

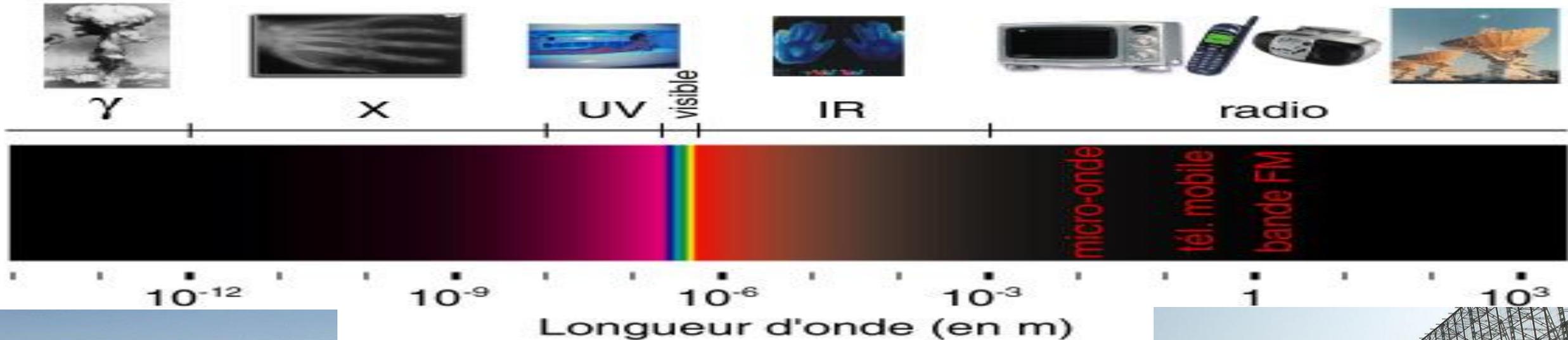
# Version PDF de l'exposé sur les formules optiques des instruments d'observation astronomique en usage dans le monde des astronomes amateurs

La présentation de l'exposé s'appuie sur une succession de « diapositives » commentées par le présentateur. La simple conversion de ces diapositives au format PDF ne rapporte pas les commentaires explicatifs relatifs à ce que l'audio-spectateur perçoit du message qui lui est transmis. Afin d'atténuer cette lacune, j'ai inséré dessous chaque diapositive un résumé de ce que le présentateur a souligné durant l'exposé. Bien sûr, cela ne remplace pas les éventuelles animations qui sont intégrées aux « diapositives » mais constitue certainement une aide pour la compréhension de ce que traduit l'image projetée.

Afin que les « diapos » projetées et les « diapos » de commentaires soient clairement distinguées pour le lecteur de cette version PDF, le titre de chaque « diapo » projetée est écrit dans un cadre à fond jaune alors que celles de commentaires sont écrites dans un cadre à fond vert.

# Les instruments d'observation du ciel

Observer les objets du ciel c'est recevoir et interpréter la lumière que nous en percevons. Cette lumière n'est pas nécessairement perçue par nos sens, notamment par les cellules de nos rétines. Il peut s'agir d'une lumière de longueur d'onde trop courtes ou trop longues pour que nos yeux y soient sensibles. L'observation se pratique avec des capteurs possédant une sensibilité adaptée à la lumière émise par les objets, sur tout, ou sur une partie du spectre électromagnétique. L'astronomie amateur se distingue par le fait que la partie observée du spectre se limite généralement à celle qui est perçue par l'œil humain.



Télescope Hess haute énergie gamma, en Namibie depuis 2012  
Miroir de 28 m



Antenne du radiotélescope de Nançay 300 m de long sur 35 de haut (formule Kraus)



# COMMENTAIRE

**Tous les instruments d'observation astronomique ont pour rôle de focaliser sur une petite surface (rétine, capteur photo...) le rayonnement électromagnétique reçu sur une grande surface de capture.**

**Ce rayonnement est émis à différentes longueurs d'ondes auxquelles nos yeux ne sont pas sensibles pour la plus grande part, soit trop courtes comme le rayonnement gamma détecté par Hess, soit trop longue comme celui détecté par le radiotélescope de Nançay.**

**L'astronome amateur se limitant le plus souvent au seul spectre visible nous ne parlerons que des instruments utilisés dans le cadre de ces observations, c'est-à-dire la bande étroite symbolisée sur le diagramme du spectre par les petites bandes colorées située au-dessus du télescope de type Newton de l'image.**

Nous ne considérerons ici que les instruments utilisés en général par les amateurs dans le domaine du spectre visible.

Les instruments se composent de trois parties :

- Un tube optique (Lunette ou télescope)
- Une monture (azimutale ou équatoriale)
- Un support (trépied ou colonne rigide)

# COMMENTAIRE

**Nous ne discuterons donc pas des instruments destinés à l'observation des phénomènes détectables en dehors du spectre visible comme déjà dit. Pas plus que nous ne considérerons les instruments d'observation des phénomènes en dehors du spectre électromagnétique comme les détecteurs de particules, chambre de Wilson, à bulles, ou à fils dont l'invention a valu le prix Nobel de physique 1992 à notre compatriote Georges Charpak, aujourd'hui décédé, sans qu'un ministre ne daigne se rendre à ses obsèques qui ont suivi celui de l'acteur Jean-Claude Brially qui lui fut honoré de la présence du Président de la République 3 ans plus tôt et pas plus que ceux du Nobel de physique 1991, Pierre-Gilles de Gennes décédé 12 jours avant Brially. Cette remarque pour souligner l'intérêt relatif que la classe politique au plus haut niveau porte à la science d'une part, et au spectacle d'autre part. Enfin, nous ne parlerons pas non plus des montures et de leur support qui pourraient faire l'objet d'un exposé à part entière.**

# A quoi sert une lunette ou un télescope ?

« De combien ça grossi ? » est généralement la première question posée par le néophyte à propos d'un instrument d'observation astronomique

**Mais ce n'est pas la bonne question !**

En observant à l'œil nu, avec notre rétine de 6 mm de diamètre nous avons une surface de capture de  $3^2 * 3,14 = 28 \text{ mm}^2$

En utilisant une petite lunette simple dont l'objectif est de 60mm de diamètre nous avons une surface de capture de  $30^2 * 3,14 = 2826 \text{ mm}^2$  que nous réceptionnons ensuite sur notre rétine de  $28 \text{ mm}^2$ .

**C'est-à-dire que nous faisons entrer 100 fois plus de lumière dans notre œil, ce qui nous permet d'observer des objets 100 fois moins lumineux que ceux que nous voyons à l'œil nu.**

**Un instrument d'observation astronomique est un entonnoir à photons.**

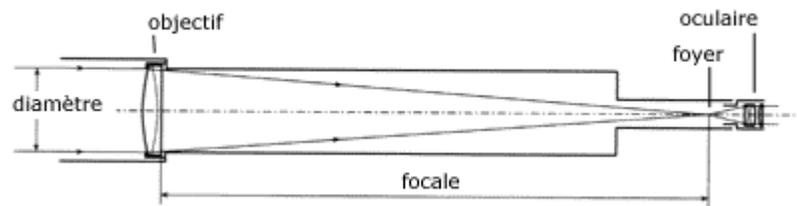
# COMMENTAIRE

**Mais il permet aussi de voir 100 fois plus d'étoiles dans le même champ, ou encore de grossir 100 fois pour observer des détails planétaires.**

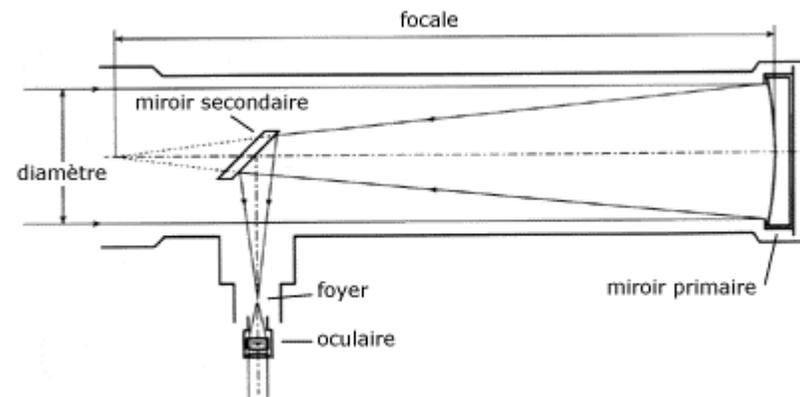
**La question du néophyte était donc bien légitime dans ce cadre particulier de l'observation planétaire.**

# Le tube optique

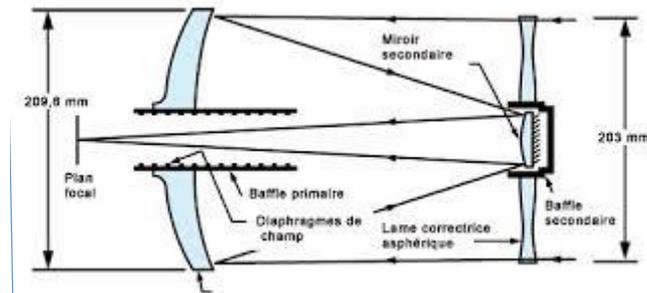
C'est une lunette ou télescope réfracteur



C'est un télescope ou télescope réflecteur



C'est un catadioptrique



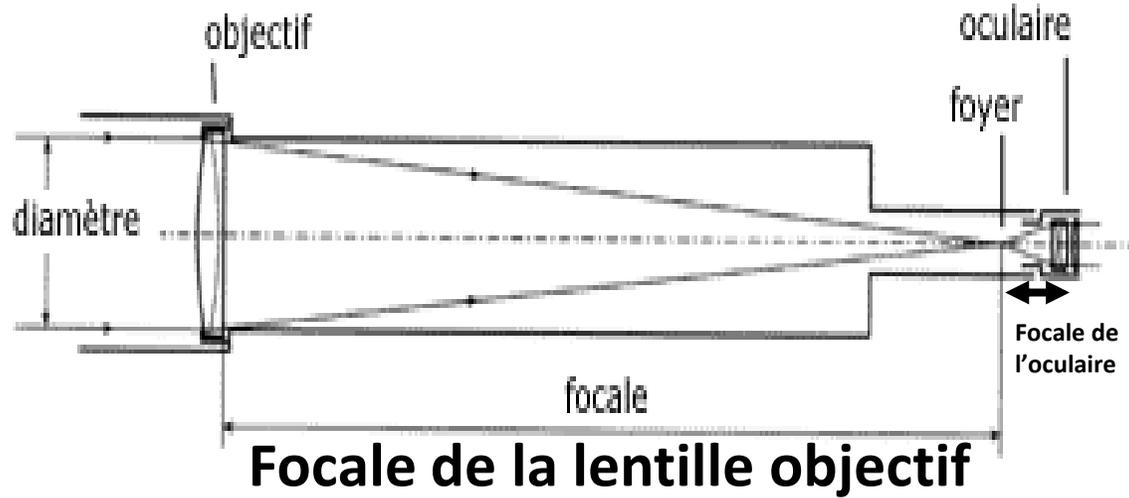
# COMMENTAIRE

**Comme on peut le voir sur ces images, les tubes optiques sont souvent doublés d'un dispositif de pointage, petite lunette à grand champ (faible grossissement ) ou autre, comme le TELRAD par exemple.**

**Il existe deux moyens de focaliser la lumière vers une petite surface, la réfraction pour les lunettes et la réflexion pour les télescopes.**

