

<b>Zeitschrift:</b>	Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Astronomische Gesellschaft
<b>Band:</b>	57 (1999)
<b>Heft:</b>	294
<b>Artikel:</b>	Astrophotographie [Fortsetzung]
<b>Autor:</b>	Cevey, Daniel
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-898285">https://doi.org/10.5169/seals-898285</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 11.01.2026

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

# Astrophotographie

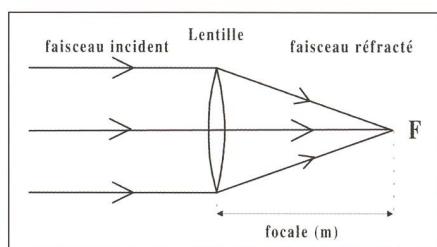
DANIEL CEVEY

## 3. Quelques notions indispensables

### 3.1. La focale

Pour un instrument optique qui change la convergence des faisceaux lumineux (par ex: lentilles, miroirs concaves, etc.), la **focale** (ou distance focale) est la distance entre l'appareil et le point de convergence (**foyer**) du faisceau réfracté ou réfléchi, lorsque le faisceau incident est parallèle (focale du faisceau incident infinie). Elle se mesure en mètres.

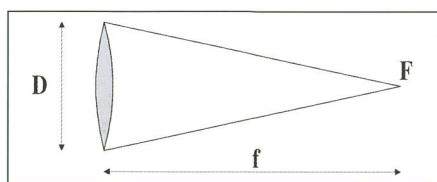
Ainsi, en photographie, on parle de focale des objectifs (cf. §1.2). Pour une lunette ou un télescope, on définit la focale de l'objectif (lentille ou miroir) et de l'oculaire.



Lorsque le système optique présente plusieurs lentilles ou miroirs, on peut définir une **focale résultante** (par ex: La focale résultante d'un télescope Cassegrain, ou d'un télescope muni d'un oculaire).

### 3.2. L'ouverture

L'ouverture (on parle également de **luminosité**) est le rapport entre la focale du système convergent (lentille ou miroir) et le diamètre du diaphragme utilisé. Lorsque l'on travaille en pleine ouverture, le diamètre du diaphragme est égal à celui de l'instrument. Cette ouverture est notée **f/D**. Dans les appareils photo les valeurs courantes d'ouvertures sont: 1,4 - 2 - 2,8 - 4 - 5,6 - 8 - 11 - 16 - 22



Ces diaphragmes sont conçus de telle manière qu'en passant d'une valeur à la suivante, il suffit de doubler le temps de pose pour conserver la même quantité de lumière sur le film.

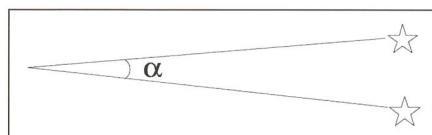
Pour un Schmidt-Cassegrain de 20 cm de diamètre et de 2 m de focale, l'ouverture, lorsque l'on travaille en foyer principal est donc  $f/D = 10$ .

Si maintenant, on utilise avec ce même télescope un oculaire de 25 mm de focale comme dispositif de projection sur le film, la focale résultante sera de 12 m (cf. §3.6: Grandissement) et l'ouverture  $f/D = 60$ .

Il va de soi que **plus le rapport d'ouverture  $f/D$  est petit, plus l'instrument est lumineux**, diminuant ainsi les temps de pose nécessaires. Par exemple, en travaillant avec un diviseur de focale sur un télescope de 2 m et d'ouverture  $f/D = 10$ , la focale résultante sera de 1m et la luminosité  $f/D = 5$ . Non seulement le champ sera approximativement deux fois plus grand (on peut avoir un problème de «vignettage», cf § 3.7.) mais les temps de pose nécessaires à la photographie des objets étendus (nébuleuses, Lune) seront quatre fois plus courts!

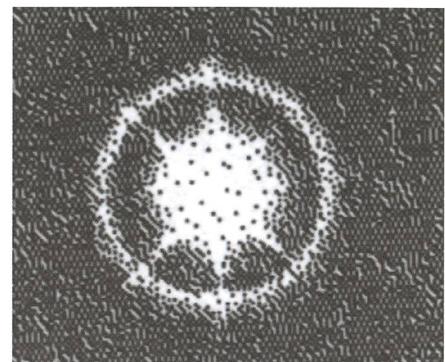
### 3.3. Le pouvoir résolvant

Le pouvoir résolvant (aussi appelé limite de résolution) est l'angle minimum entre deux objets que l'appareil est encore capable de séparer, donc de distinguer. Imaginons, par exemple, que nous voulions observer une étoile double dont les composantes sont séparées par  $10''$  (secondes d'arc). Un appareil dont le pouvoir résolvant est de  $5''$  distinguera bien les deux composantes du système, alors que pour un autre appareil de pouvoir résolvant égal à  $20''$ , les deux composantes du système double seront confondues en un seul point lumineux.



Cette limite de résolution est due au phénomène de **diffraction** de la lumière, phénomène par lequel l'image d'un petit trou est en réalité une tache lumineuse plus grande que le trou lui-même. En conséquence, tout diaphragme a pour effet d'étaler les images, donc d'en masquer les détails. Ainsi, l'image d'une étoile par un appareil astronomique se

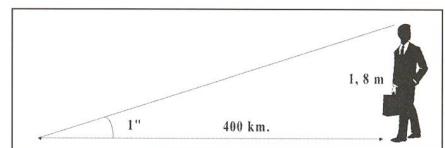
présentera sous la forme d'une tache circulaire, parfois entourée d'anneaux, d'autant plus grande que le diamètre de l'appareil est petit.



