# **SOMMAIRE**

#### 1 - DEFAUTS OPTIQUES DES TELESCOPES DUS A UN MAUVAIS ALIGNEMENT

- 1 1 Rappels d'optique géométrique et physique
- 1 2 Aberrations hors de l'axe optique
- 1 3 Vignetage
- 1 4 Objectifs de l'alignement des optiques d'un télescope

#### 2 - METHODOLOGIE DE REGLAGE DES OPTIQUES D'UN TELESCOPE

- 2 1 Généralités
- 2 2 Alignement de l'axe optique du primaire avec l'axe du tube
- 2 3 Perpendicularisation du porte-oculaire
- 2 4 Positionnement du secondaire
- 2 5 Alignement du secondaire sur le primaire
- 2 6 Alignement de l'axe optique du primaire
- 2 7 Vérification de l'alignement de l'axe optique du primaire avec l'axe du tube
- 2 8 Tests sur une étoile
- 2 9 Précision de collimation

### 3 - CONCLUSION

ANNEXE 1 - Tube collimateur

ANNEXE 2 – Masque obstruant centré

ANNEXE 3 – Diaphragme centré

ANNEXE 4 - Dimensionnement du secondaire

ANNEXE 5 - Collimateur laser

ANNEXE 6 - Galerie photo

**RESSOURCES** 

#### 1 - DEFAUTS OPTIQUES DES TELESCOPES DUS A UN MAUVAIS ALIGNEMENT :

## 1 - 1 - Rappels d'optique géométrique et physique :

## Figure de diffraction, résolution :

Lorsque l'on observe une source ponctuelle (étoile) avec un fort grossissement au travers d'un instrument astronomique optiquement parfait on n'obtient pas une image elle-même parfaitement ponctuelle mais une figure semblable à celle représentée ci-dessous (figure 1). Elle est constituée d'une tâche lumineuse centrale (où est concentrée environ 85% de l'énergie lumineuse) et d'anneaux concentriques de moins en moins lumineux au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre.

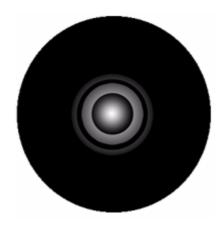


Figure 1: figure d'Airy

Cette figure appelée également « figure d'Airy » est due à la nature ondulatoire de la lumière et à un phénomène appelé diffraction. La tâche centrale ne représente pas l'image du diamètre de l'étoile qui, si les lois de la diffraction ne s'appliquaient pas, devrait être infiniment plus petite. Sa taille est d'autant plus petite que le diamètre de l'objectif est grand. La valeur de son rayon (exprimée en  $\mu$ ) est donnée par la formule suivante :

$$\rho = 1,22 \times \lambda \times F / D$$

avec  $\lambda$ : longueur d'onde de la lumière (dans le visible, on prend en général 0,56  $\mu$ )

**F** : longueur focale de l'objectif **D** : diamètre optique de l'objectif

Plus la tâche centrale est grande, plus le pouvoir résolvant de l'instrument sera limité (c'est à dire sa capacité à séparer deux étoiles extrêmement rapprochées)

## Système optique, objet, image :

On appellera ici système optique tout dispositif capable de donner une image d'un objet. On peut citer en guise d'exemples de systèmes optiques les lentilles simples ou multiples, les miroirs concaves, ...

On différencie les systèmes optiques convergents (qui produisent des images réelles) des systèmes optiques divergents (qui produisent des images virtuelles). Dans les chapitres suivants, nous aborderons uniquement des systèmes optiques convergents.

Par définition l'objet est situé en amont du système optique et l'image en aval. En astronomie, les objets sont souvent ponctuels (étoiles) et considérés à l'infini.

### Axe optique, centre optique :

L'axe optique est l'axe de symétrie d'un système optique. Dans les schémas (voir figure 2), on le représente par un trait d'axe. Le *centre optique* **O** est le point d'intersection de cet axe avec le système optique.

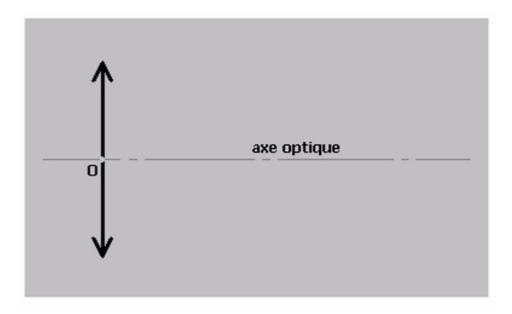


figure 2: symbolisation d'un système optique

### Rayons, faisceau:

Le rayon est l'élément de base que l'on étudie en optique géométrique en déterminant son cheminement au travers de différents systèmes optiques. Dans les schémas, il est représenté par une droite.

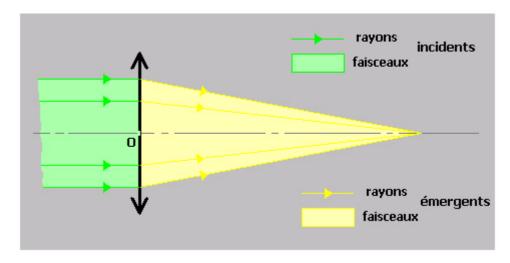


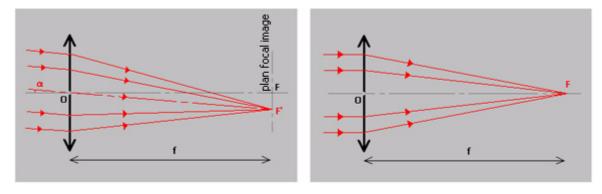
Figure 3: rayons et faisceaux

Un faisceau est un ensemble de rayons dont la section est limitée par l'ouverture d'un élément optique. Par exemple, l'objectif (lentille) d'une lunette astronomique intercepte un faisceau de rayons parallèles en provenance d'une étoile et produit un faisceau de rayons convergents qui va former l'image. Ainsi, un faisceau est contenu dans un volume qui peut être un cylindre (rayons parallèles) ou un cône (rayons convergents ou divergents).

On parle de rayons (et de faisceaux) incidents (en vert dans la figure 3) pour qualifier ceux qui, en provenance d'un objet, viennent « percuter » le système optique. Les rayons (les faisceaux) émergents (en jaune dans la figure 3) sont ceux qui, quant à eux, « sortent » du système optique pour former ensuite l'image.

## Foyers, plans focaux, longueur focale:

Dans un système optique convergent, les rayons incidents parallèles d'un faisceau en provenance d'un objet situé à l'infini (par exemple une étoile) convergent vers un point **F'** appelé *foyer* situé à une distance **f** du centre optique **O** (figure 4 gauche). Cette distance est appelée *distance focale*.



<u>Figure 4:</u> foyers, plans focaux, longueur focale (image)

Lorsque les rayons incidents sont parallèles à l'axe optique (figure 4 droite), ils convergent vers un foyer **F** situé sur ce même axe optique et appelé *foyer principal*.

L'ensemble des foyers (pour différents angles d'incidence  $\alpha$ ) vient former un plan **FF'** appelé *plan focal.* Celui-ci est perpendiculaire à l'axe optique. On parle dans ce cas de foyers et de plan focal image car c'est en ces lieux que se forme l'image d'un objet donné. Cette configuration correspond à des systèmes optiques tels que les objectifs de lunettes ou télescopes (lentilles ou miroir).

A l'inverse, lorsque la source ponctuelle est située au foyer d'un système optique convergent, les rayons qui en sont issus « sortent » parallèles entre eux (figure 5). On parle ici de foyers et de plan focal objet car c'est en ces lieux que se trouve l'objet (et non l'image). Cette configuration correspond par exemple au système optique que constitue l'oculaire.

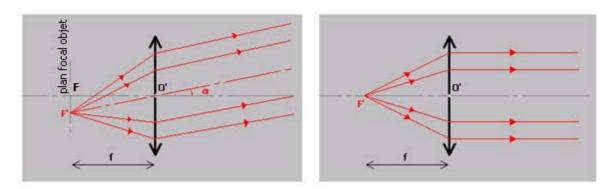


Figure 5: foyers, plans focaux, longueur focale (objet)

### <u>Lunettes et télescopes :</u>

Le principe optique de la lunette astronomique et du télescope est identique (figure 6) :

Un faisceau de rayons parallèles en provenance d'une source ponctuelle située à l'infini converge, après avoir rencontré l'objectif (lentilles ou miroir), vers un point image (foyer F') situé dans le plan focal image de l'objectif. La mise au point ayant été faite, le plan focal image de l'objectif est confondu avec le plan focal objet de l'oculaire. Le point image issu de l'objectif est « regardé » par l'oculaire pour qui il constitue un point objet. Ce dernier étant situé sur l'un des foyers de l'oculaire, les rayons sortant de ce dernier seront parallèles entre eux.

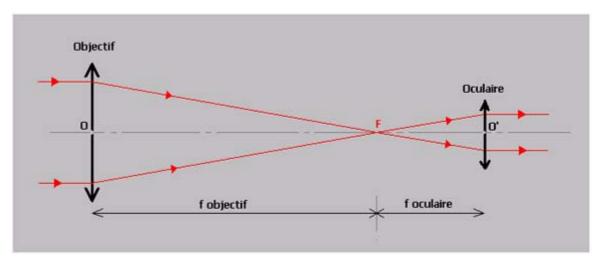


Figure 6: principe optique de la lunette

## 1 - 2 - Aberrations hors de l'axe optique :

### La coma:

Lorsque l'on observe une étoile située strictement sur l'axe optique d'un objectif parfait (figure 7 gauche), on obtient en son foyer principal **F** une image correspondant à la figure de diffraction classique décrite au paragraphe 1-1 (figure 7 droite).

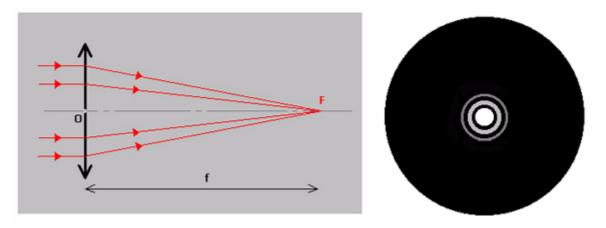


Figure 7: aspect de la figure de diffraction d'une étoile située sur l'axe optique

Si l'on décale maintenant la source ponctuelle objet hors de l'axe optique de telle manière qu'elle forme avec celui-ci un petit angle d'incidence  $\alpha$ , on obtient une nouvelle image de l'étoile située dans le plan focal image en F' et légèrement décalée de l'axe optique et du foyer principal F (figure 8 gauche). L'image ainsi obtenue ne présente plus l'aspect classique décrit ci-dessus mais une forme « d'aigrette » (figure 8 droite) qui caractérise le défaut de coma.

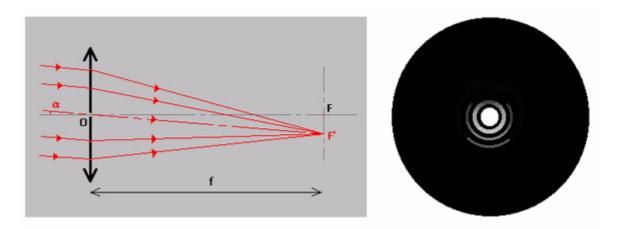


Figure 8: aspect de la figure de diffraction d'une étoile située hors de l'axe optique

Lorsque l'on observe un champ étendu d'étoiles dans le plan focal (par exemple sur une plaque photographique), on s'aperçoit que les « queues » des aigrettes sont orientées à l'opposé d'un point qui n'est autre que le foyer principal **F** situé sur l'axe optique (figure 9).

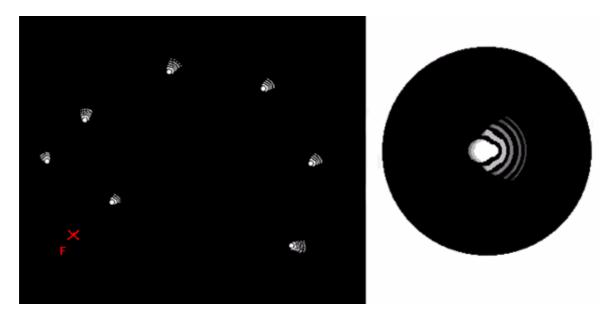


Figure 9: Champ d'étoiles affectées de coma

<u>Figure 10:</u> figure de diffraction affectée d'une forte coma

La longueur de l'aigrette est d'autant plus importante qu'elle est située loin de l'axe optique et que le rapport F/D de l'instrument est petit. La figure 10 représente l'aspect d'une étoile fortement décalée de l'axe optique et dont l'image présente un important défaut de coma.

## Astigmatisme et courbure de champ :

Si l'on pouvait faire abstraction de la coma lorsque l'on observe l'image d'une source ponctuelle située hors de l'axe, on s'apercevrait de la présence d'un autre défaut : l'astigmatisme.

