

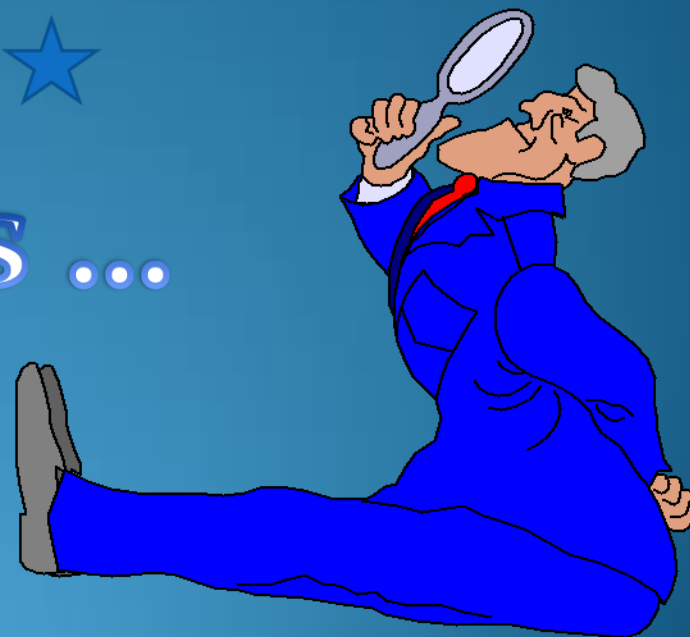
# La chaîne optique

- Du ciel à la rétine.
- Du ciel au capteur.



# La chaîne optique

Avant-propos ...



# Sommaire 1/2

- Les chaînes optiques :
  - Chemin de la lumière dans différents types de télescope.
  - Visuel et Imagerie en planétaire et CP.
  - Visuel et Imagerie en Solaire.
  - Spectrométrie.
- Aberrations optiques / Corrections :
  - Naturelles : Seeing, Chromatisme.
  - Matérielles : Chromatisme, courbure de champ.
- Les maillons de la chaîne optique en détail :
  - Assemblages coulissants & filetages.
  - Fonctions des maillons de la chaîne.
    - **Passifs** (modifient le chemin de la lumière sans modification du signal).
    - **Actifs** (modifient le chemin de la lumière et le signal).
  - Equipements et terminologie.



# Sommaire 2/2

- Les modes en imagerie.
  - Capteur CCD / CMOS dans le plan focal du télescope.
  - Le mode afocal.
  - La projection d'oculaire.
  - L'hyperStar.
- Revue des composants de la chaîne optique.
  - Pour le visuel et l'imagerie.
  - Option pour le traitement d'image
- Notions essentielles à retenir :
  - Back Focus.
  - Champ
  - Pouvoir séparateur.
  - Echantillonnage.
- Quelques calculs simples et indispensables :



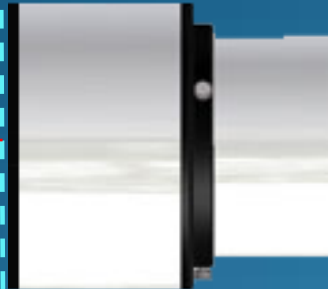
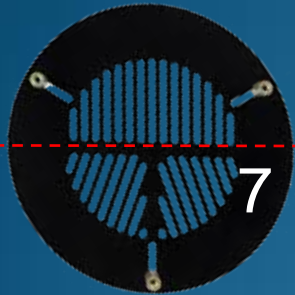
# Chaîne optique – Le télescope

- 1 - Le chemin de la lumière dans différents types de télescope :
  - Revoir les présentations pour débutants « Matériel 'astro' & Mise en œuvre ».
  - Le choix d'un télescope dépendra de :
    - La cible recherchée ( Planétaire, le CP, le Solaire...).
    - La formule optique pour ses avantages / inconvénients.
    - Sa difficulté de mise en œuvre.
  - Miroirs, Lentilles... sont générateurs d'aberrations.

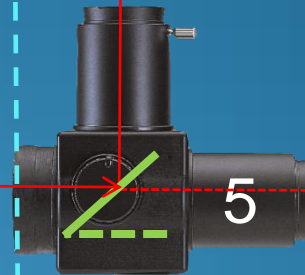


# Chaîne optique – Visuel

## Planétaire et CP



- 1 – Visual back / Crayford
- 2 – Oculaire.
- 3 – Renvoi coudé.
- 4 – Filtre.
- 5 – Flip Mirror.
- 6 – Oculaire réticulé éclairé.
- 7 – Masque de Bahtinov.
- 8 – Réducteur/aplanisseur de focale