On peut donner la formule empirique suivante pour calculer les pouvoirs de résolution:  $\epsilon (\text{en } '') = 15/D(\text{cm})$

Par exemple, un télescope de 15 cm de diamètre a un pouvoir résolvant de  $1''$  d'arc. Le pouvoir résolvant de l'œil est, quant à lui, approximativement de  $60''$  soit  $1'$  (une minute d'arc).

Pour se rendre compte de ce que représente une seconde d'arc, c'est l'angle sous lequel vous verriez un homme de 1,8 m à une distance de 400 km.



Ainsi, un pouvoir résolvant de  $1''$  permet-il de séparer deux points distants de 5 mm à 1 km, ou encore de 2 km sur la Lune, c'est à dire à 385 000 km.

Enfin, il faut signaler qu'il s'agit là du pouvoir résolvant théorique, c'est à dire celui d'une optique parfaite utilisée dans une atmosphère parfaitement calme et en l'absence de toute vibration. En réalité, le pouvoir **résolvant pratique** sera limité par la **qualité de l'optique**, par les **turbulences atmosphériques** (cf. § 2.2.) ainsi que par les **vibrations** de l'appareil.

*Quelques petits conseils:*

- La qualité de l'optique doit être vérifiée à l'achat de l'appareil.
- L'estimation des turbulences doit précéder toute séance de photographie.
- Enfin, il faut impérativement veiller à minimiser toutes sources de vibrations dont les effets désastreux iront de la limite du pouvoir résolvant jusqu'à des traces sur les photographies. Différentes solutions s'offrent pour limiter ces vibrations. Il faut veiller, de prime abord, à utiliser une monture stable et contrôler que les axes ne souffrent d'aucun jeu. Les

pieds de la monture seront de préférence dotés d'embouts rigides plutôt qu'en caoutchouc. Enfin, l'appareil photographique sera doté d'un **déclencheur souple**, et si possible, devra offrir la possibilité de **relever le miroir manuellement**.

Dans le cas contraire, il faut procéder à **l'obturation manuelle**, en masquant l'ouverture du télescope à l'aide d'une palette noire dépolie. Enfin, signalons que l'on trouve dans le commerce des supports antivibrations (**antivibrations pads**) que l'on place sous les pieds de la monture, et qui amortissent relativement efficacement les vibrations de l'appareil lors de la prise de vue.

### 3.4. Les aberrations

On appelle aberration tout défaut de convergence d'un système optique, qui transforme le point foyer en une tache plus ou moins étendue. Leurs origines sont diverses et sont à rechercher, soit dans une qualité optique déficiente, soit dans le principe même de l'instrument. Si la majorité des instruments optiques courants s'en accommodent fort bien, il n'en va pas de même des instruments utilisés en astrophotographie (objectifs photographiques, lunettes, télescopes), puisque l'image des étoiles ne sera plus ponctuelle. A ce titre, on peut relever que l'astrophotographie constitue un test imputoyable pour la qualité des optiques.

On relèvera trois types principaux d'aberrations: les aberrations chromatiques, de sphéricité, et la coma.

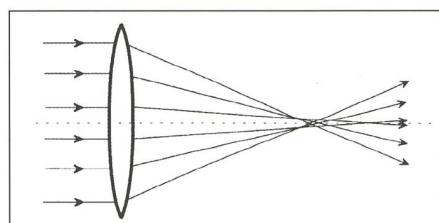
#### Les aberrations chromatiques

Ces aberrations sont dues au fait que la lentille ne va pas réfracter les différentes couleurs au même point. Ce phénomène, appelé **dispersion** est utilisé, par exemple, pour produire un spectre à l'aide d'un prisme. Dans le cas d'un système convergent (objectifs, lunettes), il s'agit d'un défaut très gênant, puisque un point blanc (par ex. une étoile) apparaîtra comme une tache colorée. On peut remédier à ce défaut en utilisant des associations de lentilles convergentes et divergentes, construites dans des verres différents. De tels systèmes sont appelés **achromatiques** (objectifs ou lunettes achromatiques). A noter ici un des avantages du télescope par rapport à la lunette, c'est que son objectif, le mi-

roir, dévie du même angle toutes les couleurs. Il ne présente donc pas d'aberration chromatique.

#### Les aberrations de sphéricité

Ces aberrations proviennent du fait que les différentes parties du faisceau n'attaquent pas la surface de la lentille ou du miroir sous le même angle selon qu'elles sont proches ou éloignées de l'axe optique. Ainsi, si l'on veut utiliser l'ouverture totale de l'appareil, un point lumineux apparaîtra comme une tache floue, ce qui diminuera considérablement la qualité de l'image.

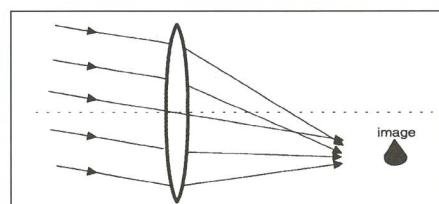


Dans le cas de lentilles simples, la seule possibilité de minimiser ce défaut consiste à diaphragmer, afin de ne garder que la partie du faisceau proche de l'axe optique, avec comme conséquence, une perte de luminosité.

