

LES INSTRUMENTS D'ASTRONOMIE

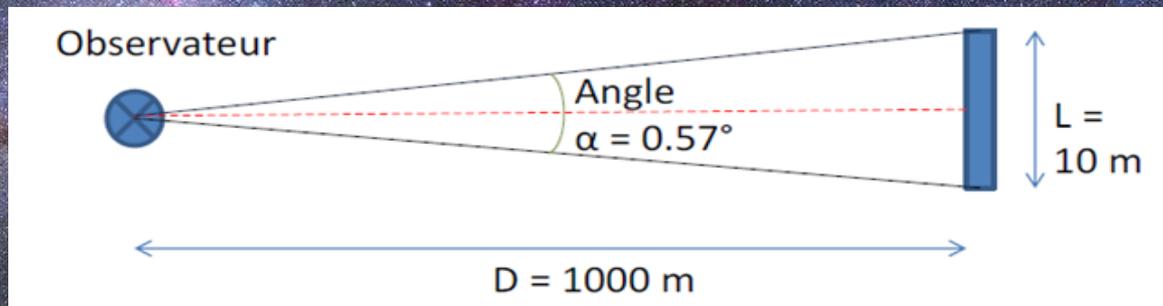
1. Notions de dimensions angulaires
2. Caractéristiques des instruments d'astronomie
3. L'oeil
4. Les jumelles
5. Les lunettes
6. Les télescopes
7. Les oculaires
8. Les filtres
9. Les montures
10. Les limites des instruments
11. Les aberrations

1.1. Notions de dimensions angulaires

1.1 La théorie

Nous sommes habitués à parler en mètres, kilomètres, centimètres, etc...

En astronomie, nous observons des objets gigantesques situés à des milliards de kilomètres. Afin de représenter la taille sous laquelle ils nous apparaissent, la notion d'angle est utilisée.



Exemple :

Un observateur est situé à 1000 m d'un objet large de 10 m.

L'objet apparaît donc à l'observateur sous un angle de 0.57° .

Cet angle serait le même si l'objet était situé à 100 m et faisait 1 m de large. Tout comme si un objet large de 1 000 années lumières était éloigné de 100 000 années lumières. Il apparaîtrait avec le même angle de 0.57° .

Les angles sont exprimés en degrés ($^\circ$). Pour des unités plus petites, on parle de :

- Minutes d'arc – 1 minute d'arc = $1' = 1/60^\circ$
- Secondes d'arc – 1 seconde d'arc = $1'' = 1/60' = 1/3600^\circ$

Pour reprendre l'exemple ci-dessus, 0.57° équivaut à $34.2'$ ($= 0.57 \times 60 / 100$)

1.2 La pratique

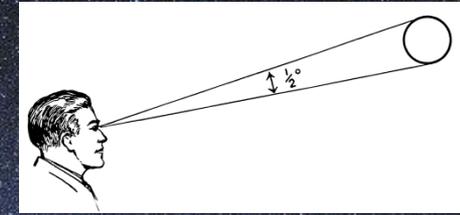
Prenons l'exemple de la Lune. Son diamètre est de d'environ 3475 km.

La distance Terre-Lune varie au cours de l'année, mais fixons la distance à 384000 km.

Le calcul nous montre que la Lune est perçue avec un angle de 0.52° (ou $31.2'$).

Elle a donc un diamètre apparent proche de l'objet de 10 m situé à 1 km.

Voici un tableau donnant les dimensions de plusieurs objets à observer:



Objet	Taille	Visible à l'œil nu ?
Les 7 étoiles de la constellation de la Grande Ourse	25°	oui
La galaxie d'Andromède M31	3°	oui mais sous un bon ciel
La nébuleuse d'Orion M42	1.5°	oui mais sous un bon ciel
La Lune, Le soleil	0.5° (ou $30'$)	oui
Une grande partie des objets du ciel profond	moins de 0.5° (ou moins de $30'$)	non pour la plupart
L'amas globulaire M13 dans Hercule	$23'$	limite de l'œil humain
L'amas ouvert M11 dans l'écu	$14'$	limite de l'œil humain
Les petites nébuleuses planétaires	moins de $1'$ (ou moins de $60''$)	non
Les 7 planètes du système solaire	de $2''$ (Neptune) à $65''$ (Venus à son maximum) Jupiter: de $30''$ à $50''$ suivant la période	non pour Neptune, limite de l'œil pour Uranus oui pour les autres
Pluton	$< 0.1''$ (inférieur au pouvoir séparateur d'un instrument)	non
Etoile	inférieur au pouvoir séparateur d'un instrument	jusque la limite de l'œi

Ce tableau nous montre qu'un objet très grand comme la galaxie d'Andromède (6 fois la pleine lune !) n'est pas forcément facile à observer.

Cette galaxie est grande mais difficilement visible à l'œil nu.

La plupart des objets du ciel profond (objets du ciel nocturne autres que ceux du système solaire et les étoiles) ne sont d'ailleurs pas visibles à l'œil nu car peu lumineux (sauf les étoiles).

Une étoile a une taille inférieure au pouvoir séparateur d'un instrument amateur. L'observation d'une étoile donnera toujours un point.

Il est donc normal de ne rien voir sur une étoile ! (à part sa couleur)



Une des fonctions d'un télescope, c'est de grossir.

Prenons un télescope et grossissons 40x (nous verrons plus loin comment obtenir ce grossissement).

A quoi va ressembler Jupiter si, au moment de l'observation, elle a un diamètre apparent de 40'' ?

Un diamètre de 40'' que l'on grossit 40x correspond à 1600'', soit 0,5° ou 30'

Jupiter, dans un télescope grossissant 40x, a la taille de la lune a l'œil nu.



La taille de la Lune : 30'

La taille de Jupiter : 40''

2. Caractéristiques des instruments d'astronomie

2.1 Le diamètre

C'est le diamètre du miroir primaire pour un télescope ou de la lentille pour une lunette.

Une règle simple dit que plus le diamètre est grand, plus on collectera de lumière et plus il sera possible de grossir.

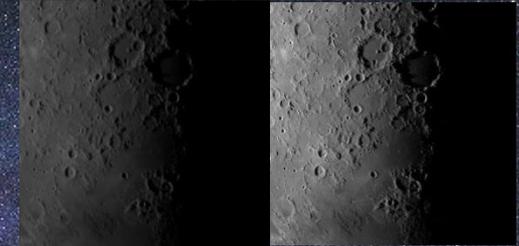
Un instrument est souvent caractérisé de cette façon : Télescope 200 / 1000. Le nombre 200 correspond au diamètre.

2.2 La distance focale

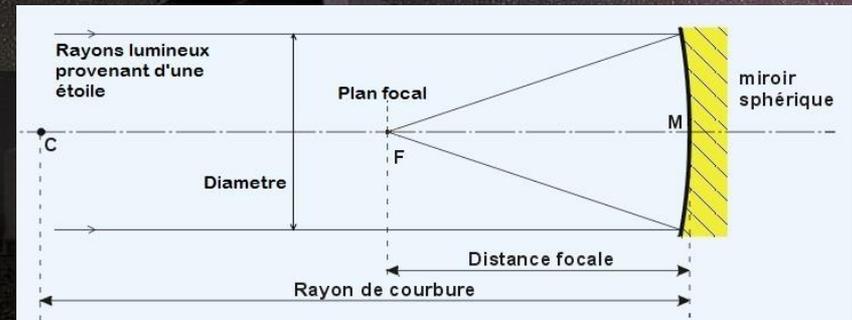
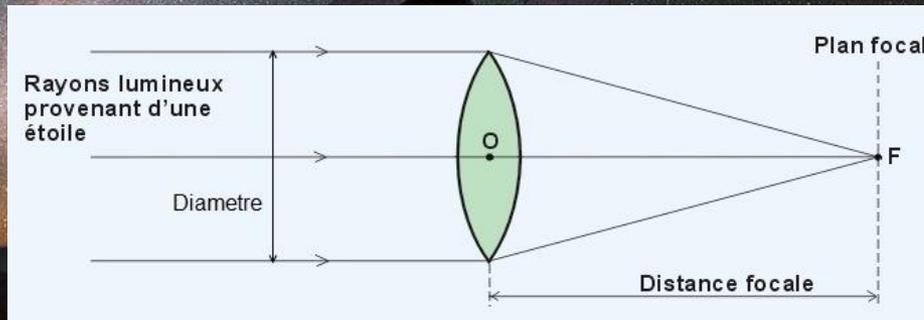
La distance focale d'un instrument correspond à la distance entre le miroir ou la lentille et le point de convergence de la lumière venant de l'infini (les objets du ciel sont considérés comme étant à l'infini). Ce point s'appelle le foyer de l'instrument.

La focale est utilisée pour calculer le grossissement obtenu avec un oculaire.

Dans un instrument 200 / 1000, le nombre 1000 correspond à la focale.



Simulation d'une observation de la Lune avec deux instruments de diamètres très différents (60 mm et 300 mm)

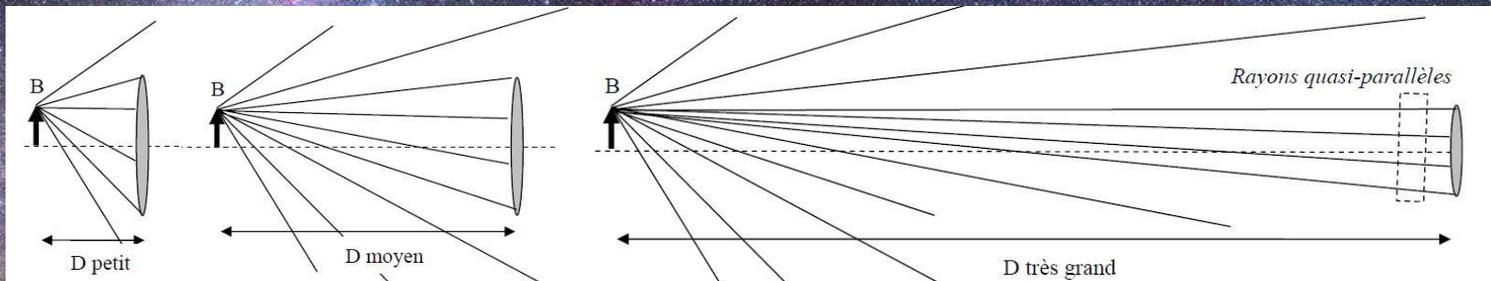


On parlera souvent d'objet « à l'infini ». Que signifie ce terme ?

Voyons ce qui se passe quand un objet est situé à une distance D de la lentille (voir aussi schéma ci-dessous).

- Si D est petit ou moyen, les rayons issus d'un point de l'objet (appelé B sur le schéma) arrivent sur la lentille avec des angles très différents.
- Si D est très grand, les rayons issus de B qui arrivent sur la lentille sont presque parallèles.

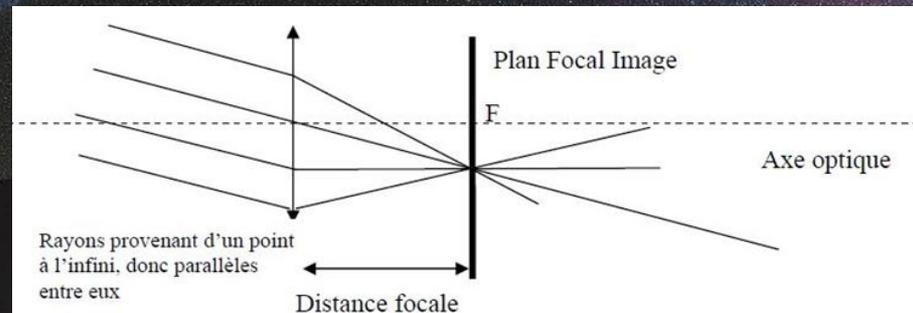
Remarque : attention ! Les rayons partant du point B sont toujours émis dans toutes les directions, quelque soit D ! Mais quand D est grand, seul quelques rayons atteignent la lentille, et sont alors parallèles entre eux. Les autres passent « à côté » de la lentille.



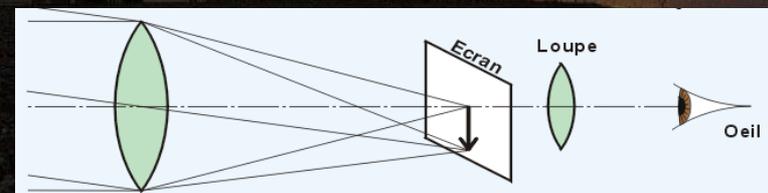
Définition du Plan Focal Image:

Si l'on place un objet à une distance infinie d'une lentille convergente, celle-ci fournit une image nette de cet objet dans le plan appelé plan focal image de la lentille.

La distance entre le plan de la lentille et son plan focal est la distance focale f .



Au foyer, une image peut être formée sur un écran. Notez que cet écran peut être remplacé par une surface sensible (CCD) afin d'enregistrer une photographie.



2.3 Le rapport F/D (Ouverture)

Le rapport F/D est le rapport entre la focale et le diamètre de l'instrument.

Un instrument de 200 / 1000 a un rapport F/D égal à 5.

En observation visuelle, ce rapport n'a pas d'influence sur la luminosité d'un instrument.

Il est faux de dire qu'un instrument à F/D de 5 sera plus lumineux qu'un F/D de 10.

Un tube de 200/2000 sera aussi lumineux qu'un tube de 200/1000.

De même, un 200/2000 (à F/D de 10) sera plus lumineux en visuel qu'un 80/400 (à F/D de 5) car c'est le diamètre de l'instrument qui détermine sa luminosité en observation visuelle.

Le rapport F/D n'est pas important pour déterminer la luminosité d'un instrument en observation visuelle. Il l'est cependant en photographie.

2.4 Le Grossissement

C'est le rapport entre la focale de l'instrument et de l'oculaire.

La formule du grossissement est donné par :

$$\text{Grossissement} = \frac{\text{Focale de l'instrument}}{\text{Focale de l'oculaire}} = \frac{F}{f}$$

Un instrument de 1000 mm de focale avec un oculaire de 5 mm de focale grossira 200x (= 1000 / 5).

Plus un oculaire a une petite focale, plus il grossira.

Une petite lunette de 60 mm utilisée à faible grossissement donnera une vue d'ensemble de la Lune.

Il est possible d'utiliser des grossissements plus forts mais l'image deviendra sombre, moins contrastée et moins piquée.

Rapport F/D	Destiné à
<6	Ciel profond
6 < <10	Ciel profond et planétaire
>10	Planétaire



3. L'oeil: Notre premier instrument

3.1 Constitution

La pupille: L'iris est situé devant le cristallin et possède une ouverture circulaire en son centre, la pupille. Son diamètre varie de 1 mm au soleil, à 7 mm en vision nocturne.