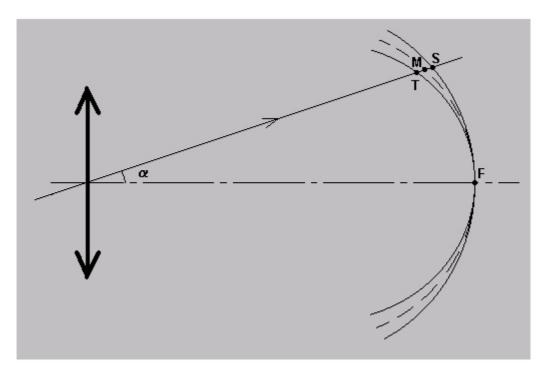
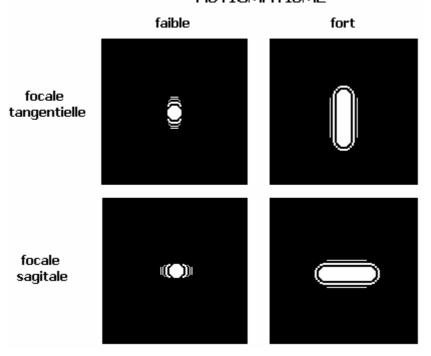


Figure 11: représentation des lieux des foyers d'un objectif

Celui-ci se caractérise par le fait qu'en s'éloignant de l'axe optique on ne peut plus obtenir une image nette unique au foyer de l'objectif mais deux, situées aux foyers **T** et **S** (respectivement foyer tangentiel et foyer sagittal) tel que décrit sur la figure 11. Lorsque l'on se place successivement au point **T** et au point **S**, on observe, dans le cas d'un télescope de type Newton, une image sous la forme d'un petit segment orienté verticalement puis horizontalement (figure 12).

# **ASTIGMATISME**



<u>Figure 12:</u> aspects de la tâche de diffraction en cas d'astigmatisme

La meilleure mise au point se trouve entre ces deux positions sur le point **M** (dit de « moindre aberration »). L'image de la tâche de diffraction s'y présente sous la forme d'un disque comportant des excroissances dans deux directions perpendiculaires. Les anneaux sont quant à eux interrompus (figure 13).

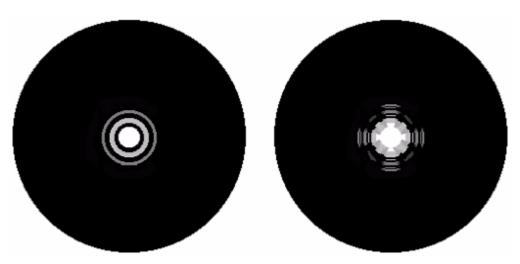


Figure 13: figure de diffraction parfaite

figure affectée d'astigmatisme

On s'aperçoit également que les lieux des focales sagittales, tangentielles et de moindre aberration se situent sur des sphères tangentes entre elles en **F** (figure 11). La courbure de la sphère **FM** est appelée *courbure de champ*. Ce phénomène

a pour conséquence le fait que l'on ne peut effectuer simultanément la netteté d'un champ étendu d'étoiles en tout point de la surface d'une plaque photographique plane.

### Coma et astigmatisme cumulés :

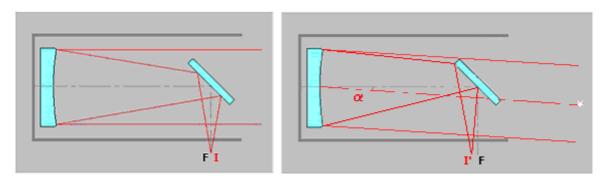
Dans la pratique, on n'observe pas séparément les aberrations de coma et d'astigmatisme mais leur effet cumulé qui se présente quasiment sous la forme de l'aigrette de la figure 8 ou 10. En effet, pour ce qui concerne le télescope de type Newton, l'essentiel du défaut est dû à la coma.

Même parfaits optiquement, les objectifs (mais également les oculaires) sont entachés d'aberrations de coma et d'astigmatisme dès que l'on observe une image éloignée de l'axe optique. Ces défauts ont pour effet d'empâter les images diminuant ainsi leur contraste et le pouvoir de résolution de l'instrument.

En imagerie, il est possible de les réduire en interposant avant le plan focal de l'objectif un système optique particulier appelé correcteur de champ.

# 1 - 3 - Vignetage:

Lorsque l'on observe dans un télescope une étoile située sur l'axe optique, on obtient son image I dans le plan focal, elle aussi sur l'axe optique (figure 14 gauche). Mais le télescope n'a pas pour unique fonction d'observer les seules étoiles situées sur son axe optique. Le but est aussi d'observer en même temps les étoiles (et autres objets) situés aux alentours dans ce que l'on appelle un champ. Ainsi, une étoile située à un angle  $\alpha$  de l'axe optique donnera dans le plan focal une image I' elle aussi décalée de l'axe optique (figure 14 droite).



<u>Figure 14 :</u> lieux des images d'une étoile observée sous différentes incidences

Si l'optique du télescope n'était pas entachée naturellement des aberrations décrites aux paragraphes précédents, on pourrait étendre le champ observable presque indéfiniment en augmentant l'angle  $\alpha$ . Dans la pratique, une limite est fixée à l'ouverture des faisceaux incident et émergent par les parties mécaniques et optiques de l'instrument qui ne peuvent être démesurée, en particulier le diamètre du tube.

Concernant ce dernier exemple de l'ouverture du tube, examinons plusieurs cas de figure : Observons au foyer d'un télescope une étoile dont l'angle d'incidence  $\alpha$  a été choisi de manière à ce que le faisceau incident tangente l'entrée du tube sur un côté (figure 15).

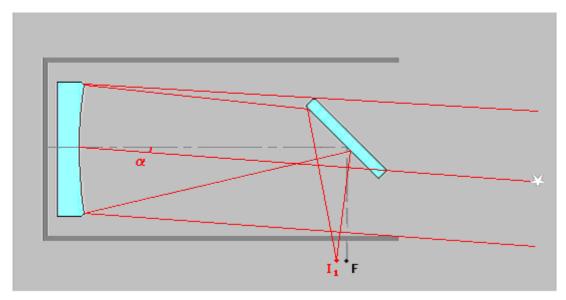


Figure 15 : faisceau incident tangentant l'ouverture du tube

Entre l'étoile et son image  $I_1$ , aucun obstacle ne vient interrompre chacun des rayons des faisceaux incidents et émergents, en particulier à l'entrée du tube. L'image  $I_1$  bénéficie ainsi de tout le « pouvoir lumineux » de l'instrument.

Si l'on décale encore l'étoile observée en augmentant l'angle d'incidence  $\alpha$ , on obtient la configuration décrite dans la figure 16).

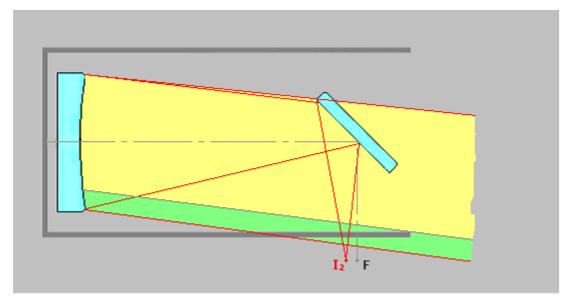
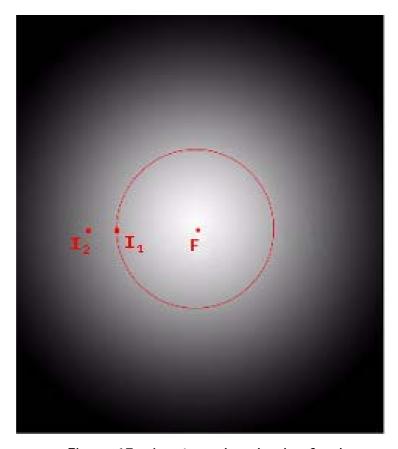


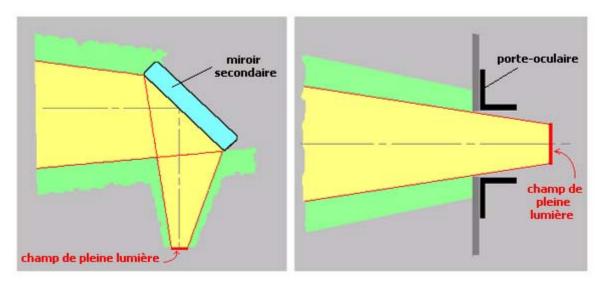
Figure 16 : faisceau incident diaphragmé par l'ouverture du tube

Dans ce cas, une partie du faisceau incident en provenance de l'étoile est interrompu par l'entrée du tube et n'atteint jamais le miroir primaire (partie verte). On ne recueille ainsi sur l'image  $\mathbf{I}_2$  de l'étoile que la partie du faisceau colorée en jaune. L'image de la même étoile en  $\mathbf{I}_2$  sera donc moins lumineuse qu'en  $\mathbf{I}_1$ . Si l'on représente le plan focal vu de face (figure 17), on peut ainsi identifier une zone circulaire (circonscrite dans le cercle rouge) centrée sur le foyer principal  $\mathbf{F}$  et sur la circonférence duquel on trouve le point  $\mathbf{I}_1$ . Tous les points de ce disque reçoivent la totalité de la lumière des étoiles du champ que ce disque délimite. Ils définissent ce que l'on appelle le *champ de pleine lumière*. Son diamètre dans le plan focal correspond à un champ angulaire sur le ciel de  $2\alpha$ .



<u>Figure 17:</u> vignetage dans le plan focal

Au delà de ce cercle, les images subissent des pertes lumineuses d'autant plus importantes que l'on s'éloigne du foyer principal **F**. On obtient ainsi un dégradé de plus en plus sombre. Ce phénomène s'appelle le *vignetage*. Il peut également être causé, pour les mêmes raisons, par toute partie du télescope formant diaphragme dans le faisceau incident ou émergent. C'est le cas par exemple du miroir secondaire et du tube porte-oculaire (figure 18) :



<u>Figure 18:</u> champs de pleine lumière définis par la dimension du miroir secondaire et du tube porte-oculaire

Le petit axe du secondaire et le diamètre de l'extrémité du tube porte oculaire définissent le faisceau (en jaune) et le champ (en rouge) de pleine lumière. En périphérie (zones vertes), l'intensité lumineuse diminue en s'éloignant de l'axe optique.

Le défaut de vignetage a plusieurs conséquences sur la qualité des images :

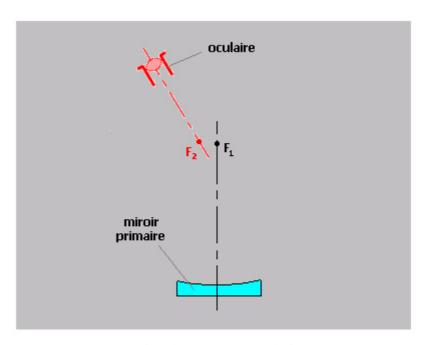
- En dehors du champ de pleine lumière, il y a une perte de luminosité. Dans ces zones, la magnitude limite observable est inférieure à la magnitude limite théorique de l'instrument donnée au centre du champ. Ce phénomène est particulièrement gênant pour l'observation ou la photographie à grand champ spécialement pour les travaux de photométrie.
- La réduction de la section du faisceau incident ou émergent peut être assimilée à la réduction du diamètre du miroir primaire. Pour les objets situés en dehors du champ de pleine lumière, il peut donc y avoir une diminution de la résolution de l'instrument. Cet effet n'est toutefois réellement perceptible que dans le cas d'un décentrement important des pièces optiques ou mécaniques.

En conclusion, il faudra veiller à dimensionner et positionner correctement les différentes pièces du télescope afin d'obtenir un champ de pleine lumière compatible avec les objectifs que l'on s'est fixés (voir Annexe 4 – Dimensionnement du secondaire).

Il faut toutefois relativiser les effets produits par le vignetage (pour peu que les pièces du télescope aient été à peu près correctement dimensionnées) : Les pertes de luminosité et de résolution sont minimes à comparer aux effets engendrés sur la qualité des images par les autres aberrations.

## 1 - 4 - Objectifs de l'alignement des optiques d'un télescope :

Lorsque les optiques d'un télescope sont déréglées, elles se présentent sous l'aspect de la figure 19 : L'axe optique de l'oculaire n'est pas parallèle à celui du miroir primaire et le foyer principal  $\mathbf{F_1}$  du miroir primaire n'est pas confondu avec le foyer principal  $\mathbf{F_2}$  de l'oculaire. Dans cette configuration, on « vise » avec l'oculaire un point situé hors de l'axe optique du miroir primaire. L'image observée sera donc entachée des aberrations de coma et d'astigmatisme (voir paragraphe 1-2).



<u>Figure 19:</u> désalignement total des optiques

Enfin, le centrage des éléments optiques et mécaniques n'est pas réalisé sur les faisceaux incident et émergent (figure 20).

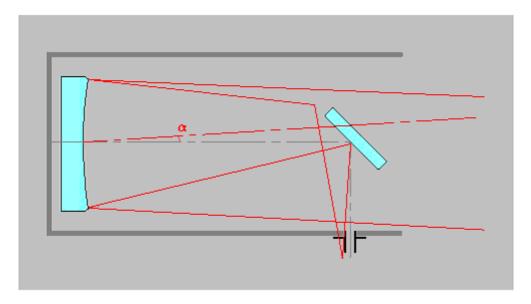


Figure 20: décentrage des parties mécaniques et optiques

Ainsi, le réglage optique d'un télescope a deux principaux objectifs :

- Aligner au mieux les axes optiques
- Bénéficier au maximum du champ de pleine lumière de l'instrument

## Aligner les axes optiques :

Le but ici est de faire en sorte que l'axe optique du miroir primaire et celui de l'oculaire (qui correspond à l'axe du tube porte-oculaire) soient parfaitement confondus.