Dans le cas des miroirs, deux solutions sont possibles pour supprimer l'aberration de sphéricité. La première consiste à utiliser un **miroir parabolique** (cas de la majorité des grands télescopes, les Ritchey-Chrétien ont, quant à eux, un miroir primaire hyperbolique). La seconde consiste à corriger l'aberration de sphéricité du miroir sphérique à l'aide d'une **lame correctrice** (ce sont les systèmes Schmidt ou Maksutov).

#### La coma

La coma est une autre manifestation de l'aberration de sphéricité affectant les faisceaux dont la direction s'écarte de l'axe optique. Sur une photographie de champ stellaire, les étoiles en bordure du champ, apparaîtront sous forme d'une petite tache conique, rappelant la forme d'une comète, d'où le nom. Si l'effet artistique peut être intéressant, la netteté de l'image en est malheureusement affectée.



### 3.5. Le grossissement

Le grossissement d'un appareil astronomique mesure le rapport entre le diamètre apparent d'un objet vu au travers

Exemple de coma:

La comète Hyakutake photographiée le 15.4.1996 à 22h.25 à Arzier (VD).

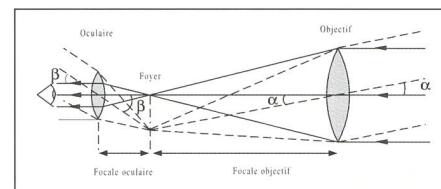
Film Kodak, Ektapress 1600 ASA; Pose: 8 min.; Objectif Olympus 55mm ouvert à F/1.2; Montage en parallèle sur le C8; Suivi sur le noyau au 12mm réticulé.

La trop grande ouverture de l'objectif (1.2) entraîne une forte coma sur les étoiles du bord du champ, notamment sur les Pléiades, en haut à gauche du cliché.



de l'appareil et le diamètre apparent vu à l'œil nu. Ce rapport se mesure par les angles sous lesquels on voit l'objet avec ou sans appareil. De par la géométrie des faisceaux lumineux qui traversent l'appareil, le grossissement est égal au rapport des distances focales de l'objectif (miroir ou lentille) et de l'oculaire.

$$G_{\text{ross}} = \frac{D_{\text{app}}}{D_{\text{ocul}}} = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_{\text{obi}}}{f_{\text{oc}}}$$



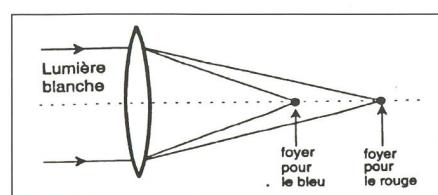
Par exemple, à l'œil nu, on voit la Lune (ou le Soleil) sous un diamètre angulaire apparent de  $1/2^\circ$ . Si on utilise un télescope qui grossit 50x, ces astres nous apparaîtront sous un angle de  $50 \times 1/2^\circ = 25^\circ$ .

S'il est utile de savoir calculer un grossissement pour l'observation visuelle, il faut savoir que cette grandeur n'est d'aucune utilité en photographie. En effet, ce qui nous importe de connaître, c'est la dimension d'un objet sur le négatif, donc le **champ** de la photographie. Pour calculer ce champ, il faut avoir recours au **grandissement**  $G_{\text{ran}}$ .

### 3.6. Le grandissement

Le grandissement mesure le rapport des dimensions entre l'image d'un objet sur le **négatif** lorsque on utilise un oculaire «projectif» et l'image de ce même objet lorsque l'on travaille au foyer primaire.

$$G_{\text{rand}} = \frac{D_{\text{pro}}}{D_{\text{prim}}}$$



Pour reprendre l'exemple du Soleil (ou de la Lune) dont la dimension angulaire est de  $0,5^\circ = 30'$ , il aura, sur le négatif d'un film placé au foyer principal d'un télescope de 2m de focale, un diamètre de 2 cm (environ 1cm par mètre de focale). Si, en utilisant un oculaire pour projeter l'image du Soleil sur le film, son diamètre devient égal à 12 cm, on dira que le **grandissement** obtenu est de 6x. Tout se passe comme si nous avions utilisé un appareil de  $6 \times 2 \text{ m} = 12 \text{ m}$  de focale. La **focale résultante** du système projectif est donc égale à la focale principale multipliée par le grandissement:

$$f_{\text{résultante}} = G_{\text{ran}} \times f_{\text{principale}}$$

Il est clair que la luminosité **f/D** sera affectée par le système projectif et qu'elle doit désormais être calculée avec la focale résultante. Ainsi, un appareil de luminosité  $f/D = 10$  travaillant en projectif avec un grandissement de 6 aura une luminosité  $f/D = 60$  puisque l'on a multiplié par 6 la focale, tout en gardant le même diamètre. Il faudra bien entendu tenir compte de ce phénomène dans l'estimation des **temps de pose** (pour les objets étendus, les temps de pose varient comme le carré des grandssements).

Sans entrer dans des détails d'optique qui sortiraient du cadre de ce cours, on peut donner une relation simple permettant de calculer le grandissement **G<sub>ran</sub>** d'un système projectif en connaissant la focale **f<sub>oc</sub>** de l'oculaire utilisé et son **tirage T** (distance entre l'oculaire et le plan du film):

$$T = f_{\text{oc}} (G+1)$$

### 3.7. Le champ

Le champ d'un appareil optique est donné par les dimensions angulaires de l'image obtenue. Pour la photographie, on donne les angles qui correspondent aux côtés ou à la diagonale d'un négatif 24 x 36 (cf §1.2). On notera que plus la focale résultante est courte, plus le champ est grand, et inversement.