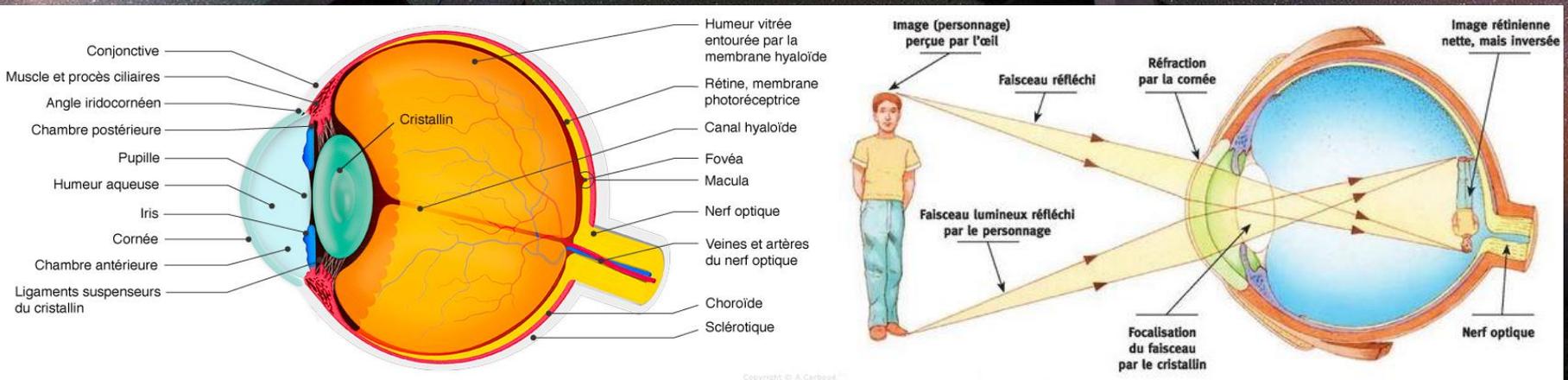
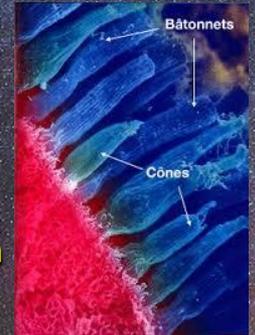
En astronomie, le sujet étant peu lumineux, elle sera quasiment toujours dilaté au maximum.

On récupère ainsi un maximum de lumière et donc d'informations sur les objets du ciel profond.

Le cristallin: Il se trouve immédiatement derrière l'iris. Véritable lentille, il est flexible et se déforme pour faire converger les rayons lumineux à travers l'oeil sur la rétine.

La rétine: Elle est constituée de deux sortes de cellules

- **Les cônes** (5 à 7 millions) sont principalement utilisés pour la vision de jour et sont sensibles à la couleur. Il existe trois types de cônes B (437 nm), V (533 nm) et R (564 nm). Ils sont principalement concentrés sur la fovéa, au centre de la rétine.
- **Les bâtonnets** (120 millions) Leur densité est maximale en périphérie de la rétine et décroît en direction de la fovéa où elle est nulle. Ils sont utilisés, grâce à leur sensibilité, en vision nocturne. Cette vision n'est qu'en noir, blanc et nuances de gris. Il existe un troisième type de vision que l'on appelle vision mésopique qui mélange en fait la vision diurne et la vision nocturne. C'est grâce à cette dualité que nous arrivons à percevoir des couleurs dans les gros télescopes.



3.2 Le pouvoir séparateur de l'œil

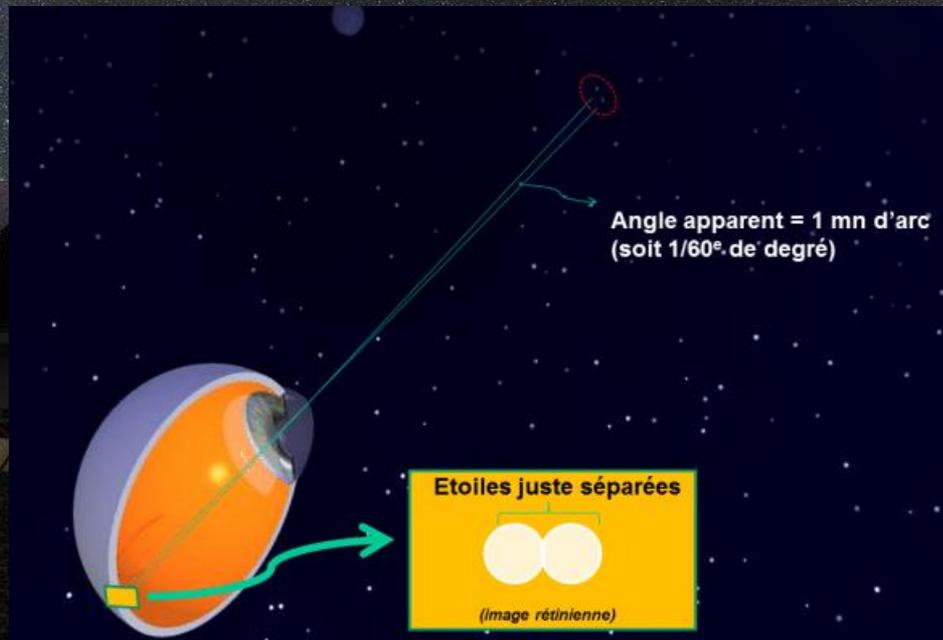
En astronomie ce paramètre est très important. Il permet de savoir si un détail est visible ou pas.

En pratique, le pouvoir séparateur de l'œil est d'environ $1'$ d'arc (soit $1/60^{\text{ème}}$ de degré). Mais ceci reste un ordre de grandeur. En effet ce pouvoir de séparation dépend de la forme des détails, de leur couleur, de la luminance de l'objet, du contraste, du diamètre de notre pupille (plus il est grand plus le pouvoir séparateur est important), de la fatigue,

Pour information l'œil est capable de détecter de très faibles niveaux de lumière en même temps que de très hautes lumières, on appelle cela la dynamique. Elle est d'environ 10 000 000 pour l'œil contre 60 000 pour les caméras CCD.

Il faut distinguer le pouvoir de séparation du pouvoir de perception qui est l'aptitude de notre œil à déceler un objet ponctuel.

En effet notre œil voit des étoiles qui ont un diamètre apparent bien inférieur à la minute d'arc précédemment annoncé. Le pouvoir de perception dépend de la luminosité de l'objet et du contraste entre l'objet et son environnement. Le pouvoir de perception est bien meilleur sur un fond noir ce qui nous arrange bien en astronomie.



3.3 La vision diurne et nocturne

3.3.1 La sensibilité

Nous remarquons que suivant la longueur d'onde (la couleur) l'œil n'a pas la même sensibilité.

Suivant que nous regardons un objet à fort éclairement (de jour, vision diurne) ou à faible éclairement (de nuit, vision nocturne), le pic de sensibilité n'est pas situé au même endroit.

- Le jour, le maximum se situe vers 550 nm, jaune vert.
- La nuit, il se décale vers les courtes longueur d'onde, 505 nm.

Ceci viens du fait que notre rétine est composée de cônes et de bâtonnets.

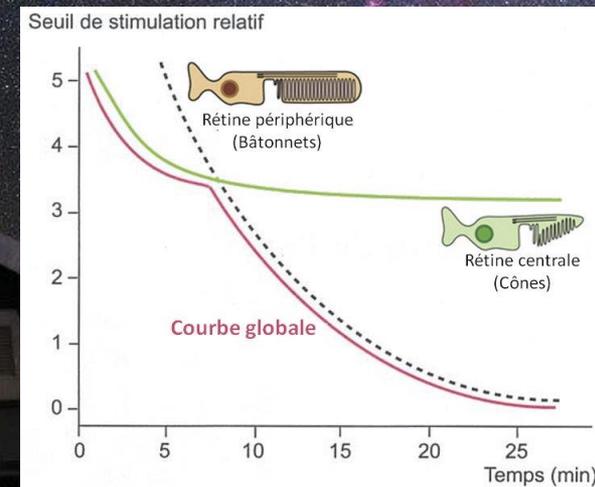
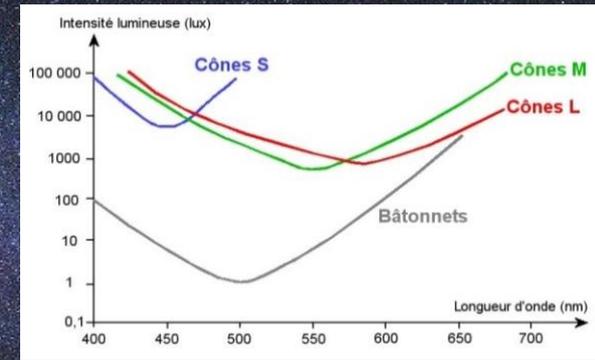
3.3.2 L'acclimatation de l'œil

La vision de jour est quasi instantanée (passer d'une pièce sombre à ne pièce éclairée ne prend que quelques secondes à l'œil pour s'adapter). Mais le passage de la vision de jour à la vision nocturne est beaucoup plus long et prend plusieurs minutes.

C'est pourquoi il est important de rester plusieurs minutes dans le noir pour optimiser notre vision nocturne. On considère souvent qu'il faut au minimum de 1/2 heure pour être pleinement opérationnel en vision nocturne.

3.3.3 La mise au point la nuit

Pourquoi est-ce si difficile ? La mise au point est déclenchée par la fovéa qui est tapissée de cônes peu sensibles à la lumière. Il est donc difficile de localiser précisément cette mise au point et ce, d'autant plus que les objets sont souvent diffus.



3.3.4 Lumière rouge

La lumière rouge est dite inactinique. Cela signifie que cette lumière permet (si elle n'est tout de même pas trop forte) de garder son acclimatation nocturne. De plus, les cônes (vision de jour) sont facilement activés par le rouge ce qui facilite l'activation de la fovéa et donc la mise au point pour lire nos cartes. Si la lumière rouge est trop forte, vous devrez attendre de nouveau 1/2 heure Pour retrouver votre vision photopique alors que vous n'avez mis qu'une fraction de seconde pour repasser en vision diurne.



3.3.5 Pourquoi passer du temps pour observer ?

Il est important de passer du temps car :

- La turbulence (indépendante de votre œil) est fluctuante. Plus on passe de temps à observer, plus on a de chance d'attraper des détails lors des trous de turbulence.
- Le champ de vision net est faible, il faut donc promener son œil sur l'objet pour bien voir les détails
- La vision périphérique nécessite le même traitement que ci dessus pour bien voir les faibles extensions
- L'œil ne travail pas seul. Il fait naturellement une images toutes les 1/10ème de seconde environ mais notre cerveau, est lui capable d'enregistrer, d'intégrer une partie de l'image plus longtemps. Il nous aide à reconstruire une image nette à partir d'une image floue. Ce temps d'intégration est estimé à 6 secondes maximum !! ce qui est énorme.

3.3.6 La vision décalée

La nuit nous utilisons les bâtonnets pour avoir une sensibilité maximale. Ces bâtonnets sont principalement situés en périphérie de la rétine. Il vaut donc mieux utiliser sa vision périphérique pour détecter des objets peu lumineux dans le ciel.

Une autre propriété des bâtonnets est qu'ils sont capables de détecter des détails sur un objet en mouvement, mais uniquement de manière furtive. Effectuer un balayage du champ de l'oculaire peut donc s'avérer payant pour détecter certains détails.

3.3.6 Quelques objets visibles à l'œil nu

Planètes, satellite:

Lune (-12,6 lors de la pleine lune); Vénus (de -4,6 à -3,8); Mars (de -2,9 à +1,8); Jupiter (de -2,8 à -1,6); Mercure (de -2,1 à +5,5); Saturne (de -0,24 à +1,2)

Etoiles :

Soleil (magnitude apparente -26,73); 8 500 étoiles dont la magnitude apparente atteint +6,50

Amas ouverts :

les Hyades ou C41 (+0,5)
les Pléiades ou M45 (+1,6)
les Pléiades du Sud ou C102 (+1,9)
l'Amas d'Omicron des Voiles ou C85 (+2,5)
la Boîte à bijoux du Nord ou C76 (+2,6)
l'Amas du Puits aux vœux ou C91 (+3,0)
l'Amas de Ptolémée ou M7 (+3,3)
l'Amas de la Crèche ou M44 (+3,7)
l'Amas du Diamant ou C96 (+3,8)

Amas globulaires :

Oméga du Centaure ou C80 (+3,7, le plus brillant amas globulaire du ciel)
47 du Toucan ou C106 (+4,0)

Nébuleuses :

la Nébuleuse de la Carène ou C92 (+1,0)
la Nébuleuse d'Orion ou M42 (+4,0)

Galaxies :

la Voie lactée (visible sous la forme d'un long ruban blanchâtre sur la voûte céleste)
le Grand Nuage de Magellan (+0,4)
le Petit Nuage de Magellan (+2,7)
la Galaxie d'Andromède ou M31 (+3,4)

4. Les jumelles

Les jumelles font parties des instruments d'astronomie.

Leur encombrement réduit allié à la vision binoculaire, les rendent très confortables à utiliser.

Elles sont constituées de lentilles et de prismes.

Les prismes ont pour fonction de redresser l'image dans les 2 axes.

4.1 Types de jumelles

Elles sont reconnaissables a leur forme:

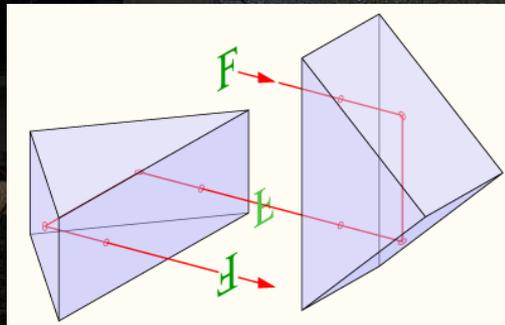
4.1.1 Jumelles a prisme de Porro : (du nom de l'inventeur italien Ignazio Porro au XIXe siècle).

Les objectifs sont plus écartés que les oculaires.

Il s'agit d'un système à deux prismes triangulaires accolés.

Quatre réflexions permettent de redresser l'image.

Le dispositif de mise au point est externe et se fait par le déplacement des oculaires dans l'axe optique.



4.1.2 Jumelles a prisme en toit :

Les oculaires se trouvent dans l'axe de l'objectif.

Les jumelles sont plus compactes et présentent l'avantage d'avoir un système de mise au point interne.