4



3

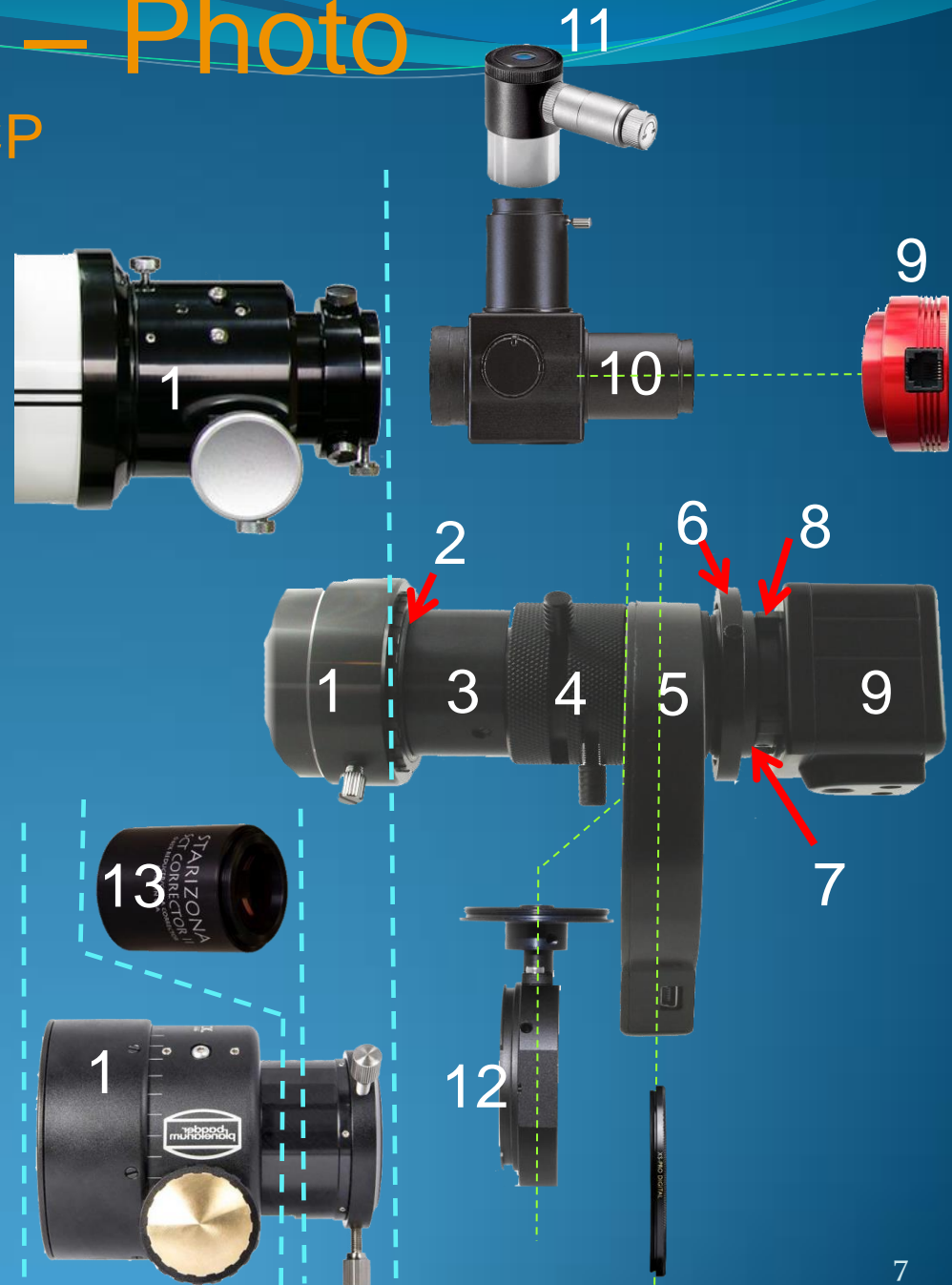




# Chaîne optique – Photo

## Planétaire et CP

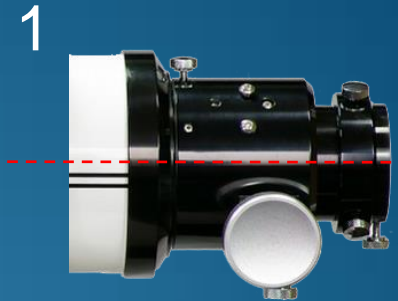
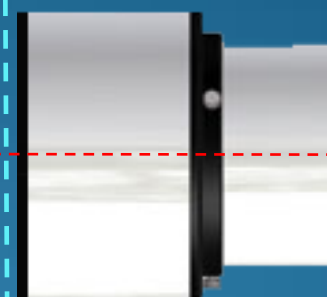
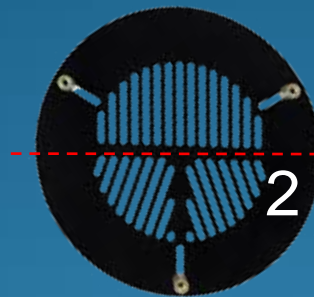
- 1 – Visual back / Crayford.
- 2 – Bague coulissante ou filetée.
- 3 – Adaptateur T2 / T2.
- 4 – ADC.
- 5 – Roue à Filtres.
- 6 – Bague rotative.
- 7 – Tube allonge 'Back focus'.
- 8 – Adaptateur T2 / C (caméra)
- 9 – Caméra.
- 10 – Flip mirror.
- 11 - Oculaire réticulé éclairé.
- 12 – Diviseur optique.
- 13 – Reducteur aplanisseur de focale.



# Chaîne optique en Amont

## Planétaire et CP

Visuel et Imagerie



Imagerie / "Flat "



- Visuel planétaire & CP.
  - 1 – Télescope
  - 2 – Masque de Bathinov.
  - 3 – Boîte à "Flat ".
  - 4 – "Flat " / Ciel crépusculaire.





# Observation Solaire



Observer le Soleil est **DANGEREUX** et nécessite des connaissances, équipements sérieux ou accompagnement !



2 méthodes de filtrages sont utilisées :

- Le filtrage en AMONT de la lunette :  
Utilise des filtres en verre ou mylar placés à l'entrée du télescope.  
Ce type de filtrage est interdit au club pour les observations publiques.
- Le filtrage en AVAL de la lunette :  
Utilise des moyens spécialisés sécurisés, prisme de Herschel, ....  
Ou des lunettes spécialisées pour le solaire.



# Chaîne optique

## Solaire en lumière blanche – visuel



Observer le Soleil est **DANGEREUX** et nécessite des connaissances, équipements sérieux ou accompagnement !



## Equipement de base sans filtrage en AMONT:

- Utiliser seulement une lunette (Réfracteur).
- **Proscrire les autres formules optiques (Réflecteurs) :**
  - Schmidt Cassegrain => Echauffement interne destructeur.
  - Newton, certains le font avec Newton spécialisé solaire doté d'un miroir primaire non aluminé qui transmet moins de 4% de lumière.  
Son grand diamètre donne des détails plus fin de la structure de surface).
- **Proscrire l'utilisation des filtres dits 'Solaire', montés sur l'oculaire :**
  - Il sera oublié un jour (C'est humain, on peut être fatigué...).
  - Dans le plan focal, il peut s'échauffer et s'altérer, on a vu filtres exploser !



# Chaîne optique

Solaire en lumière blanche – visuel

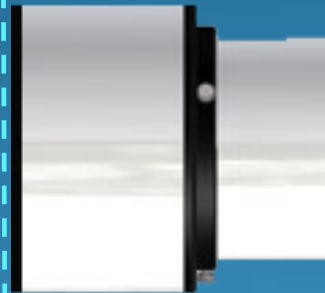


Observer le Soleil est **DANGEREUX** et nécessite des connaissances, équipements sérieux ou accompagnement !



Protection avec filtrage en AMONT :

Filtre 'Verre'



Filtre 'Mylar'



# Chaîne optique

Solaire en lumière blanche - visuel

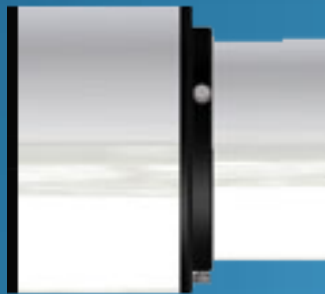


Observer le Soleil est **DANGEREUX** et nécessite des connaissances, équipements sérieux ou accompagnement !



Protection avec filtrage en Aval :

Lunette (Rétracteur)



Oculaire



Prisme de Herschel  
(Baader)



Prisme de Herschel  
(Lunt)



# Helioscope

## Prisme de Herschel - Baader

1. 96,4% de l'énergie évacuée vers une lame de céramique.
2. 4,6 % de l'énergie (utile) renvoyée vers l'oculaire.
3. Version V (visuel).
4. Réduction 1000x par un filtre ND3 interne.
5. Version P (Photo).
6. Jeux de filtres complémentaires.
  - filtre « solar continuum » pour un meilleur contraste.
  - Filtres neutres ND.



# Chaîne optique

## Solaire en Lumière blanche & H $\alpha$ – Astro photo

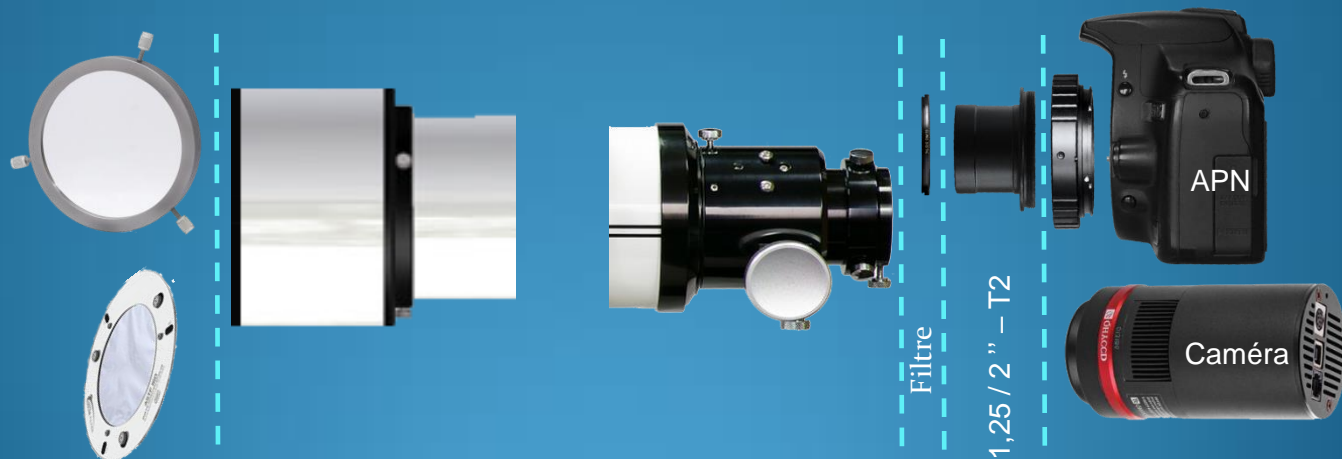


Observer le Soleil est **DANGEREUX** et nécessite des connaissances, équipements sérieux ou accompagnement !



### Astro photo en Solaire.

- Imagerie en monochrome.
- Montage avec bague I/F coulant 1.25 " ou filetage T2 / C.
- En lumière blanche, utiliser un filtre rouge 650nm qui réduit la turbulence et le contraste.





# Chaîne optique

## Solaire en H $\alpha$ - visuel



Observer le Soleil est **DANGEREUX** et nécessite des connaissances, équipements sérieux ou accompagnement !