Lorsque l'on connaît le champ de l'appareil au foyer principal (par ex: pour 2 m de focale  $1^\circ \times 0,7^\circ$ , diagonale =  $1,2^\circ$ ), il est facile de calculer le champ avec système projectif: il suffit en effet de diviser les dimensions angulaires par le grandissement. Par exemple pour un 2m à  $f/D = 10$ , un projectif de 25 mm produira un grandissement de 6. La focale

résultante sera donc de 12 m à  $f/D = 60$  et le champ sur le négatif 24 x 36 sera:  $10' \times 7'$ , diagonale =  $12'$ .

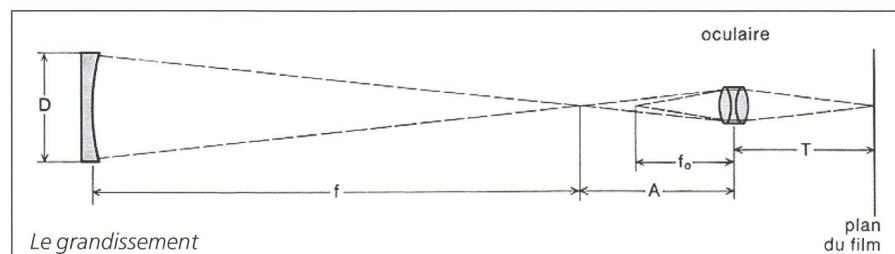


Une Lune de 1 jour se couche sur le Jura. Arzier, 8.4.97 à 20 h 55. 1s. de pose sur film Ektapress 1600. Foyer du C8 avec diviseur de focale. F/5. On distingue 3 halos: la lumière cendrée, le halo de brume et enfin, le vignettage.

Pour certains clichés d'objets étendus, amas stellaires ou nébuleuses, on peut rechercher un champ plus grand. Il faut pour cela diminuer la focale résultante à l'aide d'une lentille spéciale appelée **réducteur de focale**. Un tel appareil augmente la luminosité (cf. § 3.2) et le champ, mais il faut savoir que le champ réel est rarement celui escompté. Par exemple, si vous mettez un réducteur de focale de  $G = 1/2$  sur un 2 m ouvert à  $f/D = 10$ , la focale résultante sera de 1 m, ouvert à  $f/D = 5$ , mais le champ sur le négatif ne sera, hélas, pas deux fois plus grand. En effet, une partie importante du champ sera masquée sur les bords de la photographie (effet de masque du miroir secondaire ou d'une autre composante du système optique), c'est ce que l'on appelle le **vignettage**. Aussi est-il recommandé de bien se renseigner, ou, mieux de se livrer à quelques essais avant d'acquérir un réducteur de focale.

### 3.8. La mise en station et le suivi

La **mise en station** d'un télescope est l'opération qui consiste à orienter



parfaitement ses axes de rotation par rapport à l'axe de la Terre (cf. § 1.6: Les montures). Si la mise en station est satisfaisante, le **suivi** des astres sera grandement facilité. Si l'observation visuelle peut se contenter d'une mise en station grossière (il suffit d'effectuer quelques corrections de temps en temps), l'astrophotographie exige une mise en station irréprochable, surtout si l'on envisage de longues poses (photographie du ciel profond).

A ce titre, la **monture azimutale** est beaucoup plus facile à mettre en station. Il suffit en effet de lui assurer une bonne «assiette» en mettant sa table à l'horizontale à l'aide d'un niveau à bulle, puis d'initialiser les axes grâce à 2 ou 3 **étoiles de référence**. Nous l'avons vu, un des inconvénients majeurs de ce type de monture réside dans le phénomène de la **rotation de champ**, qui, pour les longues poses doit être compensée à l'aide d'un dispositif supplémentaire.

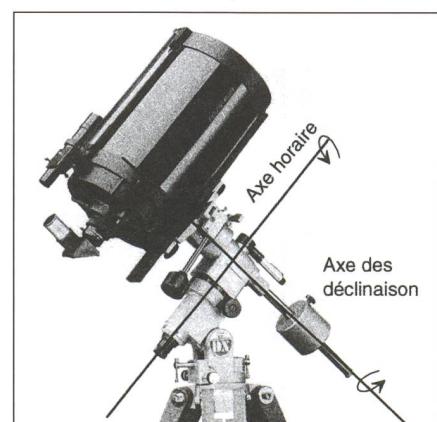
Les **montures équatoriales** sont beaucoup plus délicates à mettre en station, puisque leur **axe horaire** doit être parfaitement parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Aussi faut-il distinguer différents niveaux de qualité de mise en station, suivant le type de clichés que l'on désire réaliser:

#### La mise en station grossière

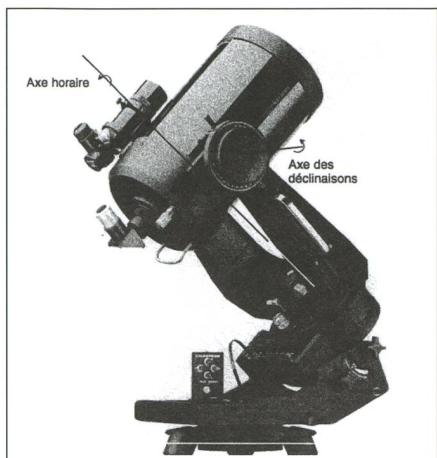
Cette mise en station sera effectuée lorsque on ne peut pas s'aligner sur la Polaire (par ex. de jour) ou lorsque les poses prévues sont de très courte durée. Ce sera le cas pour les photographies du Soleil, des phases de la Lune ou encore lors des éclipses partielles. Elle s'effectuera en deux phases:

- **l'orientation du pied Nord du télescope** à la boussole. Pour éviter les perturbations dues aux pièces ferromagnétiques du télescope, on procédera de préférence par visée.
- **la mise à l'horizontale de la table équatoriale** à l'aide d'un niveau à bulle.

