



ASTROPHOTOGRAPHIE

aux instruments

ZlochTeamAstro
Nov 2018

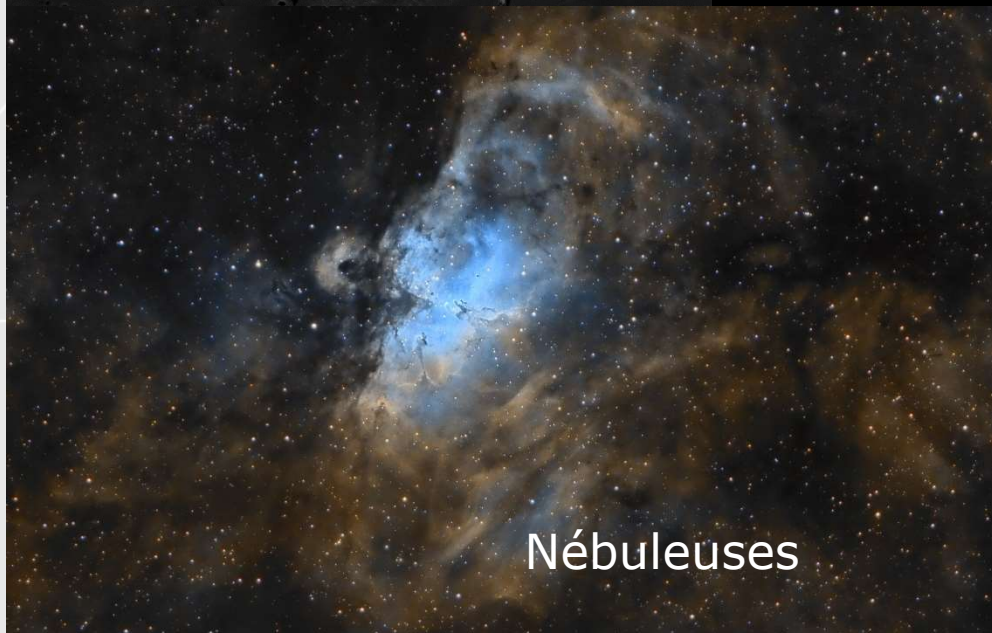
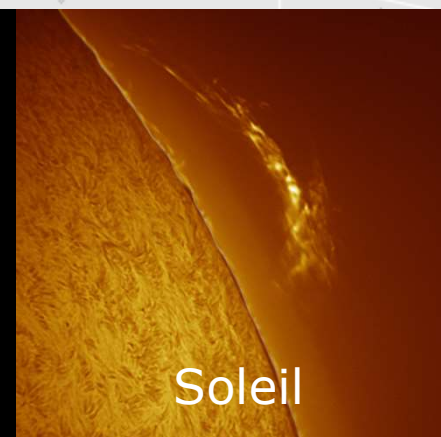
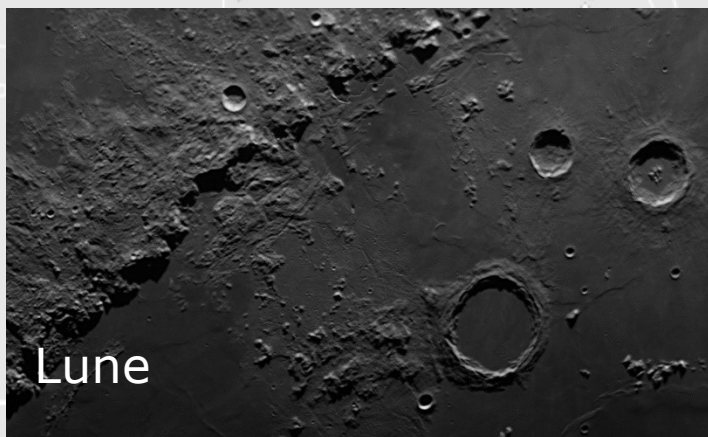
Introduction à l'astrophotographie aux instruments

- Introduction à l'astrophotographie
- Les différents télescopes ou objectifs
- Les montures
- La mise en station
- La mise au point
- Les outils d'imagerie
- Les logiciels de capture
- Les prises de vues
- Les traitements
- Filtres et correcteurs
- Auto-guidage

Introduction à l'astrophotographie

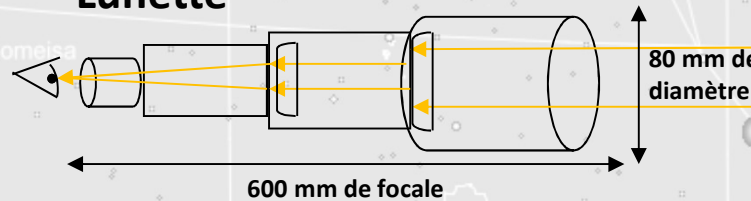
- L'astrophotographie est une technique photo dédiée à la prise d'image photographique pour différents objets célestes
- 2 techniques bien différentes
 - Photo pour le ciel profond parfois vidéo
 - Amas, Nébuleuses et Galaxies
 - Vidéos
 - Lunaire
 - Planétaires
 - Jupiter, Mars, Vénus...
 - Solaire (avec les précautions indispensables!! Filtres spéciaux)
 - Comètes... plus rare