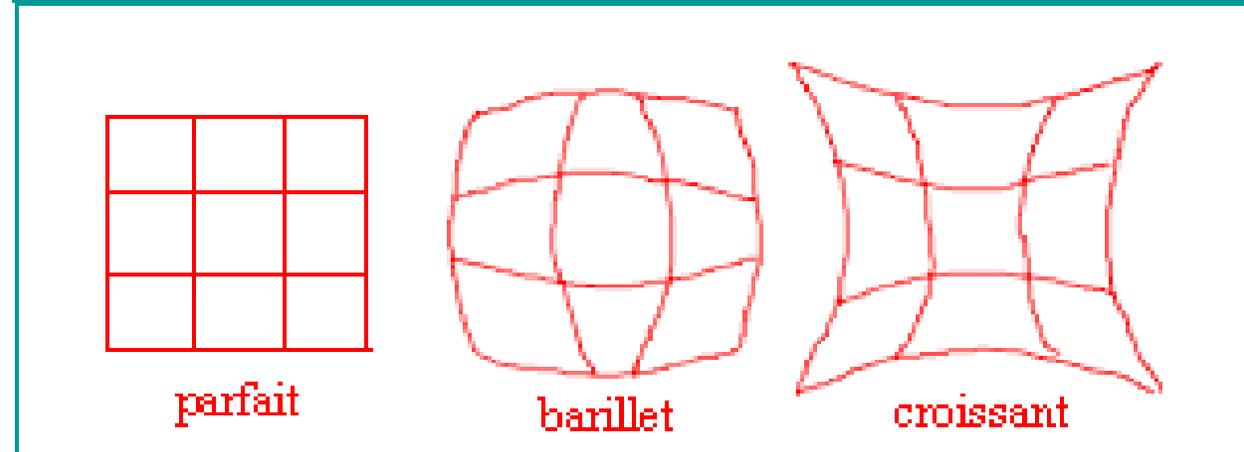
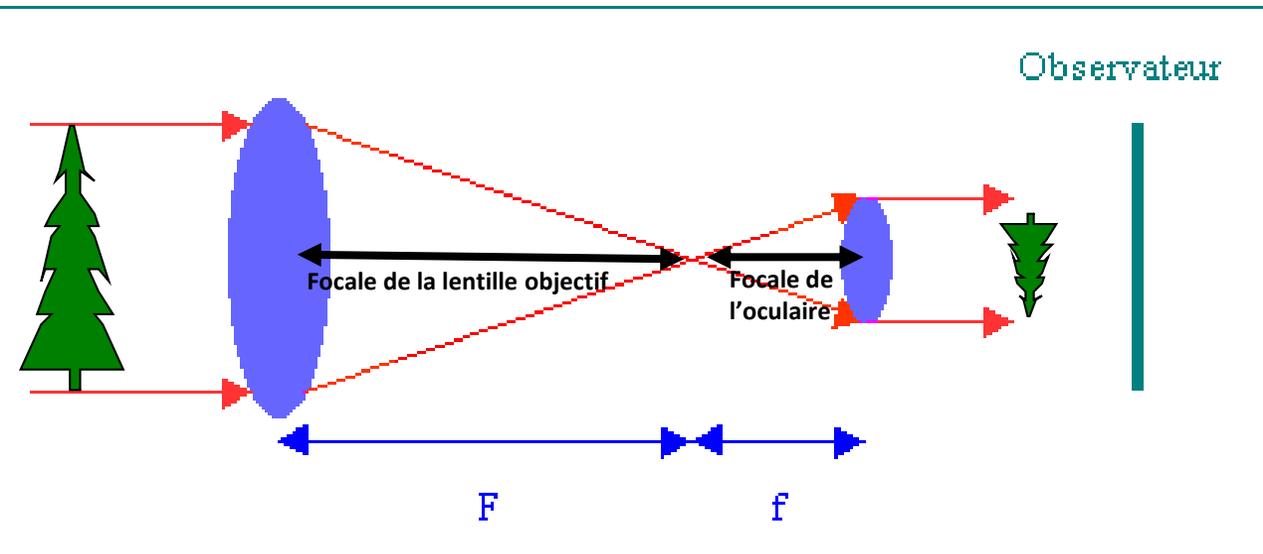
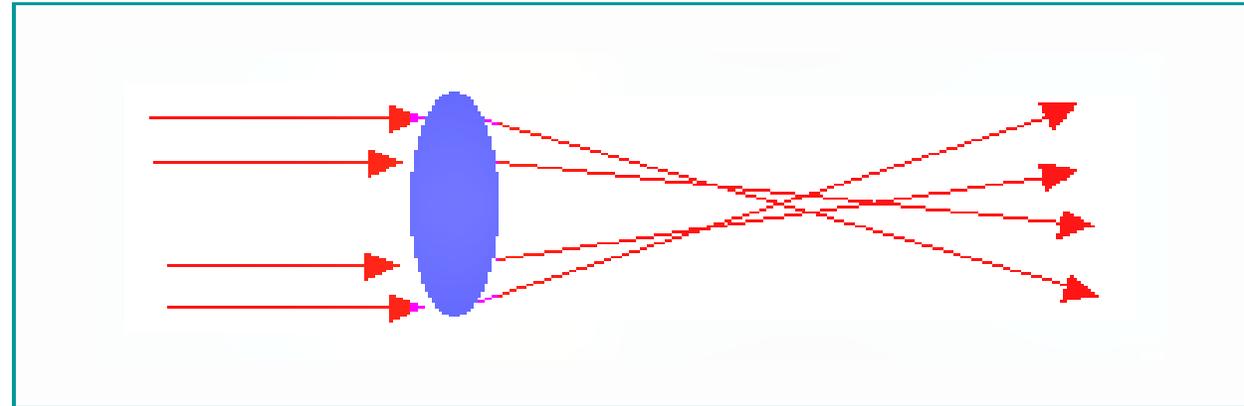
**A gauche nous avons le cas d'une lunette qui exploite la réfraction pour focaliser les rayons parallèles venant de l'objet observé. Au centre il s'agit d'un télescope qui exploite la réflexion et à droite un catadioptrique qui exploite simultanément les deux procédés.**

# La Lunette ou télescope réfracteur



La lunette inverse l'image Haut/bas et Gauche/droite  
La Lunette n'a pas d'obstruction, la lumière entre plein champ par la lentille objectif.

Une lentille est la source d'aberrations de sphéricité (voir cause et effet ci-dessous). Pour en limiter les effets on en augmente le rayon de courbure ce qui augmente sa focale.



# COMMENTAIRE

*Pour tenter d'éliminer l'aberration de sphéricité, la course à l'augmentation de la focale a dans le passé contribué à donner aux lunettes des dimensions impressionnantes :*

**Celle de l'observatoire de Yerkes avait une lentille de 1,02m pour une focale de 19,4m**

**La lunette solaire Swedish de La Palma 0,98 pour 20,03 de focale qui est un instrument récent et dont la résolution sur la surface solaire a relégué la lunette Jean-Roche, utilisée jusqu'alors à l'observatoire du Pic du Midi, au rang des accessoires.**

**Celle de l'observatoire de Lick est dotée d'une lentille de 0,91 pour 17,6 de focale**

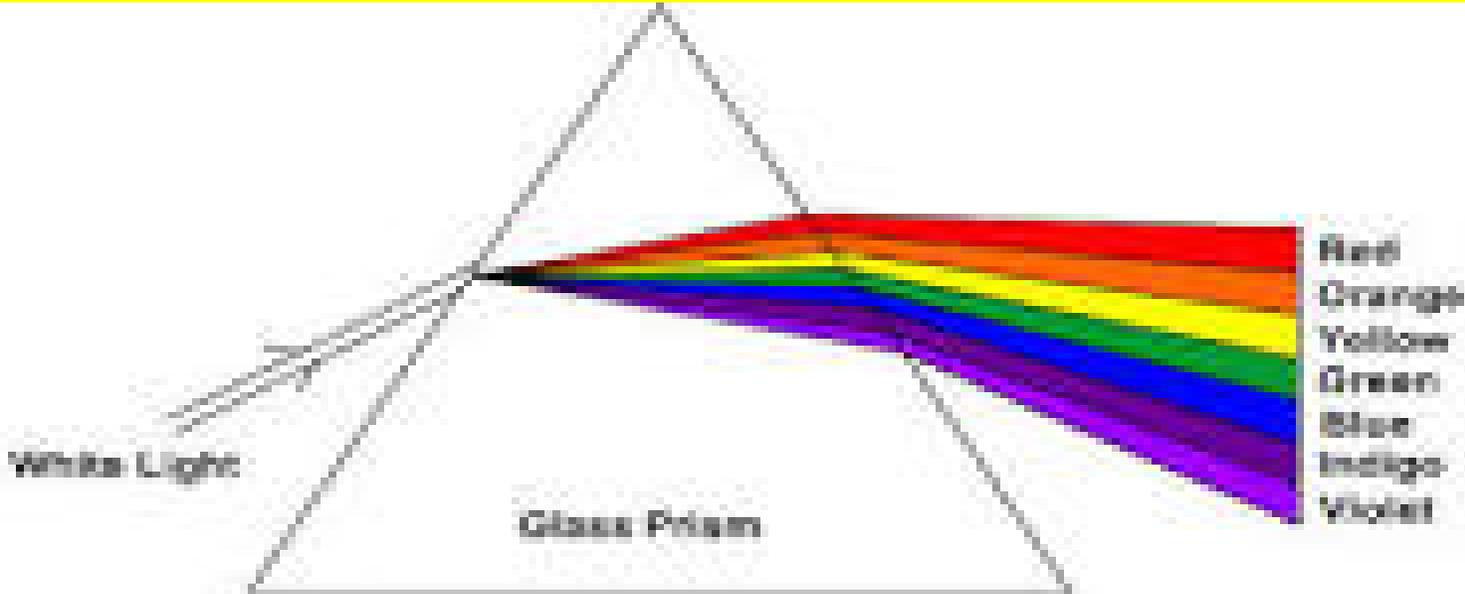
**Celle de l'observatoire de Paris-Meudon 0,83 pour 16,2 de focale**

**Celle de Nice 0,76 pour 17,9 de focale. Cette dernière est toujours en activité.**

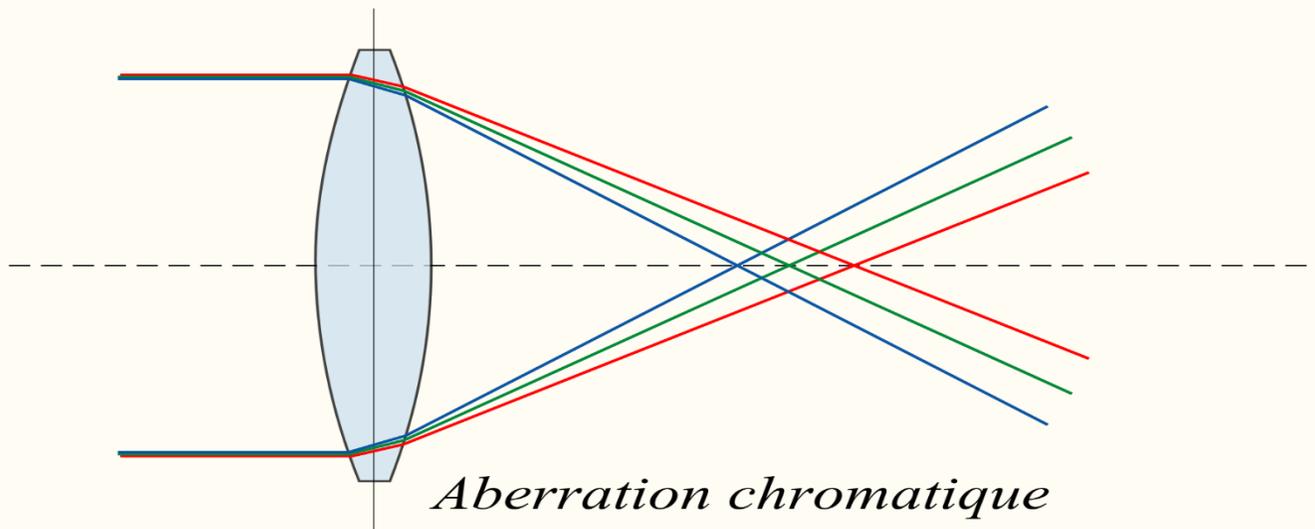
**Mais la plus grande jamais construite le fut pour l'exposition universelle de Paris en 1900 avec une lentille de 1,25 m et une focale de 57 mètres ! Mais elle n'a jamais servi.**

*Sur une lunette la mise au point se fait en déplaçant l'oculaire pour aligner sa focale sur le plan focale de la lentille d'objectif.*

# Aberrations chromatiques



Un prisme décompose la lumière blanche car l'indice de réfraction ne dépend pas seulement des indices des milieux traversés mais, pour les mêmes milieux, de la longueur d'onde de la lumière qui traverse ces milieux.