Monture allemande Super-Vixen



De nuit, si l'on voit la Polaire, on pourra parfaire l'alignement de l'axe horaire, en centrant la Polaire dans un oculaire réticulé, en ne jouant que sur les réglages en hauteur et en azimuth.



Monture Celestron à fourche

### **La mise en station précise**

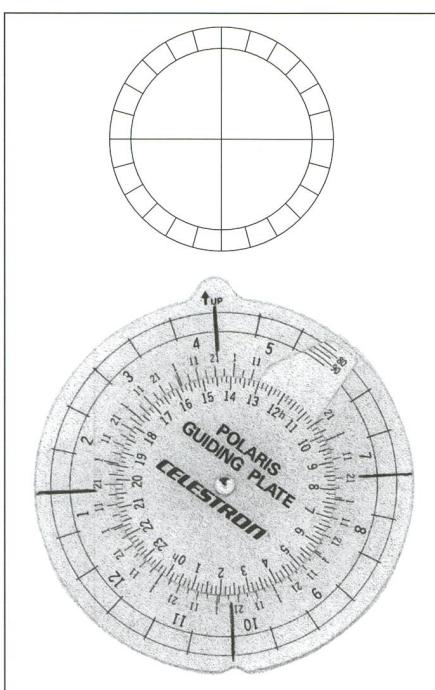
Cette mise en station tient compte du fait que la Polaire ne se trouve pas exactement au Pôle, mais en est décalée d'environ 45'. Certaines montures (par ex. Vixen) ont une lunette incorporée à l'axe horaire avec un réticule permettant de positionner exactement la Polaire à l'aide des réglages en hauteur et en azimuth. D'autres montures (par ex. Célestron) sont dépourvues de cette lunette mais le télescope est doté d'un chercheur polaire réticulé. Un petit disque, reproduisant l'aspect du réticule, permet de trouver, pour la date et l'heure d'observation, la position exacte de la Polaire. On procédera ensuite à l'alignement grâce aux réglages en hauteur et en azimuth. La mise en station sera vérifiée en faisant pivoter le télescope autour de l'axe horaire, tout en gardant l'œil dans le réticule. Si l'alignement est correct, la Polaire doit décrire un cercle centré sur le Pôle. Dans le cas contraire, on procédera aux corrections nécessaires.

Certains auxiliaires sont très utiles pour parfaire la mise en station, et assurer, lors de la pose, un suivi parfait. Il s'agit des micro-ordinateurs de guidage (Astromaster, Sky-sensor, etc.) ainsi que des correcteurs d'erreurs périodiques (PEC).

### **Les micro-ordinateurs de guidage**

Il s'agit d'appareils auxiliaires remplissant diverses fonctions, notamment:

- Catalogue d'étoiles, d'objets Messier et NGC (plus de 10000) avec brèves descriptions de l'objet.
- Ephémérides (positions des planètes).
- Cercles numériques (affichage digital des coordonnées en AD et DEC).



Aspect du réticule du chercheur polaire, et disque permettant de situer la Polaire.

- Mise en station assistée en différents modes (sur la Polaire, ou sur d'autres étoiles).
- Guide indiquant la direction de pointage de l'objet recherché.
- Identification de l'objet pointé.

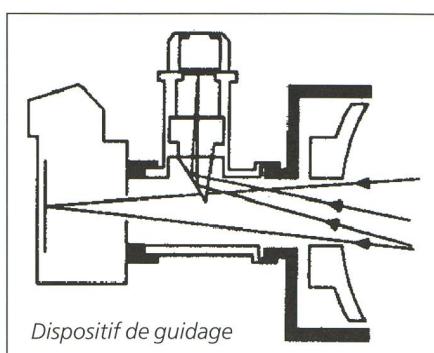
Ces micro-ordinateurs sont d'une aide précieuse pour la mise en station précise, pour pointer rapidement des objets, et pour trouver des objets non visibles même au télescope, atout majeur pour l'astrophotographe.

### **Les corrections périodiques d'erreurs (PEC)**

Certaines montures équipées de moteurs en AD et en DEC sont dotées d'un système de correction périodique des erreurs (PEC). Après une mise en station précise, de petites erreurs peuvent subsister (flexion de la monture, défaut d'alignement, aberration sur l'horizon, etc.). En mode enregistrement, l'appareil met en mémoire les corrections périodiques que vous effectuez sur la palette de commande des moteurs. En mode «play», il effectuera automatiquement ces corrections, diminuant d'autant les manipulations de la palette. Cette option est extrêmement utile, notamment pour les longues poses (1/4 h à 1 h).

### **Le suivi**

Le suivi, avec la mise au point, est un des problèmes majeurs de l'astrophotographe. En effet, pas de bons clichés sans un suivi irréprochable. Le problème se pose de manière d'autant plus aigüe que la pose sera longue.



Pour les très courtes poses, le suivi n'est pas nécessaire (cf. § 1.2.).

Pour des poses légèrement supérieures à celles indiquées au § 1.2., un suivi au moteur AD sera suffisant (taches solaires, phases de la lune, éclipses, lumière cendrée, planètes).