## 2 – Avec un équipement dédié (et sécurisé):

- Le Coronado PST.
  - Petite lunette de 40 – 400 mm FD/10.
  - Avec un filtre H-alpha  $< 1 \text{ \AA}$  (non démontable).
  - Observations :
    - Des protubérances qui s'échappent de la Chromosphère.
    - De la surface et des taches solaires.
    - Prix : 1000 €



# Chaîne optique

## Solaire en H $\alpha$ - visuel



Observer le Soleil est **DANGEREUX** et nécessite des connaissances, équipements sérieux ou accompagnement !



## 2 – Avec un équipement dédié (et sécurisé):

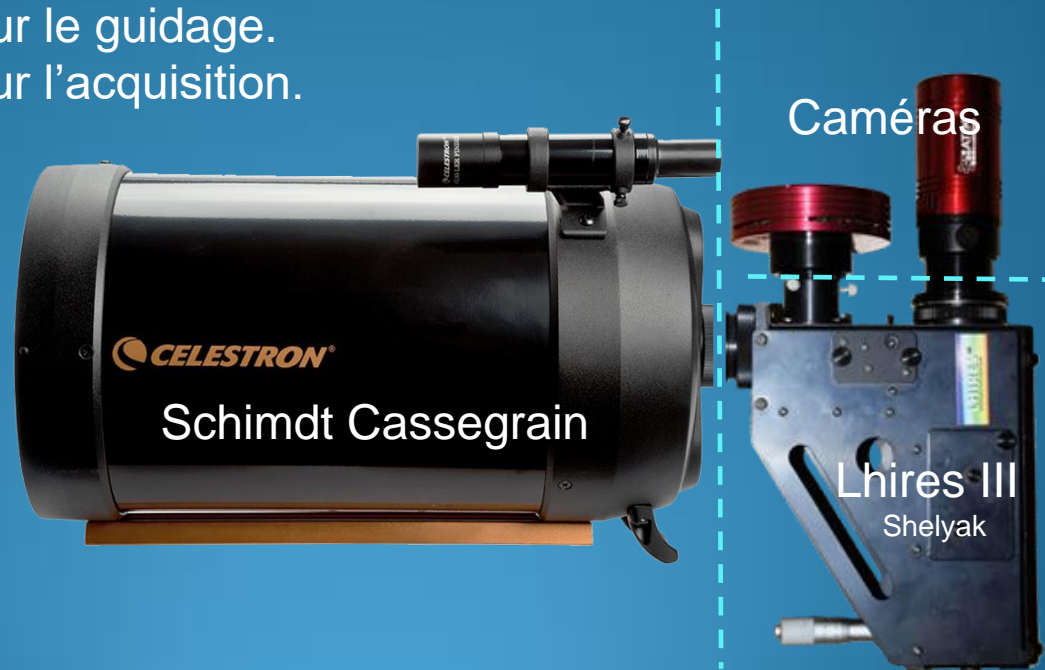
- Télescope Solaire 'Lunt Solar System'.
  - Une gamme de 35 à 230 mm d'ouverture.
  - Lunette spéciale H-alpha
  - Observation sur une bande passante < 0,7 Å.
  - Bande passante < 0,5 Å avec ajout d'un filtre spécial (Double stack)
  - De 1500 à plus de 30,000 € !



# Chaîne optique Spectroscopie

Il ne s'agit plus d'une suite de maillons constituant une chaîne optique, mais d'un équipement (Spectroscopie) formant un ensemble qui analyse les corps par l'examen de leur spectre (raies d'absorption ou d'émission).

- Le spectroscopie est utilisable sur des télescopes ou lunettes :
  - Schmidt Cassegrain F/D10.
  - Sur lunette avec un F/D8 à F/D10.
- Les 2 maillons à ajouter sont des caméras :
  - Une caméra pour le guidage.
  - Une caméra pour l'acquisition.



# Aberrations optiques

## 1 – La coma :

- Présente sur les télescopes équipés de miroirs paraboliques.
- Sur les images hors axe principal, déformation en forme de goutte.
- Sur toute la surface, plus prononcée sur les bords de champ.
- SC et MC sont corrigés par la lame de fermeture (lame de Schmidt).

## 2 – L'astigmatisme :

- Aberration optique ressemblant à la coma, mais moins visible.
- Se manifeste en bordure de champ pour les petits objets.
- Image floue et allongée.
- Plus prononcé sur le SC, RC et assimilé que sur le Newton.

## 3 – Chromatisme :

- Naturel atmosphérique : Effet prismatique de l'atmosphère.
- Optique : Chromatisme des lentilles divergentes.

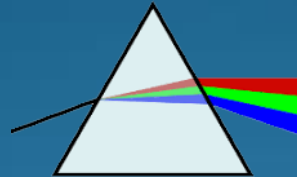
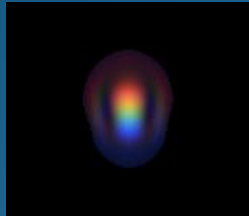
## 4 – Courbure de champ

- Lentilles .
- Miroir.



# Aberrations optiques

## Chromatisme atmosphérique



Atmosphère

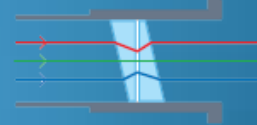


- Effet prismatique induit par l'atmosphère :
  - Minimale au zénith.
  - Ne pas imager au-delà de 2 x air mass (30°).
- Correction du chromatisme :
  - Par traitement d'image :  
Correction brute par recalage des couches RVB.
  - Par ADC (Atmospheric Dispersion Corrector) :  
Correction fine « intra bandes » par 2 prismes contrarotatifs.

ADC MK2  
PierroAstro



ADC  
ZWO



# Chromatisme atmosphérique

- 

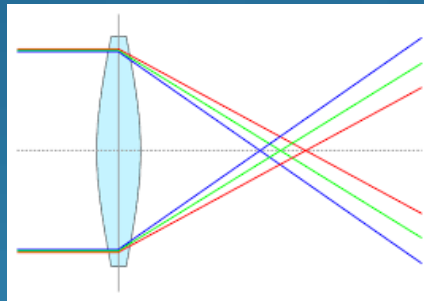




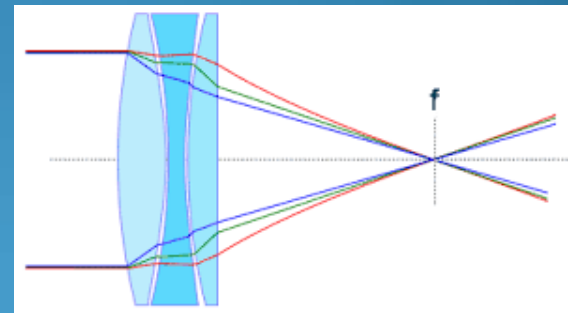
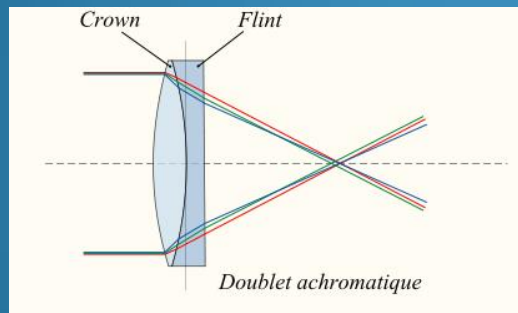
# Aberrations optiques

## Chromatisme des lentilles convergentes

- Lentille simple convergente :
  - La réfraction dépend de la longueur d'onde.



- Correction du chromatisme
  - Formule optique doublet achromatique / Triplet apochromatique :

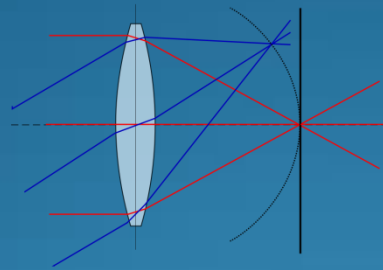


# Aberrations optiques

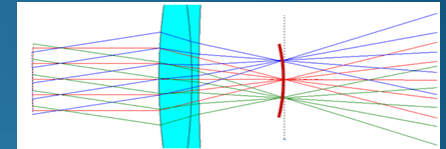
## Courbure de champ

Une formule « Apo » permet de faire converger les composantes RVB d'un point de lumière blanche. Mais l'ensemble des points lumineux sur la surface de l'optique ne convergent pas sur une surface plane (le capteur photo) : C'est la courbure de champ.