Une lentille peut être vue comme une succession de micro-prismes adjacents. Il n'y a pas de plan focale mais autant de plans les uns derrière les autres qu'il y a de longueurs d'ondes différentes dans la lumière qui traverse la lentille

Pour en limiter les effets on utilise des verres à faible dispersion (verres ED), de la fluorine, et/ou des doublets ou triplets.

# COMMENTAIRE

**C'est l'aberration chromatique de la lentille simple qui a poussé Newton à inventer son télescope car il ne croyait pas qu'il pouvait exister une solution pour résoudre la dispersion de la réfraction en fonction de la longueur d'onde dans une lunette.**

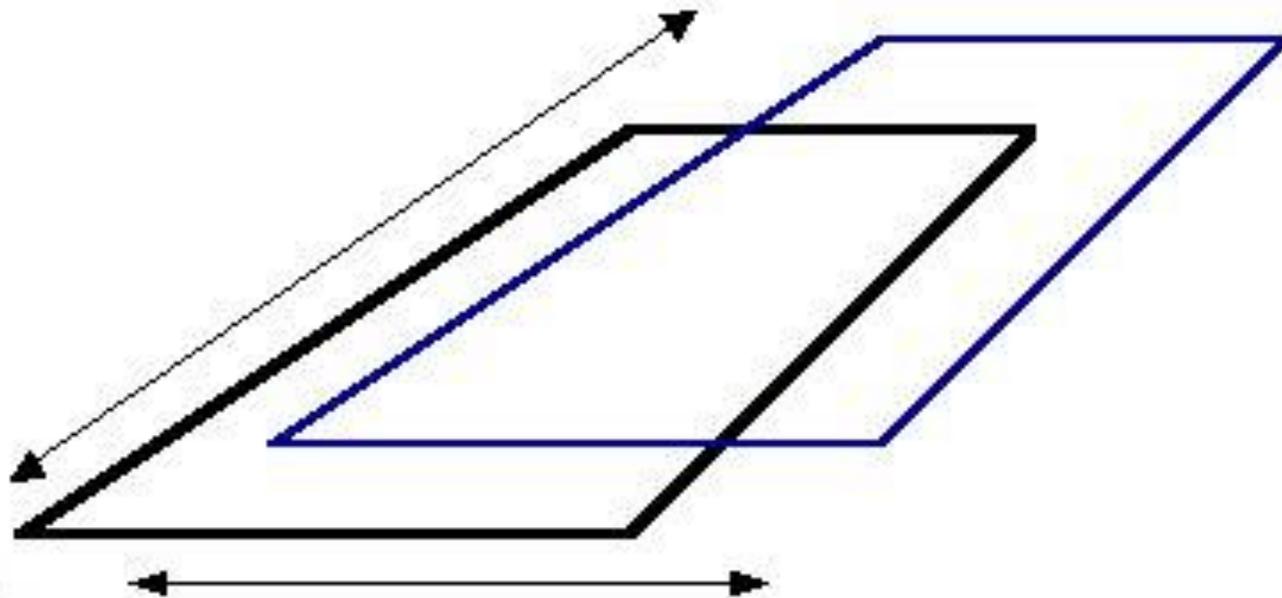
**Les lentilles en doublet (même chose avec une plus grande finesse pour les triplets) sont constituées de deux (ou trois) lentilles de verre aux qualités de diffraction inverses (des achromates) et qui se neutralisent mutuellement, dans le faisceau de sortie.**

**Les lunettes apochromatiques à doublets ou triplets sont des instruments très polyvalents (planétaire et ciel profond) mais leur prix élevé en limite la diffusion aux amateurs fortunés.**

# La solution du réflecteur élimine l'aberration chromatique

Pour tailler et polir une surface de miroir il faut que sa surface reste en contact permanent avec l'outil qui la travaille, et il n'existe que deux formes de surfaces qui réponde à cette exigence : Le plan et la sphère, ou calotte sphérique.

Dans le premier cas, deux surfaces planes se frottent l'une contre l'autre et l'une d'elles est l'outil qui façonne la seconde. Dans le seconde cas un outils convexe façonne la courbe d'une surface concave ou un outils concave façonne une surface convexe, les deux objets tendent vers un rayon de courbure commun.



# COMMENTAIRE

**Polir une surface impose des déplacements de l'outil sur la surface à traiter qui doivent être en contact en tous points de leur surface respective durant le mouvement de polissage.**

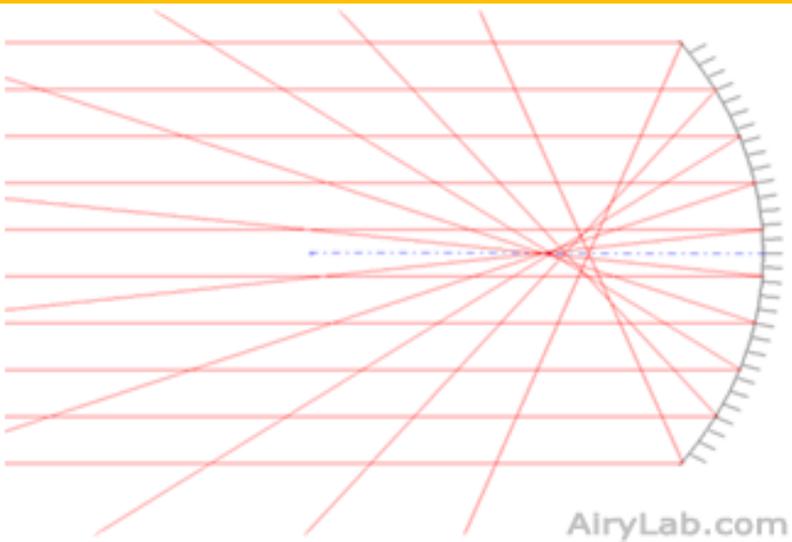
**Il n'y a donc que deux formes de surfaces qui le permettent, le plan et la sphère. Pour ces deux surfaces c'est un mouvement régulier du polissoir sur la pièce de verre à travailler qui permet d'obtenir le résultat escompté.**

**S'agissant d'un mouvement régulier, il peut facilement être mécanisé et permet d'obtenir des optiques à des prix assez bas.**

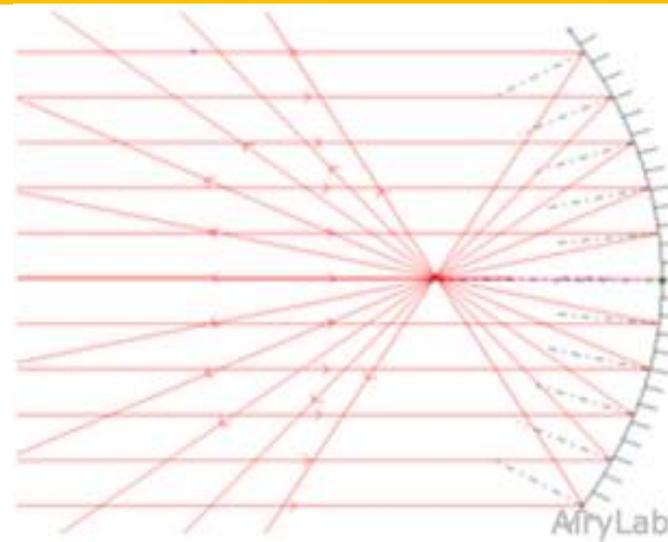
**Malheureusement, en dehors du miroir plan utilisé en secondaire dans la formule du télescope Newton, ces optiques à miroirs sphériques issues de la mécanisation ne sont pas utilisables en l'état dans des instruments de qualité et requièrent une intervention manuelle de parabolisation ce qui élève leur prix de façon non négligeable.**

# La parabolisation de la surface sphérique permet de modifier la longueur des rayons de lumière réfléchi entre la surface du miroir concave et le plan focal.

Un miroir concave sphérique est la source d'aberrations dite de sphéricité car les rayons en provenance de l'infinie (parallèles) ne convergent pas vers le même point de focalisation selon la position du point réfléchi sur le miroir sphérique. Pour permettre à la surface concave de réfléchir tous les rayons vers le plan focal il faut «écarter» les «bords» du miroir par une délicate opération de polissage « usant » plus les bords du miroir que le centre (transformer la sphère en parabole).



Tous les rayons ne convergent pas vers le même point avec le miroir sphérique



Tous les rayons convergent vers le même point dans le cas d'un miroir parabolique



# COMMENTAIRE

Les télescopes utilisent la réflexion de la lumière sur une grande surface concave pour la focaliser sur une petite surface (rétine de l'œil ou capteur électronique)

A gauche, en vert, le lieu de focalisation des rayons selon leur origine dans le cas d'un miroir sphérique. Au centre, en rouge, dans le cas d'un miroir parabolique. A droite la courbe sphérique à l'intérieur de la parabole de même rayon.

On voit que dans le cas de miroirs sphériques tous les rayons ne convergent pas sur le même point. Il en résulte que l'image résultante est floue.

En revanche si le miroir est parabolique, tous les rayons convergent vers le même point. L'image est alors nette.

