

La collimation des instruments d'astronomie

Luberon Sud Astro
Patrick Sogorb
07 Février 2020

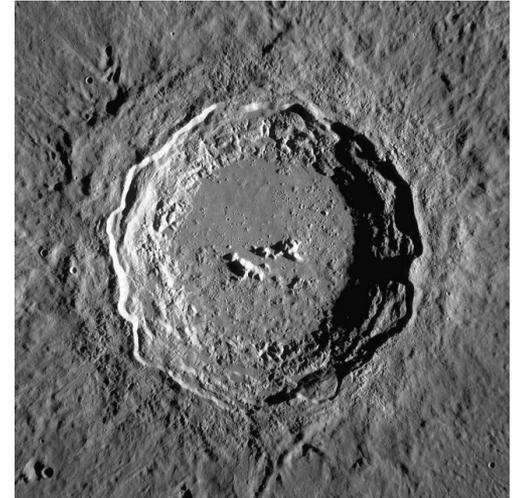
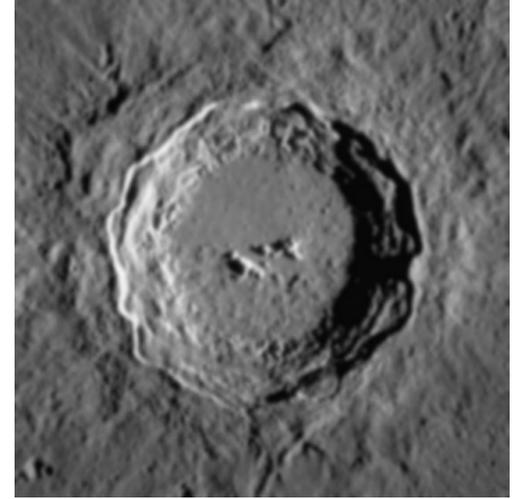


Introduction

Le terme un peu barbare de “collimation” renvoie à une opération de réglage et d’alignement des optiques d’un instrument. Ce terme est surtout utilisé dans l’astronomie amateur, car dans les milieux pro, on préférera le terme “d’alignement”. Cette opération minutieuse n’est pas compliquée, mais il est important de connaître ce que l’on fait.

L’objectif d’un instrument est composé d’une ou plusieurs optiques (miroirs ou lentilles). Cet ensemble est chargé de former une image. Elle sera au final, analysée avec soit un ensemble visuel (oculaire + oeil), soit avec un dispositif d’imagerie (appareil photo ou caméra CCD). Ce dispositif d’analyse sera fixé via un porte-oculaire. De la mécanique est ensuite utilisée afin que le positionnement relatif de l’objectif par rapport au porte oculaire reste fixe quelque soit l’orientation du télescope.

Donc un télescope n’est rien d’autre que de l’optique, un dispositif permettant l’analyse de l’image et de la mécanique pour que tout soit le plus fixe possible.



Pré-requis

La collimation peut paraître au premier abord une chose difficile et l'expérience montre que beaucoup d'astronomes amateurs ne règlent jamais leurs instruments. Or, un quart de tour sur une vis peut faire toute la différence entre une bonne image et image catastrophique. Cette opération est effectivement technique et ne se fait pas à la légère, mais avec un peu d'apprentissage, elle devient très facile. Il est cependant fortement déconseillé de faire tout seul la première fois.

Avant d'attaquer une collimation il est tout d'abord nécessaire d'acquérir ces connaissances:

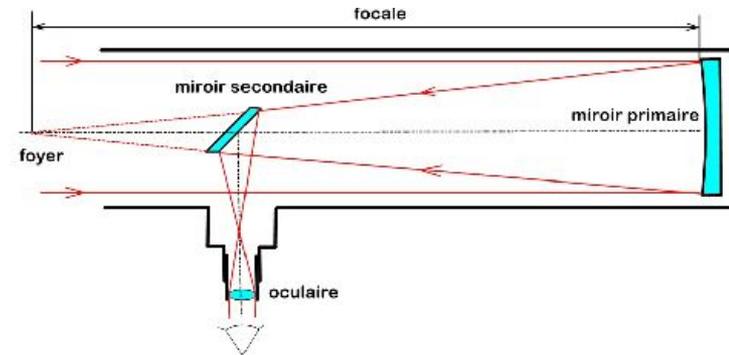
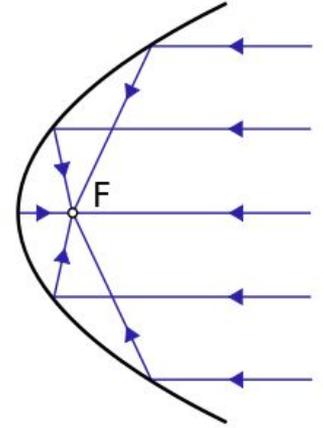
- Suis-je capable d'identifier le défaut d'alignement de mon télescope?
- Ai-je compris comment marche la mécanique de mon système de réglage?
- Dans quel ordre faire les opérations?



Notion d'axe optique

Le télescope le plus simple, de type Newton, est équipé d'un miroir primaire parabolique. Cela veut dire que la forme d'une méridienne de ce miroir correspond à l'équation mathématique d'une parabole. Cette forme est nécessaire, car un miroir sphérique ne donnerait pas une bonne qualité d'image.

L'axe de symétrie de cette parabole est appelée "axe optique". Le point d'intersection de l'axe optique et de la surface optique est nommé "sommet de la parabole" ou "Vertex". Dans le cas du télescope Newton, un miroir secondaire plan, renvoie l'axe optique du miroir primaire sur le côté du télescope. La "collimation" ou "alignement des optiques" est une opération de réglage d'une ou plusieurs optiques dont le but est de faire passer l'axe optique, au centre du porte oculaire.