L'astrophotographie aux instruments



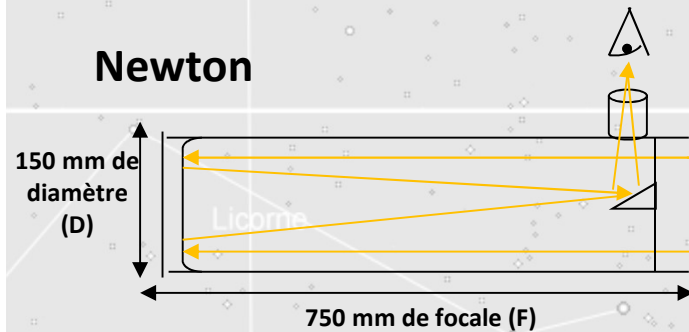
Les différents télescopes

Lunette



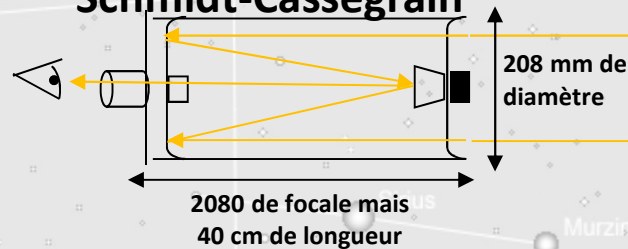
Les Lunettes sont équipées de lentilles concaves ou convexes. Il y a plusieurs types de lunettes : apochromatiques (contre le chromatisme) et achromatique (sans traitements anti-chromatisme). Dans chaque type de lunettes il y a plusieurs types de montage: Doublets (avec 2 lentilles), les Triplets (avec 3 lentilles) et les Quadruplets (avec 4 lentilles). A savoir que plus le nombre de lentilles augmente plus le prix est élevé ! La longueur de la focale est égale à celle de l'instrument.

Newton



Les Télescopes de type 'Newton' (du nom de son inventeur Isaac Newton 1643-1727) est un télescope dont la focale est de la taille de l'instrument, très encombrant. Il est plus lumineux que les Schmidt-Cassegrain car son rapport F/D (Ouverture) est généralement de 5.

Schmidt-Cassegrain



Dans les Télescopes de type 'Schmidt-Cassegrain', la focale est plus longue que le tube puisque le nombre de réflexions est plus important. La focale est d'autant plus grande que ce télescope est équipé d'une lame de Schmidt à l'avant sur laquelle est accroché la miroir secondaire. Son rapport F/D est généralement de 10.

Instrument ou objectif

La photo du ciel profond ne nécessite pas forcément un (gros/lourd) télescope et une énorme monture.

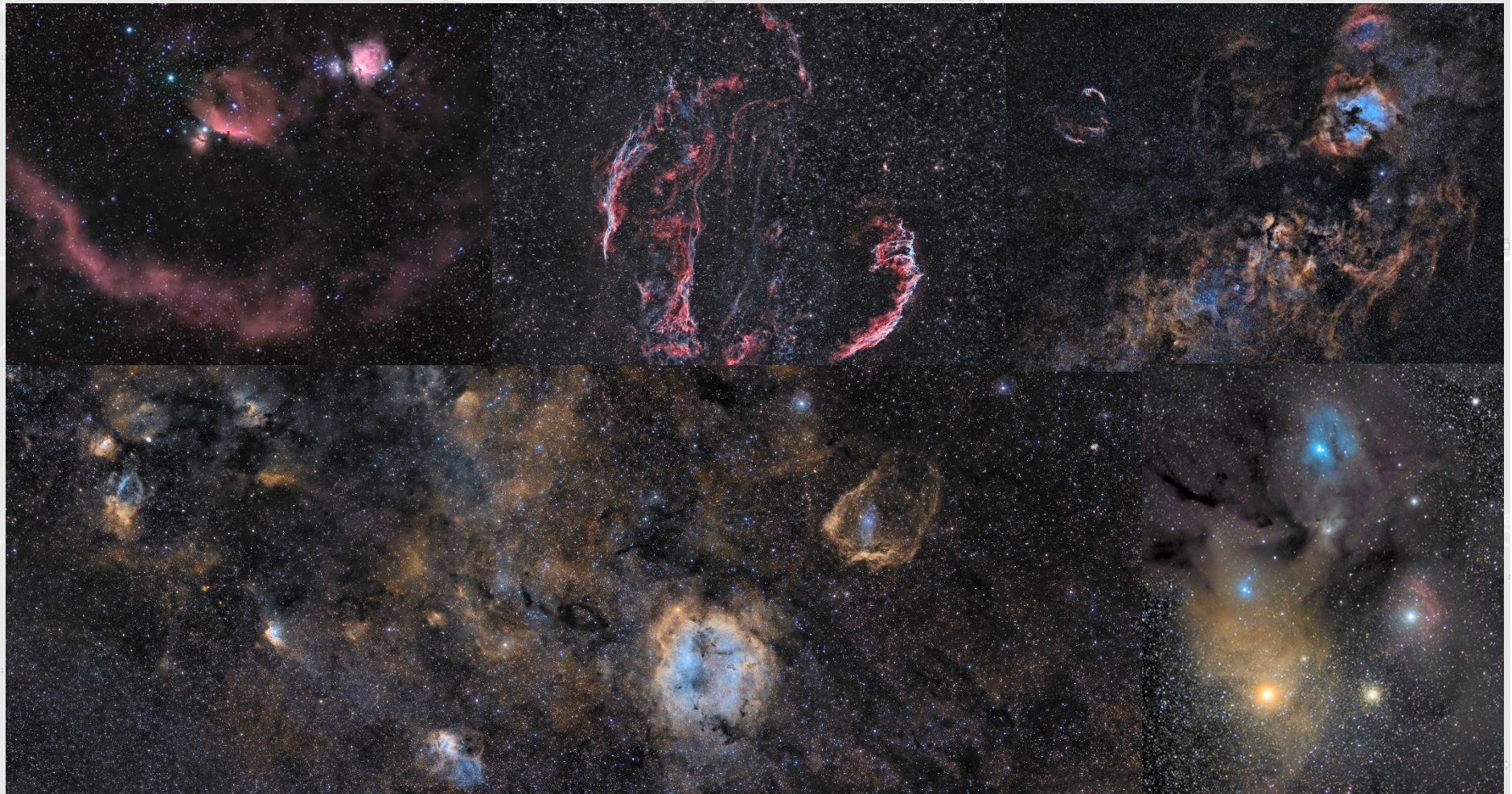
On peut se régaler avec une « petite » camera mono (ou couleur) et un simple objectif photo sur une monture équatoriale légère. (setup qu'on emmène en avion)