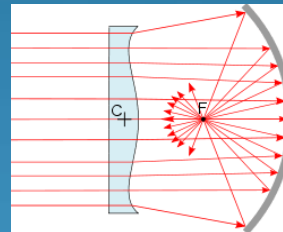
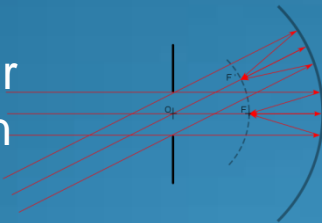
Lunette réfracteur



Réducteur / aplanisseur



Télescope réflecteur  
Schmidt Cassegrain



Réducteur / aplanisseur

Télescope réflecteur  
Newton



Correcteur de coma Paracorr  
(Correction de la coma)



# Chaîne optique

## Les maillons de la chaîne optique



# Assemblages

## Coulissants & Filetages

UNC 1/4	6.35 mm	20 TPI	Trépied photo (dit pas Kodak)
UNC 3/8	9.52 mm	16 TPI	Trépied photo gros diamètre
UNC 1	1"	32 TPI	Monture C des caméras Vidéo (25.4mm)
Coulant 1" 1/4	31.75 mm	-----	Oculaires & éléments en 31.75 mm
Coulant 2"	50.8 mm	-----	Oculaires & éléments en 50.8 mm
SCT	50.8 mm	24 TPI	Visual back → Celestron C8 / C9.25
T2	M42	0.75 mm	Accessoires astro
M28	28 mm	0.60	Standard des filtres en 1"1/4
M42	42 mm	1 mm	Anciennes montures objectif photo.
M43	43 mm		Oculaire Hypérion, en projection oculaire
SP54			Oculaire Hypérion, extension 14 & 28 mm.
M48	48 mm	0.75 mm	Standard des filtres en 2"
M60	60 mm	0.75 mm	Vixen.
M68	68 mm	1 mm	Baader, Zeiss
Etc...			



# Le renvoi coudé

- Confort pour l'observation en visuel.
- Diamètre : 1.25" et 2".
- Miroir :
  - "Diélectrique" 99% de réflectivité.
  - "Métallisé aluminium" : 95% réflectivité.
  - Pas d'aberration de sphéricité.
- Prisme :
  - Coût plus faible.
  - Bonne qualité d'image.



# Les oculaires

- Caractéristiques d'un oculaire :
  - La focale.
  - Le champ apparent.
  - Relief d'œil.
  - Pupille de sortie.
  - Le coulant : 1"25 / 2".
- Autres paramètres :
  - La formule optique.
  - Grossissement : ratio des focales Télescope / oculaire.
  - Aberrations optiques.

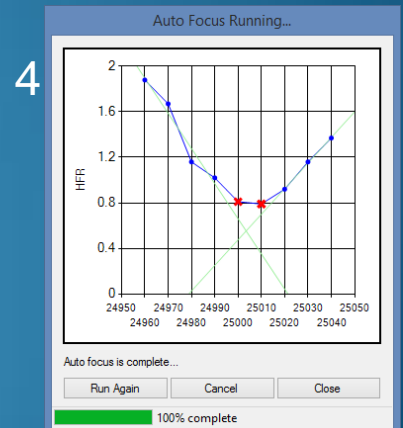




# Focus - Bathinov / FWHM

Un focus parfait à l'œil nu est très difficile.

1. Assistance avec le masque de Bahtinov .
2. Ajustement manuel 1/1 et 1/10.
3. Ajustement électrique avec raquette ou contrôle software via l'ordinateur.
4. Autofocus et prise en compte des variations de température.



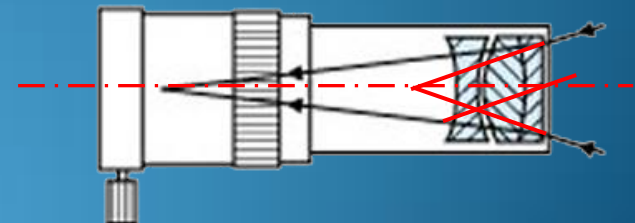
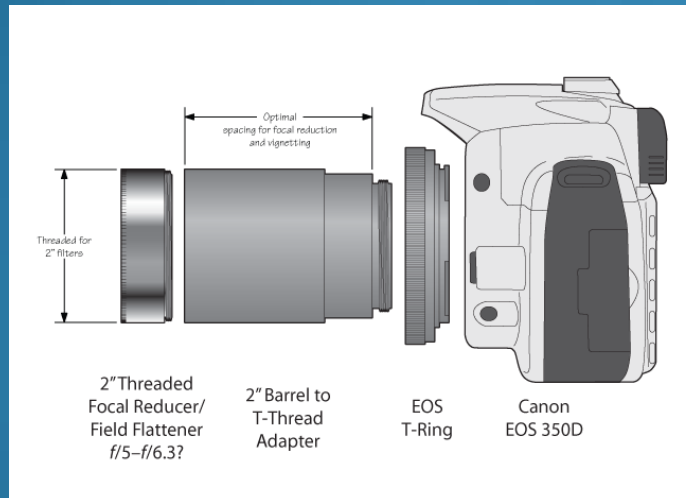
# Les bagues d'adaptation

- Couplages.
  - Coulissants.
  - Vissants.
- Bagues de conversion.
  - Diamètre
  - T2 / EOS, Nikon, Sony...
- Bagues d'extension.
  - T2
  - M48
  - Épaisseurs de 0,3 à 50 mm
- Bagues de rotation.
- Bagues de Tilt.



# Les correcteurs

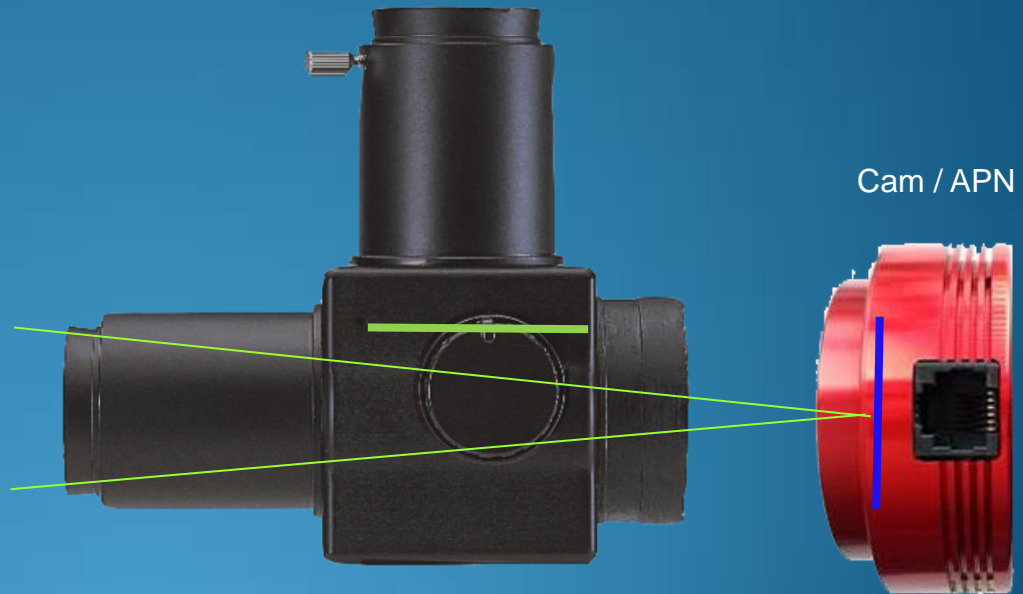
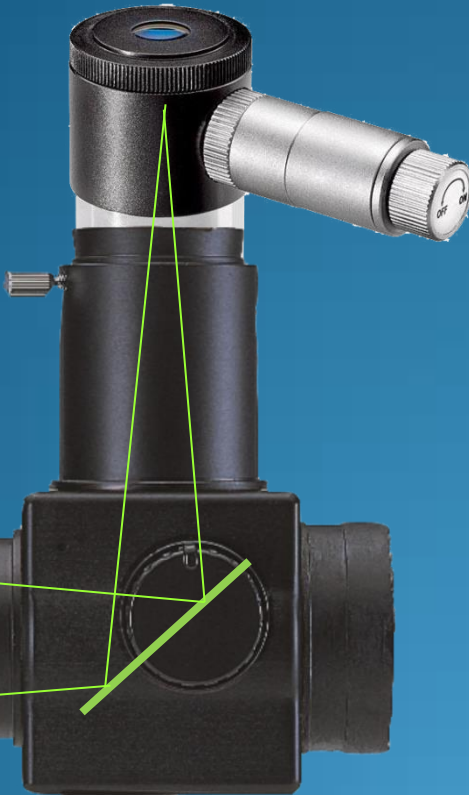
1. Réducteurs de focale.
2. Aplanisseurs de champs.
3. Les réducteurs aplanisseurs.
4. Barlows 2x – 5x.
  - Divergentes.
  - Télécentriques.
5. Flat Field Convertisseur.
6. Correcteur de coma (Parracor...)