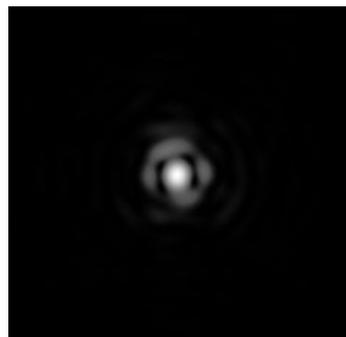
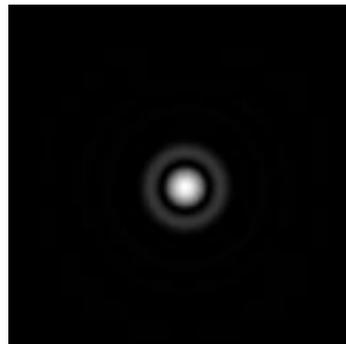
Tache de diffraction

Lorsque l'on regarde un schéma optique de télescope on peut voir les rayons lumineux se croiser au foyer, formant ainsi une image ponctuelle d'une étoile. Si les optiques ont été correctement polies et le télescope parfaitement aligné, on pourrait croire que cette image est infiniment petite. Or, ce n'est pas le cas, car la nature ondulatoire de la lumière va nous jouer des tours. La diffraction de la lumière sur le bord de l'optique, va créer par des phénomènes d'interférences, un tache entourées d'anneaux de plus en plus faibles. Cette image est nommée, figure de diffraction, PSF (point spread function) ou tache d'Airy et anneaux d'Airy.

Si un télescope donne d'un objet ponctuel (une étoile), une image sous forme de tache, c'est que sa résolution est limitée.

On montre que le rayon (en radian) de la tache d'Airy, que l'on assimile à la résolution angulaire du télescope est égal à:

$$1.22 \times \frac{\lambda}{D}$$



La coma

Malheureusement les formules optiques de nos instruments ne sont pas parfaites. Le défaut le plus courant (que l'on trouve sur de nombreuses formules optiques) est la coma. Ce défaut optique déforme l'image fournie par le télescope et donne une petite aigrette allongée, en forme de comète.

Ce défaut est un défaut de "champ". La coma est nulle sur l'axe optique et elle est d'autant plus forte que l'on s'éloigne dans le champ.

On montre que sur un télescope Newton, plus le télescope est ouvert (F/D petit), plus la coma progresse vite. Donc son champ utile sera plus petit et sa collimation en sera d'autant plus exigeante.

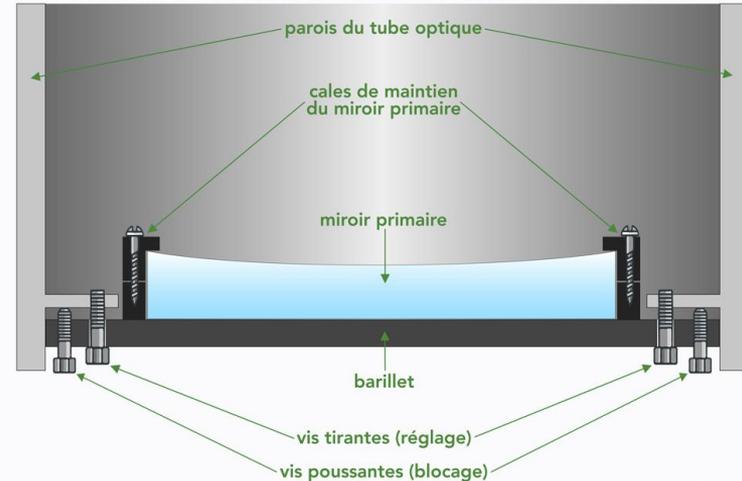
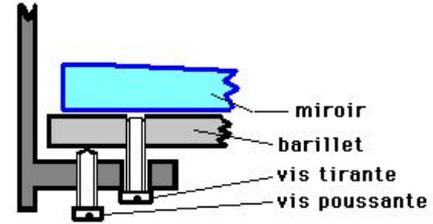
Lorsqu'à fort grossissement, et en centrant une étoile dans l'oculaire, on observe de la coma, c'est que les optiques du télescope ont besoin d'être alignées.



Système de réglage du primaire

Les réglages des miroirs primaires sont généralement équipés de 3 vis poussantes et trois vis tirantes. La vis poussante est visée dans la structure extérieur du télescope, et sert de butée sur laquelle vient s'appuyer le barillet (partie mécanique mobile sur laquelle est fixée le miroir). Le barillet est plaqué sur l'extrémité des vis poussantes avec les trois vis tirantes.

Il existe 3 paires de vis (poussantes-tirantes) à 120° autour du miroir. Et chacune permet un réglage de hauteur.



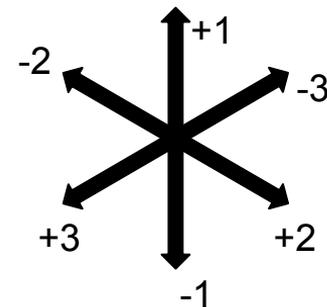
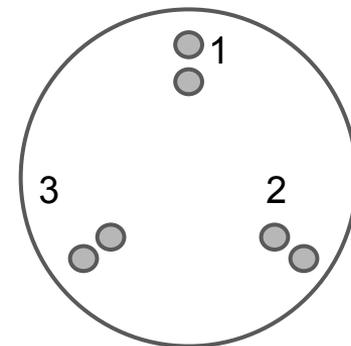
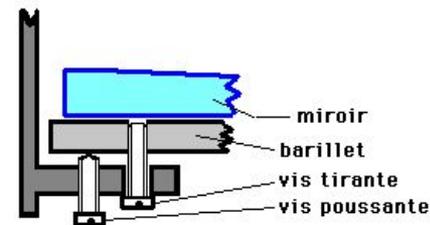
Système de réglage du primaire

Pour avancer (remonter) le miroir, dévisser légèrement la vis tirante, puis d'annuler le jeu en poussant le barillet en vissant la vis poussante jusqu'en butée.

Pour reculer (descendre) le miroir, dévisser légèrement la vis poussante, puis annuler le jeu en plaquant le barillet sur la vis poussante en serrant la vis tirante.

En agissant sur un couple de vis, on crée un basculement du miroir autour d'un axe passante par les deux autres paires de vis.