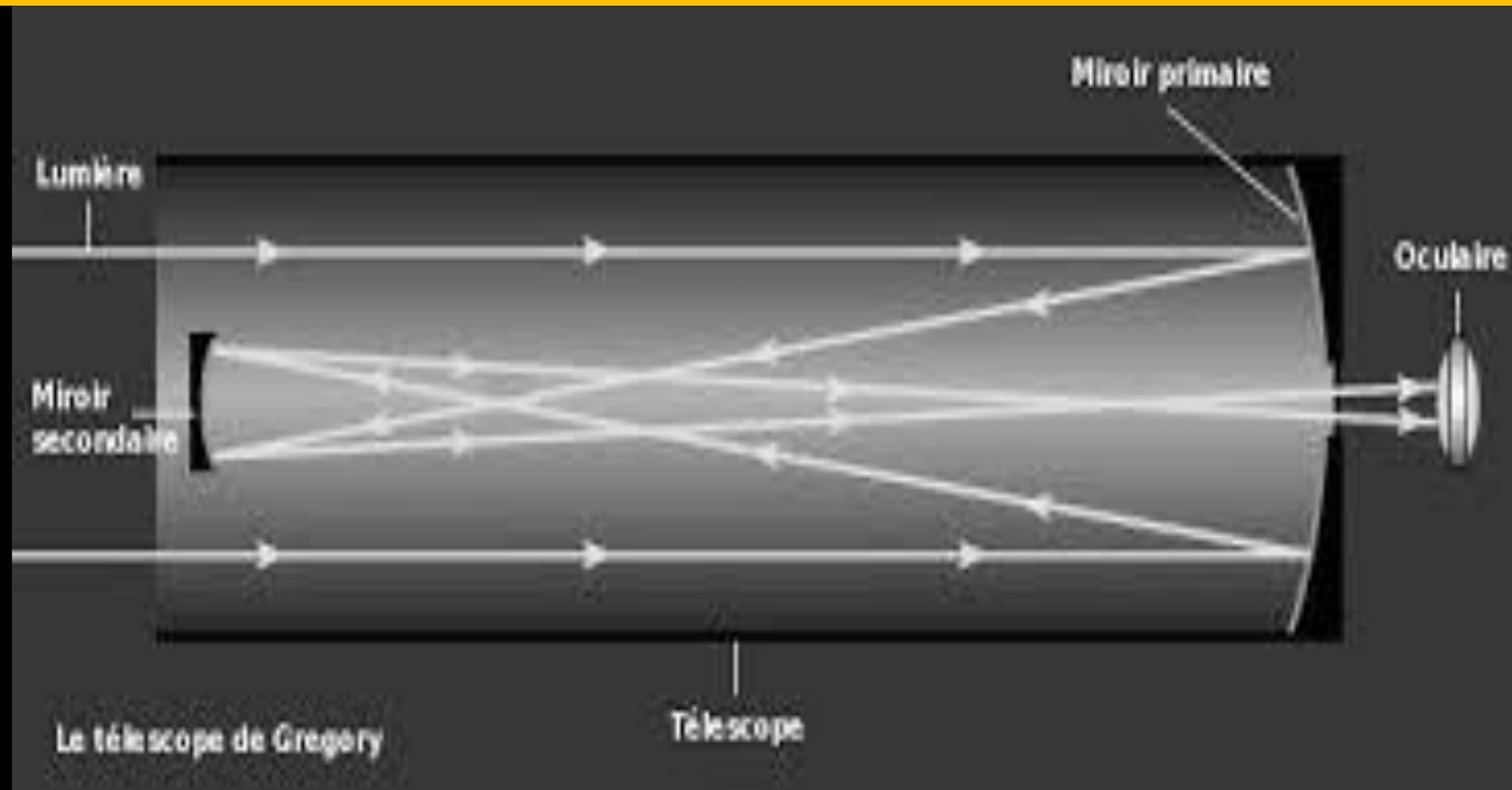
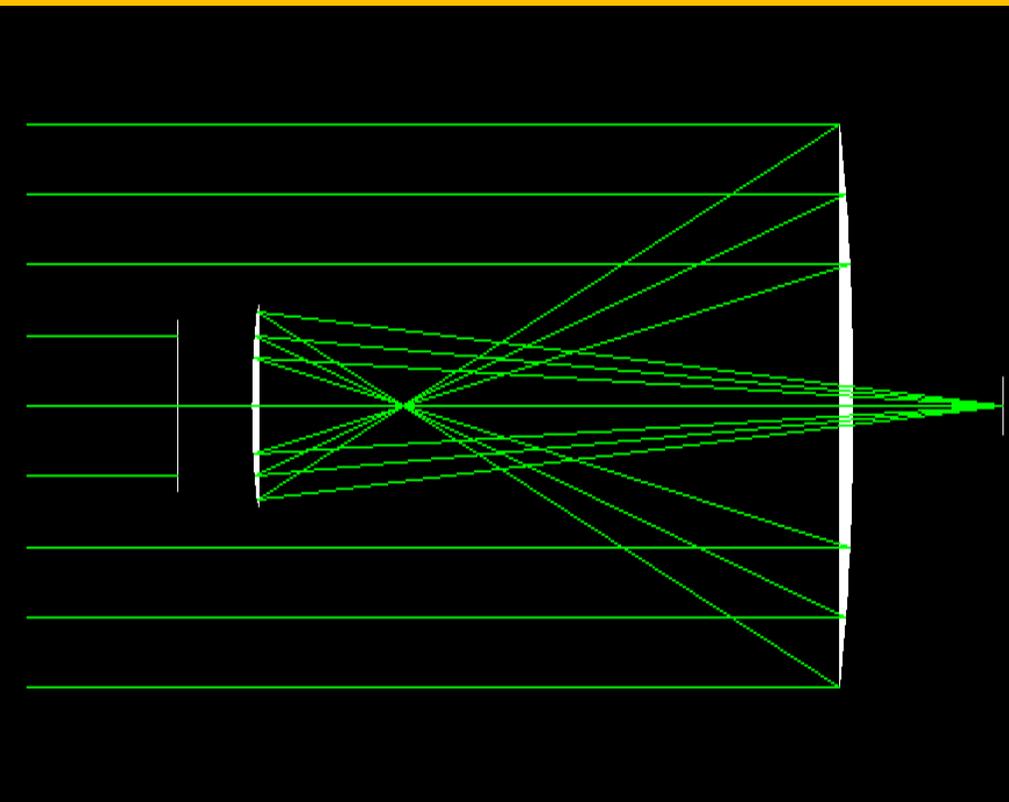
La parabolisation d'un miroir sphérique est une opération longue et délicate qui fait que la fabrication d'un miroir parabolique ne peut pas être mécanisée.

C'est une opération réalisée à la main par un opticien expérimenté. Le prix de ces miroirs est bien sûr bien plus élevé que les sphériques fabriqués industriellement.

# Les télescopes sont des instruments réflecteurs

Le principe d'un télescope a été inventé par John Grégory en 1663 qui ne l'a pas fabriqué en raison des impossibilités technologiques de l'époque, notamment le problème délicat du perçage du miroir primaire.

Ce télescope à l'allure d'un Cassegrain que l'on verra plus loin est caractérisé par l'emploi de deux miroirs concaves paraboliques, ce qui redresse l'image observée à travers un oculaire au foyer de l'instrument.



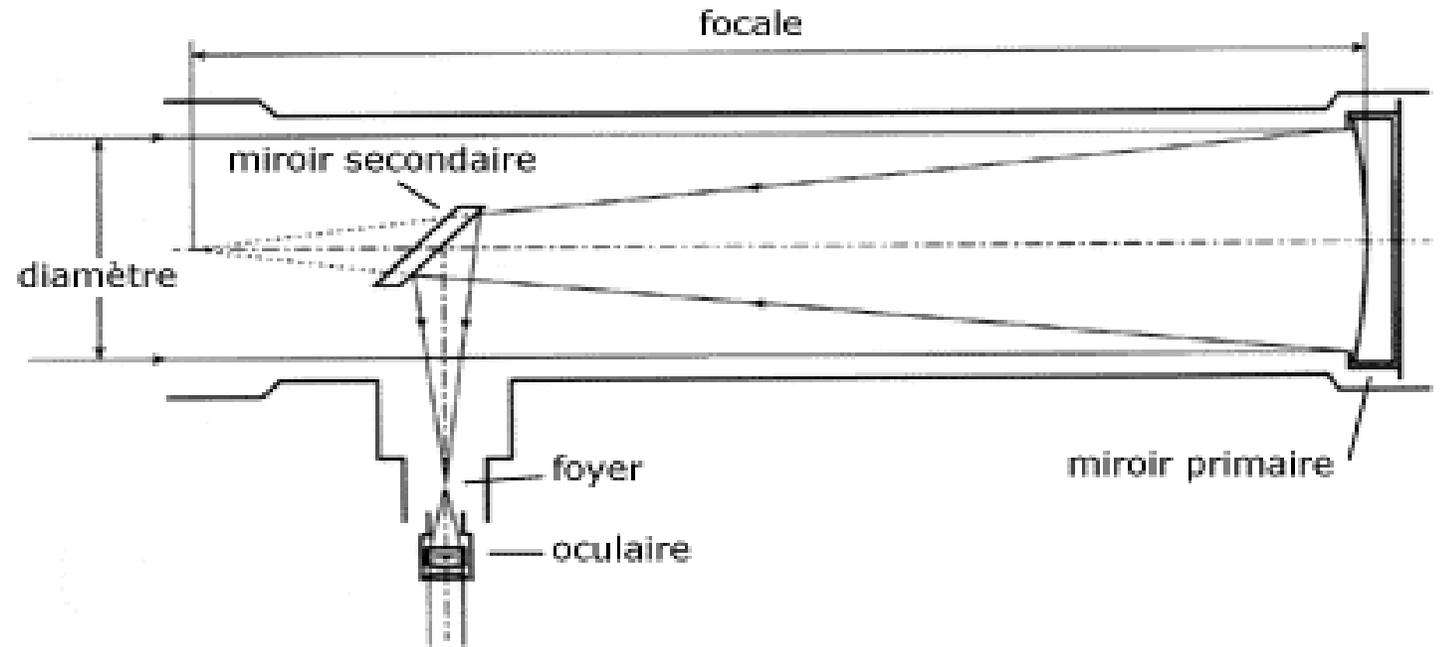
# COMMENTAIRE

**Le télescope de Grégory qui cumule les difficultés techniques et économiques n'a vu le jour que dans quelques exemplaires visibles dans des musées. En effet, il nécessite l'emploi de deux miroirs paraboliques, donc coûteux, et dont il faut percer le centre de celui qui est en position de miroir primaire, ce qui à l'époque de Grégory était irréalisable avec la technologie disponible.**

**La plus grande particularité de ce télescope est de fournir une image redressée. C'est l'emploi d'un secondaire concave qui permet de redresser l'image mais la réalisation coûteuse de cette forme de miroir vaut une certaine désaffection de ce type de télescope.**

**Bien qu'inventé par l'opticien écossais Gregory avant celui de Newton, les quelques exemplaires réalisés ne le furent que bien après celui de Newton.**

# Le télescope de Newton, le plus populaire



**Un miroir primaire concave parabolique et un miroir secondaire plan.**  
**La lumière est focalisée sur un point focal virtuel derrière les miroir plan incliné à  $45^\circ$  qui l'intercepte pour le renvoyer de côté au foyer qui est un point focal réel, depuis lequel il est observable à travers un oculaire. Instrument très polyvalent.**