# Flip mirror



- Miroir basculant.
- Vision alternée Oculaire / vidéo



Cam / APN

# Auto-guidage : Lunette guide

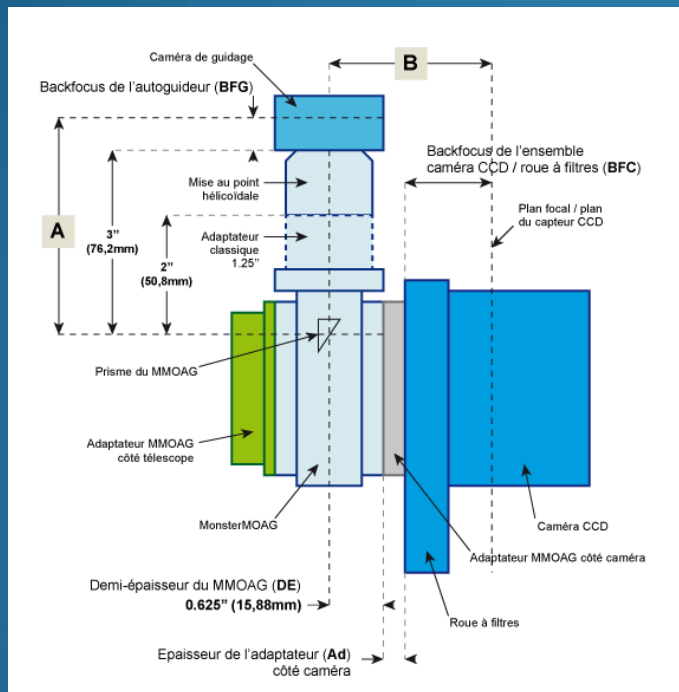
- Lunette basique avec une lentille biconvexe.
  - $F_i$  : Focale du tube imageur.
  - $P_i$  : Taille pixel caméra imageur.
  - $F_g$  : Focale du tube de guidage.
  - $P_g$  : Taille pixel caméra de guidage.
- $F_g \text{ minimum} = F_i * P_i / 10 * P_g$ .
- Ex. pour un C9 (2350mm) et 2 caméras (4,75 $\mu$ ) :
  - $2350 * 4.75 / 4.75 * 10 = 235 \text{ mm}$
- Usages courants :
  - Chercheur type 9x50 pour guider une lunette grand champ.
  - Lunette 80-400 pour guider des tubes longues focales.





# Auto-guidage : Diviseur Optique (DO - OAG)

- DO = Diviseur Optique.
- OAG = Off Axis Guiding.





# Roue à filtres (RAF - EFW)

- RAF = Roue A Filtres.
- EFW = Electronic Filters Wheel.
- Passe Filtres



# Imager avec APN / Caméra

## Les modes en imagerie



# Modes en imagerie

Capteur CCD / CMOS dans le plan focal du télescope



# Modes en imagerie

## Le mode Afocal

Les modes afocals :

- 1 - Montage standard avec étrier.
- 2 - Système Baader ave bague de liaison oculaire / Objectif de l' APN
- Convient pour APN avec objectif non démontable.
- Plutôt pour le planétaire.

1



2





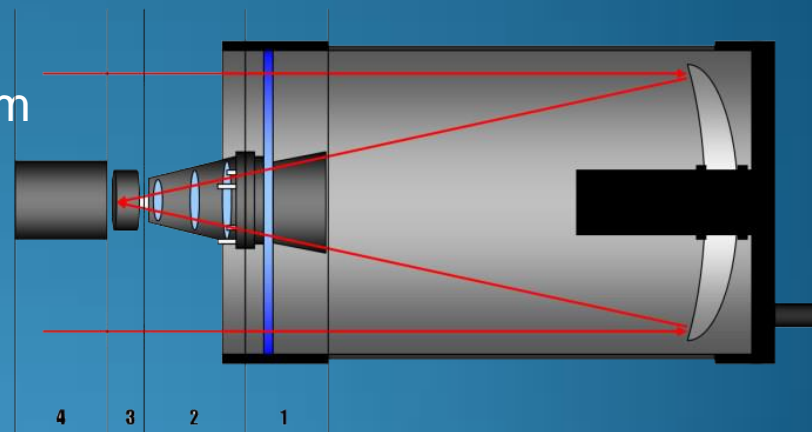
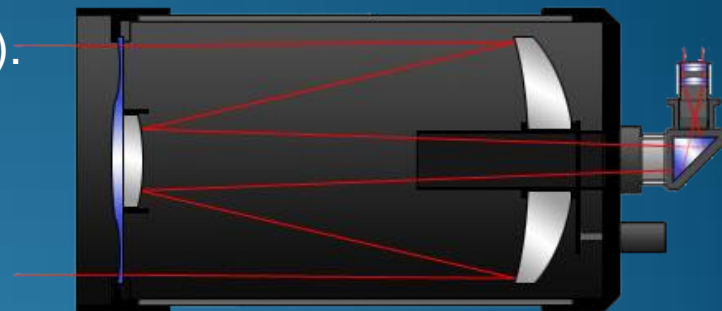


# Modes en imagerie

## L'hyperstar

1. Kit de conversion (inutile pour Fastar et C9.25).
2. Hyperstar (3 lentilles).
3. Interface Caméra.
4. Caméra / APN (avec plus d'obstruction).

- FD10 => 1.8 ou 2 selon le télescope.
  - C11 Standard : F/D 10 => F=2800mm
  - C11 Hyperstar : F/D 2 => F= 560 mm
- Planétaire / ciel profond.
- Temps de pose /30.





# Chaîne optique

## Quelques calculs simples





# Dimensions des filtres 1/2

## Une question récurrente...

- Filtres trop grands => une dépense inutile.
- Filtres trop petits => Vignetage sur l'image.
- La bonne formule :

$$F = Y * (D/F) + Z \quad (\text{unités en mm})$$

F = diamètre du filtre (ou diagonale pour un filtre carré)

Y = distance filtre capteur

D = diamètre instrument

F = focale instrument

Z = diagonale du capteur

- Setup : Lunette ED80-600 + ZWO asi 071 (BF=17.5) / Diag = 28.4 + RAF=20 / 2  
Diamètre filtre mini =  $27.5 \times (80/600) + 28.4 = 32.07$  soit 33 mm non monté.
- Setup : Lunette TS80-480 + ZWO asi 071 (BF=17.5) / Diag = 28.4 + RAF=20 / 2  
Diamètre filtre mini =  $27.5 \times (80/480) + 28.4 = 34,18$  soit 50,8 mm (2 pouces).



# Dimensions des filtres 2/2

## Calcul automatique

WEB : [https://astronomy.tools/calculators/ccd\\_filter\\_size](https://astronomy.tools/calculators/ccd_filter_size)



### CCCD Filter Size Find the optimum filter size to avoid vignetting

#### CCD Filter Size Calculator

Add New Equipment To Database

Telescope: Telescop Services - 80mm triplet a... ▼

Aperture: 80,00 mm

Focal Length: 480,00 mm

Barlow / Reducer: 0.8x Reducer ▼

Filter to CCD Distance: 16.5 mm

Camera: ZWO - ASI294MC ▼

CCD Diagonal: 23,21 mm

= Recommended Minimum Filter Size: 25.65 mm

# Champ, résolution, échant

(mm)

## 1. Champ :

-  $Champ (^{\circ}) = 57.3 \times D_{(mm)} / D_{(mm)}$

## 2. Résolution (Pouvoir séparateur) :

- Formule usuelle (avec  $\lambda=480nm$ )

$$R_{(" d'arc)} = 120 / D_{(mm)}$$

- Selon le critère de Rayleigh.