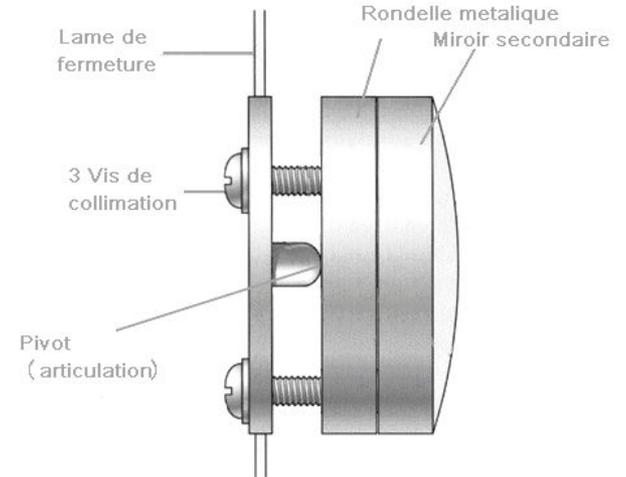
Dans le principe, avec seulement deux paires de vis, il est possible de réaliser une collimation. Si on agit sur la troisième paire, il en résultera une variation de la hauteur du miroir.



Systeme de réglage du secondaire des SC

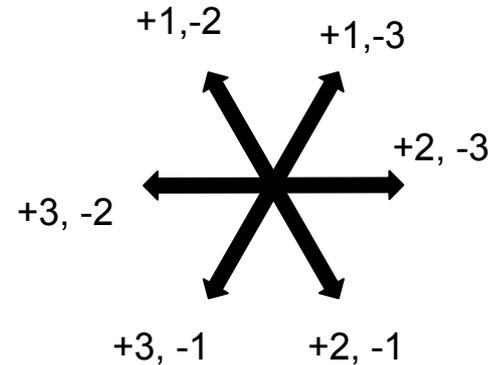
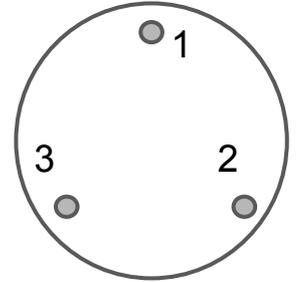
Dans le cas des miroirs secondaires des télescopes Schmidt-Cassegrain, le principe de réglage est différent: il n'y a que trois vis, qui sont toutes les trois des vis tirantes. Par contre on ne voit pas de l'extérieur, qu'il y a sous le miroir, au centre, un pivot d'articulation. Les trois vis, lorsqu'elles sont serrées viennent donc plaquer le miroir sur le pivot.

En conséquence, dès que l'on desserre un peu une vis, le miroir se soulève et le pivot n'est plus en contact et le secondaire bougera. La bonne solution, et donc de toujours agir sur deux vis en même temps (on desserre l'une et on serre l'autre). En réalité, le pivot et la pièce qui le supporte sont en plastique et permettent une certaine élasticité. Il est donc possible d'agir (légèrement) sur une seule vis. Mais dès qu'un ajustement un peu plus important doit être fait, il faut utiliser deux vis...



Systeme de réglage du secondaire des SC

Comme on doit agir sur deux vis en même temps (une en desserrant, l'autre en serrant), tandis que la troisième reste fixe, le mouvement du secondaire sera donc un mouvement de basculement autour d'un axe perpendiculaire à la ligne joignant les deux vis sur lesquelles on agit.



Système de réglage du secondaire des Newton

Beaucoup de réglages de miroir secondaires de Newton sont basés sur un système équivalent à celui des secondaires de Schmidt-Cassegrain, mais sont souvent inversés. C'est à dire que la vis centrale, vissée dans la pièce sur laquelle est collée le miroir, se comporte comme une vis tirante. Autour, on trouve trois vis poussantes. De la même manière qu'avec un secondaire de SC, il faudra desserrer une vis avant de resserrer un autre.

On peut noter que sur ce système, la vis centrale permet de régler la position du miroir secondaire dans le tube du télescope.

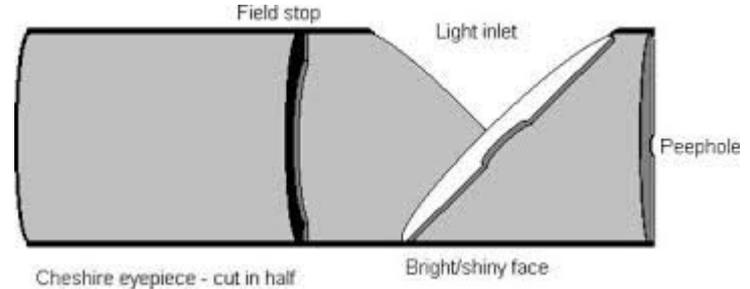
De même lorsque l'on desserre franchement l'une des vis poussante, le miroir devient libre de pivoter autour de la vis centrale. Ce mouvement pourra être utilisé lors du réglage grossier initial de l'instrument.



Les dispositifs de réglage: Oculaire Cheshire

Le “Cheshire” est un dispositif pour les télescopes Newton. Il se place dans le porte oculaire. Il est composé d'un minuscule trou, correctement centré, obligeant à mettre l'oeil dans l'axe du porte oculaire. On peut aussi un voir un tube (plus ou moins long) souvent équipé d'un réticule. On peut aussi constater la présence d'une surface claire à 45° et d'une ouverture permettant à la lumière de rentrer par le côté puis, après réflexion, de rentrer dans le télescope.

L'alignement entre le trou (l'oeil de l'observateur) et la croisée du réticule matérialise l'axe optique du porte oculaire.



Les dispositifs de réglage: Laser de collimation

Le “laser de collimation” s’insère dans le porte oculaire. Un faisceau laser très fin en sort et matérialise l’axe optique du porte oculaire. Après réflexions sur les miroirs, le laser est censé revenir sur lui-même. Il y a donc un moyen d’observer la position du spot lumineux de retour (sur les exemples illustrés, via un plan incliné à 45°, ou via un écran translucide).

Attention, il peut être utile de vérifier le réglage des collimateur laser. En le faisant tourner en prenant appuie sur le coulant, il faut vérifier que le spot laser ne bouge pas. Si c’est le cas, il faudra commencer par aligner son laser avant de faire une collimation.



Les dispositifs de réglage: L'étoile artificielle

Afin de collimater finement son télescope de jour, en observant une tache image dans l'oculaire (comme avec une étoile), il est possible d'utiliser une étoile artificielle. Ces boîtiers utilisent une fibre optique pour créer un point lumineux très petit ($9\mu\text{m}$ ou $50\mu\text{m}$).