Cette condition peut être décomposée en deux exigences à respecter :

- L'axe du miroir primaire et celui de l'oculaire doivent être parallèles (figure 21 gauche)
- Le foyer principal  $F_2$  de l'oculaire doit se confondre avec celui  $F_1$  du miroir primaire (figure 21 droite)

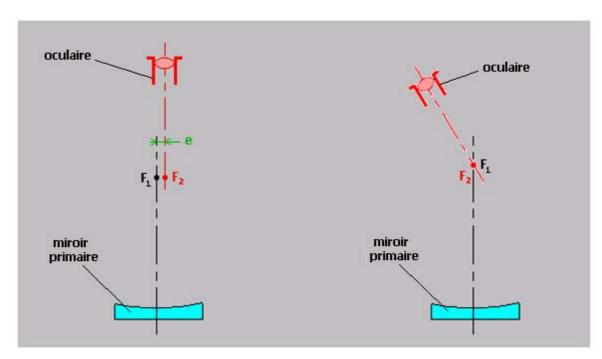


Figure 21 : conditions à réunir pour collimater les optiques

Ces deux conditions étant simultanément réunies, on obtient un alignement parfait des optiques (figure 22).

Cette opération de réglage porte le nom de collimation.

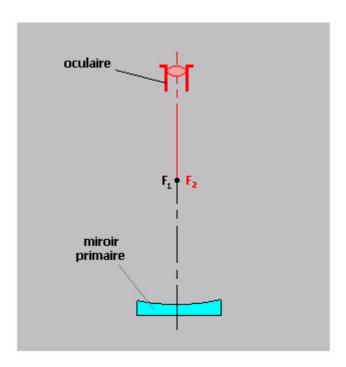


Figure 22: configuration d'une collimation parfaite

Le « parfait » n'étant pas de ce monde, il est à noter que l'on pourra malgré tout effectuer ce réglage avec une certaine tolérance à l'intérieur de laquelle le système optique n'engendrera pas d'aberration visible. D'après Danjon et Couder <sup>(1)</sup>, l'écart de décentrage **e** admissible pour l'observation visuelle (figure 21 gauche), dans le cas du télescope de type Newton, est donné par la formule :

$$e = 0.010928 \times (F/D)^3$$

avec:

F: longueur focale de miroir primaire
D: diamètre optique du miroir primaire
e: écart de décentrage toléré (en mm)

Pour l'imagerie CCD et la photographie argentique, cette tolérance dépend de la taille des pixels ou des grains du film photographique et du grandissement utilisé. La formule ci-dessus confirme qu'il sera d'autant plus délicat de collimater correctement un instrument que son rapport F/D sera petit. Le tableau ci-dessous donne quelques exemples de tolérances de centrage en fonction de l'ouverture relative de l'instrument :

F/D	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
e (en mm)	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4	1,8	2,4	3,0	3,7	4,6	5,6	6,7	8,0	9,4	10,9

Il est enfin à souligner, au vu des données ci-dessus, que le diamètre optique seul n'est pas un paramètre entrant dans la tolérance de centrage. Par exemple un télescope de 1m de diamètre à F/D=4 aura la même tolérance de centrage de ses optiques qu'un télescope de 150 mm de diamètre lui aussi à F/D=4 soit 0,7 mm! Par contre, il est évident qu'il sera bien plus difficile de collimater le télescope de 1m et de faire en sorte que ce réglage dure dans le temps (flexions mécaniques, dilatations, ...)

# Bénéficier au maximum du champ de pleine lumière :

Il faut s'attacher à faire en sorte que les parties mécaniques et optiques de l'instrument diaphragment le faisceau incident et émergent de manière parfaitement centrée selon leur axe.

Les figures 23 à 25 donnent quelques exemples de ce qu'il faut et ne faut pas faire dans le positionnement des principaux éléments optiques et mécaniques diaphragmant le faisceau.

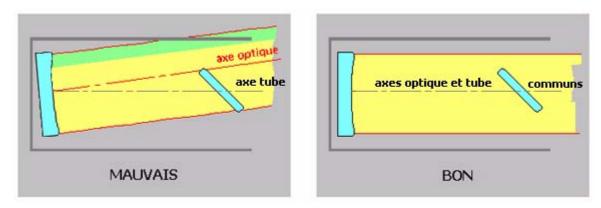


Figure 23: vignetage dû à l'entrée du tube

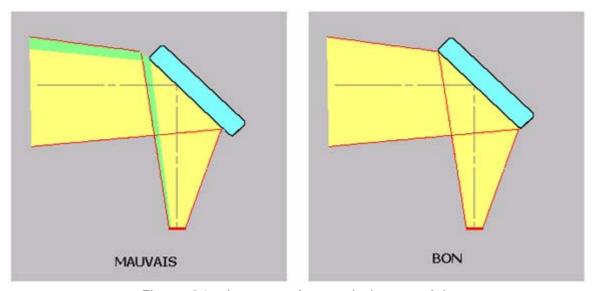


Figure 24: vignetage dû au miroir secondaire

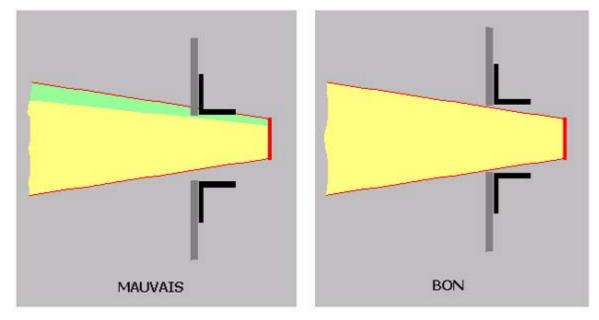


Figure 25: vignetage dû au tube porte-oculaire

#### 2 – METHODOLOGIE DE REGLAGE DES OPTIQUES D'UN TELESCOPE :

#### 2 - 1 - Généralités :

Nous allons nous efforcer, dans les paragraphes suivants, de décrire le réglage des optiques d'un télescope de type Newton. Nous aborderons tous les réglages possibles en partant du principe que l'instrument utilisé est de fabrication personnelle et qu'il a de ce fait été conçu pour en permettre un maximum. Les instruments du commerce, quant à eux, n'autorisent en général pas l'ensemble des réglages que nous allons décrire. Ils ne sont d'ailleurs pas tous absolument nécessaires dans tel ou tel cas.

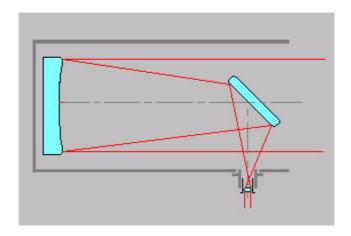


Figure 26: télescope de type Newton

La combinaison optique d'un télescope de type Newton est constituée d'un miroir primaire concave et parabolique ainsi que d'un miroir secondaire plan orienté à 45° déportant le foyer principal sur le côté du tube (figure 26).

La méthodologie de réglage d'autres types d'instruments n'est pas développée dans ces lignes, et en particulier :

• Les lunettes astronomiques (figure 27) : Ces instruments ont en général des tolérances de centrage importantes (F/D grand) et disposent d'objectifs montés de manière suffisamment stable pour qu'il soit inutile, dans la plupart des cas, de procéder périodiquement à leur réglage.

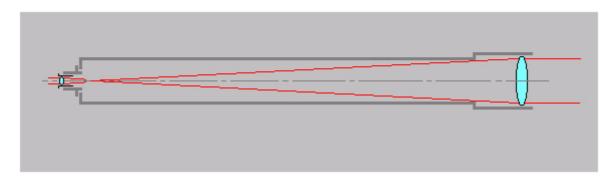


Figure 27: lunette astronomique

 Les télescopes de type Cassegrain classique (figure 28): La méthodologie de réglage décrite ci-après pour le type Newton est directement transposable. Le fait que la forme du miroir secondaire et la position du porte oculaire diffèrent par-rapport au type Newton n'induit pas pour autant de différence notable dans la façon de conduire les réglages.

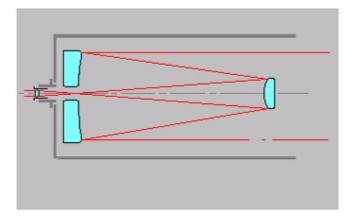


Figure 28: télescope de type Cassegrain

 Les télescopes de type Schmidt-Cassegrain du commerce (figure 29): Dans ce type d'instrument, seul le miroir secondaire est réglable en inclinaison par le biais de trois petites vis. On pourra toutefois se référer au paragraphe 2 - 8 pour effectuer la collimation.

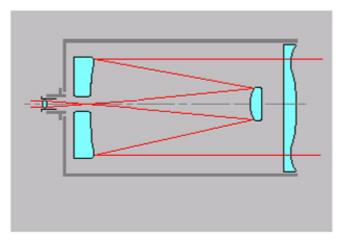


Figure 29: télescope de type Schmidt-Cassegrain

Le miroir primaire est maintenu mécaniquement dans un *barillet* qui est le plus souvent doté de vis de réglage de l'inclinaison du miroir. Dans la conception la plus classique et la plus simple du barillet (figure 30), on dispose de trois vis de réglage disposées à 120° sur lesquelles reposent le miroir primaire. En vissant et dévissant celles-ci, on oriente légèrement l'axe du miroir primaire.

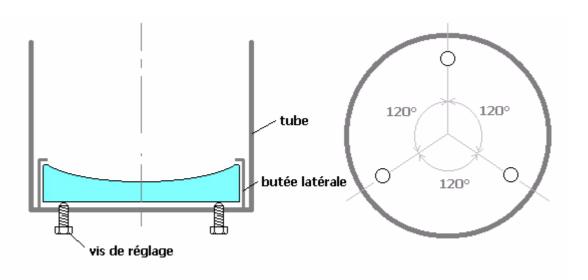


Figure 30: barillet simple

Certains barillets un peu plus perfectionnés (figure 31) sont constitués d'un plateau/support mobile sur lequel repose le primaire (sur 3 touches minimum). Le plateau est orientable en inclinaison grâce à trois vis poussantes. Trois autres vis, tirantes celles-ci, permettent après serrage de stabiliser l'ensemble en position une fois le réglage effectué.

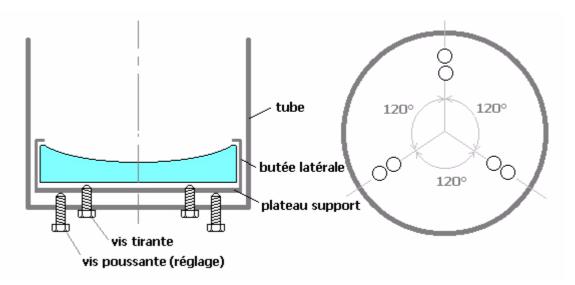


Figure 31: barillet à plateau support

Le miroir secondaire est également maintenu mécaniquement dans un support orientable par l'intermédiaire de trois vis poussantes (figure 32) qui autorisent les degrés de liberté ① et ②. Une vis tirante centrale qui sert également d'axe de rotation ③ permet le maintient en place du support après réglage. L'ensemble est fixé au tube du télescope à l'aide d'une *araignée* constituée de trois ou quatre branches (parfois une seule). L'extrémité des branches de l'araignée dispose parfois d'une vis de réglage permettant le centrage du support du secondaire dans le tube du télescope ④.

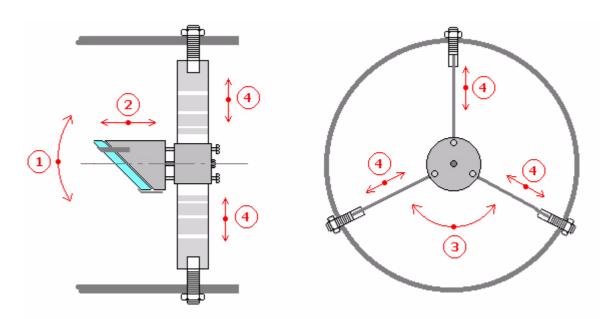


Figure 32: support du miroir secondaire

Enfin, le télescope dispose d'un porte-oculaire. Celui-ci a pour fonction de maintenir en place l'oculaire (ou l'appareil d'imagerie) pendant les observations et de réaliser la mise au point (crémaillère ou cabestan). Dans la plupart des télescopes du commerce, le porte oculaire ne dispose d'aucun système de réglage de son positionnement (figure 33 gauche). Plus rarement (figure 33 droite), certains sont équipés de porte-oculaires permettant un mouvement d'oscillation  $\Phi$  ou de translation  $\Phi$  facilitant ainsi les réglages (essentiellement les télescopes de fabrication personnelle).

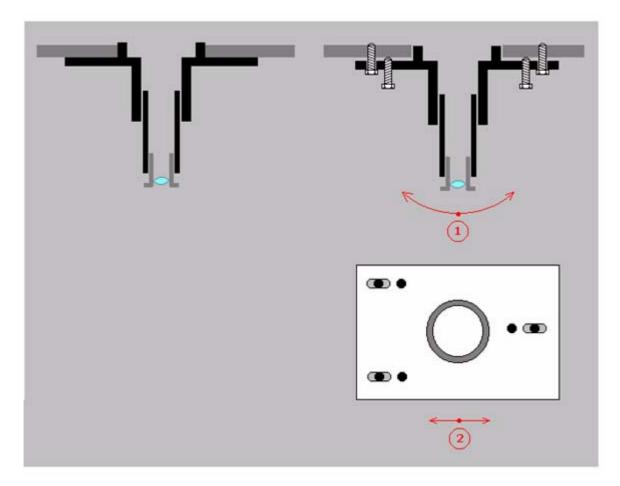


Figure 33: porte-oculaire

Les opérations de réglage vont s'effectuer en deux temps :

- une première étape réalisée de jour va consister à aligner sommairement les optiques du télescope (paragraphes 2-2 à 2-7). Cette phase ne s'impose en général que lors du premier montage des différentes pièces du télescope.
- une deuxième étape réalisée de nuit sur une étoile va permettre de peaufiner les réglages (paragraphe 2-8).