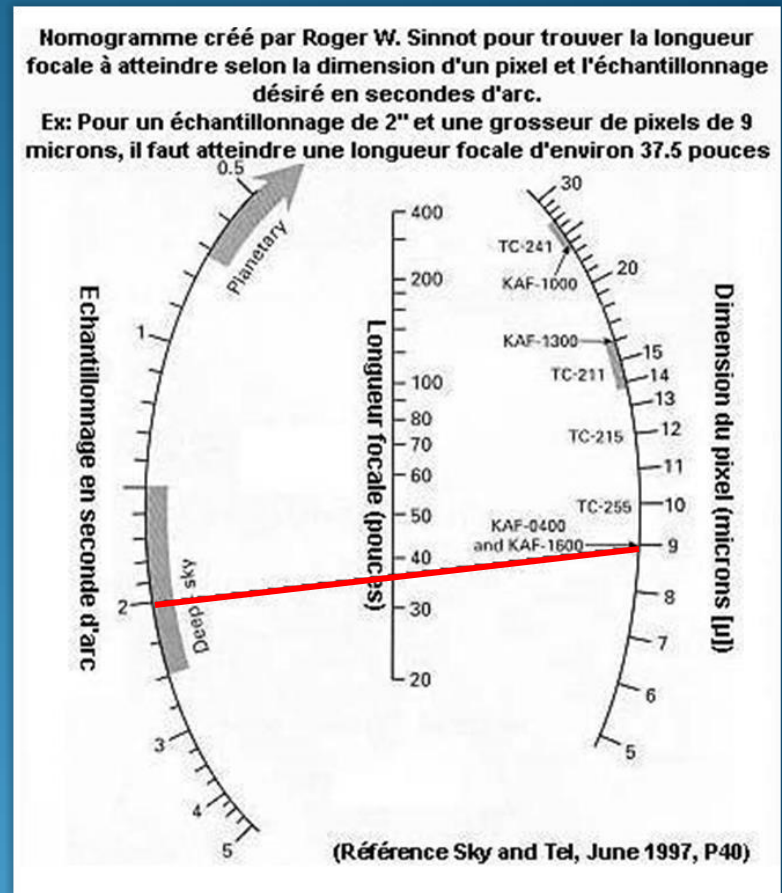
$$R_{(Radian)} = 1.22 * \frac{\lambda_{(mm)}}{D_{(mm)}}$$

## 3. Echantillonnage :

Planétaire : Résolution ( $" d'arc$ ) / 2.

Ciel profond : 1/3 du seeing ( $" d'arc$ )

$$Ech. (" d'arc) = 206 \times P(\mu) / F(mm)$$



# La tache d'Airy



Nature ondulatoire de la lumière.

- Front d'onde.
- Diffraction

Résolution (Pouvoir séparateur) :

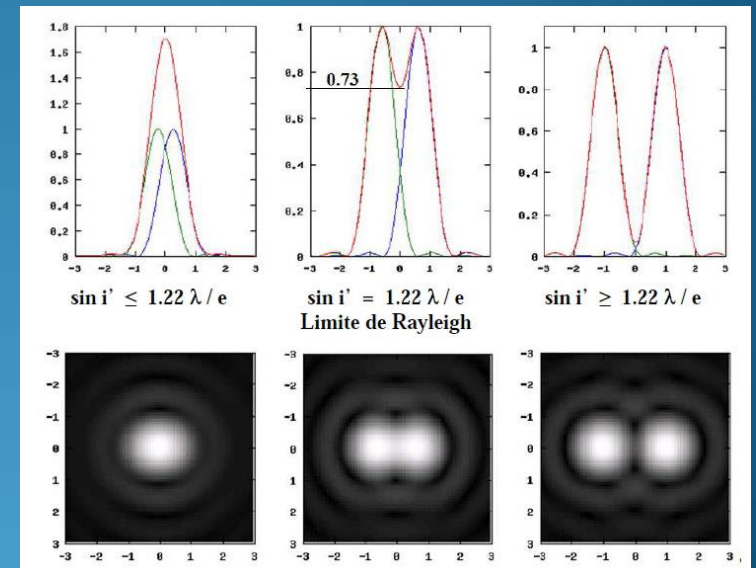
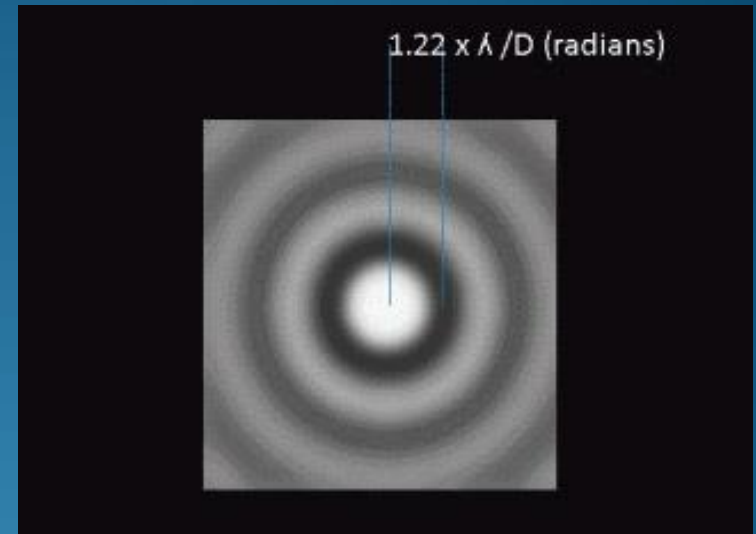
- Selon le critère de Rayleigh.

$$R = 1.22 * \frac{\lambda}{D}$$

- Tache centrale = 90% de l'énergie.

- Diamètre angulaire du disque d'Airy.

$$R = 2,44 * \frac{\lambda}{D}$$



# Le back focus - Correcteur

Ex. Avec le réducteur Photoline 0,79



Back Focus

Ex : (TS 80-480 + reducteur 0.79)

- BF caméra = 17 mm
- RF = 20 mm
- OAG = 10 mm
- Total = 47 mm
- Bague 65-47 = 18 mm
- - 1/3 épaisseur du filtre.

BF = distance réducteur / capteur caméra (dépend de la focale du télescope) :

- Focale j'usqu'à 350 mm .... 70 mm
- Focale de 350 à 420 mm .... 65 mm
- Focale de 450 à 500 mm .... 61 mm
- Focale de 510 à 600 mm .... 58 mm
- Focale de 610 à 700 mm .... 57 mm
- Focale de 710 à 790 mm .... 56 mm
- Focales > à 800 mm .... 55 mm

Page suivante :  
Influence des filtres  
sur le back Focus



# Décalage du back focus avec les Filtres

*D = Décalage du focus.*

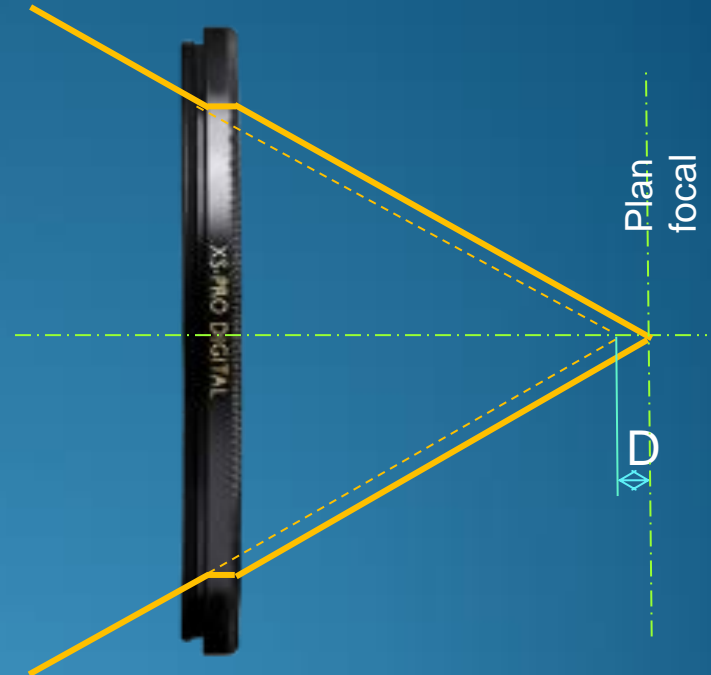
*Ep = épaisseur du verre du filtre.*

*Ind = indice de réfraction*

- La formule :

$$D = Ep * \frac{Ind - 1}{Ind}$$

*Avec : Ind = 1.5, indice pour les verres de filtres.*



$$\frac{Ind - 1}{Ind} = 0,33$$

- => La formule usuelle est de considérer 1/3 de l'épaisseur du filtre.