A savoir aussi que le reflet d'une lampe ou du soleil sur une bille métallique peut aussi donner une étoile artificielle convaincante. Il faut privilégier les petites billes (\varnothing 3 à 5mm). Si la source de lumière fait 0.5° (soleil ou lune), un recul d'au moins 20 à 30m sera nécessaire. Si la source est petite (lampe de tel potable), on peut avoir moins de recul, mais un tube allonge sera probablement nécessaire au niveau de l'oculaire pour réussir à faire la mise au point.

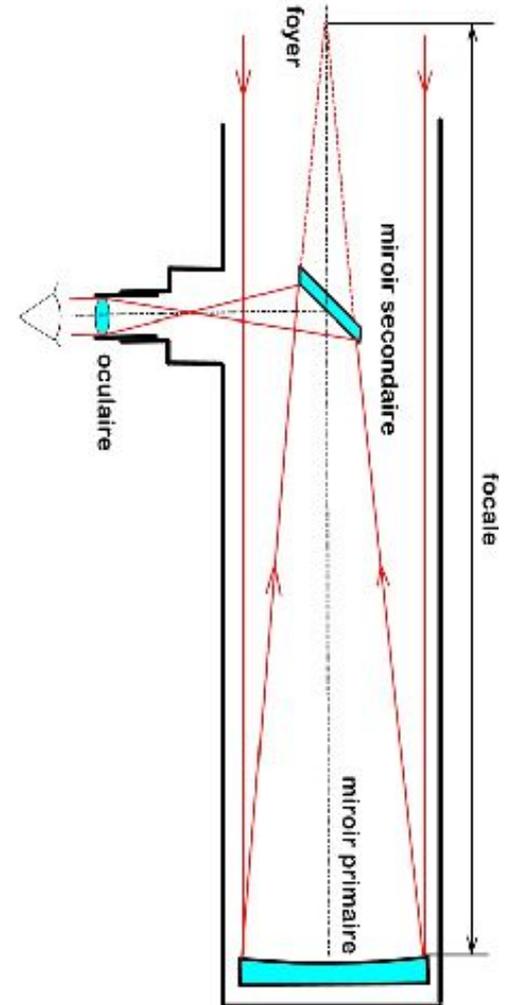
Ces dispositifs permettent de pratiquer un "star test" de la même façon qu'avec une vraie étoile sur le ciel. Il faudra cependant beaucoup de recul et les étoiles présenteront une aberration sphérique (non gênant pour la collimation).



Collimation du télescope Newton 1/

Quelques notions à savoir:

- La collimation consiste à annuler la coma au centre du champ. Autrement dit, elle consiste à ramener l'axe optique du miroir primaire au centre du porte oculaire, après réflexion sur le secondaire.
- Le miroir secondaire plan n'a pas de rôle optique (construction de l'image) mais n'est présent que pour sortir du tube l'image fournie par le primaire.
- Pour une position quelconque (pas idéale) du miroir secondaire, il existe une position du primaire qui permet d'annuler la coma. Mais le vignettage ne sera plus symétrique.
- La perpendicularité de l'axe du porte oculaire par rapport à l'axe du primaire n'est pas nécessaire.
- Si le télescope n'est pas trop mal aligné mais ne nécessite qu'un léger ajustement, passer directement à l'étape 4 (alignement du miroir primaire)

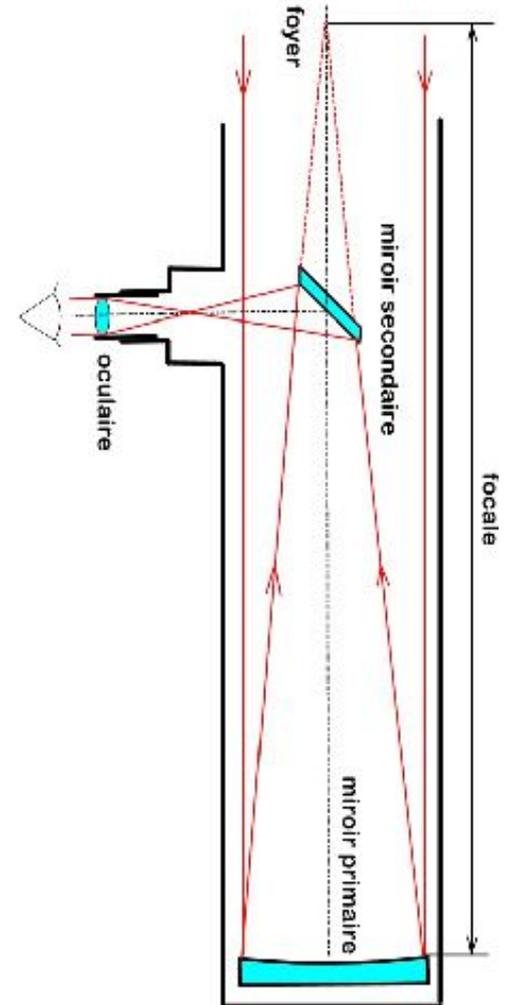


Collimation du télescope Newton 2/

Si l'instrument est équipé d'un correcteur de champ, commencer par l'enlever.

Alignement porte oculaire - miroir secondaire

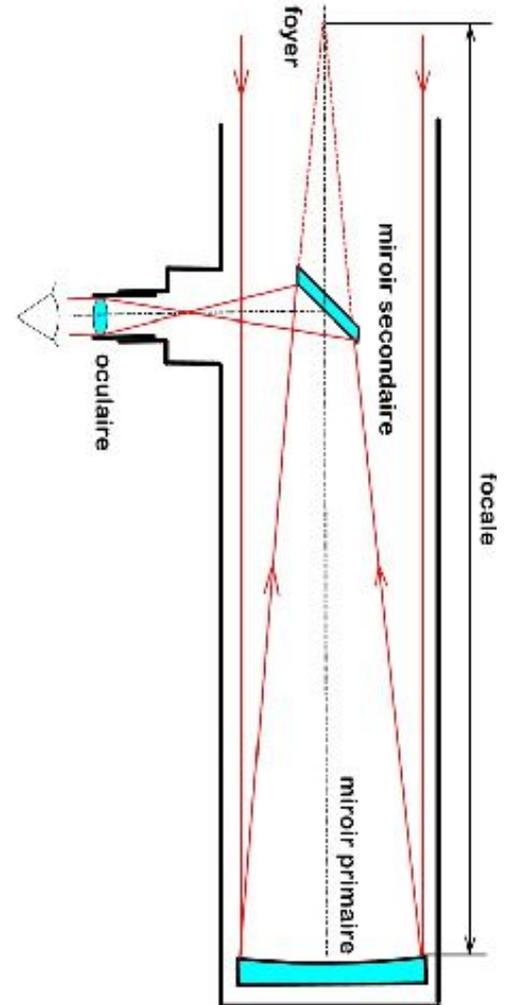
Ces deux composants doivent tout d'abord être en face d'un de l'autre. On place le Cheshire dans le porte oculaire et l'on regarde si son extrémité est concentrique avec le contour du miroir secondaire. En cas de besoin de correction, on peut agir sur la vis centrale de collimation du secondaire pour l'avancer vers le primaire. Pour un déplacement latéral, il est possible d'utiliser les vis qui fixent l'araignée. Si le porte oculaire est fixé sur une platine réglable, il sera plus facile d'agir sur cet ensemble plutôt que sur la position du miroir secondaire