## 2 - 2 - Alignement de l'axe optique du primaire avec l'axe du tube :

Cet alignement a pour objectif d'éviter le vignetage (voir paragraphe 1 - 3 et figure 17) causé par l'ouverture du tube du télescope.

Pour cela, on dispose devant l'entrée du tube une croisée de fils (3 mm de diamètre minimum) parfaitement centrée sur l'axe de celui-ci (figure 34).

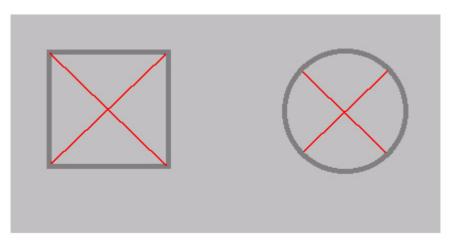


Figure 34: croisée de fils de centrage

Les branches de l'araignée peuvent éventuellement faire l'affaire si elles sont parfaitement centrées sur l'axe du tube (cela n'est pas toujours le cas). On place ensuite l'œil le plus précisément possible dans l'axe du tube à une distance d'au moins deux fois sa longueur (figure 35).

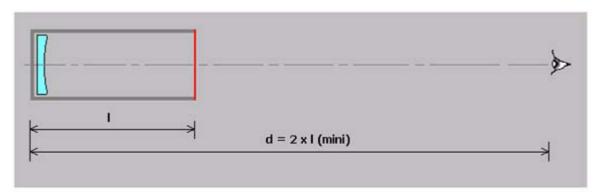


Figure 35: configuration d'alignement

Si le primaire est mal aligné, on observe l'aspect de la figure 36 à gauche. Il convient alors d'agir sur les vis situées au dos du barillet du primaire jusqu'à parfaite superposition de la croisée des fils avec leur reflet dans le miroir (figure 36 droite).

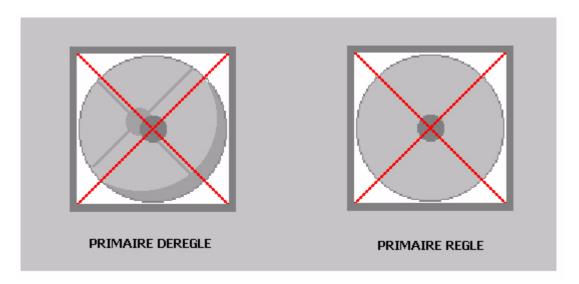
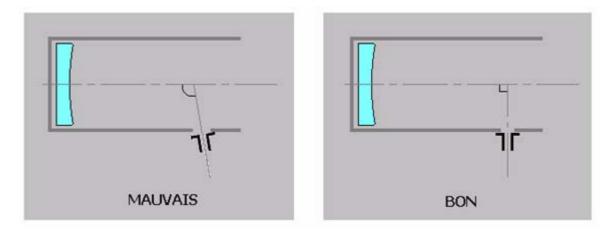


Figure 36: aspects observés lors du réglage

Il va de soi que ce réglage ne sera fiable qu'à condition que le primaire repose parfaitement sur ses appuis (ce qui n'est pas évident lorsque le tube est quasiment horizontal). Il est ainsi conseillé d'incliner légèrement le tube vers le haut jusqu'à ce que le primaire repose normalement sur son support. L'observateur pourra alors se positionner au sommet d'un escabeau ou d'un escalier. Par contre, pour un instrument installé sous coupole, l'opération peut s'avérer délicate.

# 2 - 3 - Perpendicularisation du porte-oculaire :

Si le porte-oculaire dispose d'un réglage en orientation (mouvement ① de la figure 33 droite), il est souhaitable de vérifier la bonne perpendicularité de son axe avec celui du tube du télescope (figure 37).



<u>Figure 37:</u> configurations du porte-oculaire sur le tube

Pour cela, on utilise un tube collimateur (voir annexe 1) et un petit miroir plan (type maquillage) que l'on dispose face au porte-oculaire plaqué sur l'intérieur du tube du télescope alors que le support du secondaire n'est pas encore installé (figure 38).

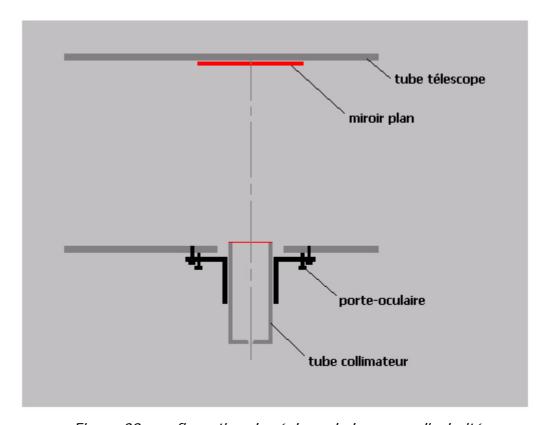


Figure 38: configuration de réglage de la perpendicularité

Lorsque la perpendicularité n'est pas effective, on observe par l'œilleton du tube collimateur l'aspect décrit dans la figure 39 à gauche. Le réticule, le reflet de celuici et l'œilleton ne se superposent pas.

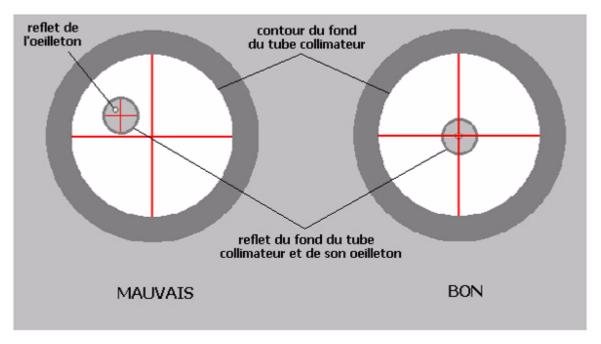


Figure 39: aspects observés lors du réglage de perpendicularité

Il convient alors d'agir sur les vis poussantes et tirantes du porte-oculaire jusqu'à obtenir cette superposition (figure 39 droite).

## 2 - 4 - Positionnement du secondaire :

Avant de se lancer dans le positionnement du secondaire, il convient d'observer la figure 40.

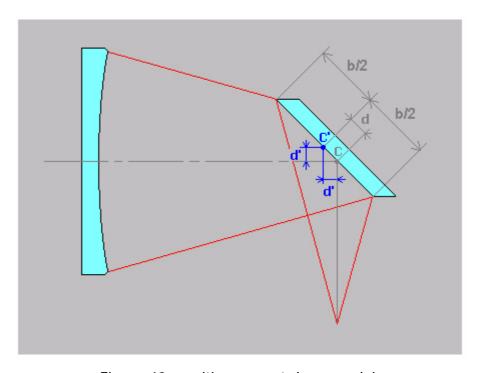


Figure 40: positionnement du secondaire

On y remarque que, bizarrement, l'axe optique du primaire vient frapper le secondaire en un point **C** qui ne correspond pas à son centre géométrique **C'** (à condition que le contour du secondaire soit normalement inscrit dans le cône du faisceau émergent). Ainsi, on note un décalage **d** entre ces deux points qui correspond à un double décalage du centre du secondaire :

- D'une distance **d'** dans l'axe du porte-oculaire et à l'opposé de celui-ci.
- D'une distance **d'** (la même) selon l'axe optique et en direction du primaire.

La valeur des décalages d' est donnée par la formule :

avec:

a : petit axe du miroir secondaire (en mm)F : longueur focale du primaire (en mm)D : diamètre optique du primaire (en mm)

On obtient facilement la valeur du décalage **d** (dans le plan de la face optique du secondaire):

$$d = d'.\sqrt{2}$$

Ainsi, si l'on néglige ce décalage en positionnant le centre **C'** du secondaire sur l'axe optique du primaire, le contour du secondaire ne s'inscrira plus parfaitement dans le cône du faisceau émergent (figure 41). La conséquence sera un défaut de vignetage dans le champ observé. Pour l'éviter, il convient donc de réaliser le décalage du secondaire. Il arrive fréquemment que les instruments du commerce ne l'intègrent pas à la construction et ne l'autorise pas non plus ultérieurement par un système de réglage. Cet inconvénient est toutefois sans grande conséquence pour des instruments de petit diamètre au rapport F/D assez élevé.

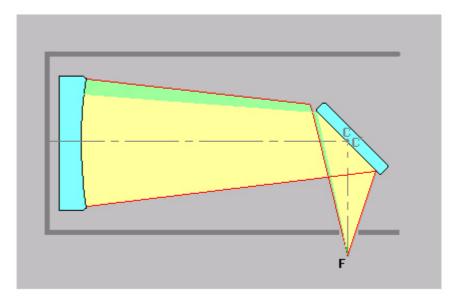


Figure 41: configuration sans décalage

Malgré tout, chaque fois que cela sera possible, on aura intérêt à commencer par le décalage du secondaire à l'opposé du porte-oculaire (figure 42).

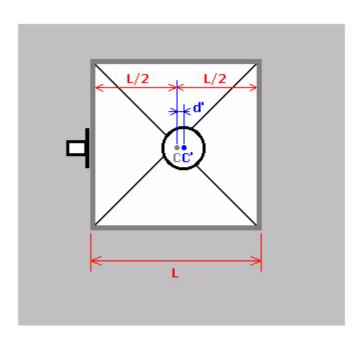
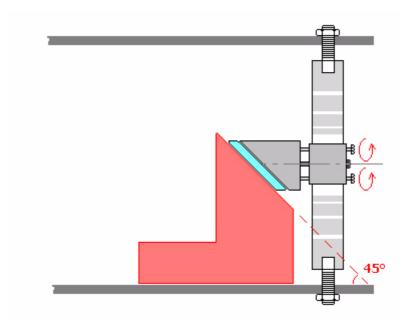


Figure 42: décalage vu face à l'entrée du tube

Dans les télescopes de fabrication personnelle, cette disposition devra être intégrée dans la conception du support du secondaire tout en veillant à ce que les branches de l'araignée se croisent, elles, dans l'axe du tube du télescope. La réalisation

d'une épure à grande échelle selon plusieurs vues facilite grandement le dimensionnement des pièces. Une fois le montage en place, on pourra affiner le décalage en jouant sur les vis de réglage (si elles existent) situées aux extrémités des pattes de l'araignée afin de s'assurer que le point **C**, que l'on aura préalablement marqué au feutre directement sur le secondaire, est bien à équidistance des bords intérieurs du tube du télescope (figure 42). Pour ce faire, on s'aidera d'une règle graduée ou d'une jauge en carton.

Cette étape étant réalisée, on doit maintenant faire en sorte que le secondaire soit bien incliné à 45°. Pour cela, on utilise un gabarit en carton que l'on fait tangenter à la surface du secondaire (figure 43).



<u>Figure 43:</u> réglage de l'inclinaison du miroir secondaire

La bonne inclinaison est trouvée en agissant sur les trois vis de réglage situées sur le support du secondaire.

L'étape suivante consiste à faire coïncider l'axe du porte-oculaire avec le point **C** du secondaire que l'axe optique du primaire viendra lui-même frapper (figure 44).

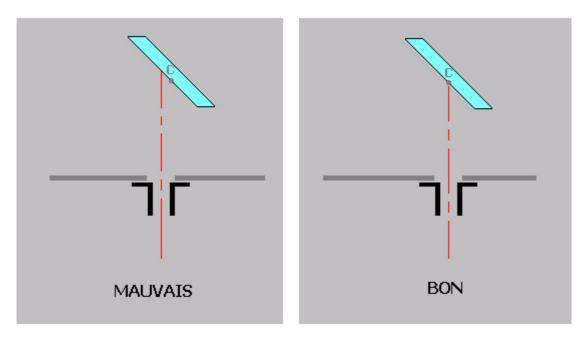


Figure 44: décalage avec l'axe du porte-oculaire

On réalisera ainsi le décalage d' avec l'axe du porte-oculaire (figure 40). Dans ce but, on installe le tube collimateur dans le porte-oculaire et l'on observe à travers lui la marque au feutre réalisée sur le secondaire. Si celle-ci n'est pas parfaitement centrée dans la croisée du réticule, on devra déplacer le secondaire parallèlement à lui-même le long de l'axe du tube du télescope. Pour ce faire, on tournera d'une même fraction de tour chacune des trois vis de réglage du support du secondaire jusqu'au bon positionnement. Si le porte-oculaire en est doté, on utilisera avantageusement son réglage en translation (mouvement @ figure 33). Si parailleurs la marque du point C apparaît en dessus ou en dessous de la croisée du réticule (figure 45), c'est que le porte-oculaire n'a pas été exactement positionné au milieu de la paroi du tube du télescope qui le soutient ou que le support du secondaire est trop haut ou trop bas. Dans le premier cas, il sera nécessaire de modifier légèrement l'adaptation mécanique du porte-oculaire sur le tube du télescope. Dans le deuxième cas, on décalera légèrement le support du secondaire vers le haut ou vers le bas en agissant sur les vis situées aux extrémités des pattes de l'araignée.

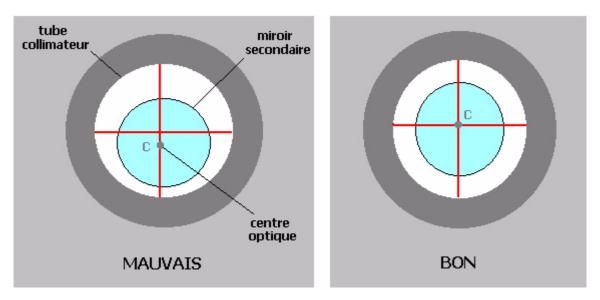


Figure 45: centrage vertical du secondaire avec l'axe du porte-oculaire

Lorsque l'on ne dispose pas de tube collimateur, on peut toutefois effectuer ce réglage en positionnant l'œil à l'arrière et dans l'axe du tube porte-oculaire à une distance suffisante pour que le contour du secondaire vienne tout juste s'inscrire à l'intérieur du bord circulaire interne du tube porte-oculaire (figure 46).