Le matériel utilisé :

- Objectifs :
 - sigma 150mm macro f/2.8
 - sigma 150-500mm
 - sigma 18-35mm f/1.8
 - sigma 70mm macro f/2.8
- Monture : EQ3-2 goto
- Camera : QHY163m RAF QHY avec filtres astronomik
- Guidage : mini guide scope orion 50mm et camera QHY224

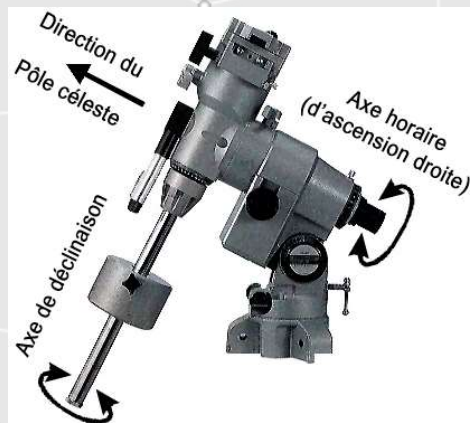


Instrument ou objectif



Les montures

- Il y a communément 2 types de montures,
 - Equatoriale avec ses axes : ascension droite (AD) et déclinaison (DEC)
 - Alt-Az avec ses axes : altitude (ALT) et azimut (AZ).
- En astrophotographie, il est préférable d'utiliser une monture équatoriale,
 - le problème de la monture AZ est la rotation de champ : non seulement il faut que les 2 moteurs d'axes tournent mais aussi que l'APN tourne sur lui même pour compenser la rotation de champ en longue pose
 - sur les montures Equatoriales, grâce à la mise en station, la monture suit l'objet qu'avec le mouvement d'1 axe (AD)
 - ➔ moins de mouvements pour la photographie



Monture équatoriale



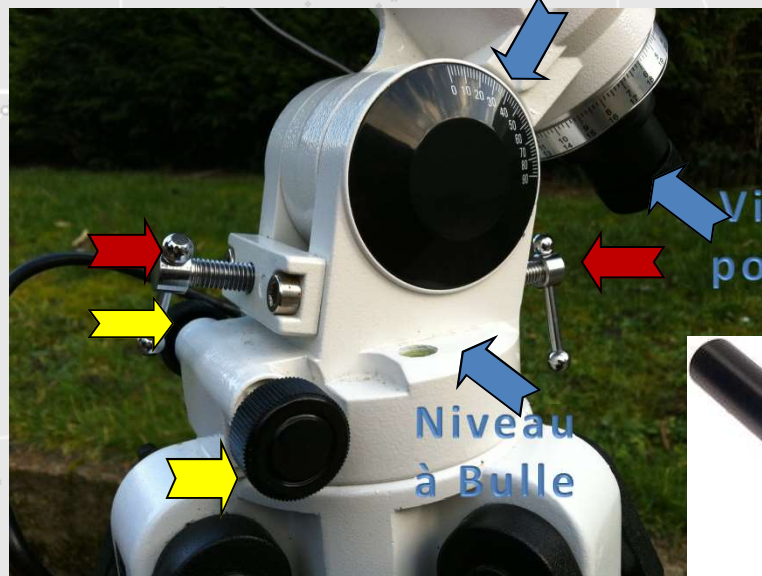
Monture Alt-AZ

Méthodologie en astrophotographie

- La préparation
 - Mise en station et mise en place du matériel, au minimum 30 mn avant pour la mise en température des éléments
 - Sélection de l'objet à photographier en fonction de la saison
 - Sélection de la technique et du capteur (appareil photographique numérique, CCD, caméra planétaire...)
 - Sélection de la focale (grand champ, zoom, télescope, lentille de Barlow...)
 - Sélection du temps des poses unitaires (durée en secondes : 30 s, 60 s..., 5mn, 10mn, ...)
 - Sélection des filtres
- Les prises de vues
 - Le sujet : des photos doivent être prises avec un temps de pose suffisamment long pour le ciel profond, ou plutôt court pour le planétaire (limitation de la turbulence)
 - Les poses techniques (darks, Offsets et Flats)
- Le traitement
 - Prétraitement (organisation, sélection, montage des dark, offset, flat)
 - Traitement (alignement, addition...)
 - Post-traitement (amélioration)