Collimation du télescope Newton 3/

Réglage du tilt du secondaire.

Pour cette étape, nous utiliserons un laser qui devra venir au centre du miroir primaire. Si cela n'est déjà fait, il peut être utile de coller au centre du primaire un repère (oillet de classeur) pour marquer le centre, mais en le laissant libre. Agir sur les trois vis de réglage du miroir secondaire afin d'orienter le laser vers le centre du miroir primaire.

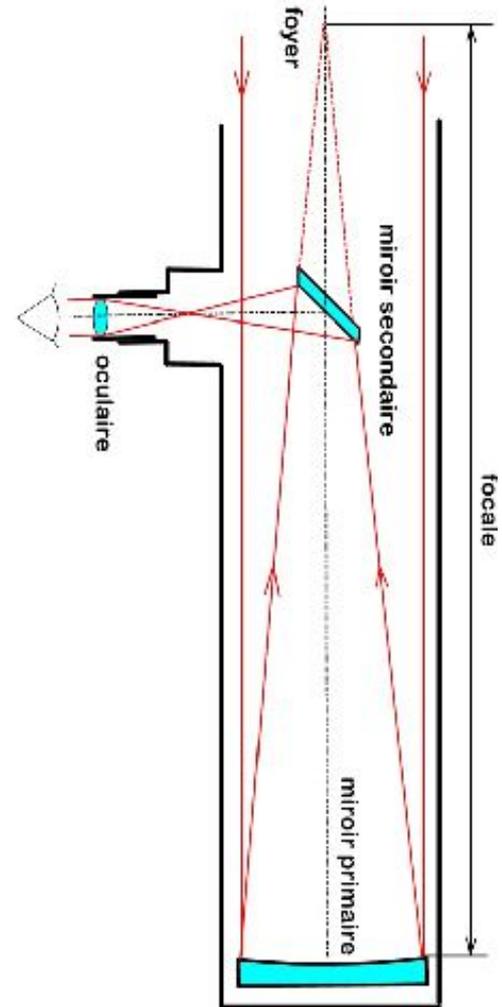


Collimation du télescope Newton 4/

Réglage du tilt du primaire.

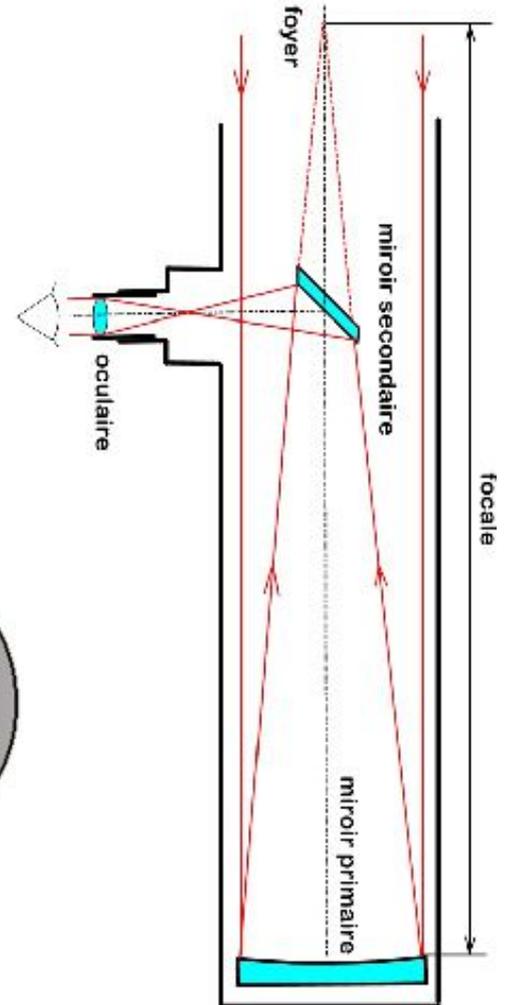
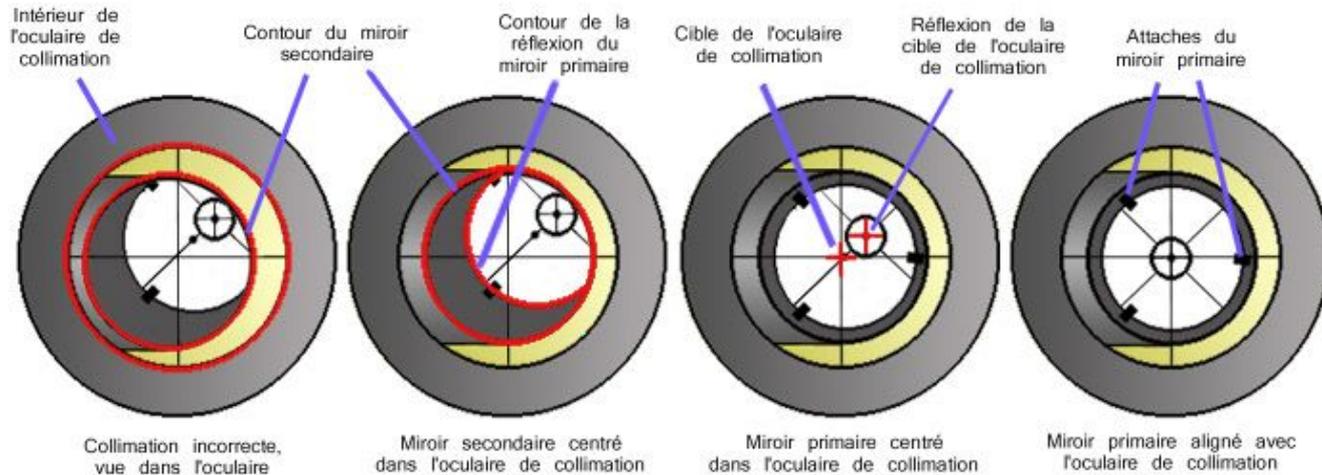
Agir sur les vis de collimation du miroir primaire afin que le faisceau laser revienne exactement sur lui-même.