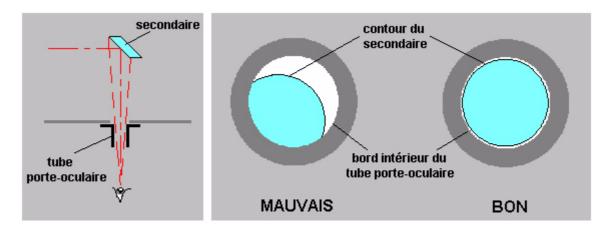


Figure 46: configuration de centrage du secondaire à l'aide du tube porte-oculaire

La difficulté consiste à aligner l'œil au mieux dans l'axe du tube porte-oculaire. Cette condition sera satisfaite dès lors que l'on observera les contours circulaires des bords interne et externe de ce tube parfaitement concentriques (figure 47).

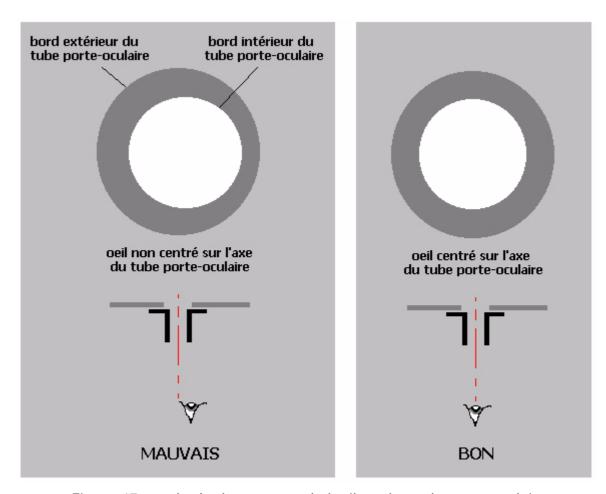


Figure 47: méthode de centrage de l'œil sur l'axe du porte-oculaire

Pour faciliter les opérations, cette étape doit être réalisée en plein jour avec un bon niveau d'éclairement naturel. Il en va d'ailleurs de même pour les étapes décrites aux paragraphes 2 - 5 à 2 - 7. De plus, l'intérieur du tube du télescope étant en général noir mat, on aura intérêt à disposer un écran clair (type feuille de Canson blanche) à l'intérieur face au tube porte-oculaire. De cette façon les contrastes seront rehaussés faisant ainsi mieux apparaître les contours des différentes pièces optiques et mécaniques.

## 2 - 5 - Alignement du secondaire sur le primaire :

Il s'agit ici de fignoler le réglage d'inclinaison du secondaire afin que l'axe du porte-oculaire vienne « percuter » le centre du primaire après réflexion sur le secondaire (figure 48).

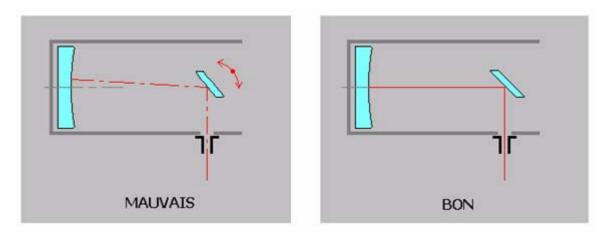
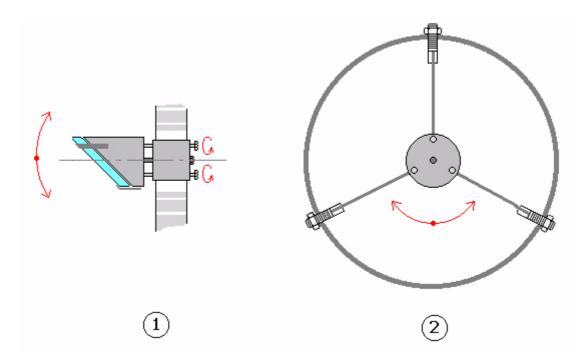


Figure 48: configuration de la finalisation du réglage d'inclinaison du secondaire

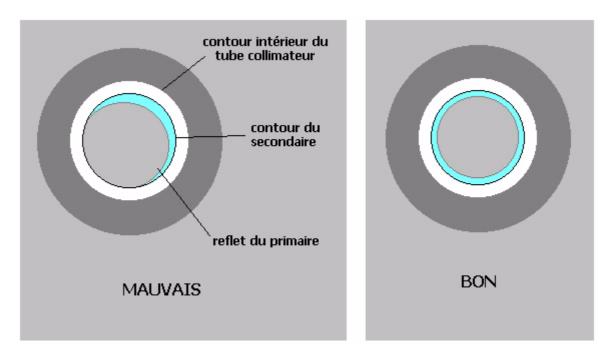
Pour faciliter les opérations, il est pratique de matérialiser le centre du miroir primaire (rond au feutre ou œillet autocollant de 5 mm de diamètre minimum). On installe ensuite le tube collimateur dans le porte-oculaire et on ajuste l'orientation du secondaire à l'aide de ses trois vis de réglage (figure 49 - ①) jusqu'à voir apparaître la marque du centre du primaire à la croisée des fils du réticule. Pour atteindre ce résultat, il peut également être nécessaire de faire pivoter le secondaire sur lui-même (figure 49 - ②).



<u>Figure 49:</u> réglages fins d'inclinaison du miroir secondaire

Lorsque l'on ne dispose pas de tube collimateur ou si le centre du primaire ne peut être marqué (trou central pour combinaison Cassegrain), cet alignement peut être réalisé de la façon suivante :

On positionne l'œil à l'arrière et dans l'axe du porte-oculaire (comme lors de l'étape décrite au paragraphe 2 - 4 ). Si le réglage effectué lors de l'étape décrite au paragraphe 2 - 4 a été bien mené, on observe le contour du secondaire centré dans le tube (figure 46). Il faut maintenant centrer en plus le reflet du miroir primaire dans le contour du miroir secondaire (figure 50) en orientant le support du secondaire suivant ses différents degrés de liberté et à l'aide de ses trois vis de réglage.



<u>Figure 50:</u> aspects observés derrière le porte-oculaire lors du réglage du secondaire

## 2 - 6 - Alignement de l'axe optique du primaire :

Il faut maintenant orienter l'axe optique du primaire afin qu'il soit confondu avec celui du tube porte-oculaire (figure 51).

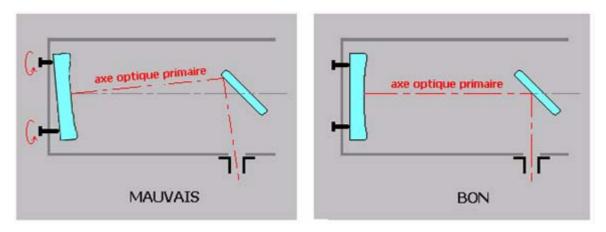


Figure 51: configuration du réglage du miroir primaire

Pour cela, on utilise une nouvelle fois le tube collimateur à l'intérieur duquel il s'agit de centrer le reflet de la croisée du réticule dans le réticule lui même (figure 52) en agissant sur les vis de réglage au dos du miroir primaire.

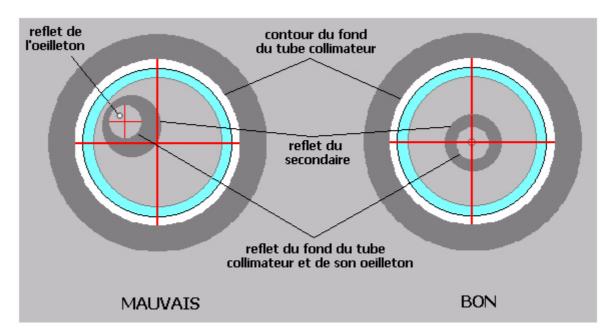
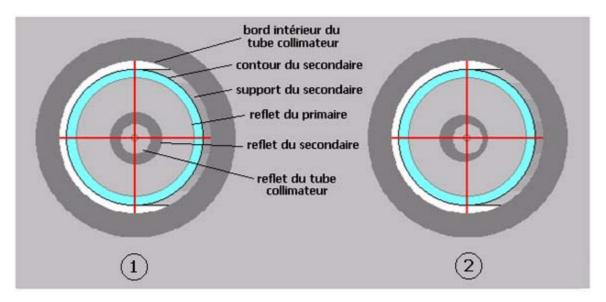


Figure 52: aspects observés derrière le porte-oculaire lors du réglage du primaire

Lorsque le reflet du tube collimateur ne peut être observé (trou central pour combinaison Cassegrain), on peut utiliser un masque obstruant centré à l'entrée du tube du télescope (voir annexe 2). On observe alors dans le tube collimateur et on fait en sorte de centrer le reflet de ce masque dans la croisée des réticules. On sera encore plus précis en remplaçant le réticule par un diaphragme centré dans le tube collimateur et dont le diamètre sera judicieusement choisi afin que le reflet du masque obstruant centré s'inscrive dans son contour (voir annexe 2).

Si le secondaire n'a pas été décalé selon la méthode décrite au paragraphe 2 - 4, on pourra utiliser directement son reflet en lieu et place du masque centré. Lorsque le réglage est terminé, on observe dans le tube collimateur un ensemble d'objets concentriques (figure 53 - ①) :

- Le bord interne du tube collimateur
- La marque au feutre sur le secondaire
- La marque au centre du primaire
- Le reflet du miroir primaire dans le secondaire
- Le reflet du tube collimateur (avec son œilleton et son réticule)

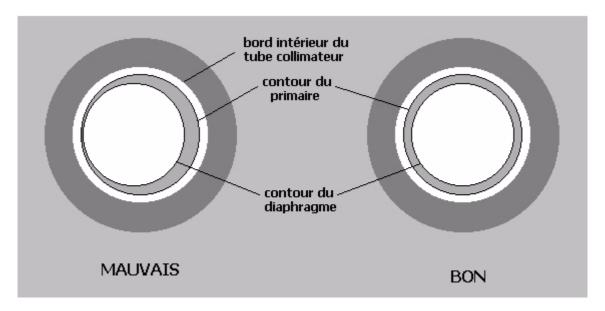


<u>Figure 53:</u> aspects observés derrière le porte-oculaire après réglage du primaire

Un seul élément peut ne pas être concentrique aux autres (figure 53 - ②) : Le reflet du secondaire (dans le primaire et le secondaire lui-même). C'est le cas uniquement si le secondaire a été décalé selon la méthode décrite au paragraphe 2 - 4 car son reflet sera lui aussi décalé.

# 2 - 7 - Vérification de l'alignement de l'axe optique du primaire avec l'axe du tube :

Depuis le premier réglage réalisé lors de l'étape décrite au paragraphe 2 - 2 , il se peut que les ajustements effectués postérieurement (en particulier sur le miroir primaire) aient légèrement déréglé le parallélisme de l'axe optique du primaire avec l'axe du tube du télescope. Pour le vérifier, on utilise un diaphragme centré (voir annexe 3) que l'on place à l'entrée du tube. On observe ensuite dans le tube collimateur afin de distinguer le reflet sombre du contour circulaire du diaphragme qui est légèrement plus petit que le reflet du miroir primaire. Si ces deux reflets ne sont pas concentriques, c'est que l'alignement des axes optique et du tube n'est pas réalisé parfaitement (figure 54 gauche).



<u>Figure 54:</u> aspects observés derrière le porte-oculaire lors du réglage du centrage du champ observé dans le tube du télescope

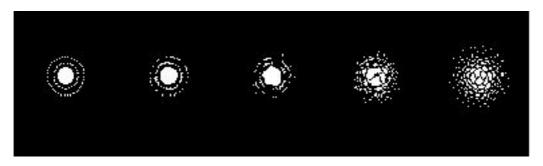
Dans cette hypothèse, il convient d'agir sur les vis de réglage du primaire jusqu'à obtenir l'aspect décrit dans la figure 54 à droite. Il sera ensuite nécessaire de reprendre légèrement les étapes décrites aux paragraphes 2-5 et 2-6 et de vérifier à nouveau, au final, le bon centrage avec le reflet du diaphragme en bout de tube. On pourra ainsi réaliser de proche en proche plusieurs séquences itératives jusqu'à obtenir un centrage parfait (ou presque) sur l'ensemble des tests de la chaîne de réglage.

### 2 - 8 - Tests sur une étoile :

### Principe général :

Selon le vieil adage populaire : « il n'y a que le résultat qui compte », les derniers réglages vont s'effectuer en vrai grandeur, de nuit sur une étoile. Guidé par la façon dont les aberrations déformeront l'image de l'étoile test (défocalisée puis focalisée) à différents grossissements, on fignolera les réglages le plus loin possible.

Ces opérations de précision nécessitent que les optiques soient thermiquement stables. Une mise en température préalable de l'instrument s'impose donc. Parailleurs, la turbulence atmosphérique aura tendance à perturber l'aspect des figures analysées sans que l'on n'y puisse malheureusement grand chose (figure 55). Dans le même ordre d'idée, on veillera à utiliser des oculaires de bonne qualité.