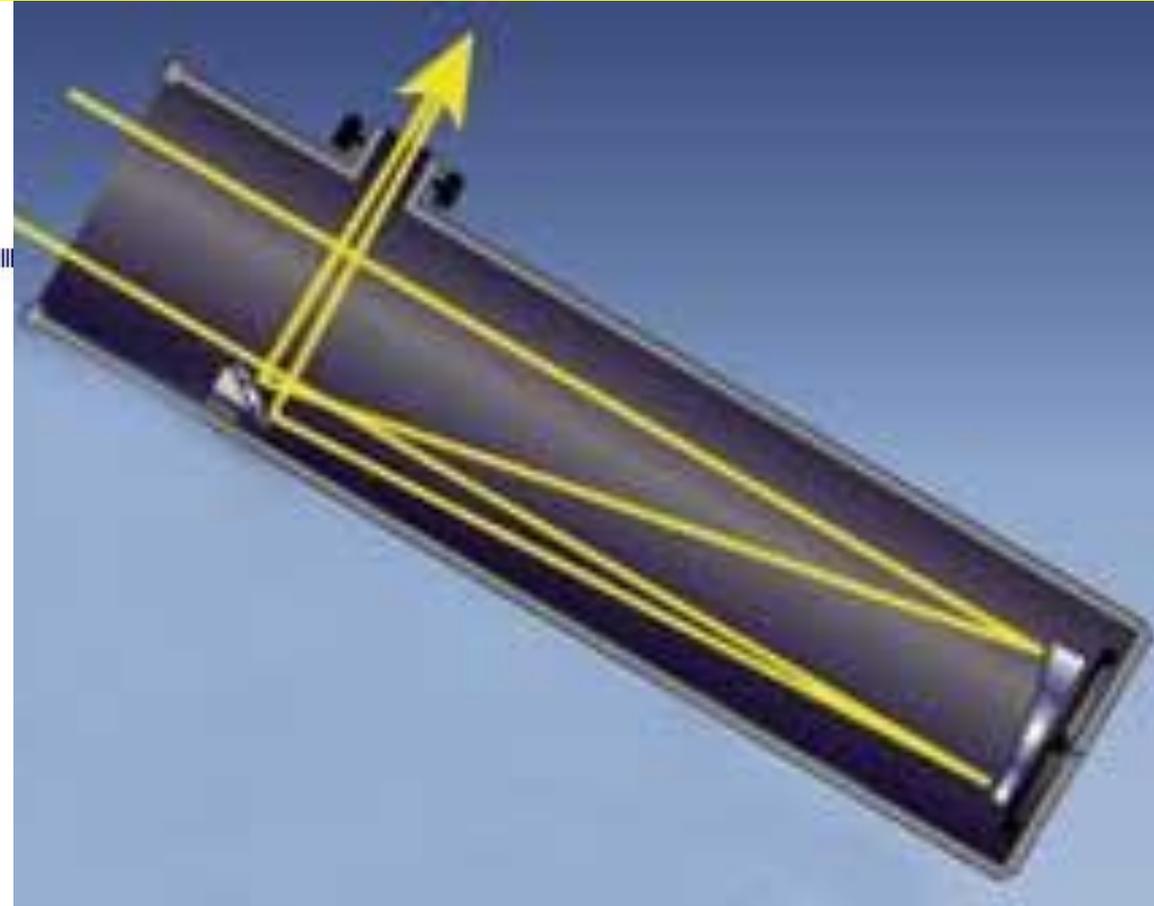
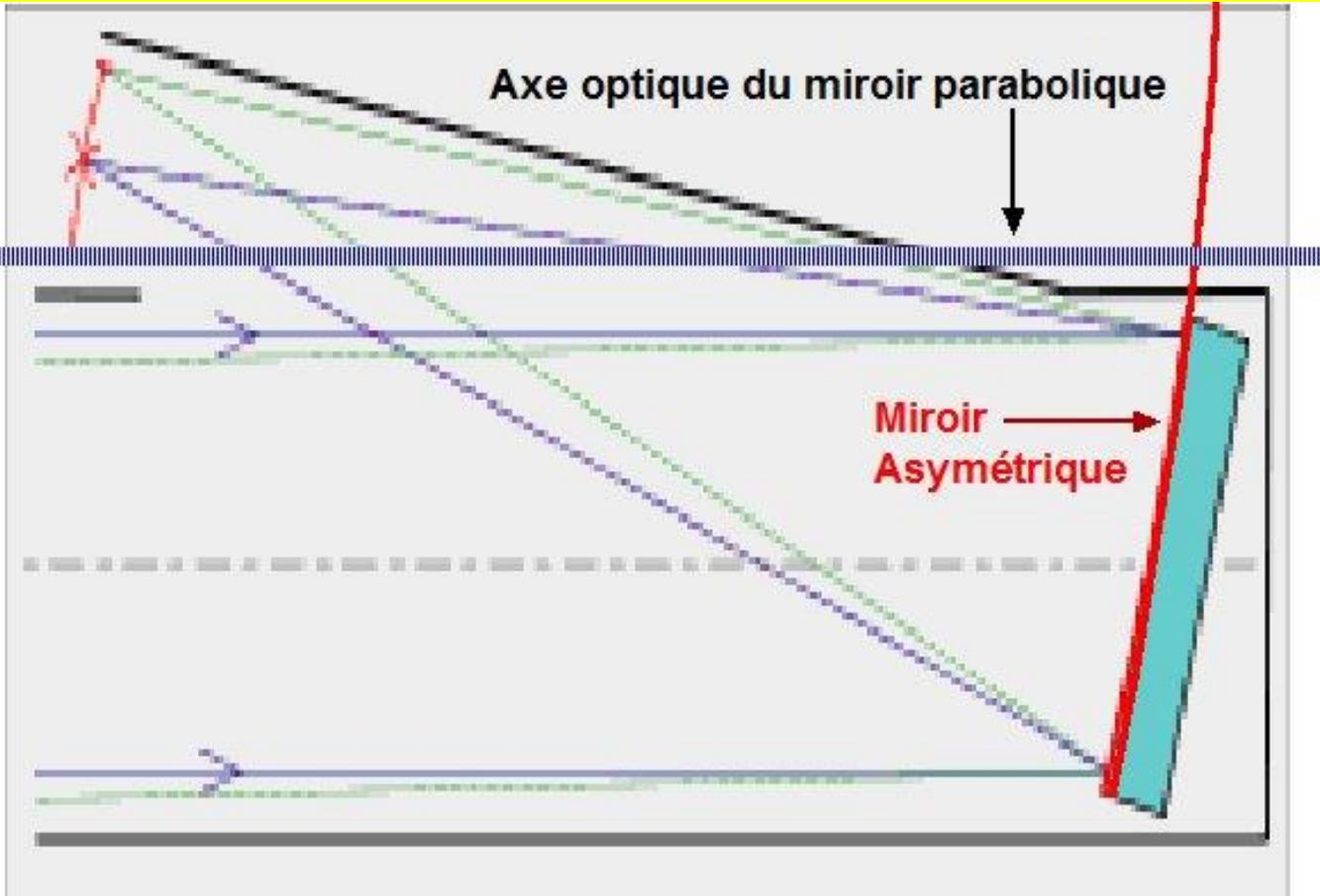
# COMMENTAIRE

C'est l'instrument le plus diffusé dans le monde de l'astronome amateur. C'est aussi l'instrument le plus délaissé après quelques essais décevants. En effet, le Newton 114/900 est d'un prix qui permet aux parents de satisfaire une demande d'enfants curieux qui ne sont motivés que par le désir de voir de leurs propres yeux les belles nébuleuses vues dans des livres d'astronomie. Malheureusement, cela n'est possible dans aucun instrument, même puissant car nos yeux dont la vision est dynamique ne permet pas d'emmagasiner et accumuler la lumière comme peuvent le faire les pellicules photos ou les capteurs électroniques avec lesquelles sont faites les belles photos qui ont motivé l'apprenti astronome. Cette déception du premier regard est la première cause de la désaffection préalable à toute investissement personnel réfléchi. L'astronomie s'acquiert avec le temps et pas d'un coup d'œil furtif dans un oculaire.

Le télescope de Newton est le plus ancien télescope fabriqué et rendu opérationnel. Le modèle d'origine créé par Newton était d'une ouverture très faible ce qui rendait très discrète l'aberration de sphéricité due à son miroir sphérique. La plupart des petits Newtons bons marché sont encore dotés de miroirs sphériques. Cette simplicité de construction avec un secondaire plan en fait un matériel peu coûteux à produire industriellement ce qui permet de le vendre à très bas prix. En revanche, les Newton de qualité, beaucoup plus chers sont équipés de miroirs primaires paraboliques beaucoup plus coûteux et le prix de l'instrument est proportionné. Mais on peut avoir optiquement plus simple comme on le verra sur la diapo suivante. Sur un Newton, la mise au point se fait en déplaçant l'oculaire comme sur les lunettes. Le principal défaut de ce type de formule optique est la coma en bord de champ.

# Le plus simple de tous, le télescope d'Herschell

Dotés d'un seul miroir le télescope d'Herschell est le plus simple en apparence



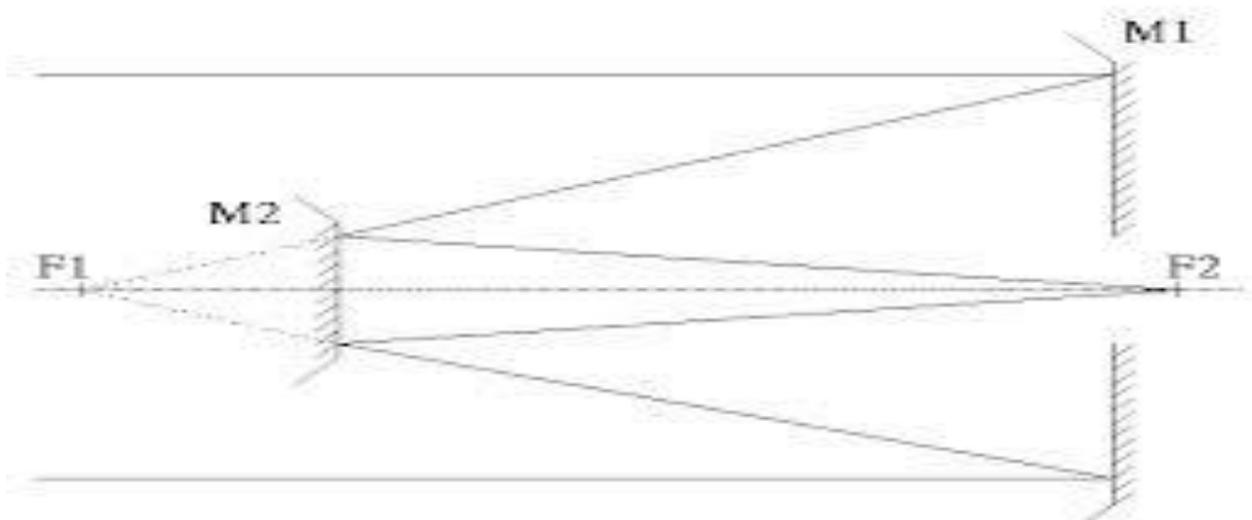
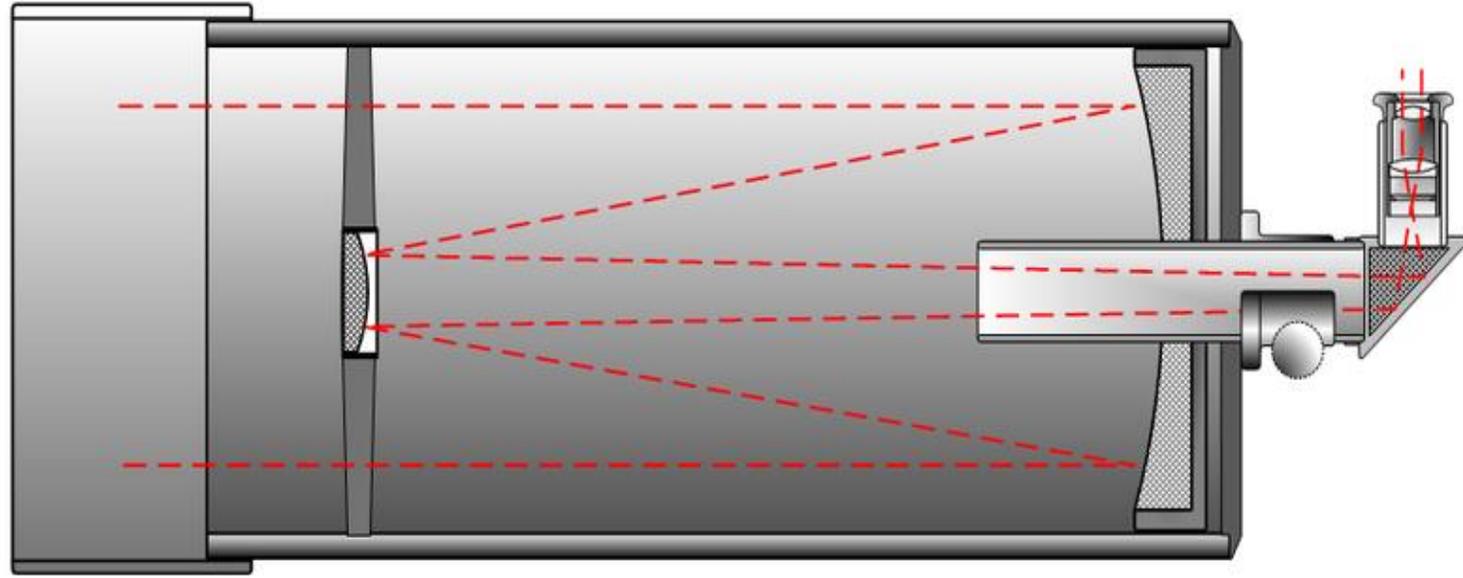
A gauche Le télescope d'Herschell doté d'un seul miroir. A droite, une variante utilisant un miroir secondaire hors axe ne produisant aucune obstruction. Dans les deux cas le miroir principal est asymétrique et taillé dans une portion de la parabole qui produit une courbe différente entre les deux bords du miroir.