# La collimation 1/4 - Télescope

**Toute la ligne optique doit être collimatée !**

- Le télescope :
  - Revoir les tutos et ateliers "Collimation des Télescopes" du club.
  - Les réfracteurs (Lunettes),
    - Seuls le haut de gamme est doté de visse de collimation.
  - Les réflecteurs ( Newton, Dobson... ) :
    - Collimation des miroirs primaire et secondaire au laser.
    - Réglage fin sur une étoile (figure d'Airy).
  - Les Schmidt Cassegrain :
    - Seul le miroir secondaire peut être collimaté.
    - Approche au collimateur laser.
    - Réglage fin sur une étoile (figure d'Airy).
  - Cas des Schmidt Cassegrain "Fastar" (Le miroir secondaire est démontables).
    - Le focuser peut être collimaté / au miroir primaire avec le système Hotech SCA.



# La collimation 2/4 - Assemblages

**Toute la ligne optique doit être collimatée !**

- Assemblage de la ligne :
  - Préférer les montages vissants au coulissants.
    - Coaxiaux.
    - Sécurisés.
  - Si montages coulissants, préférer les serrages par :
    1. Constriction (Pression circulaire).
    2. Dilatation de joints caoutchouc (Hotech).
- Imageurs :
  - Assemblages :
    - T2 / Monture C (caméras)
    - Bagues adaptatrices T2 - EOS / Nikon... (APN)
  - Correction de l'orthogonalité du capteur :
    1. Tilt Intégré à la caméra.
    2. Bague de tilt. (Caméras & APN)

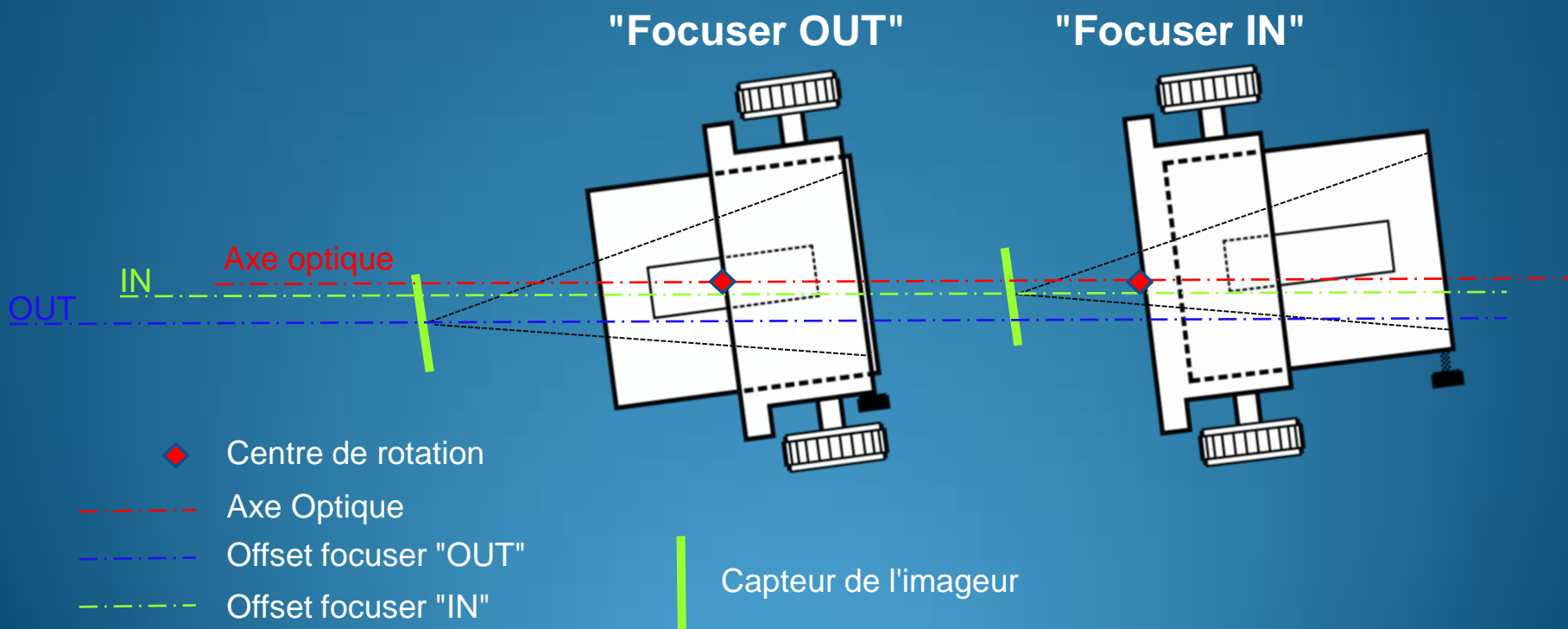




# La collimation 3/4 - Focuser

Toute la ligne optique doit être colimatée !

- La collimation du Focuser :
  - Une opération plutôt délicate mais nécessaire.
  - Le décalage est proportionnel à la valeur de sortie du focuser.

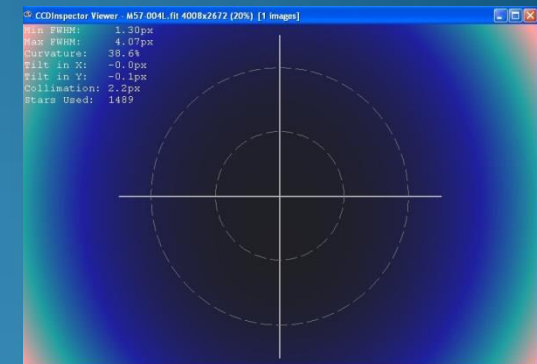


# La collimation 4/4 - Focuser

Toute la ligne optique doit être colimatée !

- La collimation du Focuser :

- Une opération plutôt délicate pour certains modèles.
- Certains sont faciles à collimater (MooLite), car dotés de vis "Push-Pull" de collimation.
- D'autres sont complexes, Ex : le Baader SteelTrack nécessite de régler de nombreuses vis.
- Logiciel pour le contrôle : Shapcap, CCD inspector...



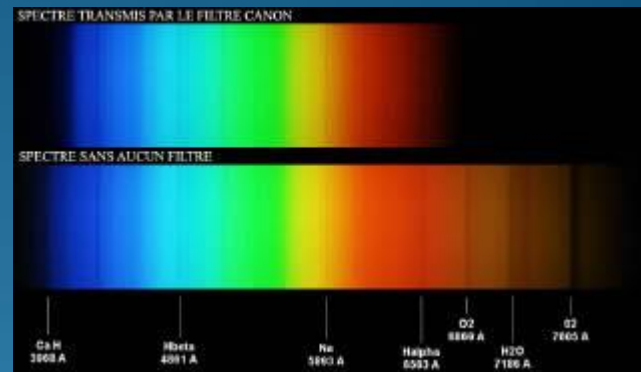
# Chaîne optique – Défiltrage APN

Accès au rayonnement Ha :

- Défiltrage Total.
- Refiltrage clair pour Mise au point.

Filtres "Monture clip" APN :

- CLS.
- UHC.
- SHO.
- ...