La mise en station – La MES

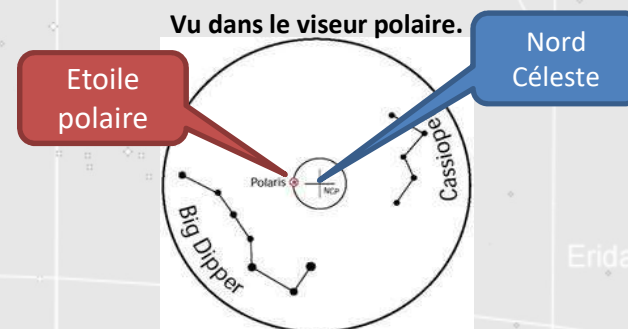
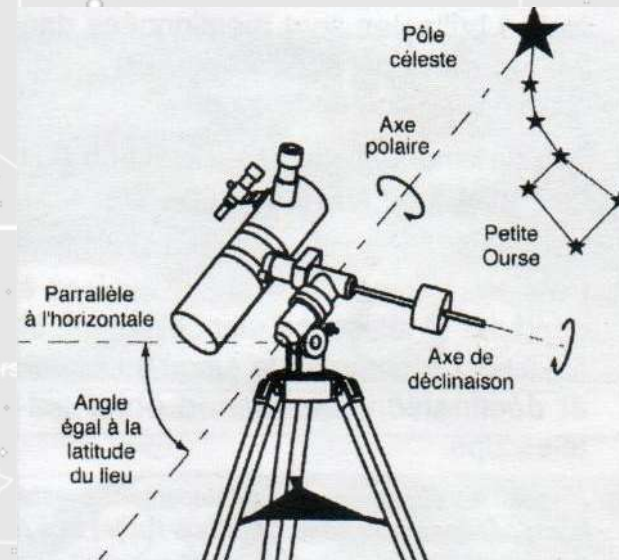
Dans le cas des montures Equatoriales, la mise en station est le fait d'aligner la monture avec l'étoile polaire grâce au viseur polaire. La monture va ainsi suivre qu'avec le mouvement d'un seul axe, l'axe d'ascension droite.



→ Vis de réglage d'Azimut
→ Vis de réglage de Latitude

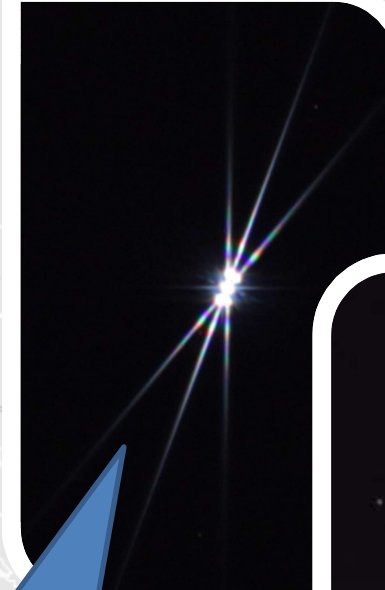


Viseur polaire

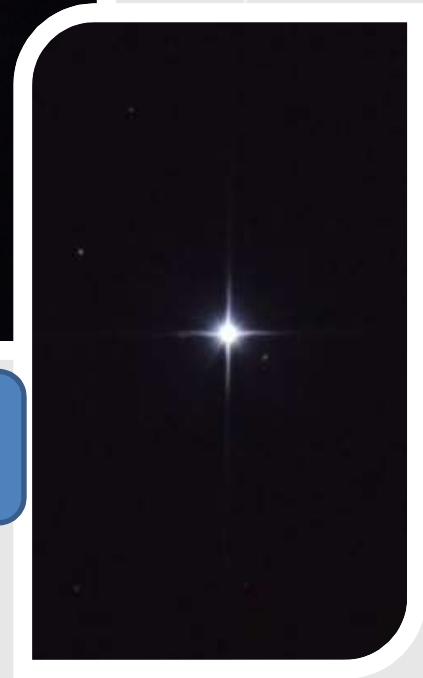


La mise au point – la MAP

Technique de Mise au point sur étoile avec un masque de Bathinov



La mise au point est faite
lorsque tous les secteurs
ont la même taille



Le masque de Bathinov est imprimé sur une feuille plastique transparente puis collé sur du polystyrène de 5mn d'épaisseur. Celui-ci s'emboîte sur la bouche du newton pour faire la mise au point

Les outils d'imagerie

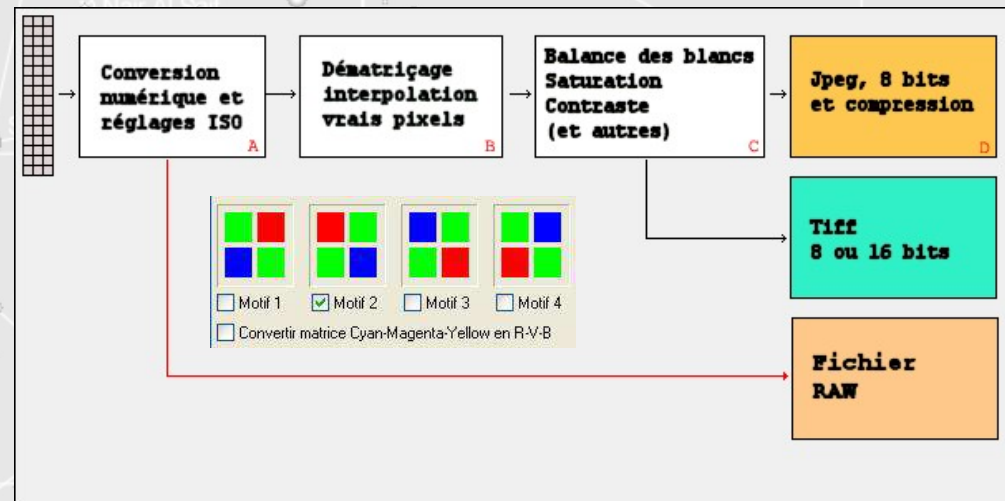
- Rappel du principe de la Matrice bayer
- APN (Appareil Photo Numérique)
- La caméra à capteur CCD/CMOS
- Caméra CCD/CMOS mono, technique du LRVB , Roue à filtres
- Canon 40D vs QSI683 vs QHY174
- Les nouveaux CMOS les + et les -
- Caméra planétaire