M42: Arzier, 14.12.91 à 0h53. Foyer du C8. F/10. Film Ektar 1000. Pose 6min sans étoile guide. Le défaut de suivi est très visible, les étoiles apparaissent comme de petits traits et non comme des points circulaires.

Par contre, pour les poses excédant la minute, même une mise en station irréprochable et un moteur piloté par quartz ne permettront pas un suivi satisfaisant. Il faudra alors avoir recours à la méthode de l'étoile guide. Dans ce cas, il faudra remplacer le tube adaptateur T par un diviseur optique hors axe doté d'un petit prisme à réflexion totale qui renverra vers un oculaire réticulé une petite portion du champ. Il s'agira alors de trouver une étoile suffisamment lumineuse pour la centrer sur le réticule et la maintenir au centre, par des petites corrections sur la palette de commande, et ce, durant toute la durée de la pose. C'est au prix de cet exercice, délicat et fastidieux, que les étoiles apparaîtront sur le cliché, sous forme de points, et non de petites trainées.

### **3.9. La mise au point**

Autre problème crucial auquel est confronté l'astrophotographe: une mise au point de qualité. Contrairement à la majorité des objectifs pour lesquels il suffit de se placer sur l'infini, la mise au point d'un télescope est beaucoup plus

délicate. En effet, sur un Schmidt-Cassegrain de 2 m de focale, le réglage du miroir principal doit être assuré à moins d'un dixième de millimètre, sinon la netteté sera défectueuse. A noter que cette mise au point est affectée par les changements de température.

Plusieurs accessoires peuvent cependant grandement faciliter la tâche.

**Le verre de visée** (cf. § 1.1.) permet un premier réglage sur le dépoli, puis un réglage fin sur la plage centrale.

**La loupe de mise au point** (cf. § 1.3.) permet d'augmenter passablement la précision du réglage en offrant, au travers de l'oculaire de l'appareil photo, un champ agrandi d'un facteur variable selon la marque (par ex.: 1,2 x et 2,4 x). Il s'agit, en commençant par le faible grossissement, de mettre au point sur une étoile faible, en la rendant la plus petite possible, puis d'affiner le réglage en passant au grossissement supérieur.

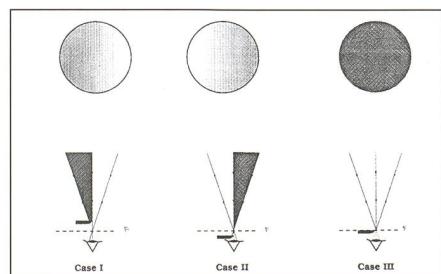
**Le compteur digital de focalisation (DFC)** permet de noter avec une grande précision le réglage de la vis de mise au point. Cependant, on peut difficilement s'y fier d'une observation à l'autre à cause des problèmes de dilatations différentes du télescope résultant d'éventuelles variations de température.

**Le foucaultage** est de loin la méthode de la plus sûre de mise au point, mais également la plus délicate. Elle consiste à couper le faisceau au niveau du plan du film avec une lame fine. Si l'on est sûr que la distance objectif-film est égale à la distance objectif-verre de visée, on peut également pratiquer sur ce dernier un petit trait net avec un stylo feutre. On choisit ensuite une étoile lumineuse et on l'amène en bordure de la lame. Trois situations peuvent alors se présenter:

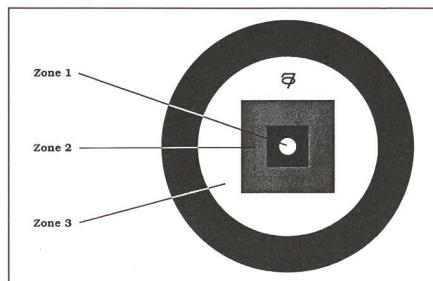
**Cas 1:** Le champ s'obscurcit progressivement du côté de la lame. La lame se trouve **avant** le plan focal. Il faut donc légèrement dévisser la vis de mise au point.

**Cas 2:** Le champ s'obscurcit progressivement du côté opposé à la lame. La lame se trouve **après** le plan focal. Il faut alors visser la vis de mise au point.

**Cas 3:** Le champ s'obscurcit totalement dès que l'étoile passe derrière la lame. La mise au point est parfaite.



**Le MFFT-55** (Celestron Multi Function Focal Tester) est un petit appareil fort simple (et fort cher!) constitué d'un tube de 55 mm de longueur correspondant à la distance entre le télescope et le plan du film des boîtiers Réflex traditionnels. Une de ses extrémités est dotée d'un pas de vis s'adaptant précisément au télescope, l'autre d'un verre poli au laser et comportant 3 zones.



La zone 1 est transparente, et entourée d'un carré opaque qui jouera le rôle de lame pour le foucaultage. Cette zone permet également de contrôler la collimation de l'optique du télescope.

La zone 2 est constituée d'un réseau de Ronchi permettant un prérglage rapide de la netteté. Ce réseau est constitué de minuscules petits carrés qui vont devenir de plus en plus grands, pour finalement totalement disparaître lorsque la mise au point sera bonne.

La zone 3 est transparente et permet d'amener l'étoile-test au bon endroit dans les zones 1 et 2.