# La Chaîne optique

## Compléments non optiques

### La protection contre la buée :

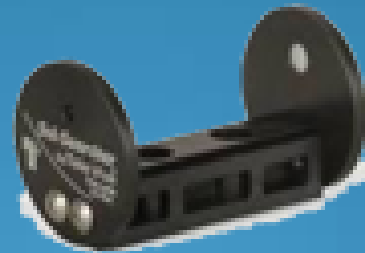
- Ecran anti buée.
- Résistances chauffantes.
  - Tube télescope.
  - Lunette guide.
  - Chercheurs Optique, Telrad...
  - Oculaires



# La Chaîne optique

Compléments optiques en //

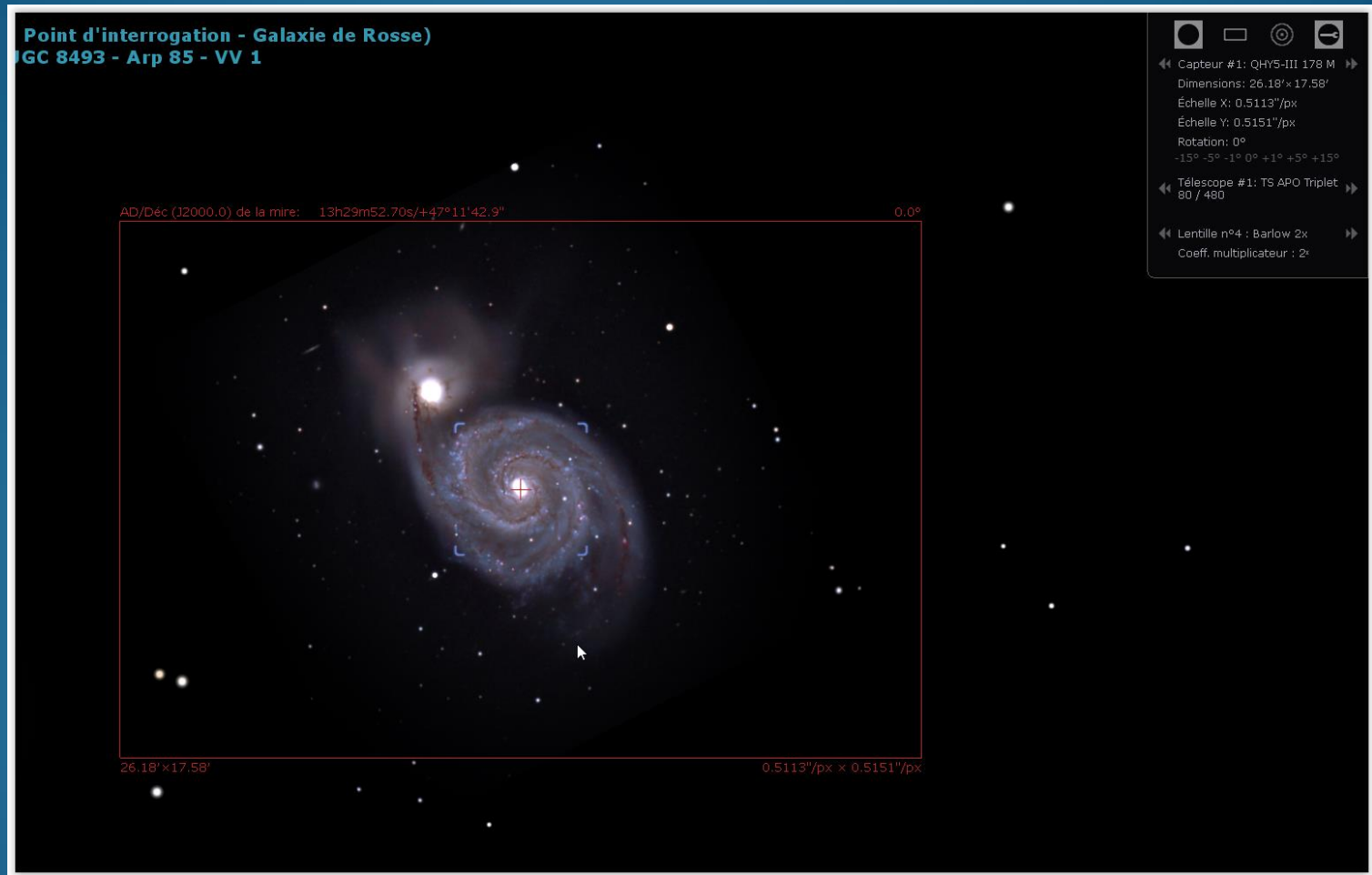
- Les chercheurs.
  - Optiques
    - 6 x 30
    - 9 x 50
    - ...
  - Telrad.
  - Point rouge.
- Les viseurs.
  - Solaire



# Objet stellaire vs formule optique

Focale, Réducteur, Barlow, oculaire, CCD/Cmos...

- Stellarium un outil idéal pour sélectionner les composants optiques :



# Chaîne optique

A lire sans  
modération

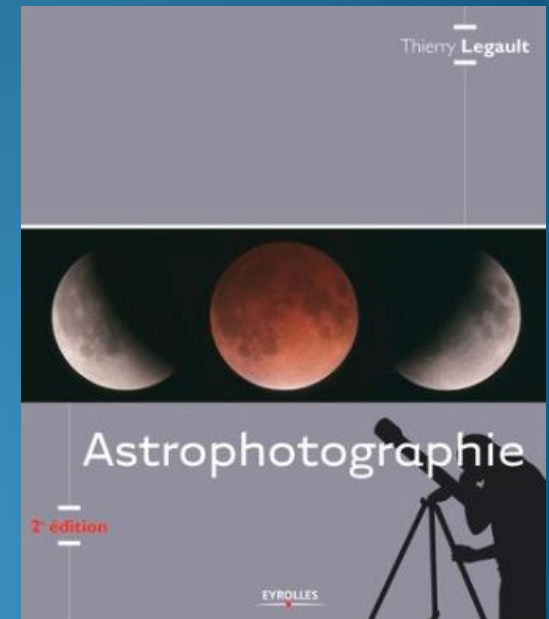


# Livres de références 1/3

Disponibles à la Biblio du club

## Astrophotographie – Thierry Legault

- Astrophotographie sans instruments.
- Appareils de prise de vues et fonctionnement.
- Défauts et corrections des images.
- Techniques instrumentales
- Soleil, Lune, planète, CP.
- Mise œuvre des équipements :
  - Réglage.
  - Calibration
  - ...
- ...



# Livres de références 2/3

Disponibles à la Biblio du club

## Astronomie planétaire – Christophe Pellier

Delcroix, Monachino, Viladrich, Burgeot, Poupeau et Prost.

- Observer :
  - Quel instrument ?
  - Réglage instrument et optique.
  - Visuel et dessin.
  - Turbulence.
- Photographier :
  - Réglage caméra.
  - Notions essentielles.
  - Logiciels de traitement.
  - Renforcement des détails.
- Etudier :
  - ...
- ,,,



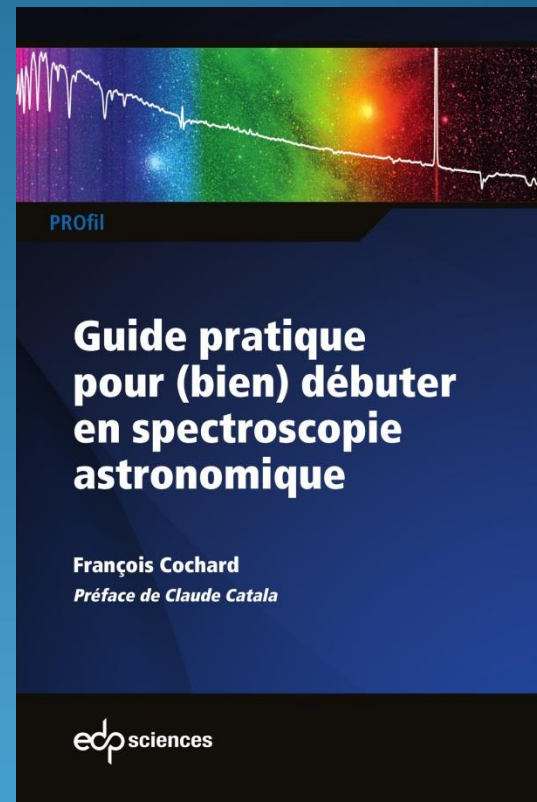


# Livres de références 3/3

Disponibles à la Biblio du club

## Guide pratique pour débuter en spectroscopie astronomique – François Cochard

- Théorie.
- Instruments.
- Observation.
- Logiciels
- ...



# La chaîne optique

MERCI pour votre attention.

