternwarte Bos-cha	Video	Jochen Richert	510	1239
BUE	Sternwarte Bülach	Foto	Stefan Meister	2	0
EGL	Beobachtungsstation Eglisau	Video	Stefan Meister	84	68
FAL	Sternwarte Mirasteilas Falera	Video	José de Queiroz	55	118
GNO	Osservatorio Astronomica di Gnosca	Video	Stefano Sposetti	745	744
GOR	Sternwarte Stellarium Gornegrat	Foto	P. Schlatter / T. Riesen	0	0
LOC	Beobachtungsstation Locarno	Video	Stefano Sposetti	693	649
MAI	Beobachtungsstation Maienfeld	Video	Martin Dubs	64	149
MAU	Beobachtungsstation Mauren	Video	Hansjörg Nipp	129	189
PRO	Beobachtungsstation Prosito	Video	Viola Romerio	2	0
SCH	Sternwarte Schafmatt Aarau	Foto	Jonas Schenker	4	1
SON	Sonnenturm Uecht	Foto	T. Friedli / P. Enderli	0	0
TEN	Beobachtungsstation Tentlingen	Foto	Peter Kocher	0	0
VTE	Observatoire géophysique Val Terbi	Video	Roger Spinner	354	836
WET	Beobachtungsstation Wettwil a. A.	Video	Andreas Schweizer	0	0
WOH	Beobachtungsstation Wohlen BE	Foto	Peter Schlatter	0	0

### Mai 2019 Total: 2669

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
181	215	14	31	7	196	215	4	48	25
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	12	86	175	147	87	29	5	1	0
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
23	153	228	122	20	45	79	0	83	206

Anzahl Sporadische: 2145 Anzahl Sprites: 2  
 Anzahl Feuerkugeln: 5  
 Anzahl Meldeformulare: 6

### Juni 2019 Total: 4027

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
183	188	121	73	117	52	49	93	117	6
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	34	204	154	54	159	148	93	82	71
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
71	35	223	279	167	224	274	297	278	215

Anzahl Sporadische: 3623 Anzahl Sprites: 93  
 Anzahl Feuerkugeln: 32  
 Anzahl Meldeformulare: 0

Video-Statistik 05/2019	Meteore	Beob.
Einzelbeobachtungen:	1582 = 80%	1582
Simultanbeobachtungen:	402 = 20%	1087
Total:	1984 = 100%	2669

Video-Statistik 06/2019	Meteore	Beob.
Einzelbeobachtungen:	2361 = 81%	2361
Simultanbeobachtungen:	548 = 19%	1666
Total:	2909 = 100%	4027

$$z = \frac{r^2}{R \cdot \left(1 + \sqrt{1 - (1+k) \frac{r^2}{R^2}}\right)}$$

était approximée par une simple fonction parabolique  $z = a \cdot r^2$ . Dans la formule,  $R$  représente le rayon de courbure paraxial du miroir,  $r$  la hauteur radiale du point d'incidence sur le miroir et  $k$  le coefficient d'asphéricité ( $k = 0$  pour une sphère,  $k = -1$  pour une parabole).

Par la suite, avec l'arrivée de l'ordinateur, ce tracé graphique a pu être évité; divers logiciels libres disponibles sur internet effectuent cette tâche. Deux logiciels ont été testés: Foucault Test Analysis V.2.0B et FigureXP.

Les résultats, obtenus avec le masque à 4 zones représenté fig. 5 sont donnés au tableau 1. Ils sont basés sur la moyenne de 5 mesures indépendantes. Sont reportés sur ce tableau le coefficient d'asphéricité  $k$  approché de la courbe (en principe  $k = -1$ ), l'erreur rms par rapport à la parabole idéale ( $k = -1$ ) et le nombre de Strehl. Ce dernier nombre donne la précision globale de la surface:  $\text{Strehl} = 1$  pour un miroir parabolique idéal engendrant une image limitée par la diffraction. Il est généralement admis qu'un nombre de Strehl supérieur à 0.87 donne une image quasiment parfaite, indiscernable de l'image idéale [2]. La longueur d'onde de référence est 550 nm.

Avec l'arrivée des caméras numériques à bas coût (webcam), l'emploi d'un masque peut être évité. Il est en effet possible de remplacer l'œil par une telle caméra et de mesurer directement sur les images numériques les hauteurs radiales des zones grises. La caméra est alors fixée derrière le couteau mais ne se déplace pas avec lui. Le modèle utilisé ici est un modèle Toolcraft avec un capteur de 2592 x 1944 pixels de taille 2.2  $\mu\text{m}$ .