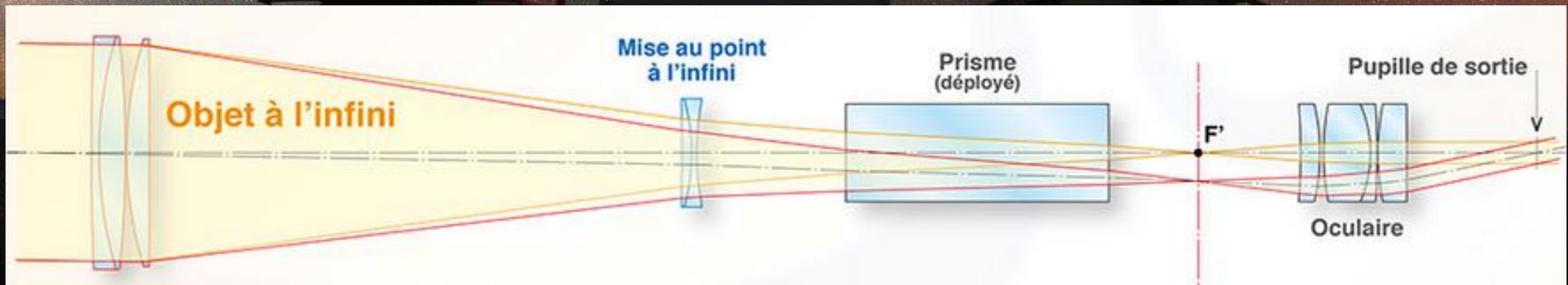
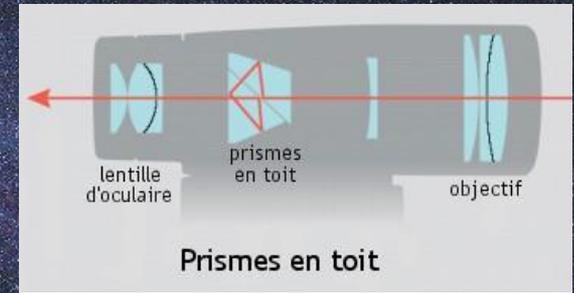
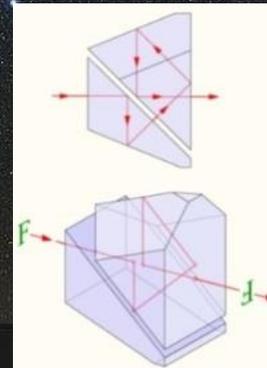
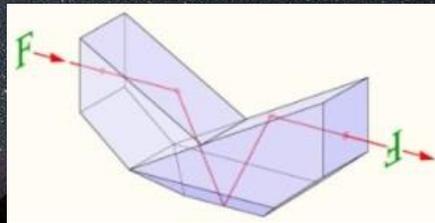
Cela permet d'avoir des jumelles étanches.

Les prismes en toit sont de deux types:

- La formule de Schmidt-Pechan qui comporte 5 réflexions.
- La formule d'Abbe-Koenig qui comporte 3 réflexions.

Ici, le nombre de réflexions est impair, car l'une d'elles se fait sur une surface en forme de toit qui retourne l'image.

Le dispositif de mise au point se fait par le déplacement d'un groupe de lentilles situées à l'intérieur du corps de la jumelle.



4.2 Caractéristiques d'une paire de jumelles

Le grossissement

Il correspond au rapport entre la taille d'un objet observé à l'oeil nu et celle d'un objet observé avec des jumelles. C'est le premier chiffre des dénominations 4x21, 8x25, 8x50, 10x30... qui caractérise le degré de rapprochement apparent du sujet d'observation.

Le diamètre de l'objectif

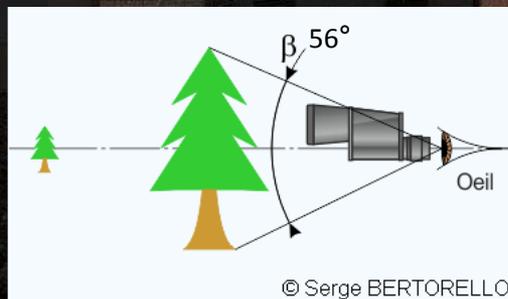
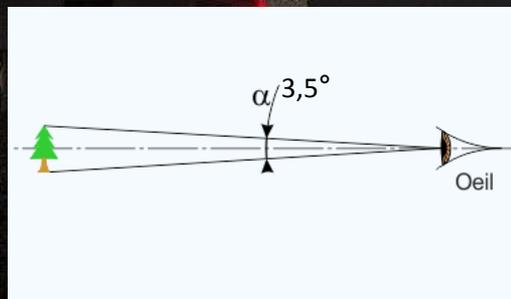
Le 2ème chiffre des dénominations 8x25, 8x42, 12x50, 16x50, 20x80... caractérise le diamètre de l'objectif exprimé en millimètres. Plus l'objectif est grand, plus il y a de lumière recueillie, plus l'image est lumineuse.



Le champ de vision

Les fabricants expriment souvent le champ des jumelles en un nombre de mètres à 1000 mètres. Par exemple, un champ de 123 m à 1000 m. On l'exprime aussi en degrés (angle de visée), ainsi le champ de 123 m correspond à un champ visuel de 7 degrés. Le rapport entre mètres à 1000 mètres et degrés est constant : $1^\circ = 17,4 \text{ m}$.

- **Le champ visuel réel:** Il s'agit du champ angulaire observé et calculé à partir du centre des objectifs des jumelles, il est donné par le constructeur en degrés (par exemple $3,5^\circ$). Plus le grossissement est faible, plus le champ visuel réel est large, et inversement, un grossissement plus fort donne un champ visuel plus étroit.
- **Le champ visuel apparent:** Le champ visuel apparent s'obtient en multipliant le champ visuel réel par le grossissement. Par exemple, si des jumelles à grossissement 16x ont un champ visuel réel de $3,5^\circ$, leur champ visuel apparent est de 56° . Cette valeur correspond au champ visuel effectivement observable dans les jumelles.



4.3 La pupille de sortie

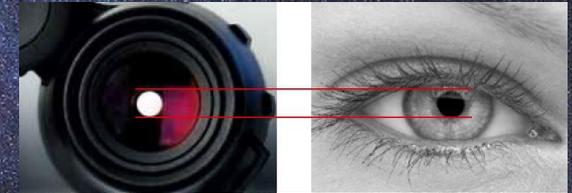
Aussi appelé cercle oculaire, c'est le point lumineux rond que l'on observe lorsque l'on tient les jumelles à bout de bras et qui représente le diamètre en millimètres de l'image de la lentille frontale donnée par l'oculaire.

Idéalement ce diamètre doit être égal à celui de la pupille de l'oeil pour une utilisation optimale de la lumière.

Si la pupille de l'oeil est différente de la pupille de sortie, on constate une perte plus ou moins importante de luminosité.

Le résultat serait le même avec un télescope à miroirs mais plus complexe à visualiser.

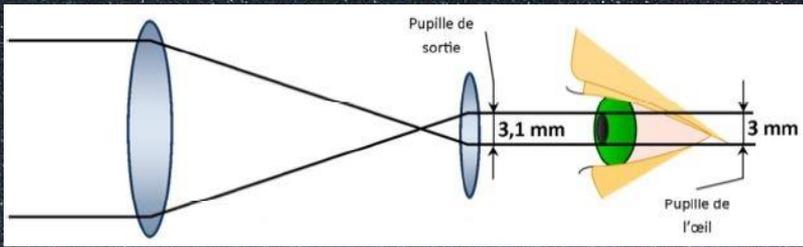
La taille de la pupille de sortie est donnée par les deux formules équivalentes :



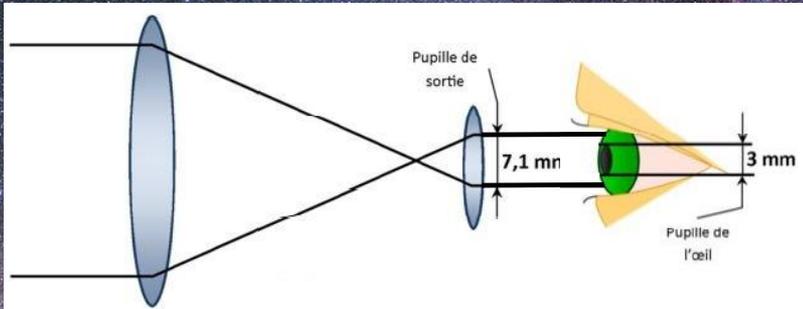
$$(1) \quad P_s = \frac{\text{Diamètre de l'instrument}}{\text{Grossissement}} = \frac{D}{G}$$

$$(2) \quad P_s = \frac{\text{Focale oculaire}}{\frac{F}{D} \text{ instrument}} = \frac{f}{\frac{F}{D}}$$

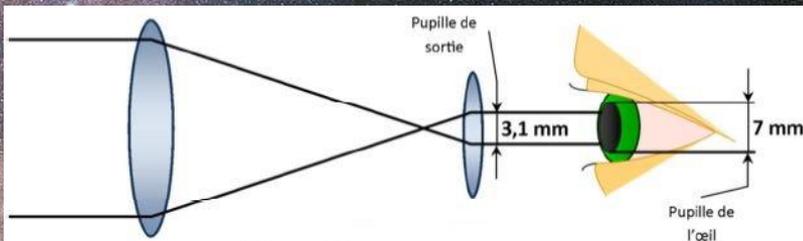




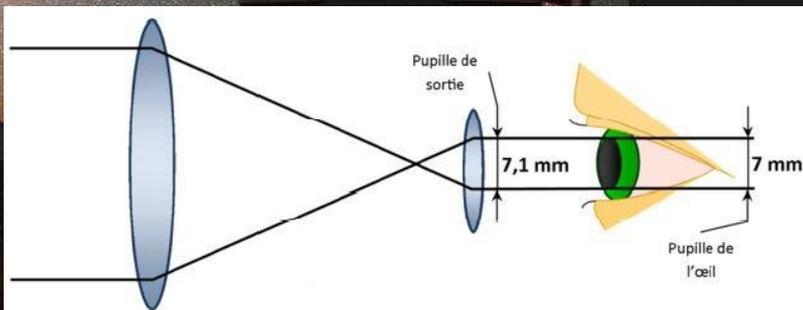
En plein jour nos pupilles se ferment de 2 à 3 mm. Une pupille de sortie des jumelles de 3 mm transmettra totalement la lumière.



En plein jour nos pupilles se ferment de 2 à 3 mm. Une pupille de sortie des jumelles de 7 mm ne transmettra pas totalement la lumière, ce qui rendra l'image plus sombre.



La nuit par contre, nos pupilles se dilatent jusqu'à 7 mm dans l'obscurité, une pupille de sortie d'environ 3 mm ne transmettra pas suffisamment de lumière, ce qui rendra l'image sombre.



Les jumelles destinées à un usage nocturne doivent donc être dotées de larges pupilles de sortie ce qui les rend malheureusement plus lourdes et donc nettement plus encombrantes

5. Les Lunettes (Galilée, 1609)

5.1 Fonctionnement

Elles appartiennent à la famille des réfracteurs. En effet, elles utilisent la réfraction de la lumière à travers un système de lentilles, appelé objectif.

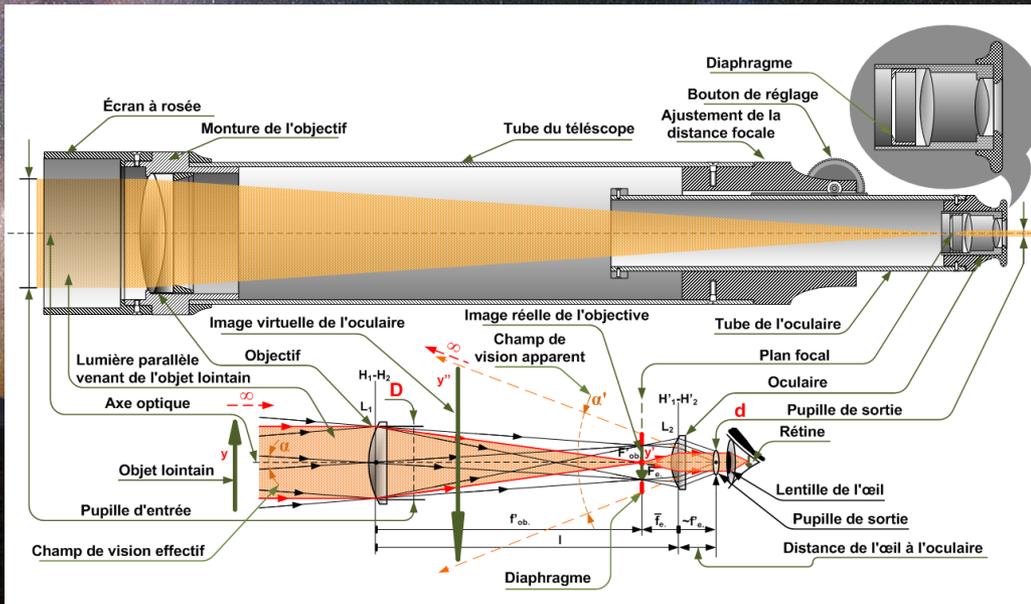
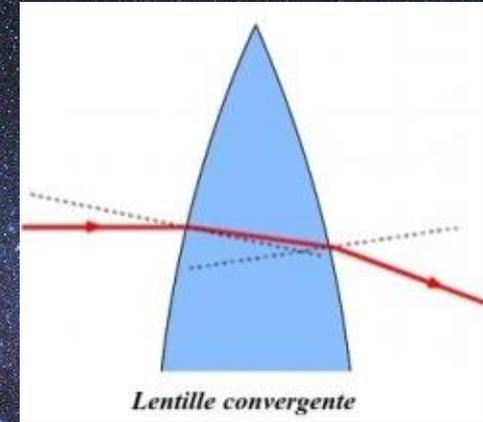
La lumière provenant de l'objet traverse d'abord l'objectif avant de se focaliser sur le plan focal situé à l'autre extrémité du tube.

Au niveau du plan focal, toutes les lunettes possèdent un tube coulissant muni d'une crémaillère au bout duquel se trouve un système amovible de lentilles : l'oculaire.

Le changement d'oculaire permet d'augmenter ou diminuer le grossissement.

- Les chiffres qui caractérisent une lunette, par exemple 60/400 correspondent dans l'ordre au diamètre de l'objectif et à la focale (en millimètre).
- Le grossissement se calcule en divisant la focale de la lunette par celle de l'oculaire:

$$\text{Grossissement} = \frac{\text{Focale de l'instrument}}{\text{Focale de l'oculaire}} = \frac{F}{f}$$



5.2 Aberration chromatique

Ces lunettes ont un problème que l'on appelle « aberration chromatique ».

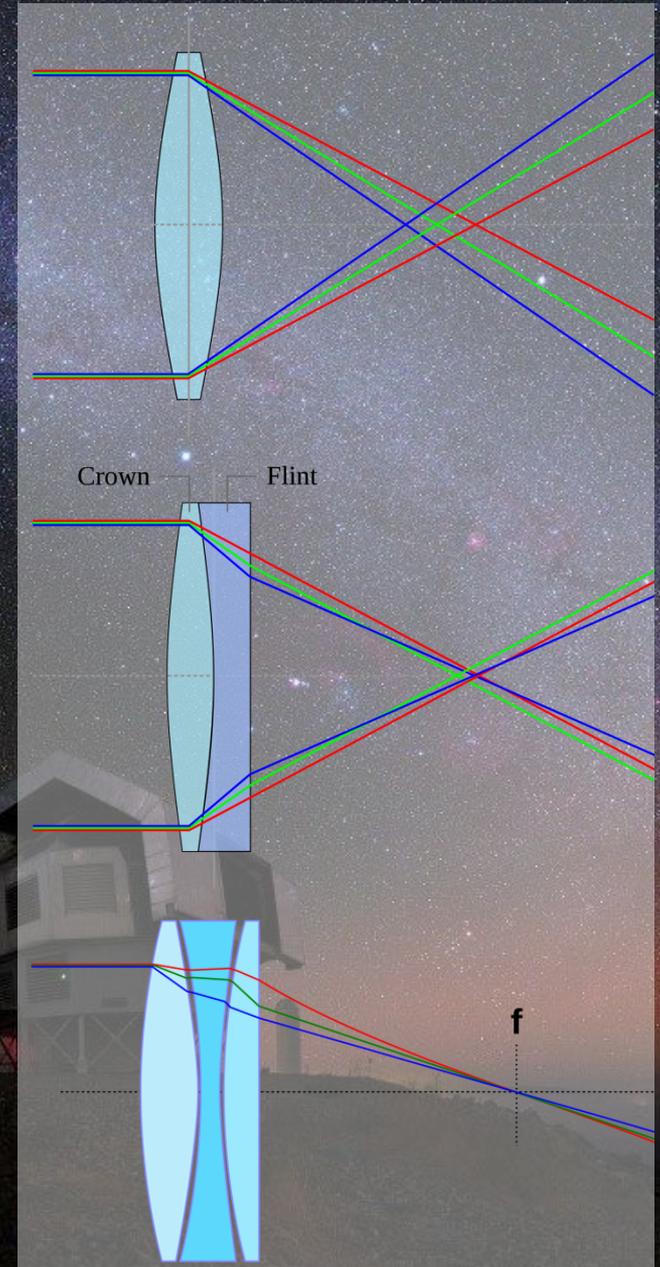
Les couleurs qui composent la lumière (bleu, rouge et vert) ne se focalisent pas au même point, cela crée un halo coloré autour des objets lumineux.