Le réglage complet de jour est maintenant terminé. Dans la plupart des cas, le télescope donnera alors des images quasi parfaites. Cependant, pour le perfectionnistes, il peut être utile de pratiquer le “star test” et examinant avec soin l’image donnée par le télescope d’une étoile. Une très légère retouche de la position du primaire peut être éventuellement nécessaire...

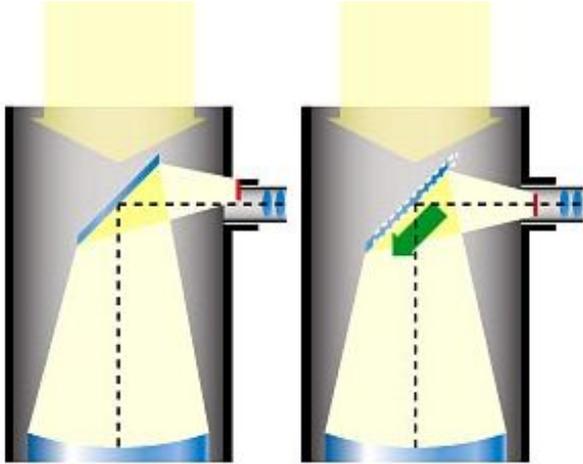


Collimation du télescope Newton

Une variante de la procédure proposée, uniquement à l'aide du Cheshire:



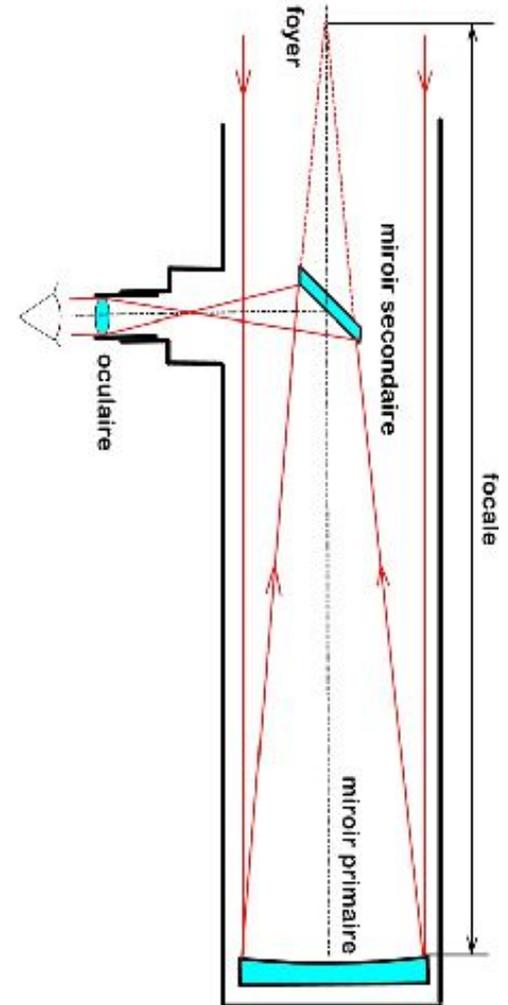
Collimation du télescope Newton



Le secondaire d'un télescope Newton ne doit pas être au centre du tube du télescope, mais légèrement décalé. Sinon, la collimation sur la coma resterait possible, mais le vignettage serait décalé. Ce besoin résulte du fait que le secondaire intercepte non pas un faisceau cylindrique, mais un faisceau convergent.

Le décalage est d'autant plus fort que l'ouverture du télescope et le champ de pleine lumière sont importants.

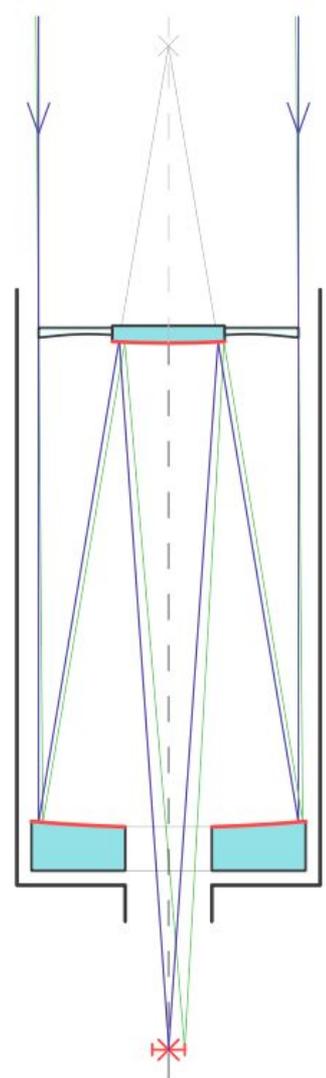
Ce décalage ou offset, est fixé à la fabrication et il n'y a généralement pas besoin de s'en préoccuper lors de la collimation.