Pour effectuer ces mesures, une image initiale du miroir uniformément illuminé a été prise. Elle permet, en mesurant les positions extrêmes haut/bas, gauche/droit du bord, de déterminer la position du centre du miroir ainsi que son diamètre (exprimé évidemment en pixels sur la caméra), et par là d'établir le rapport d'échelle entre la taille du pixel et la dimension exprimée en mm sur le miroir. Ensuite, sans déplacer la caméra, le couteau est introduit dans le champ et une

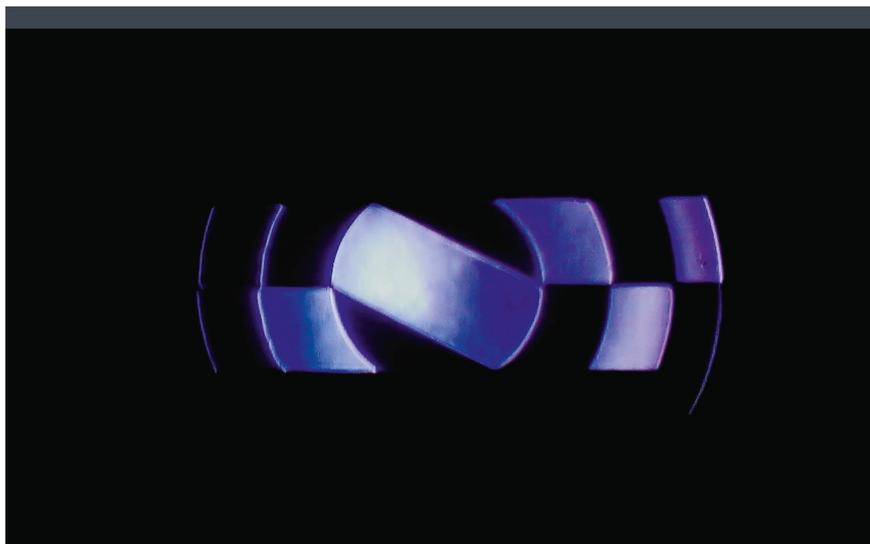


Figure 5: Image du miroir avec masque dans le montage de Foucault.

Image: Lucien Falco

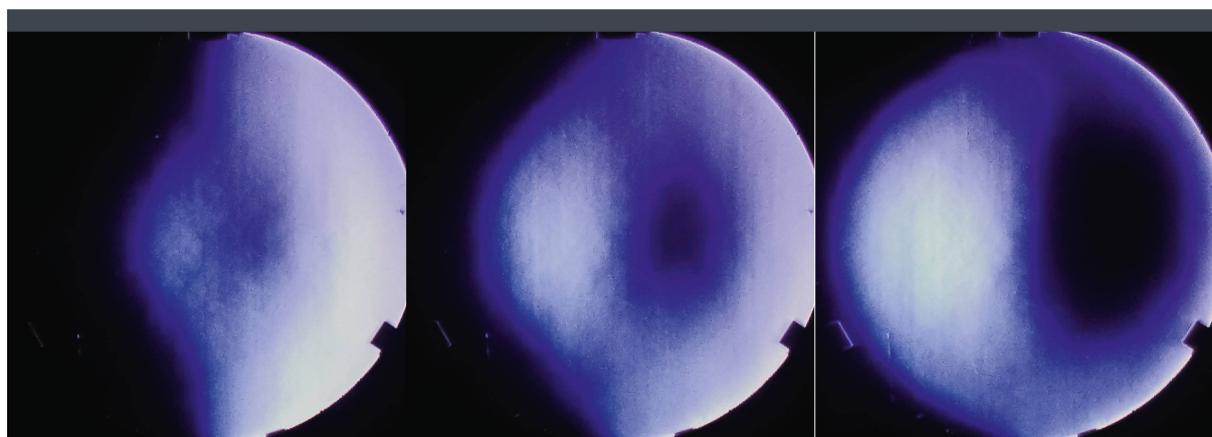


Figure 6: Exemples d'images de Foucault pour trois positions du couteau, avec éloignement croissant du couteau par rapport au miroir.

Image: Lucien Falco

série d'images est prise avec diverses positions longitudinales du couteau. Il a été choisi d'incrémenter régulièrement de  $\Delta y = 0.25$  mm la position longitudinale du couteau entre chaque prise de vue afin de couvrir évidemment la plage totale de focalisation du pinceau lumineux.

Puis, avec chacune de ces images, les hauteurs radiales des zones grises sont mesurées, en prenant à chaque fois 6 points de mesures, soient 3 à gauche et 3 à droite, et en calculant la distance moyenne au centre préalablement déterminé (fig. 6).