5.3 Lunette achromatique / apochromatique

L'aberration peut être corrigée ou diminuée en accolant plusieurs lentilles avec des verres d'indice de réfraction différent.

- **Le doublet achromatique** est un assemblage de 2 verres différents. 2 couleurs peuvent être superposées au plan focal, la 3^{ème} est floue. L'image possède une frange colorée souvent jaune/violette et le contraste est moyen.
- **Le triplet/quadruplet ou quintuplet apochromatique** est un assemblage de 3, 4 ou 5 lentilles permettant de corriger les trajectoires de plus de 3 faisceaux de longueurs d'onde différentes. Ce type de lunette est exempt de défauts sur des plages plus grandes.



6. Les Télescopes

Instruments d'optique inventés un peu plus tard que les lunettes, les télescopes et leur composition optique tiennent du nom de leur concepteur.

La différence entre un télescope et une lunette est qu'un télescope focalise la lumière grâce à des miroirs alors que la lunette focalise la lumière avec des lentilles.

Il existe deux types de télescopes :

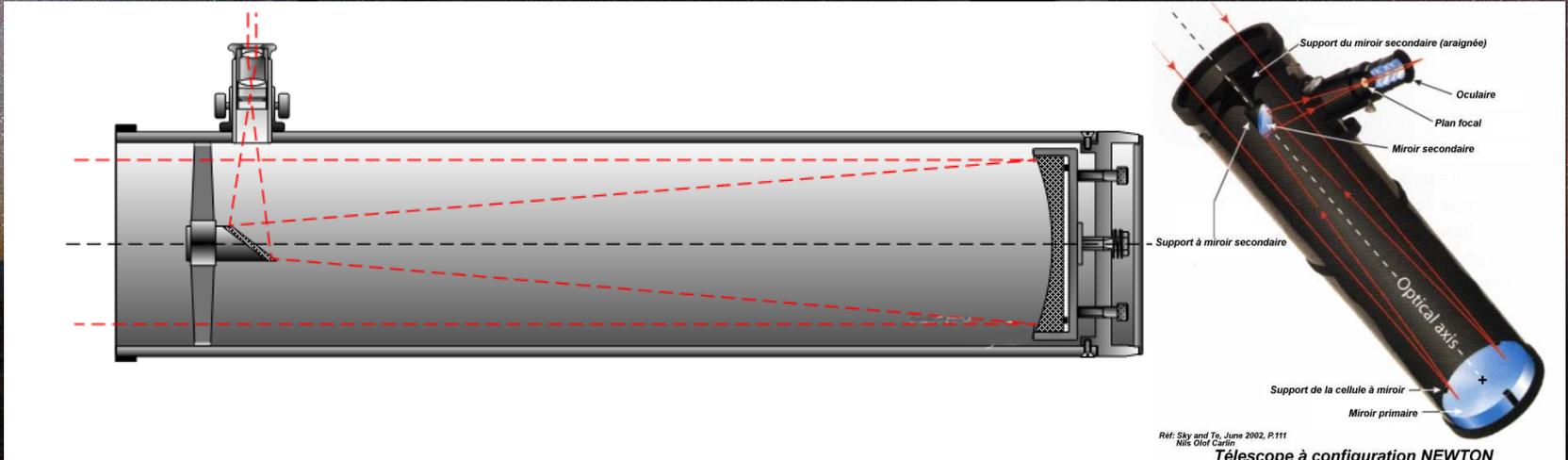
- les réflecteurs (type newton ...)
- les catadioptriques (mélange de réflecteur « miroir » et de réfracteur « lentille »).

6.1 Le télescope de Newton

Inventé par Isaac NEWTON en 1671, son télescope fut le premier à être fonctionnel.

Le télescope de type Newton est parfaitement achromatiques et est constitué d'un miroir concave parabolique (dit primaire) placé au fond d'un tube. Il réfléchit et focalise la lumière vers un miroir plan incliné à 45° (dit secondaire) qui la renvoie vers l'oculaire.

- Formule optique avec un rapport F/D 4 à 8.
- Diamètres courants pour les amateurs : de 114 à 600 mm.



6.2 Le télescope Schmidt-Cassegrain

Le télescope Schmidt-Cassegrain est un dispositif optique de type catadioptrique.

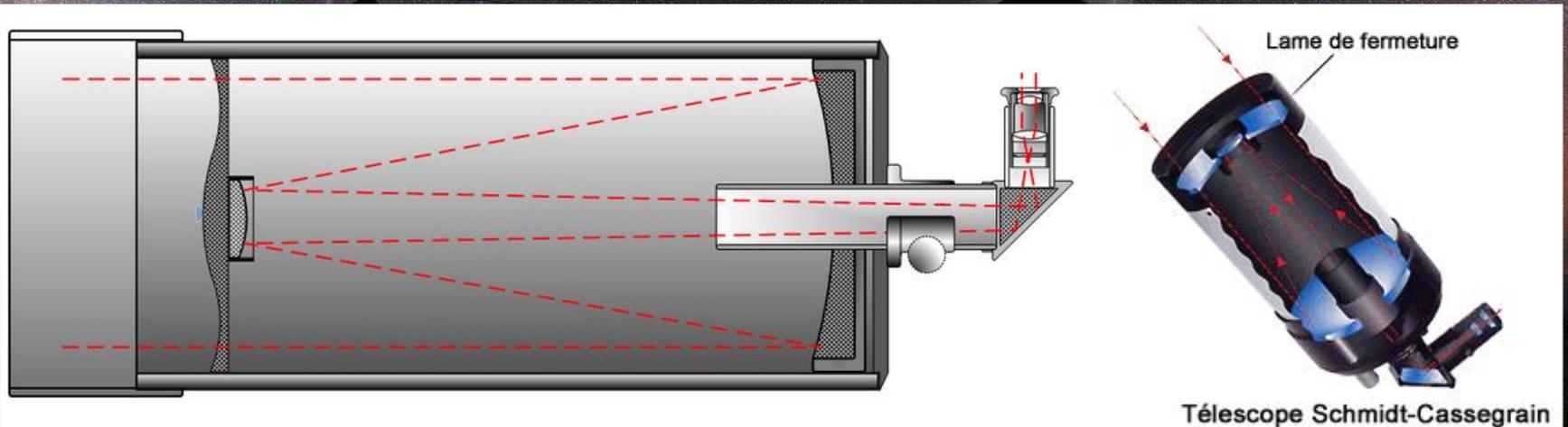
Il est composé d'un miroir primaire concave percé en son centre, d'un miroir secondaire convexe ainsi que d'une lentille appelée lame de Schmidt.

L'image formée peut donc être perçue par un observateur ou un capteur CCD (etc.) placé à l'arrière du télescope et non sur le côté comme dans le télescope de Newton.

Le miroir secondaire agit comme une lentille de Barlow. Il allonge considérablement la focale de l'instrument tout en lui gardant des dimensions très compactes.

Caractéristiques:

- Les miroirs primaire et secondaire sont **sphériques**, plus simples et moins coûteux à fabriquer qu'un miroir parabolique.
- Une **lame de Schmidt** est placée en entrée du télescope pour corriger les aberrations sphériques engendrées par le miroir primaire.
- Formule optique avec un rapport F/D très long (**F/D 10**) donc recherchée pour le planétaire.
- Diamètres courants pour les amateurs : de **150 à 350 mm**.



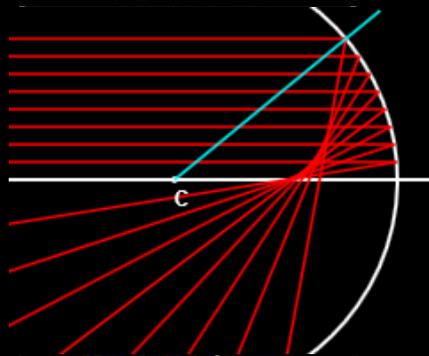
6.2.1 Le miroirs sphérique - lame de Schmidt

Un miroir sphérique est beaucoup plus facile à fabriquer qu'un miroir parabolique mais il présente une forte aberration de sphéricité.

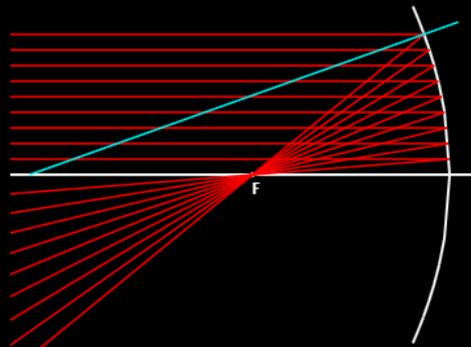
B. Schmidt a eu en 1930 l'idée d'associer une lentille asphérique à un miroir sphérique pour corriger cette aberration.

On obtient une lame à courbure variable dont la partie centrale est convexe et la partie externe est concave.

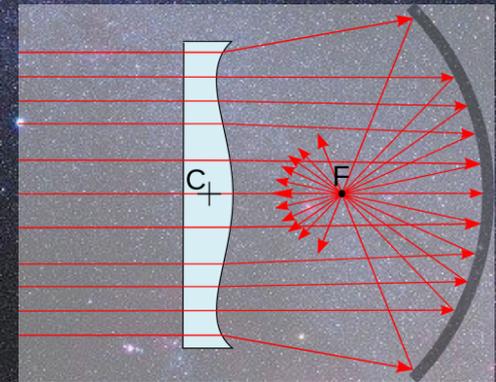
Les rayons incidents parallèles à l'axe, éloignés de celui-ci, sont rendus divergents et les rayons proches de l'axe convergents : on corrige ainsi l'aberration de sphéricité.



Miroir Sphérique



Miroir Asphérique (Parabolique)



L'aberration sphérique correspond au fait que les rayons incidents éloignés de l'axe optique sont réfléchis en avant de F (foyer principal).

6.3 Le télescope Maksutov-Cassegrain

Le télescope Maksutov-Cassegrain est un dispositif optique de type catadioptrique.

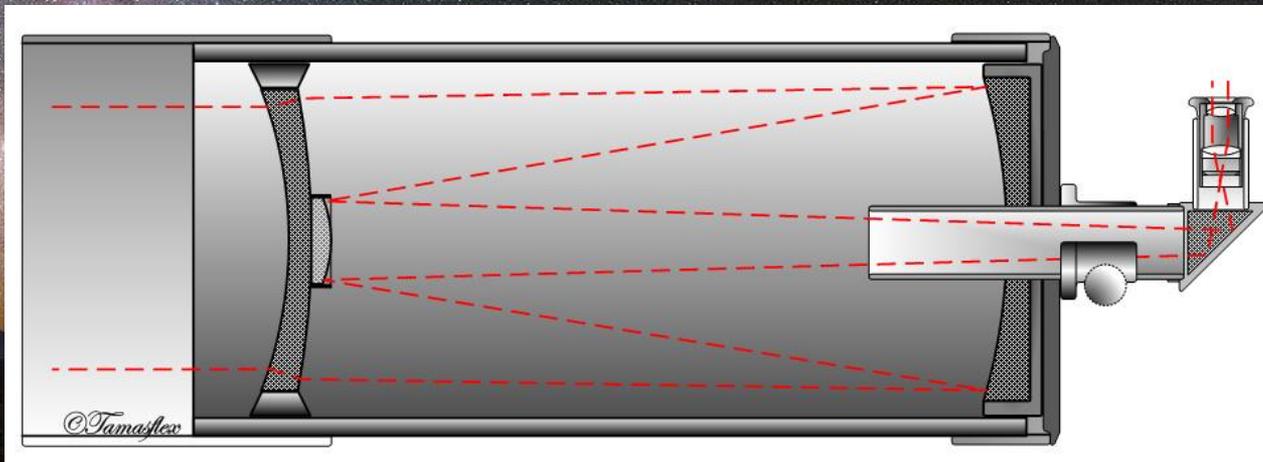
La lentille frontale concave-convexe (le ménisque) possède une zone centrale aluminée sur sa partie convexe. Cette zone fait office de miroir secondaire.

Le ménisque corrige l'aberration de sphéricité.

Ces miroirs primaire et secondaire de profils **sphériques** sont faciles à produire.

- Formule optique avec un rapport F/D très long (F/D 12 à 15) donc recherchée pour le planétaire.
- Diamètres courants pour les amateurs : de 90 à 200 mm.

La mise température des Maksutov est particulièrement longue, supérieure à 1h (Tube fermé, épaisseur du ménisque). Le ménisque est sensible à la buée, comme la lame de Schmidt des Schmidt-Cassegrain.



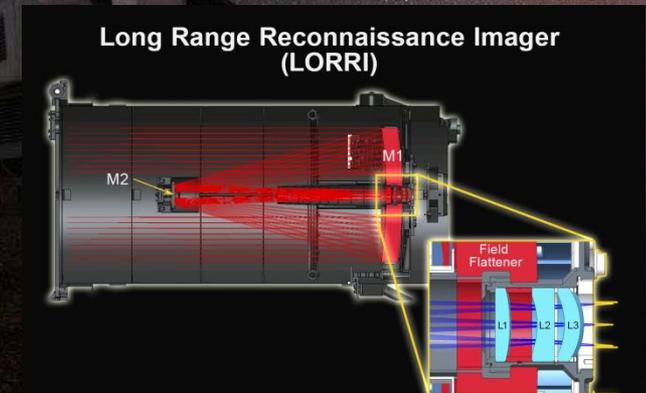
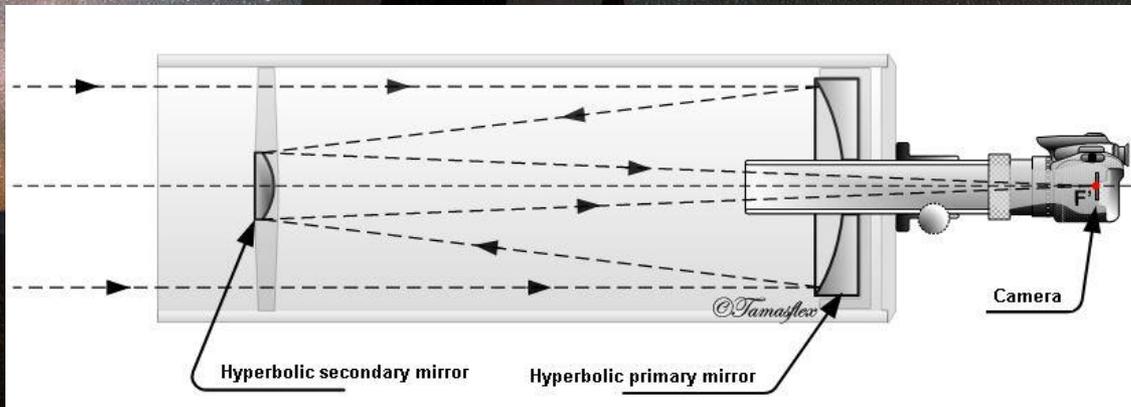
6.4 Le télescope Ritchey-Chrétien

Souvent qualifiée de (télescope sans aberration), c'est en effet une optique qui a le mérite d'apporter une excellente correction de la plupart des aberrations.