# COMMENTAIRE

**Bien que ne nécessitant qu'un seul miroir (aucune obstruction due à la présence d'un miroir secondaire sur le chemin de lumière du miroir primaire), le télescope d'Herschell est construit autour d'une formule optique qui nécessite un miroir extrêmement compliqué à réaliser. En effet, il est constitué d'un segment asymétrique de parabole puisque taillé hors axe dans la parabole, ses deux extrémités n'ont pas la même courbe et il est astigmatique par construction. La variante présentée à droite, bien qu'utilisant un miroir secondaire plan, ne présente pas non plus d'obstruction, ce miroir étant excentré à l'intérieur du tube, il n'est pas placé sur le chemin de lumière du miroir primaire. Le seul intérêt du télescope d'Herschell réside dans l'absence d'obstruction à l'ouverture, ce qui est loin de compenser les inconvénients liés aux difficultés de réalisation de son miroir.**

# Le télescope de Cassegrain (opticien de Chartres)

Il ressemble au Grégory mais son miroir secondaire convexe hyperbolique allonge la focale et n'inverse pas l'image, il en résulte qu'il y demeure l'inversion du primaire concave.



# COMMENTAIRE

Cassegrain n'a pas non plus fabriqué son télescope pour les mêmes raisons que Grégory. De plus les histoires les plus folles circulent sur Cassegrain et son télescope décrié par Newton et Huygens. Le Cassegrain est un instrument qui grâce à une longue focale favorise les forts grossissements ce qui le destine en premier lieu au planétaire. Le miroir primaire parabolique difficile à réaliser en élève le prix.

Le nom de Cassegrain qui est souvent associé à un autre (Schmidt ou Dall-Kirkham ou encore Ritchey-Chrétien par exemple) fait référence au perçage du miroir primaire. Autant de formules optiques dont on ne parlera pas car peu utilisées par les astronomes amateurs. Ce sont d'ailleurs des astrographes c'est-à-dire des instruments essentiellement dédiés à la photo, comme la chambre de Schmidt aujourd'hui tombée en désuétude.

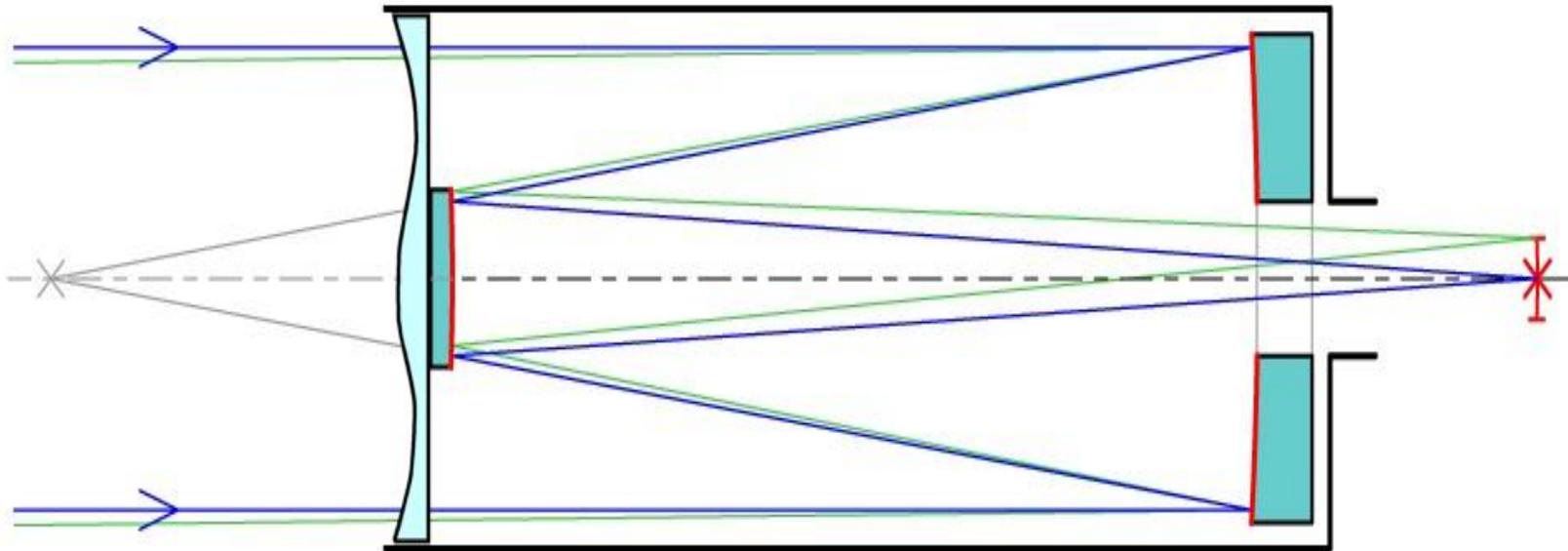
Sur les Cassegrain et dérivés la mise au point se fait en déplaçant la position du miroir primaire pour aligner sa focale sur celle du plan focal de l'oculaire. Mais sur les matériels les plus récents le système de déplacement de l'oculaire est mis également à contribution. Le déplacement du miroir primaire permet de dégrossir la mise au point qui est ensuite affinée par celui de l'oculaire.

# Les télescopes catadioptriques :

## Le Schmidt-Cassegrain, un grand classique.

La difficulté de réalisation d'un miroir parabolique pour le primaire a conduit L'allemand Bernhard Schmidt à imaginer un dispositif frontal éliminant préventivement les aberration de sphéricité du miroir primaire sphérique. Ce dispositif consiste en une lentille possédant une forme très particulière et disposée à l'entrée du tube.

### Schmidt-Cassegrain Telescope



# COMMENTAIRE

**Les télescopes catadioptriques utilisent à la fois la réfraction et la réflexion (lentilles et miroirs).**

**Le miroir primaire reste sphérique, ce qui est d'une fabrication facile, donc économique.**

**Dans le Schmidt-Cassegrain, la lentille d'ouverture appelée lame de Schmidt (en vert sur l'image) devient le sous-ensemble le plus compliqué à fabriquer de par sa forme étrange.**

**Mais le génie de Schmidt c'est d'avoir créé un dispositif dont la fabrication, quoi que complexe, peut être mécanisé et fabriqué industriellement, donc relativement économique, contrairement au miroir parabolique.**

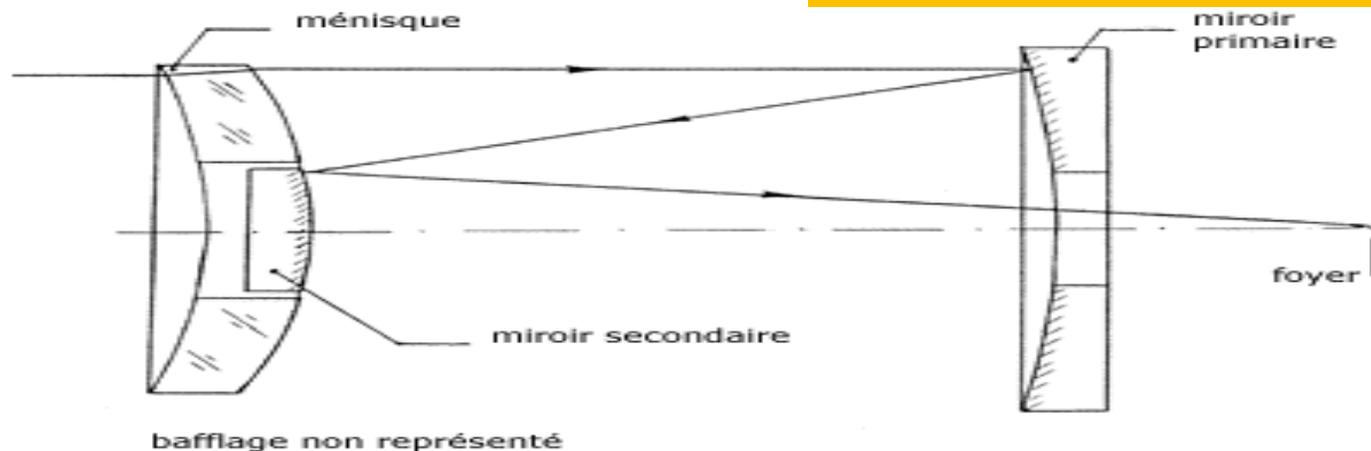
**Ceci fait du SC, un instrument performant relativement polyvalent et d'un coût de production modéré en regard de ses performances, de plus il est peu encombrant et donc transportable.**

**Son rapport F/D de 10 le destine plus au planétaire qu'au ciel profond. Cependant le plan de construction des SC permet d'installer des réducteurs de focales sur le barillet ce qui permet de modifier l'instrument en transformant son rapport F/D pour le ramener à 5 ce qui en fait un concurrent sérieux pour le Newton en photographie des objets du ciel profond.**

# Le télescope de Maksoutov



Télescope Maksutov-Cassegrain



Le télescope Maksoutov est également un catadioptrique de type Cassegrain mais la lentille frontale est un ménisque fortement incurvé dont la courbure épouse celle du miroir primaire sphérique.

Doté d'une focale importante, son rapport F/D est généralement de 15, ce qui en fait un instrument pouvant réaliser en planétaire avec les meilleurs réfracteurs.

Son miroir secondaire n'est que l'aluminure d'une calotte sur la face intérieure du ménisque. La collimation ne peut se faire que sur le miroir primaire.



# COMMENTAIRE

C'est également un catadioptrique. Le ménisque sphérique à faces parallèles le sont aussi par rapport au miroir primaire (les surfaces de ces miroirs sont trois sphères concentriques). Le ménisque introduit une aberration de sphéricité inverse de celle produite par le primaire. Elles s'annulent donc mutuellement.

Les modèles commercialisés sont de faibles ouvertures, rarement supérieur à 7'' car leur prix croît plus vite que le diamètre à réaliser.

Il existe d'autres formules optiques très performantes sous un aspect ou un autre mais destinées à l'instrumentation professionnelle ou à des amateurs fortunés comme la série Mewlon de Takahashi qui est de formule Dall-Kirkham (miroir primaire elliptique et secondaire sphérique). Ce sont surtout des astrographes.

La plupart des télescopes professionnels sont des formules Ritchey-Chrétien (miroirs primaire et secondaire hyperbolique). Ce sont aussi surtout des astrographes à rapport F/D court entre 1,5 et 3

Newton, Schmidt-Cassegrain, et Maksoutov-Cassegrain éventuellement, restent ce qui est le plus utilisé par les amateurs avec la lunette apochromatique.

# Les oculaires



Ce ne sont pas des accessoires mais des sous-ensembles, le plus souvent indispensables dans l'usage du télescope par les amateurs.

Ce sont des « loupes » grossissant l'objet représenté au foyer de l'objectif (lentille ou miroir) avec la plus grande fidélité possible. Il existe des oculaires très simples très bon marché mais de piètre qualité avec une seule lentille. Mais à l'opposé, il existe des oculaires de très haute qualité, doté de plusieurs lentilles jusqu'à 8 selon la complexité de la formule qui transforment littéralement l'image en œuvre d'art, dans la mesure où le télescope est lui-même parfaitement réglé.