Les outils d'imagerie

Rappel du principe de la Matrice Bayer

- Le dématriçage (debayerisation)
 - Le dématriçage est une des phases du traitement du signal brut issu du capteur d'un APN.
 - Il consiste, à partir des données de chacun des photosites monochromes du capteur numérique, d'obtenir des valeurs colorées Rouge, Vert et Bleu (RVB)
 - Pour retrouver la composante en Rouge Vert et Bleu de chaque pixel, les logiciels utilisent les pixels adjacents et font une interpolation (i.e. une «moyenne» pour les 2 autres couleurs)

- Grâce à cette technique, les APN sont en couleur (technique RVB)

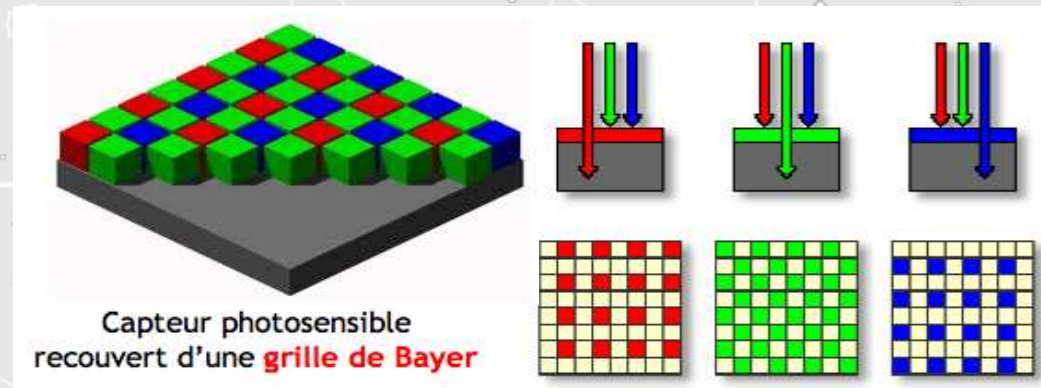


Les outils d'imagerie

Rappel du principe de la Matrice Bayer

- La matrice de bayer

- La mosaïque (ou matrice) de Bayer, un filtre coloré composé de bleu, de vert et de rouge qui est placée au-dessus du capteur. Les photosites du capteur permettent ainsi de générer les pixels de l'image.



- il y a 2 fois plus de pixels verts que de bleus ou rouges, 4 motifs possibles sont répétés sur tout le capteur



- Pour rappel, les capteurs CCD ou CMOS sous cette couche de Bayer sont **monochromes**, même sur les APN

Les outils d'imagerie APN (Appareil Photo Numérique)

- L'APN est le premier outil de prise d'image en astronomie.
- L'utilisation d'un Reflex numérique pour la capture des images permet :
 - L'utilisation du Mode Manuel
 - Réglage du temps de pose
 - Choix du gain (ISO)
 - l'ouverture est fixé par l'instrument monté
 - L'utilisation d'un adaptateurs pour télescopes et lunettes (Bague T2)
 - L'utilisation exclusive du Format RAW (brut)
 - Le pilotage de celui-ci par la connexion PC-USB(la plupart du temps)
 - Le relevage du miroir
 - Le codage 12 bits (voire 14)
 - L'utilisation du Liveview pour aide à la mise au point
- Les inconvénients de l'usage d'un APN en Astrophoto
 - Le filtrage anti-infra rouge natif réduit la transmission dans le rouge, mais reste modifiable sur certains appareils de la gamme EOS Canon
 - Matrice de bayer (perte d'informations)
 - génération de bruit thermique (pas de refroidissement)
 - Autonomie de la batterie (prévoir une seconde batterie, ou un cordon secteur)
- Son prix reste nettement plus abordable que la caméra CCD/CMOS