Les miroirs primaire et secondaire sont hyperboliques.

- Formule optique avec un rapport $F/D = 8$.
- Diamètres courants pour les amateurs fortunés: de 150 à 800 mm.

Cette conception Cassegrain améliorée a été utilisée pour élaborer le Télescope Spatial Hubble dérivé des satellites espions Keyhole et vous la retrouverez dans la plupart grands télescopes installés dans les hauts-lieux de l'astronomie ainsi que sur les sondes spatiales comme l'imager LORRI de la sonde New Horizons qui photographia Pluton en haute résolution en 2015.



6.5 L'obstruction

Une lunette astronomique n'a pas d'obstruction. Toute la lumière passe à travers les lentilles.

En raison de leurs formules optiques, les télescopes à miroirs introduisent la notion d'obstruction.

Le miroir secondaire est situé en face du miroir primaire. Cela introduit une légère diminution de la quantité de lumière collectée, mais surtout une baisse du contraste.

Pour calculer l'obstruction, il est nécessaire de connaître le petit diamètre du miroir secondaire. C'est un miroir en forme d'ellipse mais orienté à 45° , il forme un cercle.

L'obstruction s'exprime en pourcentage de diamètre du primaire obstruée par le secondaire:

$$\text{Obstruction} = \frac{d}{D}$$

Si un télescope avec un miroir primaire de $D=200$ mm est associé à un secondaire de $d=40$ mm, l'obstruction sera de 20%.

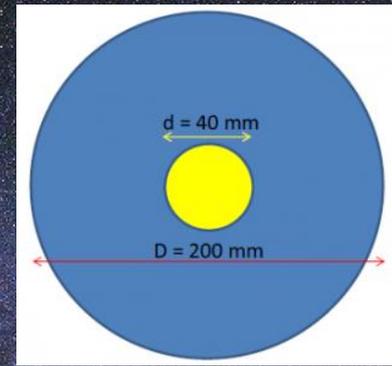
La perte de luminosité créée par le secondaire est donnée par :

$$\text{Perte luminosité} = \frac{d^2}{D^2}$$

Ce même télescope de miroir primaire 200 mm, en raison du secondaire, perdra donc 4% de luminosité par rapport à un instrument de 200 mm sans obstruction. C'est donc l'équivalent, en termes de luminosité, à un 196 mm non obstrué.

Plus l'obstruction sera faible, meilleur sera le contraste d'un objet observé. C'est une notion importante en planétaire. Un télescope à miroir a généralement une obstruction comprise entre 15 et 35%.

Certains instruments dédiés à la photographie à grand champ du ciel profond peuvent présenter une obstruction supérieure à 40 %.



6.6 La collimation

Le problème des télescopes est que leurs miroirs primaire et secondaire se dérèglent avec le transport ou le temps.

Pour l'observation ils doivent toujours être correctement alignés.

Si ce n'est pas le cas, on doit « collimater » le télescope.

Quand le télescope est décollimaté les images sont floues.

Avec un laser de collimation ou un oculaire Cheshire on aligne les miroirs et les images sont de nouveau nettes.

Le laser de collimation est plus précis et plus facile d'utilisation.

On doit seulement placer le laser à la place de l'oculaire et centrer le point rouge au milieu du miroir primaire grâce à ses vis, puis faire de même pour le retour du point rouge dans la cible sur le laser de collimation pour centrer le miroir secondaire.



Oculaire



Laser de collimation

7. Les Oculaires

Un oculaire est un système optique comportant plusieurs lentilles permettant de faire varier le grossissement des instruments et donnant à l'observateur une image « à l'infini » d'un objet.

Cette vision « à l'infini » permet d'avoir une image nette sans accommodation de l'œil.

7.1 Les coulants

Il s'agit du diamètre extérieur de la jupe de l'oculaire, et donc du diamètre intérieur du porte-oculaire.

Il existe plusieurs diamètres.

- le 50.8 mm (ou 2 pouces, noté aussi 2")
- le 31.75 mm (ou 1.25 pouce, noté aussi 1.25" ou 1 ¼")
- le 24.5 mm (ou 1 pouce, noté aussi 1"). Peut être utilisé maintenant.

Ce diamètre influe sur le champ maximum que peut couvrir un oculaire.

Avec un instrument 200/1000 le champ est de :

- 2.9° avec un porte oculaire de 2" (50.8 mm)
- 1.8° avec un porte oculaire de 1.25" (31.75 mm)



7.2 La focale de l'oculaire

C'est d'elle que va dépendre le grossissement.

Selon que l'on cherche une galaxie, la Lune ou des planètes, les grossissements utilisés ne sont pas les mêmes.

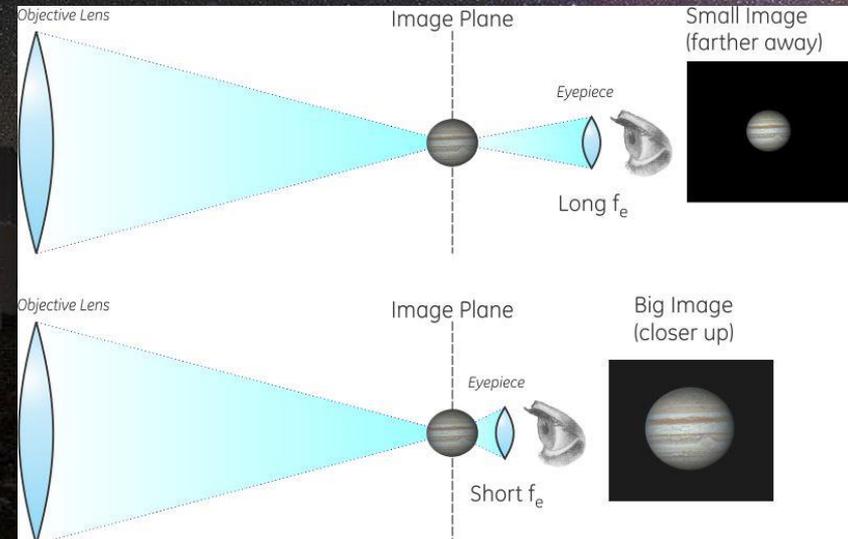
C'est pour cela qu'il faut une gamme d'oculaires.

La formule du grossissement est donnée par :

$$\text{Grossissement} = \frac{\text{Focale de l'instrument}}{\text{Focale de l'oculaire}} = \frac{F}{f}$$

Par exemple, un instrument de 1200 mm de focale avec un oculaire de 5 mm de focale grossira 240x (1200 / 5).

Plus un oculaire a une petite focale, plus il grossira.



7.3 Le champ apparent et le champ réel

Le champ apparent

C'est l'angle de vue qu'un observateur a en regardant dans l'oculaire seul.

En prenant un oculaire de champ apparent 52° , un observateur regardant à travers aura son champ de vision limité à 52° .

Imaginez que vous regardiez à travers un cylindre : il vous bloque une partie de la vision.

Le champ réel

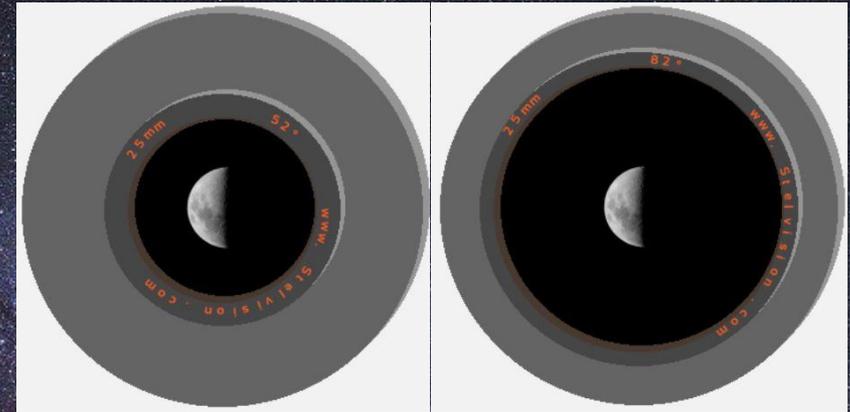
C'est la portion d'espace que l'on aperçoit lorsqu'on regarde à travers l'oculaire.

Ce champ dépend du champ de l'oculaire (champ apparent ou CA) et du grossissement.

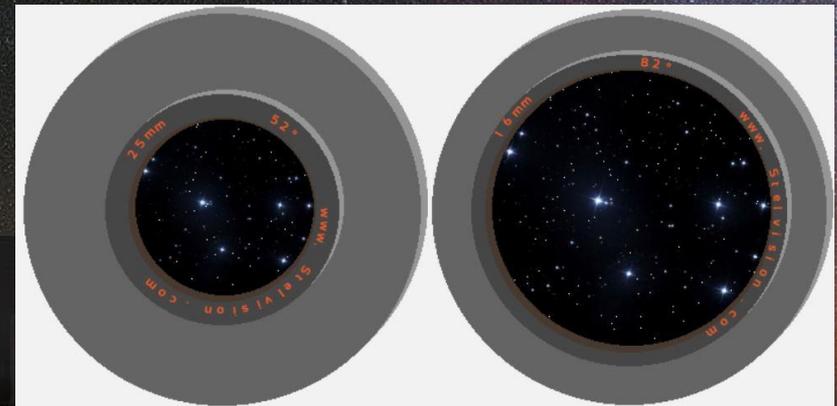
Le champ réel est alors donné par la formule :

$$\text{Champ réel} = \frac{\text{Champ apparent de l'oculaire}}{\text{Grossissement}}$$

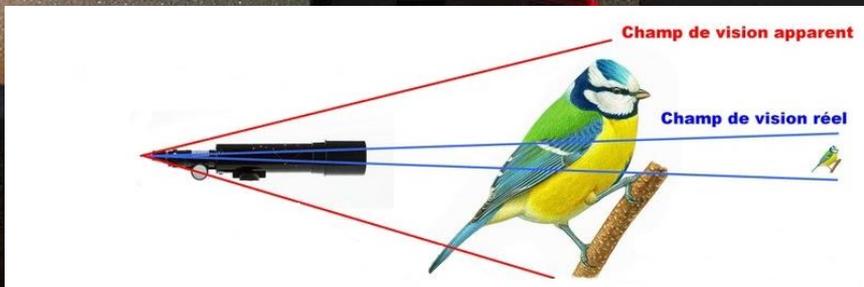
L'observation de la Lune, de la voie lactée, des amas ou des nébuleuses requiert le champ le plus important possible. Un grand champ facilite également le pointage des astres.



Focale du telescope 1200 mm
2 objectifs de meme focale 25 mm
Meme grossissement $1200/25 = 48x$
Champ apparent des objectifs 52° et 82°
Champs réels observés 1.08° et 1.7°



Focale telescope 1200 mm
2 objectifs de focale 25 et 16 mm
Grossissement $48x$ et $75x$
Champ apparent de 52° et 82°
Meme champ réel observé 1.1°



7.4 Choix du grossissement

Une bonne gamme d'oculaires doit se composer des éléments suivants :

➤ Le grossissement minimum

C'est celui qui est le plus lumineux et qui offre le maximum de champ.

La focale de l'oculaire qui donne le grossissement minimum se calcule en multipliant $f/D \times 7$

Exemple : un télescope 200/1200 a un rapport d'ouverture (f/D) de : $1200/200 = 6$.

L'oculaire donnant le plus faible grossissement utilisable a donc une focale d'environ $6 \times 7 = 42$ mm.

➤ Le grossissement moyen

C'est celui que l'on utilise pour observer la Lune en entier et pour l'observation des amas, galaxies et nébuleuses.

C'est un oculaire dont la focale est égale à $f/D \times 3$.

Par exemple, avec un 200/1200, le grossissement moyen est égale à : $(1200/200) \times 3 = 18$ mm.

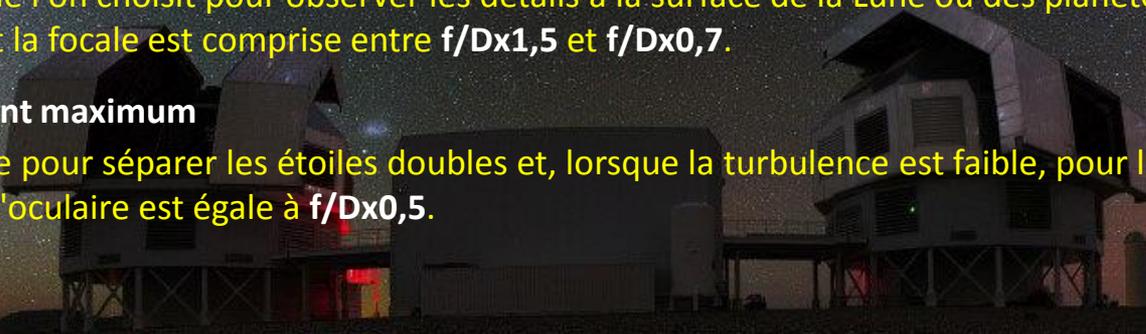
➤ Le grossissement utile

C'est celui que l'on choisit pour observer les détails à la surface de la Lune ou des planètes. Il est donné par un oculaire dont la focale est comprise entre $f/D \times 1,5$ et $f/D \times 0,7$.

➤ Le grossissement maximum

Indispensable pour séparer les étoiles doubles et, lorsque la turbulence est faible, pour la Lune et Saturne.

La focale de l'oculaire est égale à $f/D \times 0,5$.



7.5 La qualité

Sur chaque oculaire il est inscrit la focale et une ou plusieurs lettres, voire un nom. Il s'agit de la formule optique.

Les indications ci-après vous permettront de connaître le niveau de qualité en fonction de ces lettres ou du nom.

- **Qualité ordinaire** : H. HM. R. SR.
- **Qualité moyenne** : AH. K. MA. SMA.
- **Très bonne définition** : OR ou Orthoscopique
- **Haute définition** : OR HD ou Orthoscopique haute définition; PL ou Plössl; Eudiascopique; Super Plössl
- **Très haute définition** : Panoptic; AVW ou Lanthanum
- **Spéciaux grand champ à haute définition** : Nagler; Nagler 2; Wide Field; SWA ou Super Wide Angle; UWA ou Ultra Wide Angle; Televue Ethos.