Il existe des oculaires à focales fixes, ce sont les plus répandus, mais il existe aussi des oculaires à focales variables qui permettent de zoomer. Ce sont toujours des oculaires de faibles performances sur le plan qualitatif.

Tous ces oculaires sont munis d'un pas de vis qui permet de fixer des filtres.

# COMMENTAIRE

**Le prix des oculaires peut être très variable et dépend de la qualité, ce sont des dispositifs d'optique très complexes caractérisés par la focale, le relief d'œil, le champ qui s'exprime en degrés, et le coulant.**

**Les oculaires peuvent comporter jusqu'à huit lentilles organisées par groupe de fonction.**

**La formule optique d'oculaire la plus simple et la Kellner à 3 lentilles (entrée de gamme en qualité)**

**La formule Plössl a 4 lentilles qui élimine la distorsion de la Kellner, ce qu'améliore encore la formule super Plössl. Mais ces oculaires limitent le champ à 50°**

**Puis, des formules de plus en plus complexes et coûteuses sont apparues König, Erfle, Wide Angle, Panoptic... qui apportent des champs supérieurs allant jusqu'à 80°**

**Il existe également des lentilles de Barlow dont le rôle est d'allonger la focale du télescope permettant avec le même oculaire de doubler ou tripler le grossissement avec le même oculaire.**

**Certains autres dispositifs ne peuvent se mettre que sur des instruments de la famille des Cassegrain car se fixant sur le barillet du télescope avant le porte oculaires (réducteur de focale, aplanisseur de champ....)**

Nous pourrions dissenter longtemps sur les oculaires  
Mais peut-être est-il temps de passer à l'analyse de quelques  
formules de géométrie optique bien utiles à l'amateur

Les plus utiles :

**$G = F/f$**  Le grandissement ou grossissement théorique **F** focale de l'objectif sur **f** focale de l'oculaire  
En photo au foyer du télescope :  **$G = F/d$**  avec « d » pour diagonale du capteur.

**$G_u = 1,5 D$  à  $2,5 D$**  «D» étant en mm le diamètre de l'objectif et  $G_u$  le grossissement utile.  
En vérité pour 2,5 D il s'agit du grossissement maximal selon la qualité de l'optique du  
télescope ou de la lunette, de celle de l'objectif, et des conditions atmosphériques.

**$G_{min} = D/6$**  pour le grossissement minimum. Il faut donc faire le calcul à l'envers pour  
déterminer la focale de l'oculaire à utiliser. Pour un SC classique 203 mm pour 2000 de focale  
nous avons  $203/6 =$  grossissement 34 et ensuite calculer la focale de l'oculaire adapté  
 $F/G = 2000/34 = 59 =$  focale de l'oculaire, on prendra le plus voisin.

**Le rapport  $F/D$**  C'est-à-dire le quotient de la focale de l'objectif sur son diamètre. Plus il est  
petit plus le télescope est "rapide" (avantage en photographie qui diminue le temps de pose  
pour le même gain de lumière). Les Newtons sont compris entre 5 et 8, les SC 10, et les Mak 15

# COMMENTAIRE

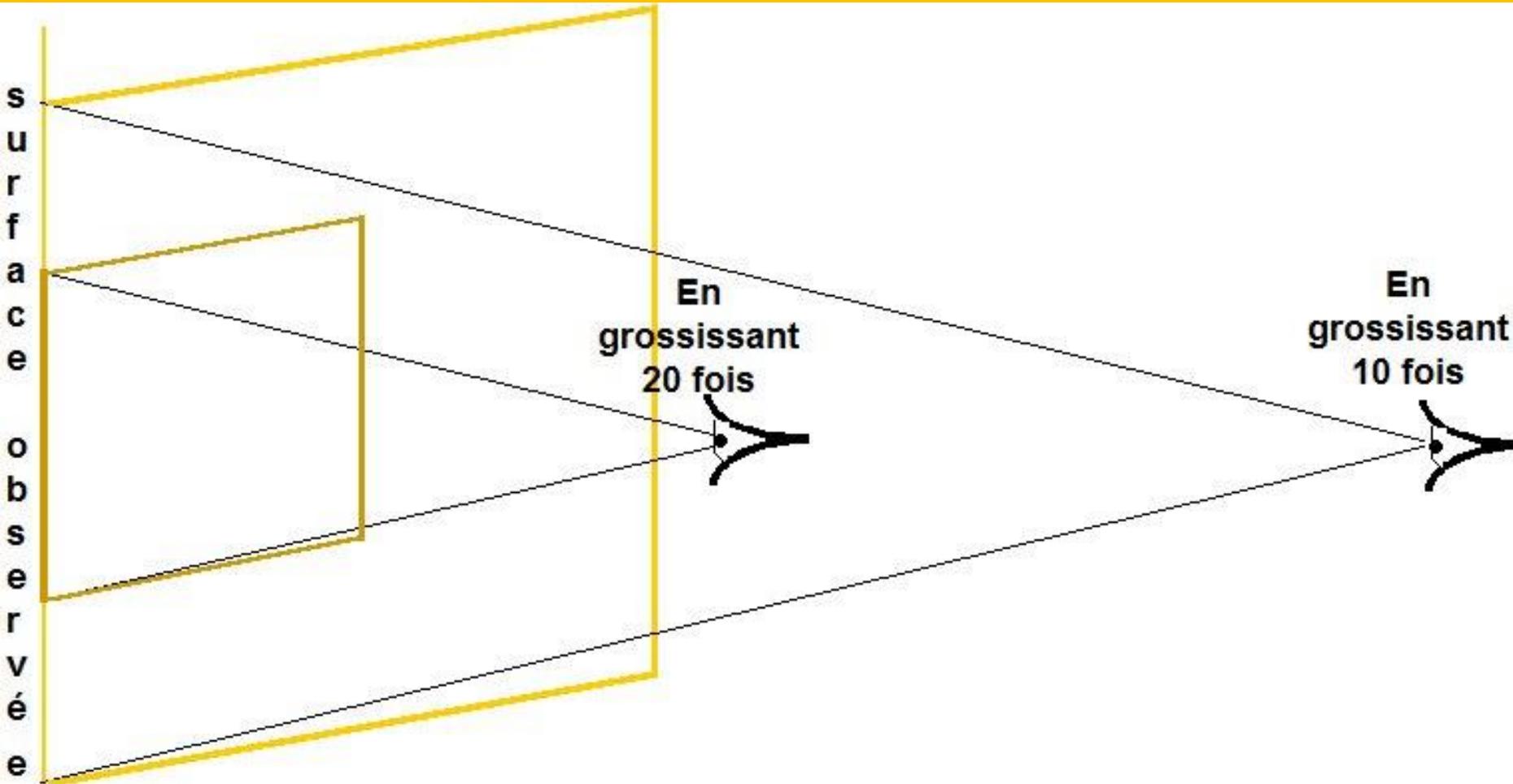
**La formule du grandissement utile est empirique car il semble impossible de rationaliser la transparence et la turbulence atmosphérique avec des chiffres précis;**

**La limitation théorique à 2,5D peut être dépassée à outrance dans le cas d'observation d'étoiles doubles dans lesquelles il ne s'agit que de séparer deux astres qui à distance paraissent n'en faire qu'un. Dans ce cas le flou important de l'image des étoiles elles-mêmes est sans importance. D'ailleurs ce n'est pas l'image de l'étoile que l'on voit mais un cercle qui est produit par la diffraction de sa lumière. Le caractère particulier de cette observation réside en ce que l'objet observé est l'espace sombre qui sépare les deux étoiles.**

**Un grandissement trop faible revient à diaphragmer l'ouverture en dispersant la lumière sur la jupe de l'oculaire au lieu de la focaliser sur la surface de la pupille de sortie. Il importe d'accorder au mieux possible la pupille de sortie de l'instrument sur celle de l'observateur. C'est pour cette raison qu'il existe un grandissement minimum. Et c'est aussi pour cette raison qu'il est recommandé aux observateurs d'accoutumer leurs yeux à un environnement sombre afin de maximiser l'ouverture de leur pupille, avant toute observation.**

# Le rapport entre le grossissement, le champ et la luminosité

Lorsque l'on choisit un oculaire pour faire une observation il importe de comprendre le rapport existant entre ces 3 paramètres. Plus on grossi, plus le champ observé se rétrécit et plus la luminosité diminue.



On voit qu'en doublant le grandissement, la surface observée est divisée par 4, et que la lumière collectée est également divisée par 4. Mais on voit aussi que la surface de notre rétine qui n'a pas variée, reçoit 4 fois moins de lumière, et que le champ est 4 fois moins grand, mais qu'il est 4 fois plus

# COMMENTAIRE

En passant d'un grossissement de 10 à un grossissement de 20 on se rapproche de la surface observée en divisant la distance apparente par deux.

On voit alors que le champ de la surface observée est divisée par quatre et que la résolution de l'image est multipliée dans les mêmes proportions.

On voit aussi que la quantité de lumière entrée dans l'œil est également divisée par quatre.

Par exemple un faible grossissement dans une observation de la Lune nous éblouit, alors qu'en le forçant à la limite d'apparition des aberrations dans la géométrie de l'image elle s'assombrit suffisamment pour être observée de façon confortable, en revanche on ne peut plus la voir entièrement, mais les détails du terrain apparaissent

Ce petit dessin supprime plusieurs formules optiques bien plus compliquées mais qui permettent de quantifier ces variations avec précision.

Pour les objets très lumineux il est donc possible de grossir en perdant de la luminosité au profit du gain sur le détail de l'image.

Pour les objets très étendus, comme pour les objets peu lumineux il faut grossir le moins possible jusqu'à la limite du grossissement minimum pour que l'objet reste à l'intérieur du champ visible pour le premier cas et pour ne pas assombrir l'objet dans le second.

# Quelques autres formules utiles à l'amateur

Détermination de la magnitude limite théorique « m » d'un instrument :  $m = 5 \log D + 2,1$  avec D pour le diamètre en mm de l'objectif. Il s'agit d'une valeur théorique moyenne à +/- 2 m en fonction des conditions météo et de la qualité des optiques.

Détermination du champ réel (ChR) en degrés d'un oculaire :  $ChR = ChA / G$  avec ChA pour champ apparent de l'oculaire

Détermination du champ (ChF) au foyer d'un instrument :  $ChF = 57,3 * T / F$  avec T taille de la diagonale du capteur de la caméra, ou du film photo et F la focale de l'objectif ou du miroir de l'instrument. Dimensions comptées en mm.

Détermination de la pupille (p) de sortie :  $p = D / G$  avec D diamètre de l'objectif (lentille ou miroir) et G pour le grossissement.

Détermination du pouvoir séparateur (Résolution R) d'un instrument :  $R = 120 / D$  avec R en secondes d'arc et D en mm.

Détermination de la taille T des détails d'un objet (relief sur la Lune par exemple) en fonction de la résolution et de la distance :  $T = \tan (R / 3600) * D$  dans lesquels T et D sont de la même unité. En choisissant D en km, la taille T du détail observé sera également en km.

# COMMENTAIRE

J'ai rassemblé sur cette page quelques autres formules qui sans être indispensables comme les précédentes peuvent être utiles dans certaines circonstances.

Certaines d'entre elles ont un fondement géométrique mais sont coefficientées de façon empirique en raison de paramètres fluctuants comme les conditions de transparence atmosphérique par exemple. Les cartes célestes indiquent souvent la magnitude des objets et connaître la magnitude limite de son instrument permet de savoir s'il sera visible par exemple.

**ChR** permet de savoir la taille du champ observé en degré et pas suite, à distance connue la taille réelle en KM par exemple par une opération géométrique.