### 3.10. Le temps de pose

Dans ce domaine, pas de lois sûres, mais des règles empiriques que vous affinerez avec votre expérience. En effet, le temps de pose dépend tout à la fois de l'ouverture, de la luminosité de l'objet photographié et des caractéristiques du film utilisé. Or, même si vous connaissez l'ouverture de votre montage (par ex. F/10) et la magnitude de l'objet (voir tables et § 3.11.), il sera très difficile de prévoir le comportement de votre film (cf. § 1.9.).

**La loi de réciprocité** dit, que pour un film de sensibilité donnée, le produit: **Intensité lumineuse x temps de pose = constante**.

Cependant, sauf pour les courts temps de pose, un film de sensibilité 1600 ISO ne sera pas deux fois plus rapide qu'un film de 800 ISO. C'est le **défaut de réciprocité**, remarqué par l'astronome Schwarzschild qui corrigea la loi en introduisant un exposant  $n$  qui dépend de l'intensité de la source, du domaine spectral, et bien entendu, du film utilisé:

$$I \cdot t^n = \text{constante}$$

Ainsi pour bien connaître un film, est-il impératif de noter scrupuleuse-

ment les caractéristiques de chaque prise de vue (type de film, ouverture, temps de pose, etc.) puis, une fois les clichés tirés, d'analyser les résultats et d'en déduire les temps de pose les plus satisfaisants.

### Voici quelques suggestions:

#### Courtes poses (quelques secondes)

Elles s'appliquent à la photographie planétaire, aux phases de la Lune, à la lumière cendrée, aux éclipses, et au Soleil.

Effectuer de nombreuses prises de vue en étalant les temps de pose de part et d'autre de la valeur correcte présumée

Exemple: Eclipse totale de Lune sur film Ektapress 1600: 1/4 s; 1/2 s.; 1 s.; 2 s; 4 s.; 6 s.; 10 s.

Vous pouvez répéter cet exercice pour chacun des types de films utilisés. Gardez soigneusement ces indications qui pourront être réutilisées ultérieurement, vos tâtonnements en seront réduits d'autant.

Si vous travaillez sur **pied fixe** (cf. chap. 4) il est important de connaître le temps de pose maximum pour que les astres ne laissent pas de trace de leur mouvement sur le film. Ce temps  $t_{\max}$  est donné par la loi empirique suivante:

$$t_{\max} (\text{s.}) = 500/f (\text{mm})$$

où  $f$  est la focale résultante de votre montage, exprimée en mm. (cf tableau § 1.2.)

#### Poses longues (quelques minutes à une heure et plus)

Ces poses sont adaptées à la photographie des comètes, d'amas ouverts ou globulaires, de nébuleuses, de galaxies, ainsi que pour les rotations du ciel.

Pour les objets peu lumineux, plus la pose sera longue et plus la photographie révélera des détails et comportera des étoiles faibles. Mais on a vu qu'en raison des défauts de réciprocité, les choses n'étaient pas si simples, et dans ce cas également, il faudra étudier le comportement de chaque film.

Les écarts à la réciprocité peuvent se manifester dès les premières minutes de pose si bien que les photographies du même objet, une fois avec une pose de 5 minutes, l'autre fois avec une pose de 20 minutes pourront ne présenter que des différences minimales, ne justifiant en tout cas pas l'effort des 15 minutes supplémentaires.

Voici pour clore momentanément le sujet, quelques ordres de grandeur pour des film du type Fuji 800, Ektar 1000 ou Ektapress 1600. Ces valeurs sont susceptibles cependant de varier passablement avec l'ouverture et la luminosité des objets photographiés:

- Amas ouverts: 5 à 15 min.
- Comètes: 10 à 20 min.
- Nébuleuses: 5 à 20 min.
- Galaxies: 10 à 90 min.
- Rotations: 60 à 120 min.

Pour plus de détails, se référer aux chapitres suivants.

### 3.11. La magnitude

Hipparque de Nicée (-190; -125) avait déjà établi un catalogue de plus de 800 étoiles classées en six grandeurs, les plus lumineuses étant de 1<sup>re</sup> grandeur et les moins lumineuses de 6<sup>e</sup> grandeur.

Les progrès de la photométrie dès le 19<sup>e</sup> S. nécessitèrent de préciser cette classification. Pogson, se basant sur la loi physiologique de Fechner («la sensation varie comme le logarithme de l'excitation»), définit la magnitude apparente d'une étoile de la manière suivante:

$$m - m_0 = -2,5 \cdot \log \frac{J/J_0}{}$$

où  $m$ : magnitude de l'étoile

$m_0$ : magnitude d'une étoile de référence

$J$ : éclat apparent de l'étoile

$J_0$ : éclat apparent de l'étoile de référence.

L'éclat apparent mesure la puissance reçue de l'astre sur Terre, par  $m^2$  de récepteur. Il se mesure donc en  $\text{W/m}^2$ .

Cet éclat est proportionnel:

- à la surface de l'étoile, donc au carré de son rayon
- à la puissance 4 de la température de l'étoile (loi de Stéphan-Boltzmann)
- à l'inverse du carré de la distance à l'étoile (sa puissance se «dilue» sur une sphère de surface  $4\pi D^2$  donc:

$$J \propto \frac{R^2 T^4}{D^2}$$

Le choix du facteur -2,5 dans la loi de Pogson est justifié par le souci de respecter, tout en l'affinant, la classification en grandeurs d'Hipparque. Ainsi les étoiles les plus lumineuses ont-elles bien les plus petites magnitudes et les moins lumineuses les plus grandes, la limite de visibilité à l'œil nu dans d'excellentes conditions d'observation étant la magnitude 6.