Désignation	Notation	Année	Champs	Nb de lentilles	Commentaires
Galilée		Avant 1600	faible	1	Plus vendu
Kepler		1603	faible	1	Bas de gamme
Huygens	H	1703	30°	2	Bas de gamme
	HM formule améliorée Huygens-Mittenzwey				
Ramsden	R	1790	< 40°	2	Bas de gamme
	SR formule améliorée Super Ramsden				
Kellner ou MA	K ou Ke ou MA	1849	< 40°	3	Bas de gamme
Plössl	Pl	1860	50° -52°	4	Oculaires de base
	SP formule améliorée Super Plössl				
Abbe ou orthoscopique	Or	1880	40° à 50°	4	Oculaires de base

Désignation	Notation	Année	champs	Nb de lentille	Commentaires
König	Ko	1 ^{er} moitié du XX siècle	60° à 70°	3	Evolution de Kellner
Erfle	Er	1917	65° à 70°	5 à 6	Evolution de Plössl
Wide Angle	WA avec éventuellement d'autres lettres	A partir des années 60-70	70° à 82°	6 à 8	Evolution de Plössl
Nagler (mise au point par Televue)		1985	82°	7 à 8	Mise au point par Nagler
Ethos (mise au point par Televue)		2008	100°	7 à 8	La formule optique n'est pas connue, exclusivité Televue

Champ	Série	Fabricant	Champ	Série	Fabricant
68°	Panoptic	Televue	70°	Ultima LX	Celestron
68°	SuperView	Sky Optic	72°	Delos	Televue
68°	Elyth Pro	Sky Optic	72°	SWAN	William Optics
68°	Hypérior	Baader	82°	5000 UWA	Meade
68°	Stratus	Orion	82°	UWA	Sky Watcher
70°	W70	Antares	82°	Luminos	Celestron
70°	PanaView	Sky Optic	82°	Nagler	Televue
70°	XW	Pentax	100°	Ethos	Televue



7.6 Les différents types d'oculaires :

Les schémas à droite présentent l'architecture des principaux oculaires existant aujourd'hui dont les principes de base remontent au 18^{ème} siècle (Huygens)

Les oculaires de Huygens (H), Huygens-Mittenzwey (HM), Ramsden (R)

- Formule optique : 2 lentilles simples
- Prix : 25 à 30 euros
- Remarques : Oculaires d'initiation de qualité très, très moyenne

Les oculaires Kellner (K), achromatique modifiés (MA) et SMA

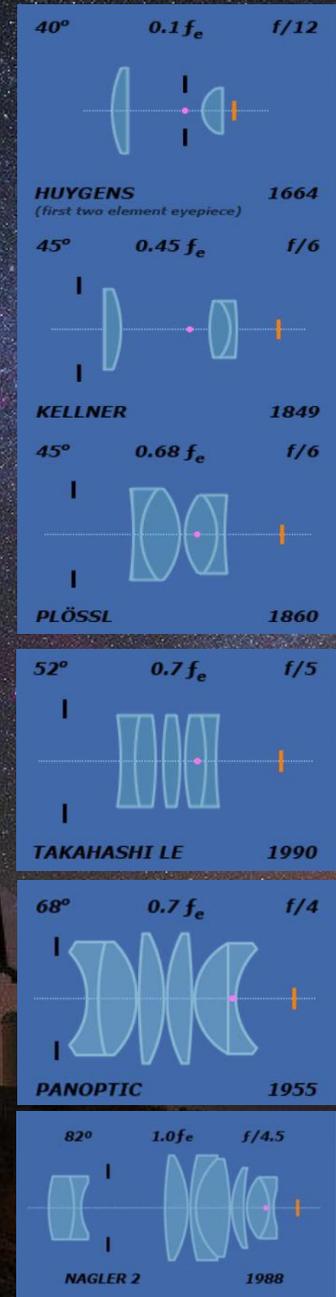
- Formule optique : 3 lentilles
- Prix : 45 à 60 euros
- Remarques : Oculaires de qualité moyenne, mieux corrigés contre les aberrations chromatiques que les oculaires d'initiation.

Les oculaires Plössl et Orthoscopiques (Or), les oculaires Super Plössl et autres dérivés : Eudiascopiques, Ultima, Lanthanum (LV), LE Takahashi

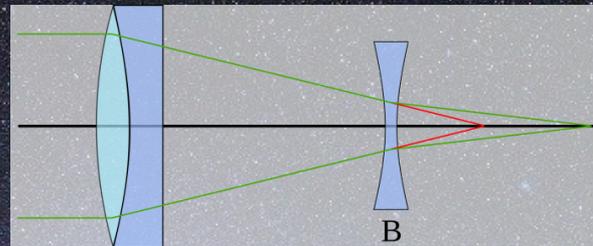
- Formule optique : 4 à 7 lentilles
- Prix : 60 à 250 euros
- Remarques : Oculaires de très bonne qualité, utilisables sur tous les types d'instruments. Existents en coulant 31,75 et 50,8 mm.

Les oculaires grand champ et très grand champ : Meade Super grand angle (SWA), Pentax (XL), Lanthanum grand champ (LVW), Panoptic, Nagler, Meade Ultra grand angle (UWA)

- Formule optique : 6 à 8 lentilles
- Prix : 230 à 1000 euros
- Remarques : Très grande qualité optique et champ apparent double d'un oculaire d'initiation ; images fabuleuses. Existents en coulant 31.75 et 50.8 mm.



7.7 La lentille de barlow



La lentille de Barlow se met dans le porte-oculaire de l'instrument. L'oculaire vient ensuite se glisser dans la barlow. Le rôle d'une barlow est d'augmenter la focale de l'instrument. Elle est caractérisée par son coefficient multiplicateur. Une barlow x2 doublera la focale de l'instrument.

$$\text{Focale résultante} = \text{Focale instrument} \times \text{Coefficient de la barlow}$$

En augmentant la focale de l'instrument, on augmente le grossissement qui sera réalisé avec le même oculaire.

Un Télescope 200 / 1200 avec un oculaire de 10 mm grossit 120x (1200 / 10). Si on lui rajoute une barlow x 2, la focale de l'instrument devient 2400 mm. Avec l'oculaire de 10 mm, on grossira donc 240x (= 2400 / 10).

Une autre façon simple de se représenter le rôle de la barlow et de dire qu'elle multipliera le grossissement.

Ainsi, le 10 mm qui grossit 120x permettra de grossir 240x avec une barlow x2 (=120 x 2).

Le calcul du champ réel obtenu en regardant dans l'oculaire ne change pas. Il est donc toujours égal à :

$$\text{Champ réel} = \frac{\text{Champ apparent de l'oculaire}}{\text{Grossissement}}$$

Le 200 / 1200 avec un oculaire de 10 mm et 52° de champ apparent donnera donc :

- Grossissement x 120 et champ réel de 0.43° sans la barlow
- Grossissement x 240 et champ réel de 0.21° avec la barlow x2

7.8 Le réducteur de focale

Tout comme la lentille de Barlow, c'est un accessoire qui permet de modifier la longueur focale de votre tube optique, et donc le rapport f/d (ou d'ouverture) de votre télescope.

Cette fois-ci, à l'inverse de la Barlow qui sert à grossir l'image au détriment de la luminosité, le réducteur de focale permet de réduire la focale de votre télescope, et donc d'ouvrir le champ du télescope et d'accroître sa luminosité.



8. Les Filtres

Le rôle d'un filtre est:

- d'éliminer une partie de la lumière lorsque l'image reçue est trop lumineuse (filtres solaire, filtres neutre ou polarisant pour la Lune).
- de ne laisser passer qu'une partie de la lumière dans le but de sélectionner une partie du spectre et donc de renforcer la visibilité de certains détails (filtres colorés).
- d'éliminer la pollution lumineuse des villes pour permettre l'observation du ciel profond (filtres anti-pollution).

8.1 Les filtres solaire

L'observation télescopique du Soleil est très dangereuse.

Une méthode sûre, efficace et peu onéreuse consiste à disposer un filtre en mylar aluminé à l'entrée de l'instrument. Il évite ainsi toute concentration importante de la lumière. Il existe des filtres en verre aluminé mais beaucoup plus chers.

Ce type de filtre divise par 100 000 la luminosité.

8.2 Les filtres lunaire

La lune doit être obscurcir pour éviter l'éblouissement quand on l'observe avec un télescope.

Les filtres classiques pour la Lune sont des filtres gris neutres c'ad qu'ils atténuent la lumière dans toute les longueurs d'ondes : ND96-x,x (Transmission lumineuse) ND 96-0,9 (13%), ND96-0,6 (25%), ND96-0,3 (50%)

L'idéale c'est le double filtre polarisant qui donne une atténuation variable par rotation entre 1 et 40 %.



8.3 Les filtres colorés pour observer les planètes:

Un filtre couleur éclaircit les structures qui ont la même couleur que lui et assombrit les détails de la couleur complémentaire, ce qui donne un contraste global plus intense, l'image rend plus de détails.

	Filtres utilisables
	Filtres recommandés
	Filtres fortement recommandés

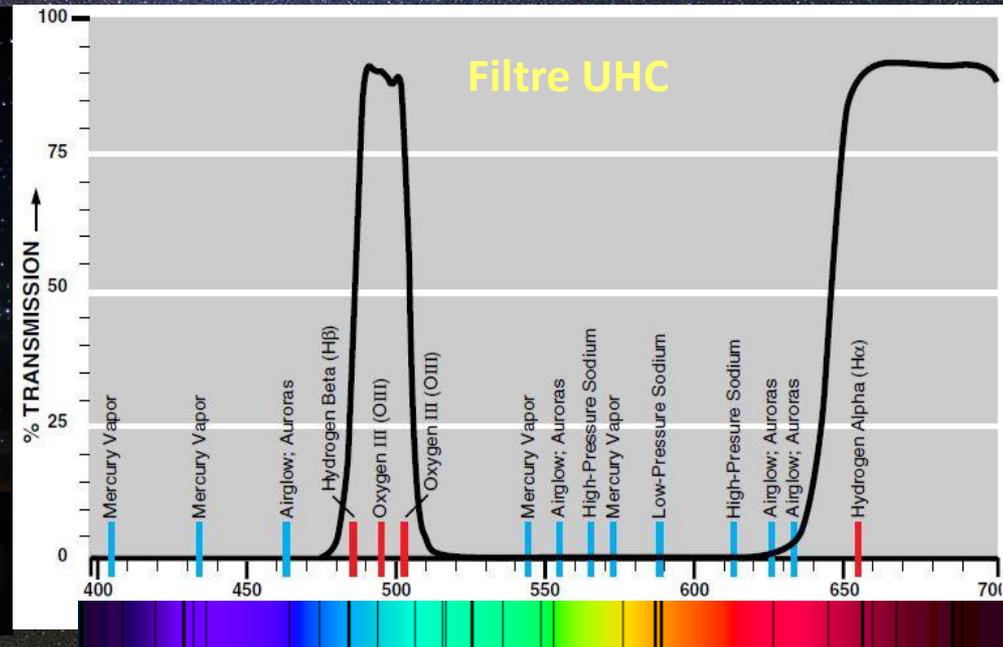


N°	COULEURS		Taux de transmission de la lumière	PLANETES						
				Lune	Mercure	Vénus	Mars	Jupiter	Saturne	
ND96		gris neutre	13%	Réduit la forte luminosité						
<u>12</u>		Jaune	74%	Augmente le contraste des caractéristiques			Éclaircit les zones rouges-oranges, et augmente ainsi le contraste des secteurs bleus-verts	Renforce les zones rouges et oranges, améliore les contrastes	Renforce les zones rouges et oranges, améliore les contrastes	
<u>21</u>		Orange	46%	Fait ressortir les grandes régions lunaires telles que les Mers		Réduit la forte luminosité	Renforce les frontières entre les secteurs jaunes-oranges et les régions bleues-vertes, obscurcit les détails des bords des mers	Réduit ou bloque la transmission de longueurs d'ondes bleues-vertes. Renforce les détails dans les bandes et les régions polaires	Réduit ou bloque la transmission de longueurs d'ondes bleues-vertes. Renforce les détails dans les bandes et les régions polaires	
<u>23a</u>		Rouge léger	25%		Renforce le contraste entre la planète et le brillant ciel bleu au cours des observations de jour ou au crépuscule	Renforce le contraste entre la planète et le brillant ciel bleu au cours des observations de jour ou au crépuscule	Renforce plus fortement les frontières entre les secteurs jaunes-oranges et les régions bleues-vertes, obscurcit les détails des bords des mers	Réduit ou bloque la transmission de longueurs d'ondes bleues-vertes. Renforce plus fortement les détails dans les ceintures et les régions polaires	Réduit ou bloque la transmission de longueurs d'ondes bleues-vertes. Renforce plus fortement les détails dans les ceintures et les régions polaires	
<u>25</u>		Rouge	14%		Renforce le contraste entre la planète et le brillant ciel bleu au cours des observations de jour ou au crépuscule	Renforce le contraste entre la planète et le brillant ciel bleu au cours des observations de jour ou au crépuscule	Renforce les limites des calottes polaires et des mers	Bloque fortement la transmission de longueurs d'ondes bleues et bleues-vertes, renforce les contrastes, utile pour les passages des satellites devant la planète	Augmente les contrastes dans les bandes nuageuses	
<u>38a</u>		Bleu	17%			Augmente les contrastes des subtils nuages	Utile pour l'étude de phénomènes isolés, comme les tempêtes de poussières	Augmente le contraste entre les structures rougeâtres de la ceinture et augmente les détails de la Tache Rouge	Renforce les détails de la structure des anneaux	
<u>47</u>		Violet	3%			Utile pour l'observation de phénomènes occasionnels dans la haute atmosphère	Utile pour l'étude des régions des calottes polaires	Augmente le contraste	Augmente le contraste entre les anneaux	
<u>56</u>		Vert léger	53%	Renforce les détails		Excellent pour l'observation des calottes polaires, augmente les contrastes des subtils nuages	Augmente le contraste des régions rouges et bleues dans l'atmosphère et dans les bandes de nuages	Augmente les contrastes des zones rouges et bleues dans les bandes nuageuses		
<u>80a</u>		Bleu	30%	Renforce les contrastes des caractéristiques		Augmente les contrastes des subtils nuages	Renforce les contrastes dans les bandes de nuages et les détails	Renforce les détails dans les bandes et les pôles, augmente le contraste de la Grande Tache Rouge	Renforce les détails dans les régions polaires	
<u>82a</u>		Bleu léger	73%	Augmente les contrastes en évitant une trop grande atténuation de la luminosité		Augmente les contrastes en évitant une trop grande atténuation de la luminosité	Augmente les contrastes en évitant une trop grande atténuation de la luminosité	Augmente les contrastes en évitant une trop grande atténuation de la luminosité	Renforce les détails de la structure des anneaux	

8.4 Les filtres interférentiels

Leur rôle va être de bloquer les raies de la pollution lumineuse et de ne laisser passer que les raies intéressantes. Ces filtres peuvent être employés pour l'observation visuelle ou la photographie.