Les outils d'imagerie

La caméra à capteur CCD/CMOS

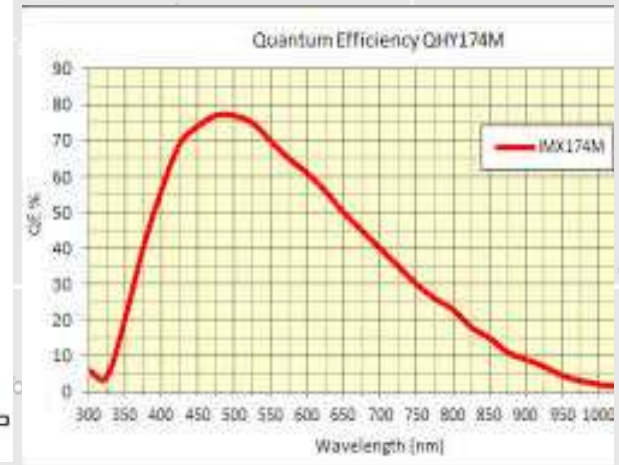
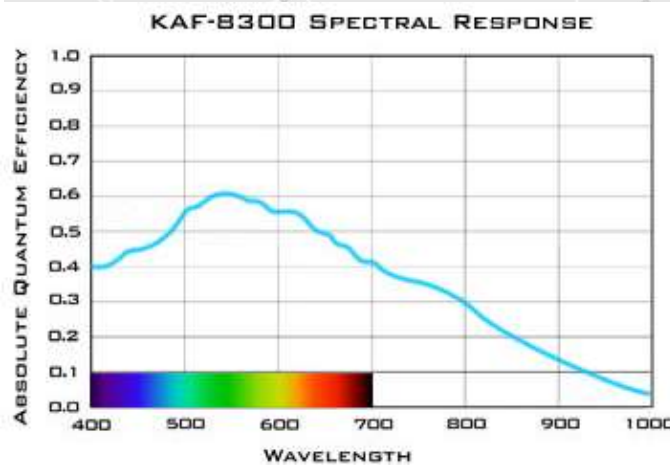
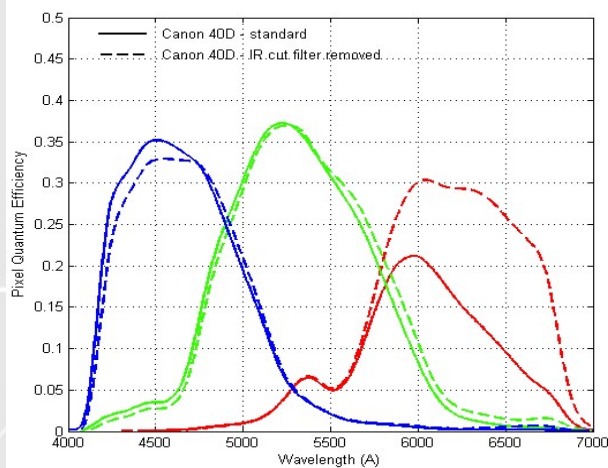
- Pourquoi utiliser une caméra CCD/CMOS
 - Leur capteur noir et blanc, de différentes tailles, est très sensible, beaucoup plus que ceux des webcams ou des appareils photos numériques.
 - De plus il est refroidi par un module Peltier, ce qui occasionne un bruit numérique peu important pendant les longues expositions
 - Les caméras CCD/CMOS n'ont pas de filtre natif comme les APN, le rendement quantique s'en trouve amélioré
- Néanmoins, pour faire de la couleur avec une caméra CCD/CMOS, le capteur étant noir et blanc, il est indispensable de faire une collecte au moyen d'une roue à filtres et à travers 4 filtres différents (LRVB par exemple).
- La mise en oeuvre semble contraignante, mais les résultats sont beaucoup plus spectaculaires que ceux obtenus par un reflex numérique et plus fidèle en rendu des couleurs.
- Le temps de transfert des prises est plus long qu'avec un capture CMOS.
(20-30s pour un format « APS-c »)
- Les caméras CCD/CMOS restent le moyen le plus performant pour obtenir des images astronomiques. Il ne faut pas oublier les dernières générations de Caméra CMOS ultra rapide, peu bruitée...
- L'inconvénient majeur de la caméra CCD/CMOS reste son coût malgré une tendance à la démocratisation grâce aux nouveaux capteurs CMOS

Les outils d'imagerie

Canon 40D vs QSI683 vs QHY174

- Comparaison des rendements quantiques des 2 capteurs.

*attention à l'échelle



- Le rendement quantique du Rouge est nettement inférieur pour le capteur du canon 40d que pour les 2 autres capteurs monochrome
- Ceci est lié à la sensibilité du capteur, mais également au filtre natif ajouter à la fabrication dans les APN (voir le graphique en mode défiltré ---)
- On y voit aussi que le rendement quantique du capteur CMOS est bien plus élevé que les 2 autres

Les outils d'imagerie

Les nouveaux capteurs CMOS les +



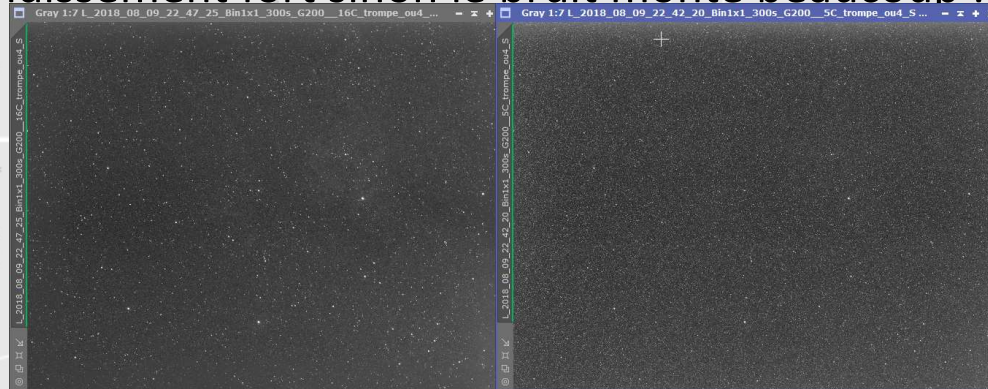
- Aujourd'hui on assiste à une vraie révolution en matière de caméra CCD (eh bien non CMOS). En effet les nouveaux capteurs CMOS ont de beaux jours devant eux :
 - Moins bruités, bruit de lecture bien plus faible qu'une CCD ce qui permet des poses plus courtes (adaptation de la règle des 3,5 sigma)
 - Rendement quantique très supérieur aux CCD exemple QSI683 <60% max et QHY163m 74% max et même 100% avec la QHY42 (13000€)
 - Temps de chargement de l'image moins d'une seconde contre >10s avec une CCD
 - Réglage du gain on peut le pousser pour avoir plus de signal ou pas (adaptation en fonction de la dynamique)
 - FPS très élevés donc top pour le planétaire
 - Autre avantage le prix en effet si on prend une caméra CMOS QHY163m et une ATIK4000m différence de prix d'un facteur 3 pour une meilleure sensibilité et moins de bruit
 - Les nouvelles CMOS couleur sont aussi très performantes (ASI 071)

Les outils d'imagerie

Les nouveaux capteurs CMOS les -

Cependant les nouveaux capteurs CMOS n'ont pas que des avantages :

- Amp-glow important : illumination d'un des coin du capteur (ca part avec les darks généralement)
- Besoin d'un refroidissement fort sinon le bruit monte beaucoup :