Ces mesures ont été traitées par le logiciel libre Foucault Test Analysis, en définissant un pseudo-masque générant les hauteurs radiales  $r$  effectivement mesurées. Les résultats sont reportés également au tableau 1.

En outre, un petit programme a été écrit sur le logiciel Mathcad. Comme la méthode de *Foucault* revient à mesurer la pente de la surface du miroir en fonction de la hauteur radiale de la réflexion, il s'agit d'approcher

la mesure par la dérivée de la fonction d'asphéricité, soit:

$$z' = \frac{r}{R \cdot \sqrt{\frac{R^2 - (1+k) \cdot r^2}{R^2}}}$$

Les résultats sont également reportés au tableau 1.

Pour terminer, quelques logiciels permettant la détection automatique des zones grises ont été trouvés; il a été choisi d'essayer *Foucault Unmasked*. Son utilisation nécessite de faire l'acquisition d'images avec des positions longitudinales du couteau ré-

gulièremment espacées. Ici l'incrément  $\Delta y = 0.25$  mm entre chaque image a été adopté. Ce programme oblige cependant de réaliser un excellent positionnement transversal du couteau pour que les images soient correctement analysées; il paraît ainsi moins fiable car fortement lié à ce réglage. Les résultats sont aussi portés au tableau 1.

On peut constater ainsi que toutes ces méthodes, basées donc sur la mesure de la pente de la surface réfléchissante, donnent des résultats comparables. Il est noté cependant qu'une mesure automatique correcte est plus délicate à assurer. <

Logiciel	Méthode	k effectif	Erreur rms sur l'onde pour k = 1	Strehl
Foucault Test Analysis 2B	Masque 4 zones	-0.941	$\lambda/27.6$	0.949
FigureXP	Masque 4 zones	-0.939	$\lambda/20.7$	0.911
Foucault Test Analysis 2B	Sans masque	-0.948	$\lambda/21.3$	0.917
Mathcad	Sans masque	-0.946	$\lambda/21.8$	0.920
Foucault unmasked	Automatique sans masque	-0.939	$\lambda/18.4$	0.889
Moyenne		-0.943	$\lambda/20$	0.917

Tableau 1 : Résultats des mesures du miroir par la méthode de Foucault.

Quelle: Lucien Falco

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Foucault, L.*, «Description des procédés employés pour reconnaître la configuration des surfaces optiques», Comptes rendus hebdomadaires des séances de [2] l'Académie des Sciences de Paris, vol. 47, pages 958-959 (1858).  
 [2] *Bartels M.*, «Rating Mirrors», [www.bbastrodesigns.com/ratemirrors.html](http://www.bbastrodesigns.com/ratemirrors.html)  
 [3] *Ronchi, V.*, «Le frange di combinazioni nello studio e dei sistemi ottici», Revista d'Optica e Meccanica di precisione, vol 2, pages 9-35 (1923).  
 [4] *Texereau, J.*, «La construction du télescope d'amateur», Société Astronomique de France (1984). Épuisé; une version pdf peut être chargée à l'adresse [www.astrosurf.com/texereau](http://www.astrosurf.com/texereau).

## Sommerrätsel: «So schnell geht die Sonne auf»

Ein wolkenloser, leicht dunstiger Morgenhimmel ermöglichte am 4. August 2018 die Aufnahme einer Bilder-Serie nach dem Sonnenaufgang. Die Fotos wurden mit einem Teleobjektiv in gleichen zeitlichen Abständen aufgenommen, wobei auf eine genau waagrechte Stellung der Kamera geachtet wurde.

In einem Grafikprogramm wurden die sieben Bilder exakt passend übereinander montiert. Die Sonnenpositionen wurden jeweils mit einem Kreis markiert, welcher der Sonnenbreite auf den Fotos möglichst genau entspricht. So entstand eine Figur zum Lauf der Sonne an diesem Morgen.

#### Frage

Wie gross war der zeitliche Abstand von einer Foto zur nächsten?

Als Hilfe dient die hineinkopierte Grafik der Sonnenpositionen (siehe Abbildung links).

Wer eine möglichst genaue Lösung anstrebt, braucht die eingezeichnete Höhe  $2^\circ$  über dem mathematischen Horizont als Grundlage.

Die Sonnenhöhen müssen um die Refraktion korrigiert werden. Dazu dient die Formel von *Meeus*:

Gegeben:  $h$  = beobachtete Höhe in Grad (z. B. Höhe des obersten Punktes der Sonne).

Formel:  $R = 1 / (\tan(h + 7.31 / (h + 4.4)))$

$R$  ist die Refraktionskorrektur  $i$  Bogenminuten.

Rätsel: Erich Laager