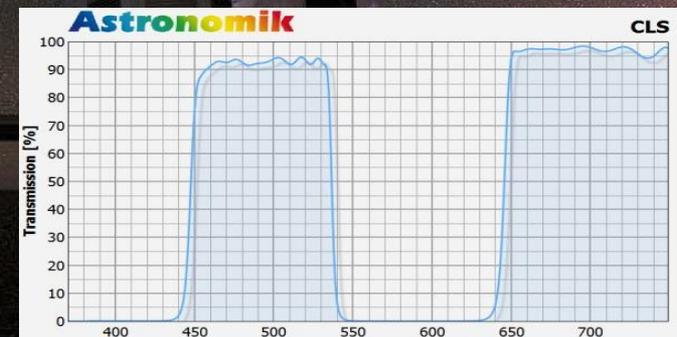
L'échelle de Bortle



Filtres antipollution Deep Sky, CLS : Ils bloquent toute la lumière émise par les lampes au mercure qui émet plusieurs raies (404.7, 435.8, 546.1, 577.0 et 579.1 nm) et le sodium qui produit deux raies intenses dans le jaune à 589.0 et 589.6 nm.

Ils bloquent aussi la lumière des néons.

C'est un filtre polyvalent (large bande) à utiliser en milieu urbain pour l'observation des nébuleuses.



Filtre UHC (Ultra High Contrast) : Bande passante étroite (24nm), isole les raies de l'oxygène III (496 et 501nm) et la raie Hydrogène-beta (486nm) émise par les nébuleuses planétaires et la plupart des nébuleuses en émission ainsi que la raie Hydrogène-alpha (656nm). Très bon filtre pour les zones polluées.

Filtre OIII (Oxygène III) : Bande passante très étroite qui isole uniquement les raies de l'Oxygène III (496 et 501nm) émises par les nébuleuses planétaires et les nébuleuses très faibles.

M42 Orion, M27 Dumbbell....

Filtre H-Beta : Bande passante très étroite, isolant la raie de l'Hydrogène H Beta (486nm).

Excellent pour l'observation des nébuleuses très faibles telles que la nébuleuse de la tête de cheval, du cocon et californica mais nécessite un ciel bien transparent et un télescope de grand diamètre.

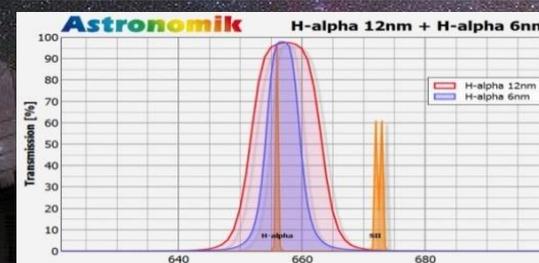
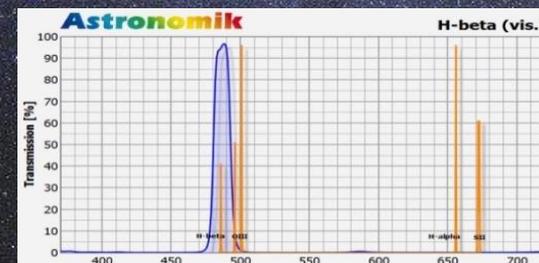
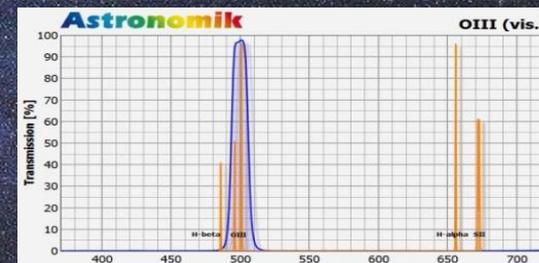
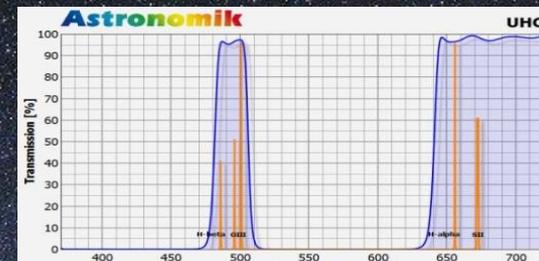
Filtre H-Alpha : La raie H-Alpha a 656.3 nm est celle de l'élément chimique le plus abondant de l'univers (l'hydrogène).

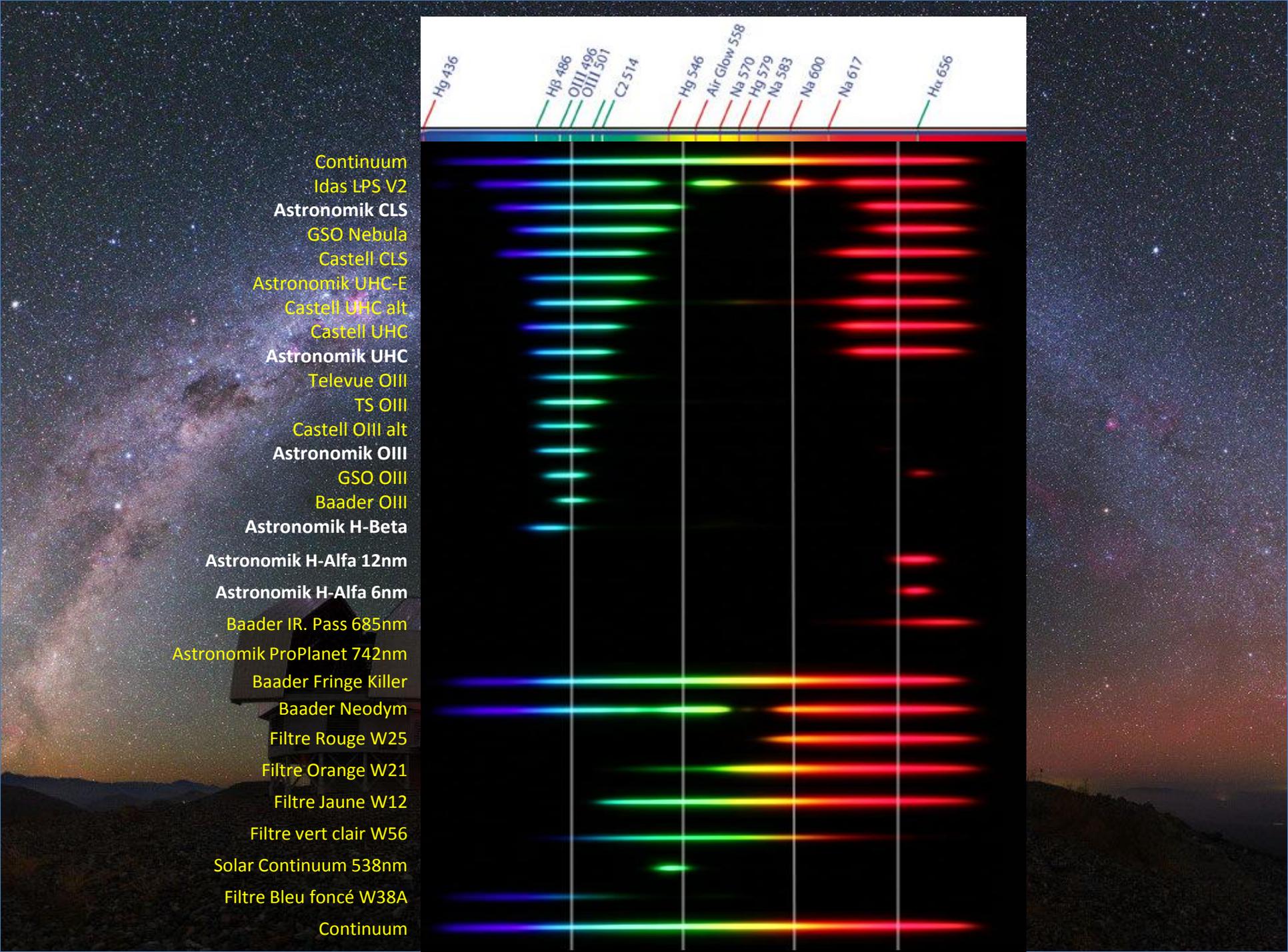
Filtre utilisé en astrophotographie.

La longueur d'onde H-alpha est émise par les nébuleuses telle que la nébuleuse de la tête de cheval IC434.

Filtre H-Alpha solaire: Pour pouvoir observer la chromosphère du soleil, qui émet beaucoup moins de lumière que la photosphère, il faut d'abord se débarrasser de l'éblouissante lumière de cette dernière. Si on tente d'utiliser à cet effet un filtre ordinaire, non sélectif (par exemple un filtre en mylar aluminisé), on va bien entendu réduire l'intensité lumineuse dans de fortes proportions, mais malheureusement à toutes les longueurs d'onde, et donc aussi à la longueur d'onde de la raie H-alpha. Il faut donc trouver un moyen de diminuer l'intensité la lumière, sauf à la longueur d'onde correspondant à la raie H-alpha.

Cette mission délicate est confiée à un filtre interférentiel de type **Fabry-Pérot**.





- Continuum
- Idas LPS V2
- Astronomik CLS
- GSO Nebula
- Castell CLS
- Astronomik UHC-E
- Castell UHC alt
- Castell UHC
- Astronomik UHC
- Televue OIII
- TS OIII
- Castell OIII alt
- Astronomik OIII
- GSO OIII
- Baader OIII
- Astronomik H-Beta
- Astronomik H-Alfa 12nm
- Astronomik H-Alfa 6nm
- Baader IR. Pass 685nm
- Astronomik ProPlanet 742nm
- Baader Fringe Killer
- Baader Neodym
- Filtre Rouge W25
- Filtre Orange W21
- Filtre Jaune W12
- Filtre vert clair W56
- Solar Continuum 538nm
- Filtre Bleu foncé W38A
- Continuum

Hg 436
Hβ 486
OIII 496
OIII 501
C2 514
Hγ 546
Air Glow 558
Na 570
Hγ 579
Na 583
Na 600
Na 617
Hα 656

9. Les Montures

9.1 La monture azimutale

Elle permet deux mouvements, l'un horizontal (l'azimut), l'autre vertical (l'altitude).

Très simple d'utilisation, elle peut toutefois se révéler d'un usage délicat pour l'observation du ciel.

En effet, les astres décrivant une courbe dans le ciel, on doit agir en permanence sur les deux axes pour les suivre, ce qui est une opération délicate dans le cas d'un instrument non motorisé. Le suivi est beaucoup plus simple avec une monture équatoriale (voir ci-après).

En revanche, ce type de monture ne requiert aucun réglage préalable, contrairement à une monture équatoriale qui nécessite une préparation appelée mise en station.

Certaines montures azimutales sont équipées d'une assistance informatique (GOTO) permettant de repérer aisément l'astre choisi.



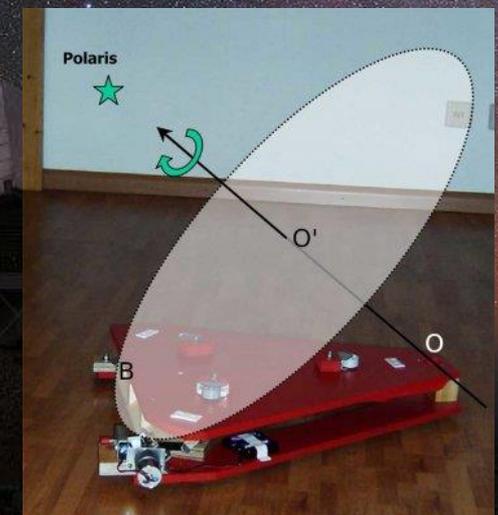
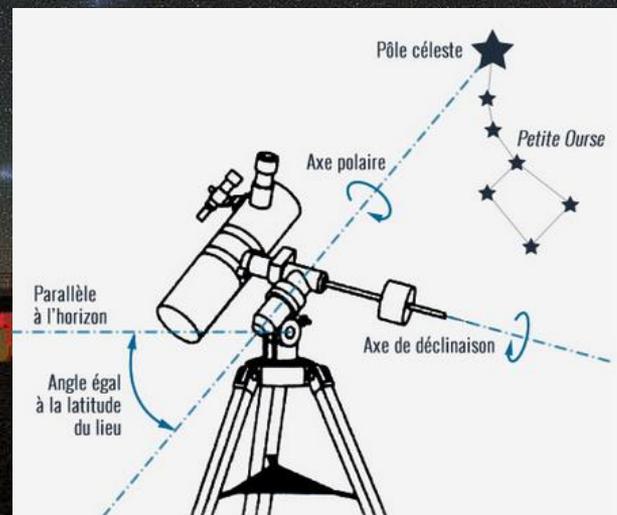
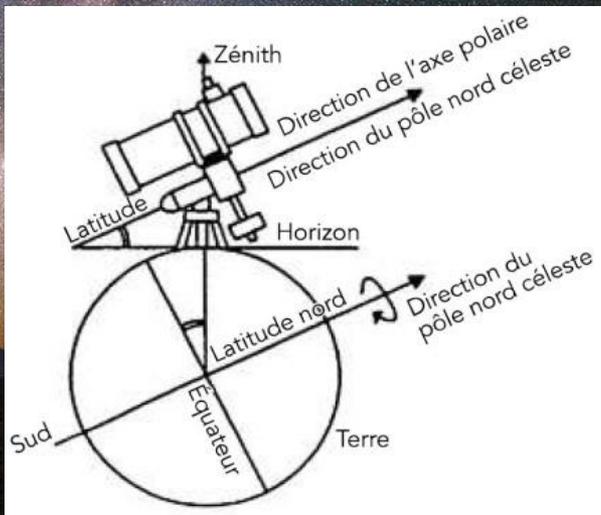
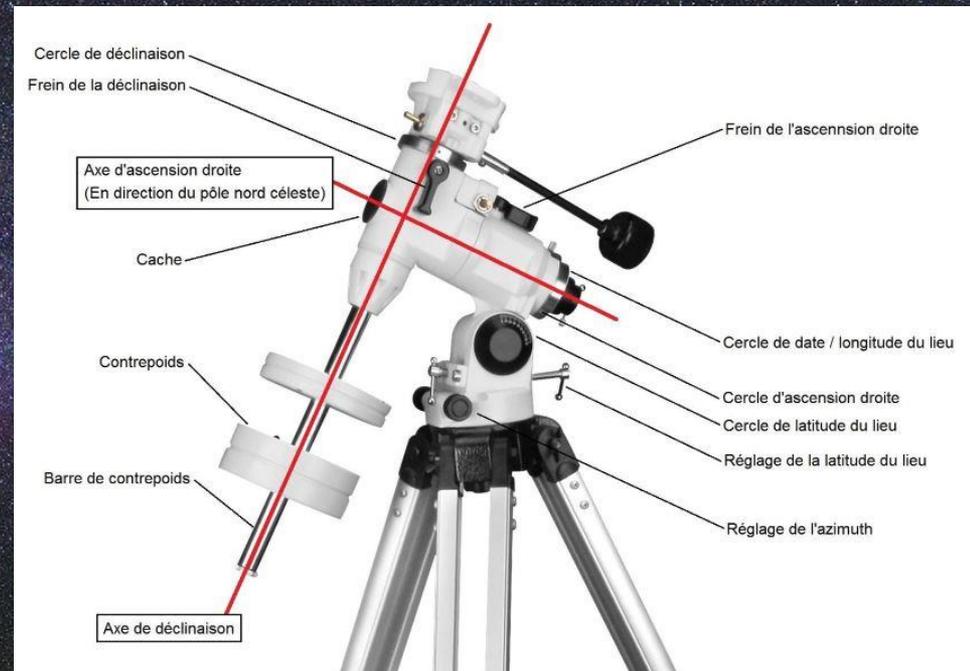
9.2 La monture équatoriale

La monture équatoriale permet de suivre la rotation de la Terre en tournant autour d'un seul axe, appelé axe polaire ou axe d'ascension droite.