Collimation du Schmidt-Cassegrain 1/

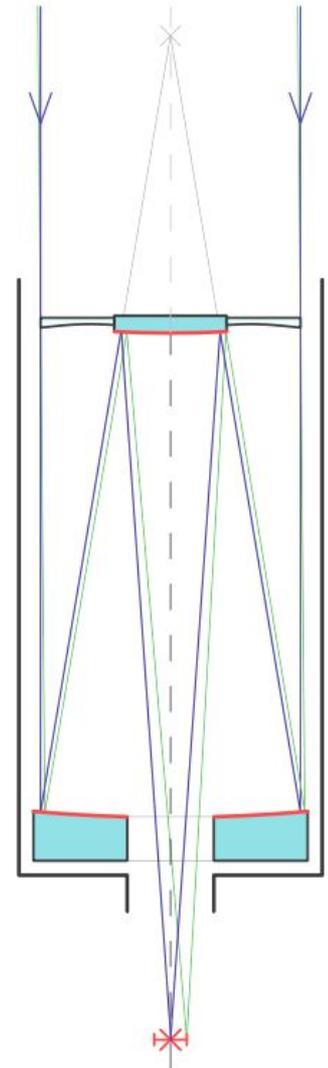
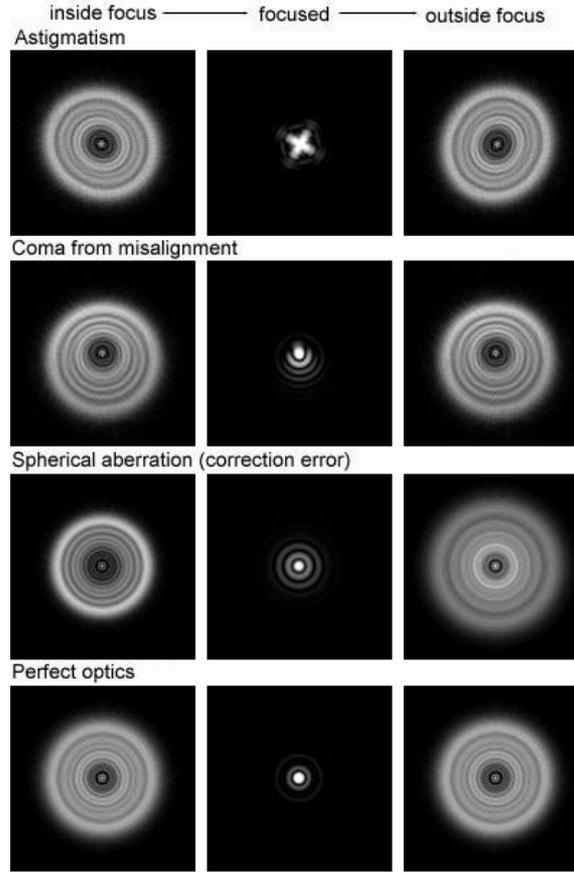
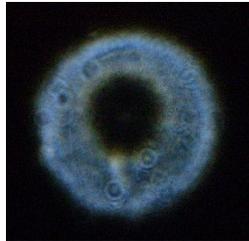
Quelques notions à savoir:

- Le primaire d'un SC est sphérique => il n'a pas d'axe optique, il ne se collimate pas.
- La lame de fermeture est utilisée en transmission et elle est à puissance nulle => elle ne se collimate pas.
- Seul le secondaire est réglable
- Le Cheshire ou le laser "classique" sont inutilisables. On ne collimatera qu'en examinant l'allure des étoiles au foyer (star test). La collimation peut se faire avec un oculaire, une CCD, ou même avec un montage optique + caméra planétaire.

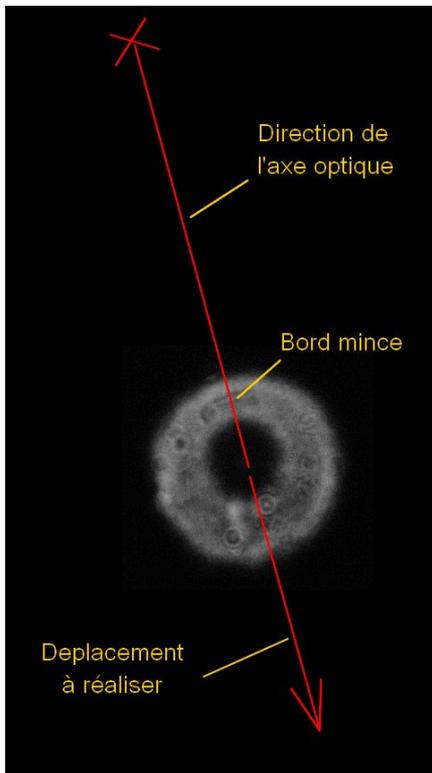


Collimation du Schmidt-Cassegrain 2/

Il faut tout d'abord examiner avec un grossissement important (1x à 2x le diamètre) l'allure d'une étoile que l'on aura mis bien au centre du champ. Seule la coma est un défaut d'alignement. L'astigmatisme, et l'aberration sphérique sont des défauts inhérents à l'optique et ne peuvent être corrigés par la collimation. Examiner l'étoile au foyer, mais aussi de chaque côté du foyer.

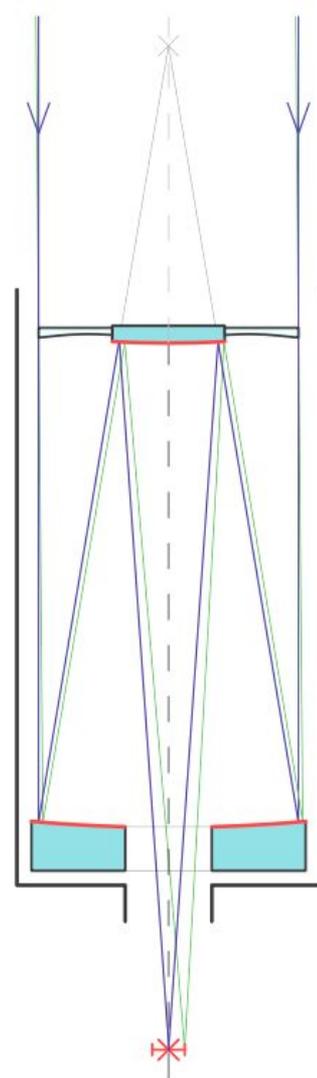


Collimation du Schmidt-Cassegrain 3/



On commence tout d'abord avec une étoile défocalisée. Mais avant de commencer à toucher les vis, il est important de décider ce que l'on veut faire. Cela veut dire qu'il faut choisir dans quelle direction l'étoile devra se déplacer lorsque l'on agira sur les vis. Il faut donc commencer par repérer ou se trouve l'axe optique de l'instrument. Avec une étoile défocalisée, l'axe optique se trouve en direction du bord le plus mince du donut. Pour ramener l'axe optique au centre du champ, il va donc falloir que la (les) vis choisie(s) permettent un déplacement de l'étoile du côté le plus épais du donut. Ne pas oublier, après une correction, de recentrer l'étoile dans le champ avant de l'examiner de nouveau.