<u>Figure 55:</u> figure d'Airy de plus en plus affectée par la turbulence

Par-ailleurs, on aura intérêt à interposer un filtre jaune ou vert correspondant à la bande passante de lumière la plus sensible à l'œil afin d'améliorer le contraste des figures de diffraction.

Enfin, les opérations de collimation décrites ci-dessous peuvent s'avérer fastidieuses si l'on ne dispose pas d'une monture équatoriale motorisée (au moins en AD) et en station. On peut malgré tout se tirer d'affaire en choisissant l'étoile polaire pour cible du test car celle-ci ne bouge pas.

# Réglage sur une étoile grossièrement défocalisée à faible grossissement :

Ce premier réglage ne s'impose en principe que pour les instruments assez fortement déréglés. La collimation périodique du télescope devrait normalement dispenser l'utilisateur de cette première étape. Si cela s'avère toutefois nécessaire, on procède de la façon suivante :

On installe tout d'abord un oculaire donnant un grossissement correspondant à environ une fois la valeur du diamètre optique du primaire exprimée en mm (par exemple 300X pour un télescope de 300 mm de diamètre). On pointe ensuite une étoile brillante dans la région du zénith (pour limiter les effets de la turbulence) que l'on place et maintient parfaitement au centre du champ couvert par l'oculaire. On défocalise ensuite assez fortement la mise au point (en intra ou extrafocal) de manière à percevoir la forme d'un disque lumineux quasi uniforme avec un disque sombre central qui n'est autre que la silhouette du secondaire (figure 56 à qauche).

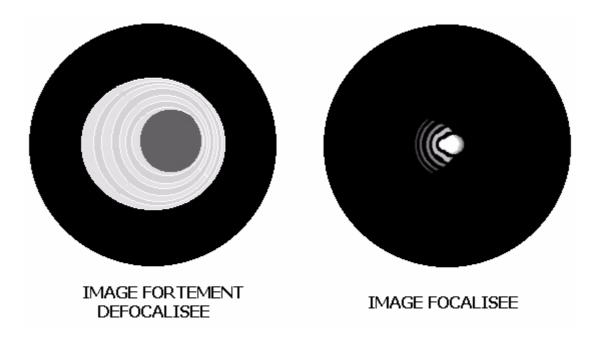
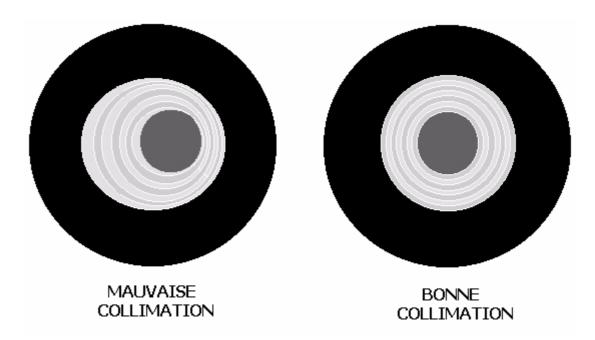


Figure 56: aspects de l'étoile fortement décollimatée

On aperçoit au centre de ce disque un autre disque sombre, plus petit ; Ce dernier correspond à l'ombre du secondaire. L'analyse de sa position orientera les réglages. Si l'ombre du secondaire n'est pas parfaitement centrée dans le disque lumineux (figure 56 gauche) c'est que la collimation n'est pas bonne. En focalisant sur l'étoile, on s'aperçoit qu'elle présente une coma orientée dans le même sens que l'excentrement du disque (figure 56 droite).



<u>Figure 57:</u> aspects de l'étoile fortement défocalisée lors de la collimation (le champ représenté est nettement inférieur à celui observé à l'oculaire)

On agit donc sur les vis de réglage du primaire de telle façon à voir se déplacer l'étoile dans le champ de l'oculaire dans le sens de l'excentrement du disque (flèche rouge figure 58 - 1).

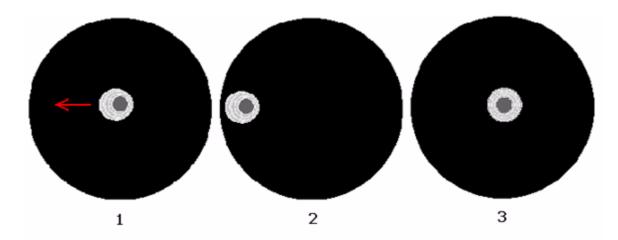
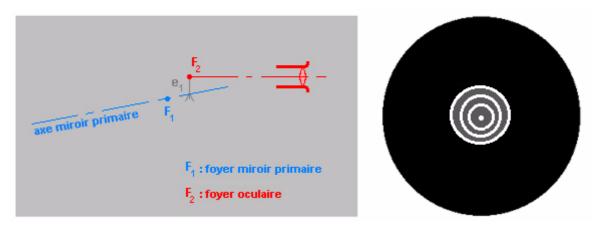


Figure 58: aspects observés à l'oculaire lors des réglages de collimation

Attention toutefois à ne pas agir trop brusquement sur les vis au risque de faire sortir l'étoile du champ. On agit donc délicatement sur la ou les vis de réglage du primaire jusqu'à positionner le disque lumineux en bord de champ (figure 58 - 2).

Il faut ensuite recentrer celui-ci parfaitement au milieu du champ à l'aide des boutons de rattrapage en alpha et delta de la raquette de commande (figure 58 - 3). En observant à nouveau l'aspect du disque lumineux, on doit noter une diminution de l'excentrement de l'ombre du secondaire. Il faut réitérer cette opération autant de fois que nécessaire jusqu'à ce que l'ombre du secondaire se trouve parfaitement centrée dans le disque lumineux (figure 57 droite).

Un piège doit toutefois être évité à ce stade : Lorsque par montage le miroir secondaire a été décalé dans le tube du télescope (voir paragraphe 2-4), son ombre apparaîtra également décentrée dans le disque lumineux d'une étoile défocalisée, même si la focalisation est parfaite. Cet état de fait risque donc de fausser les réglages. Pour palier à cet inconvénient, on utilisera le masque obstruant centré (voir annexe 2) qui produira quant à lui une ombre non décalée. Sans masque, on peut également observer alternativement l'excentrement de l'ombre du secondaire dans les positions intra et extrafocale. Le bon réglage sera atteint lorsque l'amplitude de l'excentrement sera identique en intra et extrafocal et de sens opposé. Si une dissymétrie des figures intra et extrafocales devait persister malgré l'absence de décalage du secondaire, cela révélerait un défaut de parallélisme de l'axe optique du primaire avec celui du porte-oculaire (figures 59-a et 59-b). Il conviendrait alors de se reporter aux paragraphes précédents afin de reprendre correctement les réglages préliminaires.



<u>Figure 59-a :</u> défaut de parallélisme des axes primaire/oculaire ( visée extrafocale )

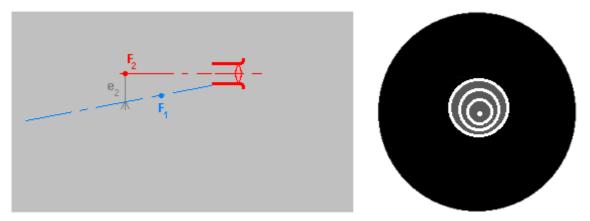
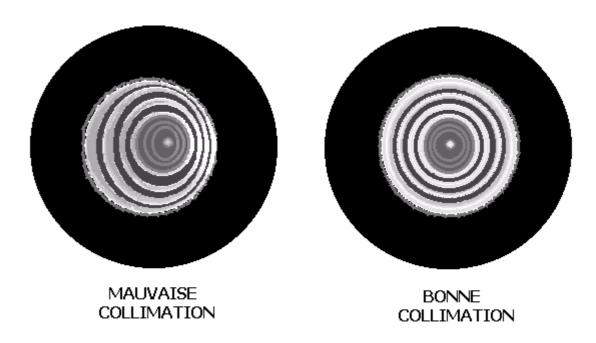


Figure 59-b : défaut de parallélisme des axes primaire/oculaire (visée intrafocale)

### Réglage sur une étoile légèrement défocalisée à fort grossissement :

Dans cette phase du réglage, on visera une étoile moins brillante que précédemment, toujours dans la région du zénith. Le grossissement choisi sera cette fois-ci au minimum deux fois la valeur du diamètre optique du primaire exprimée en mm. On défocalise ensuite légèrement l'oculaire jusqu'à faire apparaître au minimum quatre ou cinq anneaux de diffraction concentriques et relativement contrastés avec un petit spot lumineux en leur centre (figure 60).



<u>Figure 60:</u> aspects de l'étoile légèrement défocalisée lors de la collimation (le champ représenté est nettement inférieur à celui observé à l'oculaire)

L'exercice va consister, ici aussi, à analyser l'excentrement des anneaux et du point lumineux. On pourra amplifier ce phénomène et améliorer sa perception en alternant rapidement les positions intra et extrafocales. On procèdera ensuite selon les mêmes principes que ceux décrits au paragraphe précédent : déplacement de la plage lumineuse en bord de champ de l'oculaire dans le sens donné par l'excentrement des anneaux (flèche rouge figure 61 - 1), recentrage de la figure au milieu du champ, nouvelle analyse, et ainsi de suite ... (figure 61 - 2 et 3).

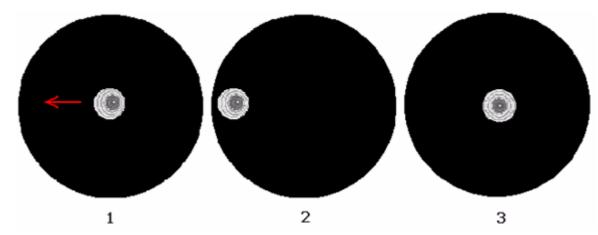
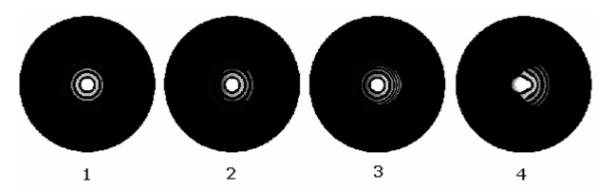


Figure 61: aspects observés à l'oculaire lors des réglages de collimation

### Réglage sur une étoile focalisée à fort grossissement :

Pour ce dernier réglage, on utilise le même grossissement que précédemment sur la même étoile. Par contre, l'image sera cette fois ci soigneusement focalisée afin de faire apparaître la figure d'Airy caractéristique (figure 1 du paragraphe 1 - 1). Par conditions de turbulence sensible ou (et) d'utilisation d'un télescope de grand diamètre, il peut s'avérer difficile voire impossible de faire apparaître cette figure et donc de mener à bien cette phase ultime du réglage. Toutefois, lorsque cela est possible, on analyse l'aspect de la figure d'Airy de l'étoile parfaitement positionnée au centre du champ.



<u>Figure 62:</u> aspects observés à l'oculaire parfaitement focalisé

Dans le cas d'une collimation parfaite, on distingue le faux disque de l'étoile entouré d'un anneau uniforme et continu et éventuellement d'un deuxième anneau plus ténu (figure 62-1). Dans la plupart des cas, on observera au départ un des aspects décrits dans les figures 62-2 à 62-4 qui témoignent de niveaux de décollimation croissants. On y décèle un premier anneau plus lumineux d'un côté par-rapport à l'autre (figure 62-2) ou même, dans les cas plus graves, une interruption de celui-ci sur un côté et un renforcement et une multiplication des anneaux du côté opposé (figures 62-3 et 62-4). Ici aussi le réglage va consister à déplacer l'étoile dans le champ de l'oculaire dans le sens correspondant au renforcement des anneaux (flèche rouge figure 63 - 1). L'étoile est ensuite recentrée dans le champ à l'aide de la raquette puis analysée de nouveau. L'opération sera réitérée autant de fois que nécessaire.

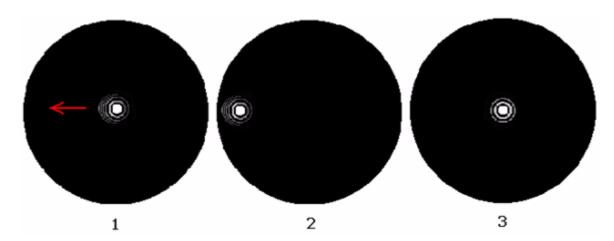
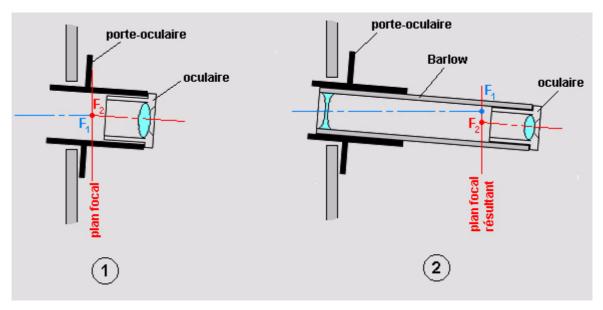


Figure 63: aspects observés à l'oculaire lors des réglages de collimation

### 2 - 9 - Précision de la collimation :

En ce qui concerne la précision des réglages, il est tout d'abord à noter qu'elle peut être modifiée chaque fois que l'on change de combinaison optique. Ainsi, l'adjonction d'une Barlow, d'un renvoi coudé, d'un correcteur de champ ... pourra plus ou moins dérégler la collimation préalablement effectuée sans ces accessoires. Le cas le plus sensible est certainement celui de l'utilisation d'une Barlow :



<u>Figure 64:</u> défaut d'alignement d'une Barlow

Dans le cas où le porte-oculaire n'est pas strictement aligné avec l'axe optique du primaire, on peut toutefois réaliser une collimation à l'oculaire en faisant coïncider les foyers  $\mathbf{F_1}$  et  $\mathbf{F_2}$  du primaire et de l'oculaire (figure 64 - ①). Si l'on intercale ensuite une Barlow (figure 64 - ②), le plan focal est repoussé et l'inclinaison du porte-oculaire va provoquer un écart  $\mathbf{e}$  entre le foyer  $\mathbf{F'_1}$  du primaire et le foyer  $\mathbf{F2}$  de l'oculaire. La collimation initiale devient ainsi obsolète et les images se dégradent. En cas d'utilisation d'une Barlow, on veillera donc à aligner au mieux l'axe du porte-oculaire sur l'axe optique (voir paragraphe 2). Un porte-oculaire à embase réglable est à ce titre fort appréciable (figure 33).