- Petit pixel parfois un peu trop sur échantillonné (empâtement des étoiles possible)
- Saturation rapide des étoiles si le gain est un peu trop poussé
- Binning logiciel 2x plus de signal (contre 4x plus en CCD) mais aussi plus de bruit
- Nouveau réglage de l'offset

Les outils d'imagerie CCD/CMOS mono, technique du LRVB, Roue à filtres

- Comme vu précédemment, il est possible d'obtenir une image couleur, en additionnant une série d'image :
 - Rouge,
 - Vert,
 - Bleu,
 - En supplément, la Luminance, qui se fait avec un filtre de luminance qui laisse passer tout le spectre visible : R, V, B (et ne coupe que les Ir et Uv) il peut aussi être un filtre anti pollution
- On capture en priorité la luminance en binning 1, c'est la couche noble qui donne tout le détail. Ensuite on capture les couches RVB en binning 2 pour aller plus vite et pas besoin de détail en général (pixels regroupés par 4 : 2x2). En général on fait au moins 3 fois plus de luminance que de RVB.
- Cette technique nécessite plus de manipulation lors de l'acquisition qu'avec une caméra couleur, mais le résultat en est bien meilleur. Utilisation des 100% des photosites (pas de couche Bayer – «¼» des photosites/couleur)
- D'autres techniques de composition 'couleur' peuvent être réalisées à partir d'images filtrées par des filtres OIII (Oxygène³), SII (Soufre²) et H-alpha (Cas de la palette couleur du télescope spatiale Hubble)



Roue à filtre manuelle ou Pilotée



Les outils d'imagerie

Caméra planétaire

- Les caméras planétaires sont des caméras dédiées à la photographie planétaire (Jupiter, Saturne, Mars, Venus, Lune, Soleil....).
- Elles ne font pas exactement des photos mais des films (vidéos).
- Comme les planètes sont relativement petites $< 1'$, il faut beaucoup grossir, les effets de la turbulence en sont grandement augmenter.
- Pour figer cette turbulence, on fait donc des films de 1000 à 20000..... images et lors du traitement, nous garderons les meilleurs images du films, pour avoir une image nette.
 - Les logiciels de captures planétaires sont ; SharpCap, FireCapture, Ezplanetary, Genika,.....
 - Et les principales caméras planétaires sont ; QHY, ZWO, Altair, Basler.....
- Il est possible de faire de la capture planétaire avec des webcams telles que les Toucams ou SPC 900.
- Il est aussi possible de faire de la capture planétaire avec les appareils photos pilotés grâce à des logiciels, comme EOS camera movies recorder, Backyard EOS, ...
- L'importance de la collimation est cruciale pour une bonne image dans tous les cas.

Collimation : Alignement des miroirs

Camera QHY5L-II



Webcam
Toucam pro 2



ZWO asi224

Les logiciels de capture

- Appareil Photo Numérique – APN
 - BackyardEOS,
 - APT (Astro Photography Tool)
 - EOS Utility de Canon
 - ...
- CCD
 - QHY – sharpcap, firecapture
 - MaximDL via pilote Ascom
 - AstrophotographyTool
 - SGP...
- Vidéo Planétaire
 - QHY – sharpcap, firecapture.
 - ICcapture,
 - Genika, PLXcapture.....

Les logiciels de capture – BackyardEos



Les logiciels de capture - QHY – EzCap

EZCAP V3.24[QHY10] FW Version4-7-148

File Camera Planner Image Process Camera Setup Zoom Language Help

Preview

Focus

Capture

Gain:50 Offset:121

300s

60% 100%

1*1 2*2 BIN 3*3 BIN 4*4 BIN

High Speed Readout

Capture STOP

Histogram

B W

Coarse

AUTO Noise Floor

Screen View

Planner

| Use | BIN | ExpTime(s) | Repeat | CFW | Delay(s) |
|-----|-----|------------|--------|-----|----------|
| 1 | 1 | 30 | 20 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 60 | 50 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 120 | 50 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | 180 | 50 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 300 | 50 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 600 | 50 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 10 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Add Row Save Table Load Table