Cette rotation est assurée soit par une molette manipulée par l'observateur, soit par un petit moteur synchronisé sur la vitesse de rotation de la Terre, afin de compenser le mouvement apparent du ciel.

Bien que nécessitant un réglage préalable (appelé mise en station) et un rapide apprentissage, ce type de monture est d'un maniement beaucoup plus facile et précis que celui de la monture azimutale.

La monture équatoriale est indispensable pour une utilisation en astrophotographie.



Pour Dobson

9.3 L'informatisation des montures

Qu'elles soient azimutales ou équatoriales, certaines montures sont parfois équipées d'un système informatique rendant la monture « intelligente ».

Concrètement, une monture informatisée est munie d'un boîtier électronique (on parle de raquette de commande), contenant une banque de données de plusieurs dizaines de milliers d'objets.

Un clavier permet d'entrer la date, l'heure et le lieu d'observation. Le programme intégré à la raquette se charge ensuite de repérer à votre place l'astre convoité et vous guide vers lui.

Il n'existe pas de nom officiel pour ces instruments de nouvelle génération, mais on utilise couramment les dénominations suivantes:

- **instrument push-to** (« pousser vers »), quand la raquette se contente de vous indiquer où pointer (plus à droite, plus à gauche, plus haut, plus bas...) et que le déplacement du tube est assuré par l'utilisateur
- **instrument GOTO** (« aller vers »), lorsque l'instrument est muni de moteurs; le tube se déplace alors tout seul pour aller pointer la cible choisie.

Les moteurs du système GOTO lui permettent bien sûr de compenser la rotation de la Terre, de telle sorte qu'une fois pointé, l'objet reste visible à l'oculaire pendant toute la durée de l'observation.

On peut dès lors se demander pourquoi avoir une monture équatoriale si on dispose d'un suivi automatique.

En effet, une monture azimutale équipée en GOTO ne présente plus les difficultés de pointage et de suivi qui en rendent l'usage difficile.

La monture équatoriale est toutefois indispensable pour une utilisation en astrophotographie.



10. Les limites des instruments

10.1 Grossissement

10.1.1 Grossissement maximal

Le grossissement maximal d'un instrument n'est qu'une valeur théorique, fortement influencée par sa conception, sa qualité, ses réglages et les conditions atmosphériques.

Il est toutefois raisonnable de dire que l'on peut grossir 2x le diamètre.

$$G_{max} \sim 2 \cdot D$$

Il est tout à fait possible de grossir plus (certaines lunettes apo peuvent monter jusqu'à 3.D). Cependant, plus l'image sera grossie, plus elle sera sombre et semblera floue.



Un instrument de 200 mm de diamètre pourra, en théorie, grossir jusque 400x.

En pratique, 300x est déjà une valeur intéressante et ne peut être atteinte que si l'instrument est de bonne qualité, bien réglé et sous un ciel stable. Si une de ces conditions n'est pas remplie, l'image ne sera pas nette.

Diametre	G. maximal
50 mm	100
100 mm	200
150 mm	300
200 mm	400
250 mm	500
300 mm	600

10.1.2 Grossissement résolvant

Le grossissement résolvant constitue une valeur théorique qui indique le grossissement à partir duquel tous les détails sont révélés. Au-dessus de cette valeur, l'objet est plus gros mais n'apporte pas plus de détails.

Ce grossissement est donc directement lié à la performance de l'œil.

On utilise généralement deux valeurs pour le pouvoir de résolution de l'œil : 1' (œil performant) ou 2' (moins performant):

$$G_{\text{résolvant}} = D/2 \quad \text{si pouvoir de résolution de l'œil} = 1'$$
$$G_{\text{résolvant}} = D \quad \text{si pouvoir de résolution de l'œil} = 2'$$

Le grossissement résolvant d'un instrument de 200 mm de diamètre sera 100x si on admet un pouvoir de résolution de l'œil égale à 1'. Il sera de 200x si on admet une résolution de 2''.

Diametre	G. résolvant
50 mm	25
100 mm	50
150 mm	75
200 mm	100
250 mm	125
300 mm	150

10.1.3 Grossissement équipupillaire

Nous l'avons vu précédemment, si la pupille de sortie avec un oculaire est plus grande que la pupille de l'observateur, il perdra une partie de la lumière.

Cela peut cependant être intéressant si on désire un champ plus grand.

Le grossissement équipupillaire est défini comme le grossissement donnant une pupille de sortie égale à la pupille maximale de l'observateur. Un adulte a une pupille maximale d'environ 6 mm:

$$\text{Grossissement équipupillaire} = \frac{D}{\text{Pupille max}} \sim \frac{D}{6}$$

Sur un télescope de 200 / 1000 , le grossissement équipupillaire est égal à 33x.

Ce grossissement est atteint avec un oculaire de 30 mm (= 1000/33)

Diametre	G Équipupil.
50 mm	8
100 mm	17
150 mm	25
200 mm	34
250 mm	42
300 mm	50

10.2 Le pouvoir séparateur d'un instrument

Le pouvoir séparateur d'un instrument correspond à sa faculté à discerner de petits détails. Il est noté sous la forme d'un angle (en secondes d'arc) et représente la distance minimale séparant deux points lumineux de luminosités égales à partir de laquelle l'instrument pourra les discerner.

Si ces deux points (étoiles) sont plus proches, l'instrument n'en verra qu'un seul. Plus le pouvoir séparateur est petit, plus l'instrument montrera de détails.

Cette faculté dépend du diamètre de l'instrument et est estimée avec la formule:

Un instrument de diamètre 200 mm aura un pouvoir séparateur de 0.6''.

On peut utiliser le pouvoir séparateur pour prévoir si un instrument sera capable de séparer une étoile double.

Dans la constellation de la Lyre, l'étoile ϵ est une étoile « double – double ». Elle se compose tout d'abord de 2 étoiles éloignées de 3.5'. Ces deux étoiles sont elles-mêmes des étoiles doubles éloignées de 2.6'' et 2.3''.

Un télescope de 200 mm pourra donc les séparer.

Le télescope doit être de bonne qualité et bien collimaté.

10.3 La résolution

La résolution de l'instrument est définie par la taille minimale d'un détail que l'on peut observer sur un objet. Elle dépend bien sûr du pouvoir séparateur S exprimé en secondes d'arc de l'instrument (et donc de son diamètre) mais aussi de la distance L de l'objet à observer.

La résolution d'un télescope de 200 mm sur la Lune, éloignée de 384 000 km, est de 1.1 km. Cela signifie que le plus petit détail visible sur la Lune est de 1.1 km.



$$\text{Pouvoir séparateur} = S \sim \frac{120}{D}$$

Diametre	S Seconde d'arc
50 mm	2,4
100 mm	1,2
150 mm	0,8
200 mm	0,6
250 mm	0,48
300 mm	0,4

$$\text{Résolution} = R = L \cdot \tan \frac{S}{3600}$$

10.4 Les limites en magnitude:

Afin de caractériser la luminosité des étoiles, la notion de magnitude a été introduite depuis l'antiquité.

Au XIX^{ème} siècle, une échelle plus précise a été définie afin de déterminer la magnitude apparente.

Elle définit l'éclat qu'à un objet vu de la Terre. On utilise couramment le terme magnitude plutôt que magnitude apparente.

Moins une étoile est lumineuse, plus sa magnitude aura une valeur élevée. Une magnitude 1 sera très facile à observer à l'œil nu alors qu'une magnitude 6 ne pourra être discerné que très faiblement sous un ciel parfaitement noir.

10.4.1 La magnitude limite d'un instrument :

La magnitude théorique limite dépend du \emptyset de l'instrument, elle est donnée par la formule : $M_{th} = 2.1 + 5 \log D$

Ex pour un T200/1000 $\rightarrow M_{th} = 2.1 + 5 \log D = 2.1 + 5 \log 200 = 13.6$

En pratique la magnitude limite de l'instrument va dépendre de la qualité du ciel, donc de la pollution lumineuse et de la magnitude que l'œil de l'observateur peut atteindre. La magnitude limite de l'instrument est alors donnée par la formule :

$$\text{Magnitude limite instrument} \sim m_{\text{œil}} + 5 \cdot \log_{10} \frac{D}{6}$$

La valeur /6 prend comme hypothèse que la dilation maximale de la pupille est de 6 mm. Cette valeur peut être modifiée (généralement de 5 à 7).

Attention cependant ! La magnitude limite telle que décrite par la formule ne s'applique que pour les étoiles.

Pour les objets étendus, le type d'objet, sa magnitude, sa taille, et donc sa magnitude surfacique vont déterminer s'il est visible ou non.

L'échelle de Bortle : elle a été définie en 2001 par John Bortle dans le magazine < Sky and Telescope >.

Classe	Code couleur	Type de ciel	Plus petite magnitude visible
1	Noir	Excellent ciel noir	7.6 - 8
2	Gris	Ciel noir typique	7.1 - 7.5
3	Bleu	Ciel rural	6.6 - 7
4	Vert Jaune	Transition rural / périurbain	6.1 - 6.5
5	Orange	Ciel de banlieue	5.6 - 6
6	Rouge	Ciel de banlieue éclairée	5.1 - 5.5
7	Rouge	Transition banlieue / ville	4.6 - 5
8	Blanc	Ciel urbain	4.1 - 4.5
9	Blanc	Ciel de centre ville	4 au mieux

Ex pour T200/1000

- Dans le cas d'une pollution lumineuse à 9: $M = m_{\text{œil}} + 5 \log(D/6) = 4 + 5 \log(200/6) = 11.6$
- Dans le cas d'une pollution lumineuse à 1: $M = m_{\text{œil}} + 5 \log(D/6) = 8 + 5 \log(200/6) = 15.6$

11. Les aberrations

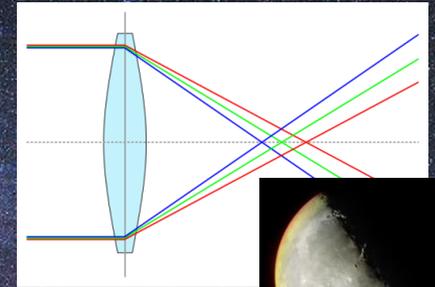
11.1 L'aberration chromatique : Elle caractérise uniquement les dispositifs composés de lentilles et ne concerne pas les systèmes à miroirs.

Le pouvoir de réfraction d'un verre varie en fonction de la longueur d'onde de la lumière.

Autrement dit, les propriétés optiques d'une lentille dépendent de la couleur de la lumière qui la traverse.

Quand un instrument optique superpose mal les représentations de l'objet observé dans ces différentes couleurs, on dit qu'il souffre d'une aberration chromatique.

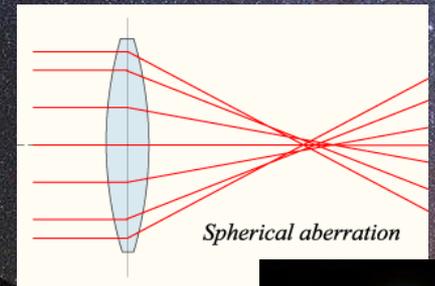
Si cette aberration est corrigée, on dit que l'optique est achromatique.



11.2 L'aberration de sphéricité : On parle de cette aberration quand les rayons lumineux qui passent par le bord de l'objectif forment une image en avant ou en arrière de celle qui est composée par les rayons proches de l'axe.

Les rayons centraux et les rayons marginaux ne convergent pas à la même distance de l'objectif.

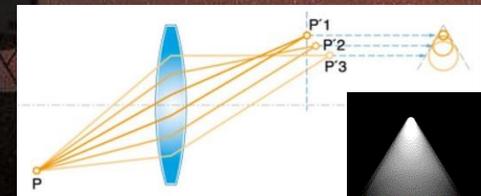
L'image résultante est également floue au bord et au centre du champ.



11.3 La coma : La figure montre l'image d'une étoile fournie par un télescope de NEWTON en dehors de l'axe optique.

Cette aigrette, appelée la coma, s'agrandit quand on s'écarte du centre du champ.

C'est surtout elle qui limite l'étendue du champ exploitable en photographie.



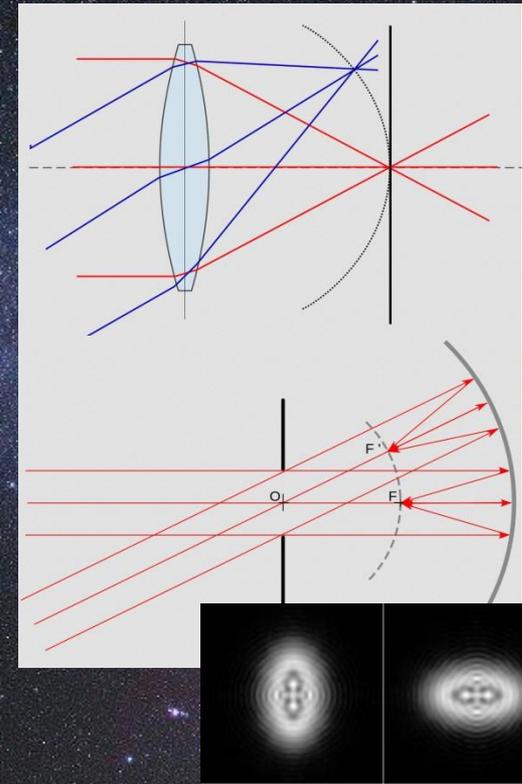
11.4 L'astigmatisme et la courbure de champ : Lorsqu'on s'écarte de l'axe optique, on constate un étirement des images des étoiles qui peuvent prendre la forme d'un trait. Il s'agit de l'astigmatisme.

D'autre part, l'image semble être projetée sur une surface courbe et non pas sur un plan. C'est la courbure de champ.

Ces deux aberrations provoquent des défauts de l'image proportionnellement au diamètre de l'optique et, en première approximation, au carré de la distance à l'axe.

L'astigmatisme est beaucoup moins sensible que la coma sur les télescopes usuels.

Il faut toutefois remarquer que son effet est bien plus important sur un télescope de CASSEGRAIN que sur un NEWTON d'ouverture équivalente.

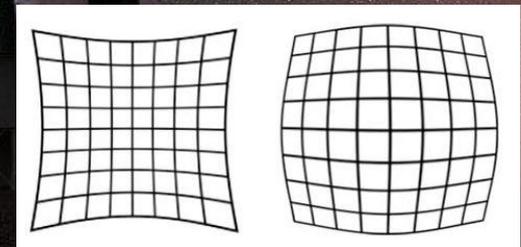


11.5 La distorsion : Une image peut être nette en tous points et être déformée, on dit qu'elle a subi une distorsion.

Cette aberration est indépendante de l'ouverture de l'instrument.

Elle correspond au fait que le grossissement (ou le grandissement) d'une image n'est pas le même au centre et au bord du champ.

Sur un cliché astronomique, elle n'est préoccupante que si l'on veut mesurer la position des objets (astrométrie).



Merci pour

voire attention



- Patrick Segorb -