En conséquence, le premier principe de base pour garantir la précision de la collimation est de réaliser les réglages avec les mêmes accessoires optiques que ceux qui serviront aux observations.

Par ailleurs, l'objectif de précision que l'on doit atteindre dans la collimation est directement lié au type d'observations que l'on souhaite réaliser :

- Dans le cas de l'imagerie au foyer (CCD ou argentique), les grossissements employés sont relativement faibles. Une collimation réalisée avec un simple oculaire développant un grossissement maximum de 0,5 à 1 fois la valeur du diamètre optique du primaire exprimée en millimètres s'avère suffisant dans la plupart des cas lors des étapes décrites dans le paragraphe 2 8. On s'assurera malgré tout que la surface sensible de l'appareil imageur (film ou matrice CCD) est parfaitement centrée sur l'axe du porte-oculaire (ou à défaut l'axe optique du primaire).
- En ce qui concerne l'imagerie ou l'observation avec un système amplificateur (Barlow ou oculaire), la précision de collimation à atteindre devra être beaucoup plus élevée si l'on souhaite accéder à la haute résolution. Les grossissements ici lors des réglages seront de 2 à 3 fois la valeur du diamètre optique du primaire exprimée en millimètres. On rappellera simplement que l'emploi d'une Barlow pour atteindre ces grossissements en phase de collimation ne se justifie que si elle est également utilisée lors de l'observation.

### 3 - CONCLUSION:

Trop souvent les réglages optiques sont négligés voire oubliés sur un télescope d'amateur. Ceci a pour conséquence une dégradation souvent catastrophique de la qualité des images bien supérieure à ce que pourraient engendrer les défauts propres à l'optique. L'observation ou l'imagerie à haute résolution devient alors totalement inaccessible. Pourtant les opérations de collimation, une fois assimilées, ne présentent pas de difficulté majeure : raison de plus pour les mettre en œuvre à chaque fois que cela s 'avère nécessaire. D'autant que la collimation n'est pas acquise une fois pour toutes : Celle-ci se dérèglera rapidement sur les télescopes transportés, de rapport F/D petit ou de gros diamètre. Par-ailleurs l'adjonction d'un composant optique supplémentaire a toutes les chances de modifier le bon alignement.

Bref ... la collimation est le passeport indispensable pour visiter les merveilles du ciel dans leurs moindres détails. Qu'on se le dise !

### ANNEXE 1 – Tube collimateur

\_\_\_\_

Le tube collimateur aide à matérialiser l'axe du porte-oculaire sur lequel on doit aligner d'autres axes et composants. Il facilite ainsi grandement les opérations de réglage.

Il est constitué d'un cylindre creux (figure 64) au diamètre extérieur correspondant exactement au coulant du porte-oculaire (31,75 mm ou 50,8 mm).

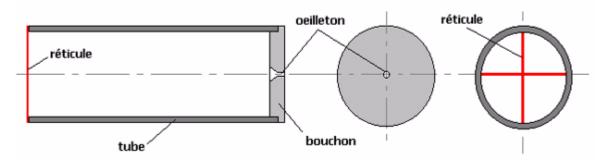


Figure 65: vues du tube collimateur

Le matériau utilisé pourra être du PVC, de l'aluminium ou de l'acier inoxydable. A l'une des extrémités, on dispose un œilleton constitué par un trou d'environ 1mm de diamètre percé dans un « bouchon » parfaitement dans l'axe du tube. A l'autre extrémité, on place un réticule constitué par la croisée de deux fils parfaitement centrés, eux aussi, sur l'axe du tube.

Pour fabriquer le réticule, on procède de la façon suivante :

On repère par des marques au feutre fin sur la tranche du tube les passages des fils formant deux diamètres bien centrés et perpendiculaires entre eux (figure 66 ①). On tend ensuite un fil de 0,5 mm de diamètre minimum (type fil de pèche en nylon) sur un étrier en bois.

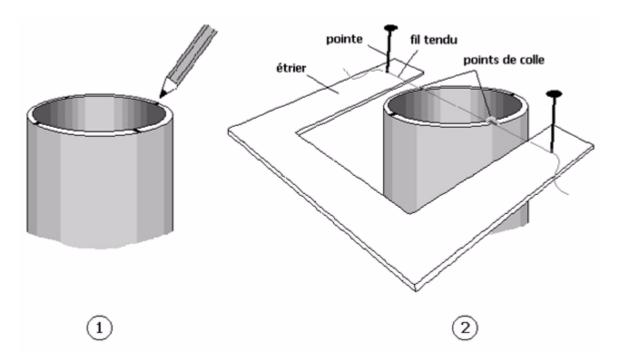


Figure 66: fabrication du réticule du tube collimateur

On pose ensuite le fil tendu avec son étrier en équilibre sur la tranche du tube dans l'alignement précis de deux marques au feutre sur lesquelles on aura préalablement déposé des points de colle (figure 66 ②). Une fois que celle-ci aura séché (attendre suffisamment), on coupe les extrémités du fil. On procède de la même manière pour le second fil collé perpendiculairement au premier. Pour une bonne visibilité des marques au centre du réticule, il est conseillé de le réaliser avec un double fil, chacun étant espacé d'environ 1 mm (figure 66).

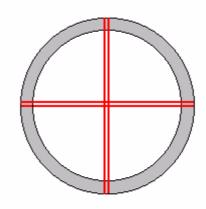


Figure 67: réticule à double fil

L'utilisation du tube collimateur est des plus simples :

Pour centrer les éléments circulaires importants (miroir secondaire, primaire), on se sert du bord circulaire interne du tube (figure 68 - ①).

Pour centrer les éléments quasi ponctuels (marques au feutre sur miroirs primaire et secondaire), on utilisera plutôt le réticule (figure 68 - ②).

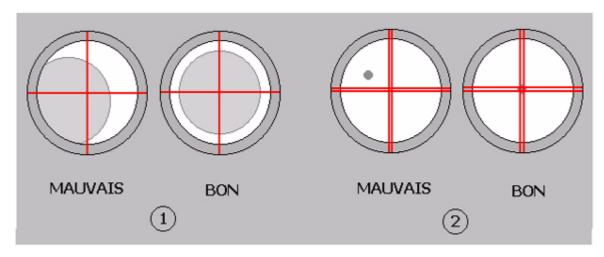


Figure 68: centrage des éléments dans le tube collimateur

Il peut être intéressant de disposer de tubes de différentes longueurs en fonction de la précision des alignements visée ou du diamètre apparent des éléments que l'on souhaite inscrire dans la perspective du fond du tube. D'autre part, il est parfois difficile de voir nets en même temps le réticule au premier plan et l'élément à aligner au second plan (figure 69).

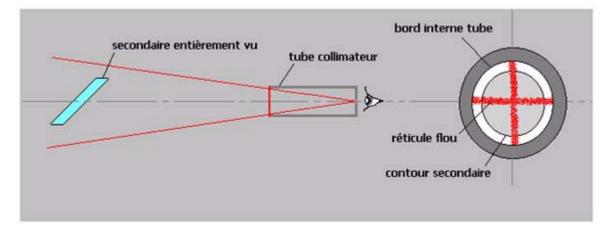


Figure 69: utilisation d'un tube collimateur court

La profondeur de champ donnée par un tube collimateur de grande longueur a pour conséquence une meilleure netteté du réticule. Par contre, le champ couvert est réduit et peut s'avérer inférieur au diamètre des gros éléments à centrer (figure 70). Il conviendra donc de choisir judicieusement la longueur du tube lors de sa fabrication en fonction de l'utilisation qu'on lui réserve.

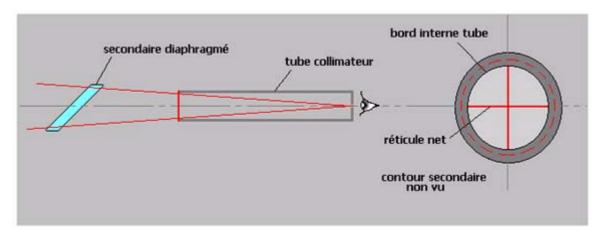


Figure 70: utilisation d'un tube collimateur long

# ANNEXE 2 - Masque obstruant centré

\_\_\_\_

Le décalage du miroir secondaire (voir paragraphe 2-4) rend plus difficile les opérations d'alignement car son reflet qui sert de référence dans les réglages n'est pas centré lui non plus. L'idée est donc de substituer la silhouette du secondaire décalé à un écran en forme de disque de dimension légèrement supérieure mais lui parfaitement centré.

Le montage consiste à réaliser d'abord une structure porteuse composée de nervures en croix s'adaptant sans jeu à l'intérieur du tube du télescope (figure 71).

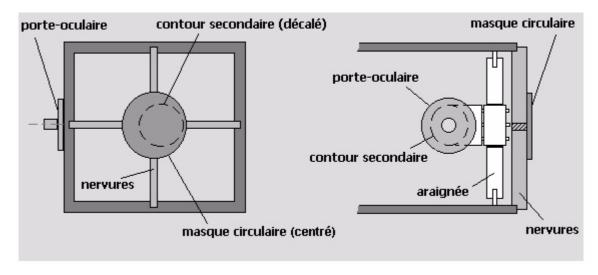


Figure 71: configuration du masque obstruant centré sur le tube

On découpe ensuite un disque (en bois ou carton) dont le diamètre sera suffisamment grand pour, en position centrée sur le tube, occulter complètement le miroir secondaire et le support. On colle ou on pointe le disque sur sa structure nervurée de manière parfaitement centrée au tube du télescope.

# ANNEXE 3 – Diaphragme centré

\_\_\_\_

Cet outil sert à vérifier que l'axe optique du primaire est parallèle à l'axe du tube du télescope (voir paragraphe 2-7).

On découpe un disque dans une planche en bois (ou en carton) du même diamètre que l'optique du miroir primaire (figure 72).

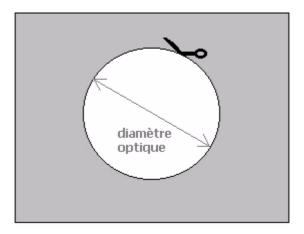


Figure 72: découpe du diaphragme

On devra lors des tests placer ce diaphragme parfaitement centré à l'entrée du tube du télescope. Pour éviter de réaliser ce centrage lors de chaque séance de réglage des optiques, on pourra avantageusement coller le diaphragme bien centré sur un cadre recouvrant le bout du tube du télescope (figure 73).

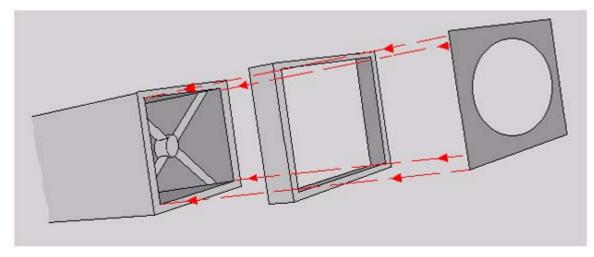


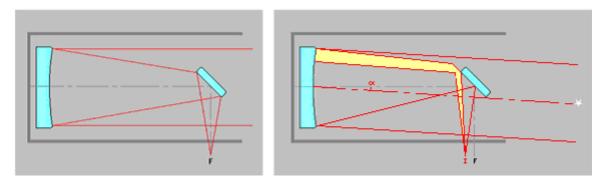
Figure 73: montage du diaphragme centré

### ANNEXE 4 - Dimensionnement du secondaire

\_\_\_\_

Avant tout réglage optique, il faut s'assurer que la dimension du miroir secondaire est adaptée (on est parfois surpris dans certains télescopes du commerce). Cette question devra également se poser lors du choix de cette pièce optique, à tous ceux qui fabriquent eux-mêmes leur télescope.

On pourrait instinctivement être tenté de considérer à la bonne dimension un miroir secondaire dont le contour s'inscrit tout juste dans le cône du faisceau en provenance d'une source ponctuelle située dans la direction de l'axe optique (figure 74 à gauche). Mais, dans cette configuration, si l'on observe une étoile dans une direction formant un angle  $\alpha$  avec l'axe optique (figure 74 à droite), on s'aperçoit qu'une partie du faisceau (en jaune) ne frappe pas le secondaire : il y a donc perte de lumière. Le champ de pleine lumière (voir paragraphe 1-3) se réduit donc ici à un seul point : le foyer principal  ${\bf F}$ .



<u>Figure 74:</u> champ de pleine lumière défini par la dimension du secondaire

Le but étant bien entendu de disposer dans le plan focal d'un champ de pleine lumière suffisamment étendu, il conviendra de choisir un miroir secondaire plus grand que celui décrit dans la figure 74.