Exemples: Soleil: -26,9; Sirius: -1,6; Véga: 0,0; Rigel: 0,1

Un rapport d'éclat de 100 correspondant à une différence de magnitude de 5, une étoile de magnitude 1 est donc 100 fois plus lumineuse qu'une étoile de magnitude 6.

Les tables et les catalogues donnent les magnitudes des étoiles ainsi que des différents objets Messier ou NGC.

### La magnitude limite d'un appareil

Il est également très utile de connaître la magnitude limite d'un instrument. Celle-ci dépend de la surface qui récolte la lumière, donc du carré du diamètre de l'instrument.

On a vu que la magnitude limite de l'œil est de 6, ceci pour une pupille d'environ 6 mm de diamètre (vision nocturne). Une lunette de 60 mm de diamètre a donc une surface récoltrice 100 fois plus grande que notre pupille, elle pourra donc distinguer des étoiles 100 fois moins lumineuses, donc de magnitude apparente 5 unités plus grande. La magnitude limite de cette lunette sera donc de  $6 + 5 = 11$ . Pour un télescope de 8 pouces (203 mm), le rapport des surfaces avec l'œil est de 1140 x ce qui correspond à une magnitude limite de 13,5.

Enfin, il est très utile d'évaluer la **magnitude limite d'une photographie**, en estimant la magnitude de l'astre le plus faible. Il suffira d'étudier une portion de la photographie en la comparant avec les données d'un catalogue (par ex une revue des constellations) ou encore en utilisant un logiciel d'astronomie qui affiche les magnitudes limites. Cette magnitude limite photographique dépend bien entendu de la sensibilité du film, du temps de pose, de l'ouverture, mais également de la qualité du ciel (pollution atmosphérique et lumineuse, transparence, turbulence, fond de ciel).

### 3.12. Couleur et température

Un des grands avantages de l'astrophotographie est de nous révéler la couleur des astres dans leur immense variété. En effet, sauf pour les astres les plus brillants, l'observation visuelle ne rend que très mal la sensation de couleur. Cela provient du fait que les cellules de la rétine sensibles à la couleur (les cônes) fonctionnent mal à faible intensité, laissant le relai à des cellules beaucoup plus sensibles à l'intensité (les bâtonnets) mais pas à la couleur («la nuit tous les chats sont gris»!). Ainsi, lors d'une observation nocturne, ce sont principalement les bâtonnets qui travaillent, donnant à tous les objets faibles des couleurs verdâtres (leur maximum de sensibilité est situé dans le vert). Cependant, si les objets observés sont suffisamment proches et lumineux pour permettre la comparaison, les nuances de couleurs apparaissent alors à l'œil.

Par exemple, dans la superbe constellation d'Orion, Rigel apparaît bleue et Bételgeuse rouge. C'est aussi tout l'intérêt d'observer au télescope des étoiles doubles colorées β Cygn; γ Del; ε Mono, etc.).

Mais une observation visuelle, même au télescope, de la nébuleuse d'Orion, si elle révélera les multiples filaments, ne montrera qu'une couleur verdâtre qui peut décevoir l'observateur non averti. Une pose photographique suffisamment longue (une dizaine de minutes) révélera alors toute la splendeur des coloris.

L'origine de la couleur des astres est différente selon leur nature.

#### Couleur des étoiles

Les étoiles sont des sources à incandescence et répondent assez bien aux lois du corps noir, notamment la loi de Wien qui stipule que la fréquence des photons majoritaires dans le rayonnement continu de l'astre est directement proportionnelle à la température superficielle de la source.

$$v_{\text{du max.}} = C_{\text{Wien}} \cdot T$$

Ainsi, plus une étoile est chaude, plus son maximum d'émission se trouve dans le bleu. La couleur d'une étoile donne une bonne indication sur sa température superficielle. Une étoile bleue aura une température superficielle approximative de 30 000 K, une jaune de 5 500 K et une rouge de 3 000 K.

#### Couleur des nébuleuses

Dans les nébuleuses, le processus d'émission de la lumière est différent. La densité gazeuse y est beaucoup plus faible que dans les étoiles et chaque atome excité par le rayonnement des étoiles proches pourra émettre son propre spectre de raies. La couleur des nébuleuses résultera donc de la superposition des spectres des différents éléments présents dans la nébuleuse (principalement l'hydrogène et l'hélium).

Certaines nébuleuses froides vont absorber sélectivement la lumière qui les traverse, ce qui va sensiblement modifier leur couleur, et rougir les sources lumineuses en arrière plan (c'est le «rougissement interstellaire» dont parlent les astronomes). D'autres encore, riches en poussières, absorberont la quasi-totalité de la lumière incidente et apparaîtront noires (par ex: La Tête de Cheval dans M42).

#### Couleur des galaxies

Les photographies couleurs à longue pose des galaxies révèlent également des différences de colorations. Dans ce cas, plusieurs phénomènes se conjuguient: le spectre des étoiles majoritaires (régions jeunes ou vieilles), la présence de matière interstellaire, l'absorption sélective de la lumière sur le trajet entre la galaxie photographiée et la Terre, etc.

DANIEL CEVEY

13, ch. du Tirage, CH-1299 Crans (VD)  
(à suivre...)

■ Ce cours est disponible (avec les illustrations en couleurs) au prix de **Frs. 25.-** en quantité limitée à la réception de l'Observatoire de Genève, ou en souscription (délai: fin septembre 1999) auprès de l'auteur. Tél. 022/776 13 97.