Attention à ne pas utiliser cette méthode sur un Newton, car dans ces instruments le secondaire est volontairement décentré (offset).

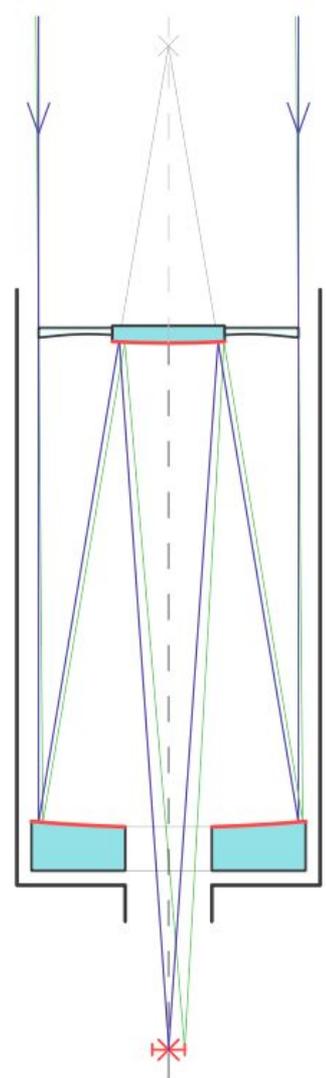


Collimation du Schmidt-Cassegrain 4/



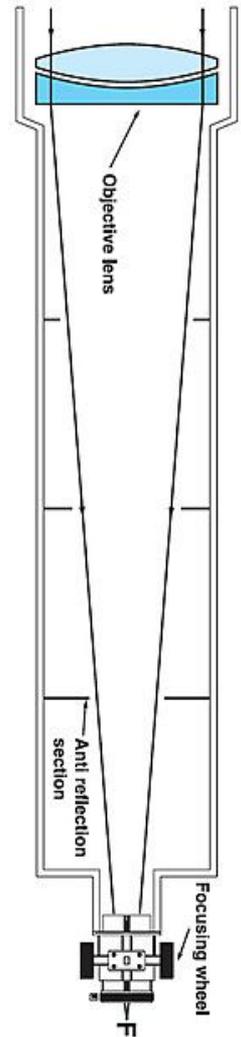
Après quelques essais, on devrait avoir un donut bien symétrique. Il faut donc passer à l'étape suivante. On focalise l'étoile et on examine la tache de diffraction. Cette seconde étape est plus précise, mais nécessite une bonne turbulence. Elle n'est pas toujours réalisable. Dans le doute, s'arrêter là.

La pointe de la figure de coma montre le direction de l'axe optique et il faudra donc trouver la vis qui va déplacer l'étoile du côté le plus large de cette figure. Le but est d'arriver à avoir un premier anneau de diffraction qui soit uniformément éclairé. Après une correction, ne pas oublier de recentrer l'étoile pour l'examiner.



Collimation des lunettes

Les lentilles qui composent l'objectif d'une lunette sont nettement moins sensibles à la décollimation que les miroirs d'un télescope. D'ailleurs beaucoup de lunettes sont vendues avec un objectif non réglable ayant la bonne position à la fabrication. Seules les lunettes de haut de gamme sont équipées d'objectifs réglables. Pour aligner ces objectifs on n'utilisera que l'examen de la figure de diffraction (il ne sert à rien de défocaliser comme avec un SC, car il n'y a pas de miroir secondaire).

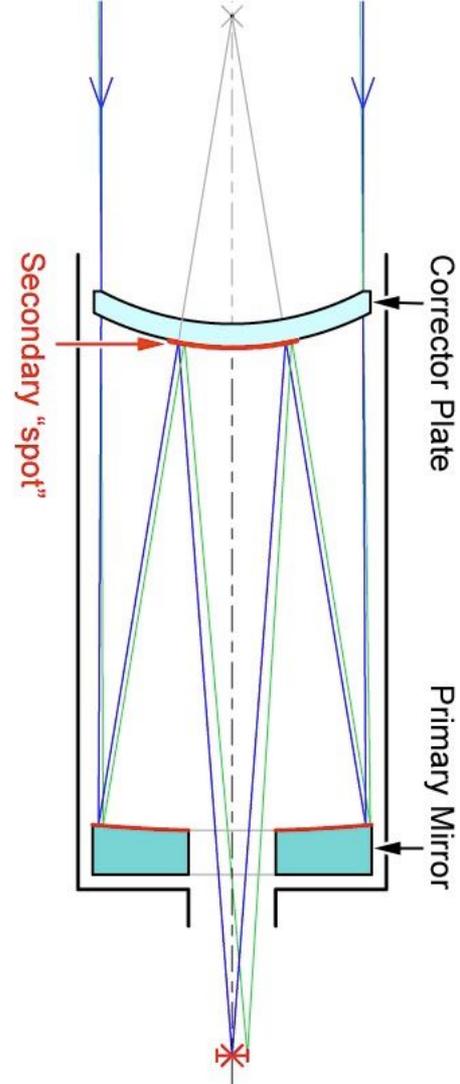


Collimation des Maksutov

Les Maksutov sont une famille de télescopes avec une lame de fermeture composée d'un ménisque épais ayant des faces concaves et convexes sphériques. On ne pourra agir que via la méthode de star test. Ces instruments sont généralement bien collimatés en usine et ne se dérèglent pas facilement.

Les petits Mak (90 et 127mm) sont généralement de la variante "Maksutov-Gregory": Leur secondaire n'est constitué que d'une zone aluminée sur la face convexe du ménisque. On ne peut donc agir que sur les vis de réglages du miroir primaire.

Les Mak plus gros (150mm et plus) sont souvent de la variante "Maksutov-Rumak". La lame de fermeture est alors percée et un miroir secondaire vient s'y monter, comme sur un SC. Sur cette variante, il est préférable de n'agir que sur le réglage du secondaire, comme avec un SC.



Conclusions

Les instruments d'amateur sont souvent construits pour être légers et sont souvent transportés. Leurs bons réglages sont donc généralement temporaires. Il ne sert à rien de dépenser des sous dans un télescope de bonne qualité, si c'est pour le laisser dérégulé en permanence. Avec un peu d'habitude, la collimation devient un réflexe et cela permet d'obtenir une image aussi bonne que ce que l'instrument est capable de fournir.

Merci de votre attention. Maintenant, au boulot...