La formule ci-dessous donne la dimension du petit axe du miroir secondaire en fonction de différents paramètres :

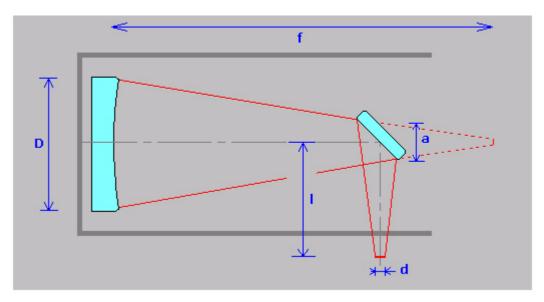


Figure 75: dimensionnement du miroir secondaire

$$a = \frac{(D-d).I}{f} + d$$

avec : **D** = diamètre optique du miroir primaire (en mm)

**f** = longueur focale du miroir primaire (en mm)

**a** = petit axe du miroir secondaire (en mm)

I = distance entre l'axe optique et le plan focal (en mm)

 d = diamètre du champ couvert en pleine lumière (en mm). On peut déduire la valeur de d exprimé en minutes d'arc à l'aide de la formule simplifiée suivante :

d (minutes d'arc) = 3438 x d(en mm) / f (en mm)

On le voit, le choix de la dimension du secondaire est conditionné pour l'essentiel par le champ de pleine lumière que l'on souhaite couvrir. Ce dernier sera choisi en fonction du type d'observations que l'on envisage de réaliser. Si l'on se limite à l'observation de champs réduits (en planétaire par exemple) un champ de pleine lumière d'environ 30 minutes d'arc (1/2 degré) devrait suffire car il couvre le diamètre angulaire de la lune (voir bibliographie : La construction du télescope d'amateur de Jean Texereau). Par contre, si l'on souhaite accéder à l'observation et la photographie à grand champ, on doit pouvoir donner au secondaire des dimensions telles qu'il autorise un champ de pleine lumière de 120 à 180 minutes d'arc (2 à 3 degrés). On ne peut toutefois pas augmenter indéfiniment la dimension du secondaire au risque de créer une obstruction intolérable.

Enfin, on aura intérêt à réduire au maximum la distance **d** (et les pièces mécaniques qui la conditionnent) afin de bénéficier, avec des miroirs primaire et secondaire donnés, d'un champ de pleine lumière le plus étendu possible.

### ANNEXE 5 - Collimateur laser

\_\_\_\_

### Principe:

Le principe d'utilisation d'un collimateur laser est des plus simple : Un faisceau laser matérialisant l'axe du tube porte-oculaire est envoyé vers le miroir secondaire puis le primaire et par réflexion en retour vers le porte-oculaire. Le bon réglage optique sera réalisé lorsque les faisceaux départ et retour seront confondus.

### **Construction:**

Il convient d'abord de se procurer une diode laser (type pointeur) si possible équipée d'une optique avec mise au point afin de permettre le réglage de la largeur du faisceau au plus étroit. Se procurer ensuite un tube d'environ 40 cm de longueur au diamètre extérieur correspondant au coulant du porte-oculaire (un tube PVC sanitaire de 32 mm de diamètre fait généralement l'affaire après l'avoir légèrement rectifié).

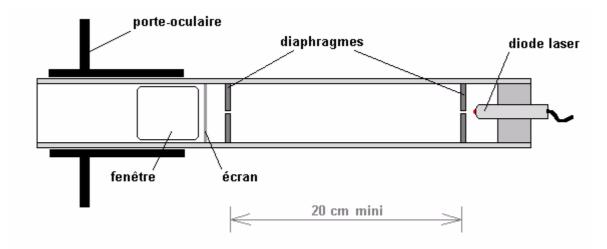


Figure 76 : schéma général d'un collimateur laser

Le laser est ensuite monté à l'une des extrémités du tube de manière parfaitement centrée. Afin d'assurer un parallélisme rigoureux entre le faisceau laser et l'axe du tube collimateur, on réalise deux diaphragmes percés d'un trou de 1 mm de diamètre parfaitement centré et que l'on dispose à au moins 20 cm l'un de l'autre à l'intérieur du tube collimateur. Le faisceau traversant les deux trous sera ainsi « guidé » dans une direction parfaitement parallèle au tube lui-même. Cela suppose bien entendu que les trous des diaphragmes soient eux aussi parfaitement

centrés (usinage au tour). On peut vérifier le bon alignement du faisceau laser dans le tube collimateur en réalisant le test suivant (figure 77) :

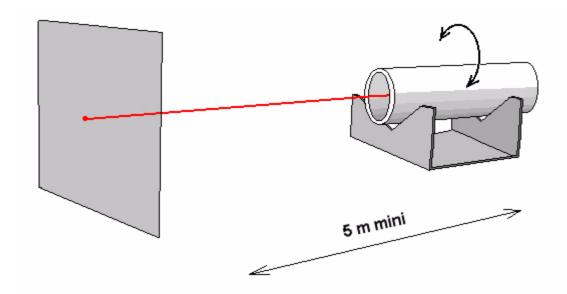


Figure 77 : alignement du faisceau laser

On pose le tube collimateur équipé de la diode laser et des deux diaphragmes sur un support constitué de deux « V ». Le support devra être parfaitement stable et maintenu en position. On projette ensuite le faisceau sur un écran situé à 5 m minimum. En faisant tourner le tube sur lui-même, on observe le déplacement éventuel de la petite tâche que le faisceau produit sur l'écran. On peut par exemple noter sa position à l'aide d'un feutre pour chaque 1/8 de tour. Si l'alignement du faisceau dans le tube est parfait, la tâche restera fixe sur l'écran lors de la rotation. Si ce n'est pas le cas, il faudra reprendre l'usinage des diaphragmes avec une meilleure précision ou changer de tube s'il n'est pas parfaitement rectiligne. Afin de matérialiser le faisceau départ et retour, on utilise un écran semi-transparent (film diapo légèrement assombri ou lame de verre légèrement dépolie) que l'on dispose à l'intérieur du tube juste après le diaphragme. Le faisceau traversant cet écran au départ et au retour se matérialisera par deux tâches lumineuses. Pour pouvoir apercevoir celles-ci, il convient de ménager une ouverture dans le tube.

# Conduite des réglages :

On commence par centrer les optiques sur le faisceau : Une fois le tube installé dans le porte-oculaire, on centre la marque réalisée sur le secondaire avec la tâche lumineuse du laser. On utilise pour cela les différents réglages du support du secondaire et de l'araignée (voir paragraphe 2 - 4). Si la tâche lumineuse n'est pas

visible sur le verre, interposer un calque le plus transparent possible sur le miroir lui-même. Centrer ensuite le faisceau sur le miroir primaire en faisant coïncider la tâche lumineuse et la marque matérialisée en son centre (point au feutre ou œillet autocollant). Agir sur les trois vis de réglage du secondaire jusqu'à parfaite superposition de la tâche lumineuse et de la marque. Observer ensuite l'écran semi-transparent à travers la fenêtre du tube collimateur : si le réglage n'est pas bon, on distingue deux tâches lumineuses séparées (départ et retour) ou une seule allongée constituée par les deux tâches très rapprochées. On doit alors agir sur les vis de réglage du primaire afin de les superposer parfaitement.

### Précision obtenue avec le système :

La double réflexion du faisceau (aller et retour) multiplie par deux l'écart de décentrage et donc également la précision des réglages. Malgré tout, la pratique de ce test démontre que la meilleure précision de collimation est obtenue par analyse directe et visuelle de la figure de diffraction d'une étoile ( voir paragraphe 2-8). Le pointeur laser reste toutefois suffisant pour des instruments dont la tolérance de centrage est large ( par exemple F/D supérieur ou égal à 6 ). Dans tous les cas, son utilisation est parfaitement adaptée aux réglages préliminaires des optiques (voir paragraphes 2-4 à 2-6).

### **RESSOURCES**

\_\_\_\_\_

# **Bibliographie:**

• **« Lunettes et télescopes »** de Danjon et Couder – Editions Albert Blanchard : Cet ouvrage constitue une « bible » en matière d'optique théorique et appliquée aux instruments d'astronomie. Les aberrations optiques y sont particulièrement détaillées pour différents types d'instruments. A réserver à un public averti.

• « La construction du télescope d'amateur- II ème édition » de Jean Texereau – Editions de la Société Astronomique de France :

La référence en matière de construction de télescope d'amateur. Différents chapitres sont également consacrés à l'utilisation et au réglage des télescopes. Cet ouvrage est épuisé depuis de nombreuses années. On peut toutefois le trouver d'occasion. Une édition en anglais est également disponible. La consultation et le téléchargement de l'intégralité des textes et figures de l'ouvrage original est possible sur le site : <a href="http://www.astrosurf.com/texereau.">http://www.astrosurf.com/texereau.</a>. L'édition papier originale est épuisée depuis longtemps mais un nouveau tirage est disponible chez Vuibert.

Réaliser son télescope » de Jean-Marc Lecleire – Editions Lecleire :
 Cet ouvrage constitue en quelque sorte une actualisation de « La construction du télescope d'amateur » de Jean Texereau. Des chapitres sont également consacrés à l'utilisation et au réglage d'un télescope.

Site Internet: http://lecleire.chez.tiscali.fr/

 « Cours de physique - Optique» de Jean-Paul Parisot, Patricia Segonds et Sylvie Le Boiteux – Editions Dunod : Ouvrage théorique exposant les lois fondamentales de l'optique géométrique. Contient également de nombreux exercices avec solutions. Du niveau DEUG mais très accessible.

### **Revues:**

• « Ciel et Espace » n°198 de mars-avril 1984 – « Comment régler son Newton par Denis Berthier et Michel Lyonnet du Moutier :

Un exposé clair et synthétique sur la méthodologie de réglage d'un télescope de type newton. Article plutôt adapté aux instruments du commerce.

Site Internet: http://www.cieletespace.fr/front/default.asp

« Astronomie magazine »:

Revue mensuelle largement orientée sur la pratique de l'astronomie d'amateur. On y trouve régulièrement des trucs et astuces sur l'instrumentation.

Site Internet: http://perso.wanadoo.fr/astronomie.magazine/

### « Sky and télescope » :

Revue mensuelle américaine qui développe régulièrement des articles pratiques sur l'instrumentation d'amateur.

Site Internet: http://skyandtelescope.com/

### « Astrosurf magasine » :

Revue bimensuelle éditée par Astrosurf. Une revue écrite par et pour les amateurs. On y trouve une foule de conseils et astuces pour l'utilisation d'instruments.

Site Internet : <a href="http://www.astrosurf.com">http://www.astrosurf.com</a>

### **Sites Internet:**

## « Collimation du Newton – questions souvent posées »

page web : <a href="http://www.astrosurf.com/cielextreme/page180F.html">http://www.astrosurf.com/cielextreme/page180F.html</a> C'est la version française d'une page web de Nils Olof Carlin Elle fait partie du site « Ciel extrême » de Yann Pothier Les différentes phases des réglages y sont détaillées avec de nombreux schémas à l'appui.

### « La collimation d'un télescope Newton »

page web: <a href="http://www2.globetrotter.net/astroccd/biblio/filjt100.htm">http://www2.globetrotter.net/astroccd/biblio/filjt100.htm</a>
C'est la version française d'une page web de Mel Bartels
Elle fait partie du site « Groupe Astro & CCD » , l'Astronomie au Québec
Les phases correspondant aux paragraphes 2-4 à 2-6 y sont décrites, figures à l'appui.

### « La collimation »

page web: <a href="http://perso.club-internet.fr/legault/collim\_fr.html">http://perso.club-internet.fr/legault/collim\_fr.html</a>
Il y est question de la phase de réglage sur une étoile (paragraphe 2-8). La méthode est très clairement exposée par l'auteur qui insiste (simulations d'images pour preuve) sur l'importance capitale d'une bonne collimation sur la qualité des observations. Au vu des images planétaires qu'il a réalisées avec sa CCD, on ne peut qu'adhérer pleinement à sa théorie et suivre ses indications les yeux fermés!

Thierry Legault, auteur de ce site, est l'un des maîtres de l'imagerie CCD à haute résolution. Les connaissances de base, les différentes techniques et instrumentations liées à cette discipline y sont largement développées. Un site de référence.

### « La collimation »

page web : <a href="http://www.astrosurf.com/therin/a\_collim.htm">http://www.astrosurf.com/therin/a\_collim.htm</a>
Ici aussi, il y est question de la phase de réglage sur une étoile (paragraphe 2-8). Le site est signé Gérard Thérin, lui aussi un cador de la haute résolution en CCD comme en argentique.

### « Un collimateur laser »

page web: <a href="http://www.cpod.com/monoweb/asnora/collimation/collimat.html">http://www.cpod.com/monoweb/asnora/collimation/collimat.html</a>
Elle fait partie du site ASNORA (Association Normande d'Astronomie)
On y apprend comment fabriquer et utiliser un collimateur laser.

- « Réaliser un collimateur laser à grand champ pour télescope »
  page web : <a href="http://spt06">http://spt06</a> ; <a href="chez.tiscali.fr/laser2.htm">chez.tiscali.fr/laser2.htm</a>
   Une variante du montage précédent plus pratique mais plus difficile à réaliser.
- « Notions d'optique pour les astronomes amateurs » page web : <a href="http://serge.bertorello.free.fr/optique/optique.html">http://serge.bertorello.free.fr/optique/optique.html</a>
  Cette page fait partie du site de Serge Bertorello de l'Association Marseillaise d'Astronomie (AMAS). On y trouve un exposé clair sur les bases de l'optique physique et géométrique spécialement dédié et accessible aux non initiés. Le site dans son ensemble est consacré aux techniques d'observation et de construction d'instruments. L'auteur y fait preuve d'un louable effort pédagogique. A consulter absolument !