**ChF** est utile pour les astro-photographes.

La pupille de sortie est à faire coïncider avec celle de l'observateur. Si elle est  $>$  que celle de l'œil, la part de lumière excédentaire est perdue, si elle est  $<$  alors l'œil doit chercher une cible très petite ce qui rend l'observation difficile et donne une image plus petite.

Le pouvoir séparateur caractérise la capacité de l'instrument à permettre l'observation de détails c'est une valeur angulaire. Elle sert à déterminer la taille réelle des objets par une opération géométrique

# Quelques conseils pratiques indispensables

**Pour les télescopes, de tube ajourés (serruriers) l'ajout d'une jupe opaque noire élimine les photons parasites dont l'origine n'est pas située au voisinage de l'axe optique reliant le télescope et l'objet observé.**

**Pour amenuiser la turbulence atmosphérique autour de l'instrument, supprimer la sienne propre lorsque son lieu de stockage diffère de celui d'observation en l'installant sur le site d'observation au moins une heure avant utilisation.**

**Pour les instruments fermés comme les Schmidt-Cassegrain, lorsqu'aucun oculaire, ni un renvoi coudé à prisme ne sont installés dans le porte oculaire, mettez toujours un bouchon dans le porte oculaire afin de ne pas y laisser pénétrer la poussière et l'humidité.**

**Vérifier et régler la collimation des miroirs du télescope régulièrement et notamment après chaque déplacement.**

# COMMENTAIRE

**L'ajustement de la collimation est certainement la chose la plus utile pour obtenir une bonne vision de ce que l'on observe, mais c'est aussi certainement la plus négligée. Pourtant, la qualité d'une observation peut être plus que doublée par une bonne collimation.**

# La collimation d'un télescope

Toutes les optiques de télescope, à l'exception de la formule Herschell, sont constituées autour de deux miroirs dits primaire et secondaire. Pour être efficaces au mieux ces miroirs doivent être alignés sur leur axe optique central. Ce positionnement est détruit à chaque déplacement du télescope, il faut donc savoir procéder à son réalignement avant chaque observation.



A gauche, schéma du problème de la collimation représenté pour un tube optique avec deux miroirs concaves (type Gregory par exemple).

Au centre image d'une étoile avec une bonne collimation et à droite avec une mauvaise collimation.

# COMMENTAIRE

**Notez qu'une lunette n'est pas concernée par cette opération.**

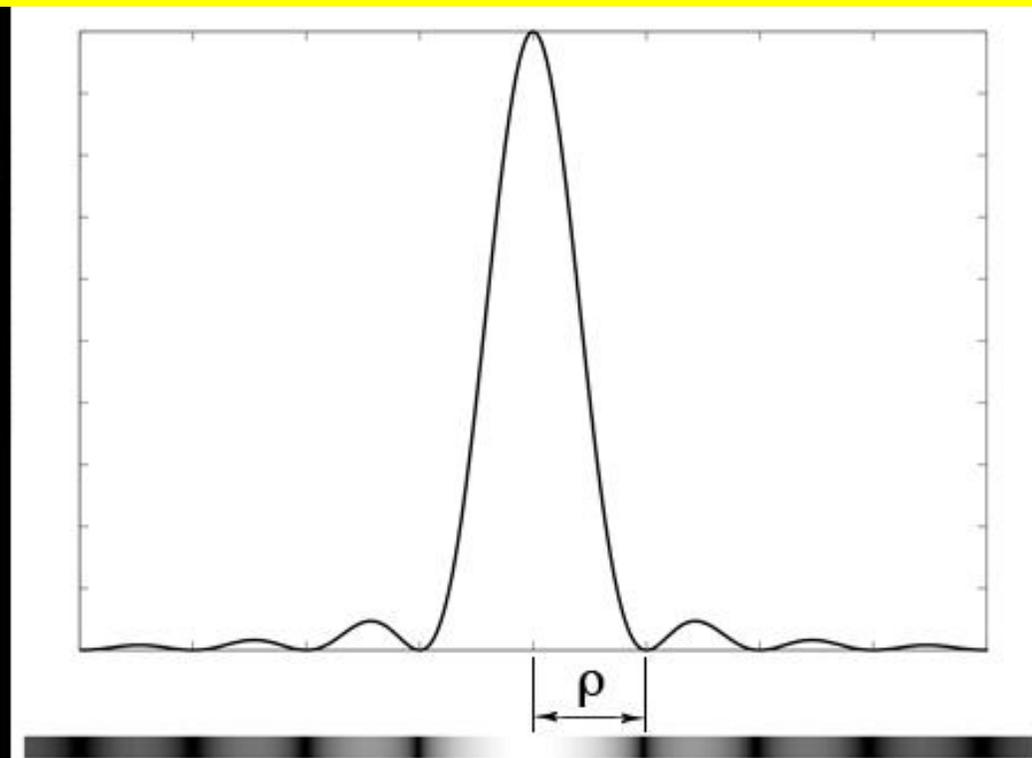
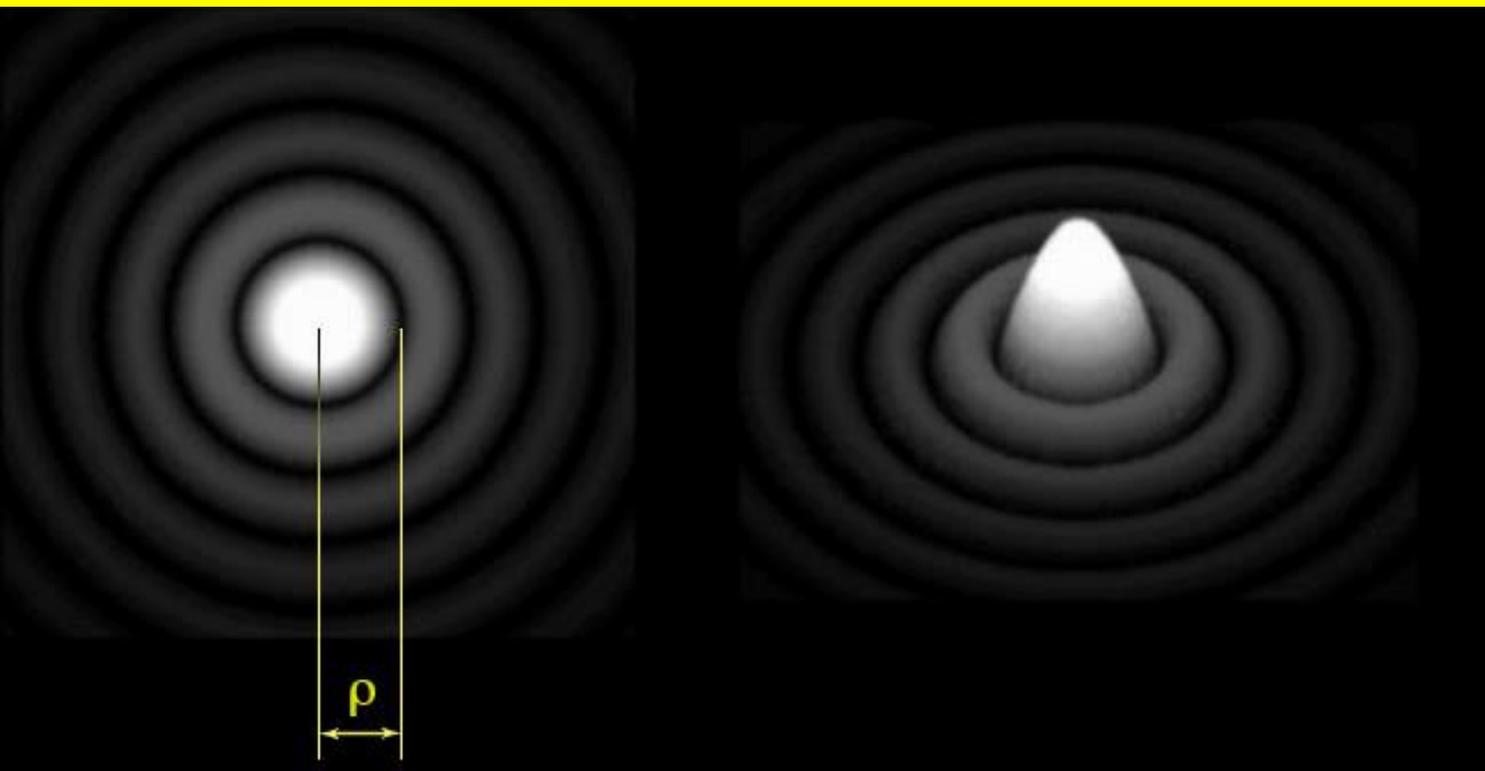
**L'alignement doit se faire par rapport à l'axe du tube optique et chaque miroir par rapport à l'autre. La façon de faire dépend du type de télescope, Newton, SC ou Mak.**

**Pour ce dernier type d'optique, seul le miroir primaire peut être aligné sur l'axe du tube optique, le secondaire étant un miroir sphérique convexe peint sur la face intérieur du ménisque.**

**Pour les Newton il est possible d'utiliser des accessoires comme un laser ce qui simplifie l'opération. Pour le miroir primaire c'est en jouant sur des vis du barillet qui le supporte que l'alignement se fait sur l'axe du tube. Pour le secondaire il faut jouer sur trois vis qui supportent le miroir secondaire plan.**

**Pour les SC seul le secondaire peut-être collimater, la référence étant le primaire. Ceci se fait généralement sur une étoile (éventuellement artificielle, une bille d'acier située le plus loin possible et éclairée) en jouant sur les trois vis à l'arrière du porte secondaire. Il faut pour cela défocaliser l'étoile afin de faire apparaître les anneaux de diffraction et serrer ou desserrer une ou deux des vis de réglage pour rendre les cercles concentriques. En augmentant le grossissement à chaque essai donnant un bon résultat apparent, on accroît l'erreur résiduelle ce qui permet d'améliorer encore la collimation.**

# Qu'est-ce que ces anneaux sombres et lumineux ?



Si les rayons lumineux respectaient strictement les règles géométriques et si les instruments d'observation étaient idéalement parfaits, ces derniers fourniraient des images infiniment détaillées. En agrandissant celles-ci, on obtiendrait toujours plus de détails. En fait, la nature ondulatoire de la lumière impose une limite à la finesse des détails fournis par un objectif. A cause des phénomènes de diffraction l'image d'un point lumineux est étalée sur une tache ronde. C'est le disque d'Airy qui est entouré d'anneaux concentriques faiblement lumineux et d'intensité décroissante.

# COMMENTAIRE

**Il y a une autre raison d'observer des anneaux alternativement sombres et de lumière dans son instrument, c'est d'effectuer un fort grossissement sur un point lumineux ponctuel (comme pour la collimation de l'instrument), comme l'est une étoile dans le but illusoire d'observer sa surface.**

**L'image d'une étoile obtenue avec un objectif parfait de 100mm de diamètre et 1000mm de distance focale est un disque d'Airy de  $6,8\mu\text{m}$  de rayon  $\rho$  sur la photo. Rapporté sur la voûte céleste, cela correspond à une dimension angulaire de 1,4 seconde d'arc.**

**Avec un bon instrument employé pour l'observation visuelle, un observateur perçoit au mieux les deux premiers anneaux de diffraction de l'image d'Airy mais théoriquement il y en a un nombre infini.**

**Il faut à ce propos retenir qu'il ne sert à rien de grossir démesurément dans l'espoir de voir la surface d'une étoile, car le disque lumineux qui apparaîtrait n'a rien à voir avec la surface de l'étoile, il ne sera que le disque d'Airy produit par la diffraction.**

# **Merci de votre attention**

# **Des questions ?**