D:\QHY10\QHY10-Dark\

QHY10_Dark_-25c_50g_121o

NGC 1 2 3 Start

M 4 5 6

IC 7 8 9

Clear 0 () Force STOP

☒ Capture DarkFrame

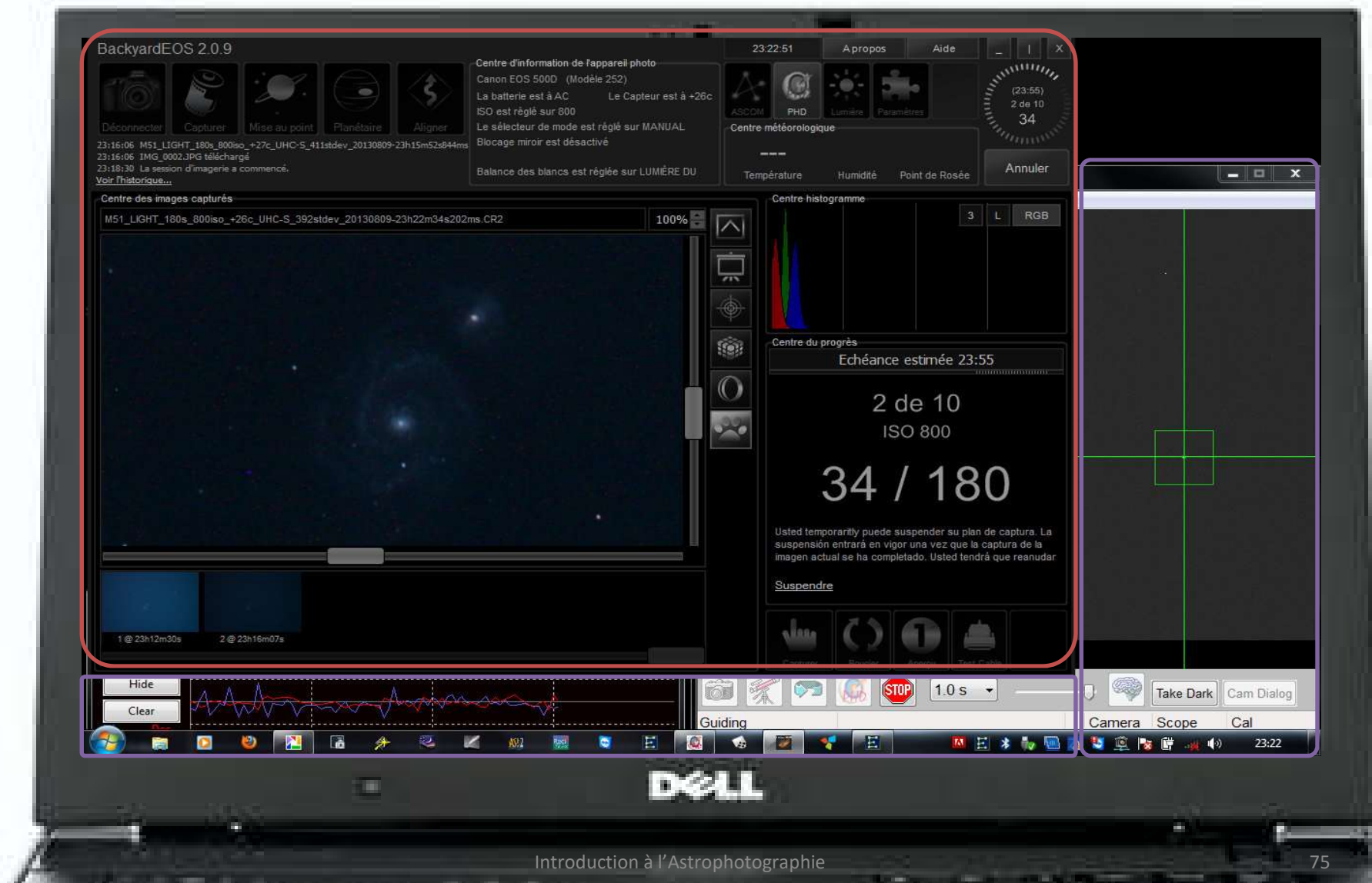
☐ High Readout Speed

☐ Color Wheel LOOP 2

Capture... CAP5 17of50 Loop Free:43466MB

Les logiciels de capture

Capture avec **BackyardEos** & Auto-guidage **PHDGuiding**



Les logiciels de capture - QHY - EzPlanetary

The screenshot shows the EzPlanetary software interface. The title bar reads "EzPlanetaryV5.11-0]FW Version:13-1-6". The menu bar includes "Camera", "Favor", "Camera Setup", "Screen Zoom", "Tool", "Language", and "Help".

Annotations:

- Gain:** A purple arrow points to the "Gain" slider in the left sidebar, which is set to 16,3%.
- Tps Pose:** A blue arrow points to the "0-50ms" slider in the left sidebar.
- Prise photo (SNAP) ou Film (REC):** A grey callout box points to the "SNAP" and "REC" buttons in the left sidebar.
- gain %:** A white callout box points to the "gain" label and the percentage sign in the top right of the main window.
- MicroSec, MilliSec, Sec:** A grey callout box points to the "us", "ms", and "s" buttons in the central keypad.
- Nb Poses:** An orange arrow points to the "Nb Poses" field in the bottom status bar, which is set to 50.
- Vérification : format, nom Objet, temps prises, chemin:** A grey callout box points to the bottom status bar, which displays: "HDD:0FPS", "USB:16FPS", "Free:C:71374MB", "62%", "Video:AVI", "Suffix:Vega", "Length:50", and "Path:C:_VIDEO_capture\EzPlanetary\".

The interface also features a "Color Balance" section with sliders for Red, Green, and Blue, and buttons for "Global WB" and "Spot WB". A "Focus Aid" dropdown menu is also visible.

Les prises de vues

- Il faut toujours choisir un objet en fonction de sa hauteur ($>30^\circ$), sinon il y aura énormément de turbulence et/ou de perturbations atmosphériques
- Ne pas oublier qu'à chaque saison ses objets, par exemple
 - M42 en hiver, ...
 - M104 au printemps, ...
 - M27 en été, ...
 - et M31 en automne, ...
- Calcul de temps de pose unitaire
 - Faire un « offset » sur le terrain pour mesurer dans le logiciel iris le bruit du fond du ciel (sigma).
 - Il faudra que le temps de pose unitaire ait un bruit de fond du ciel (sigma) = 3 fois supérieur à « l'offset »
 - Ou lucky imaging (Cf slide 75)



Les prises de vues

Les poses techniques

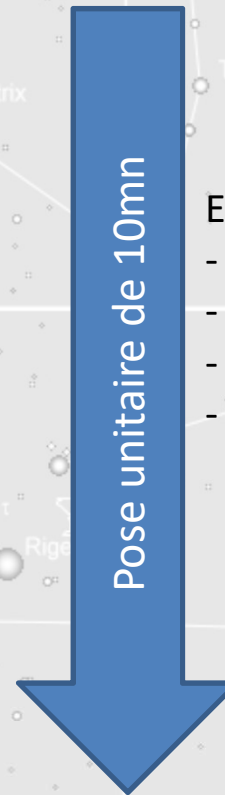
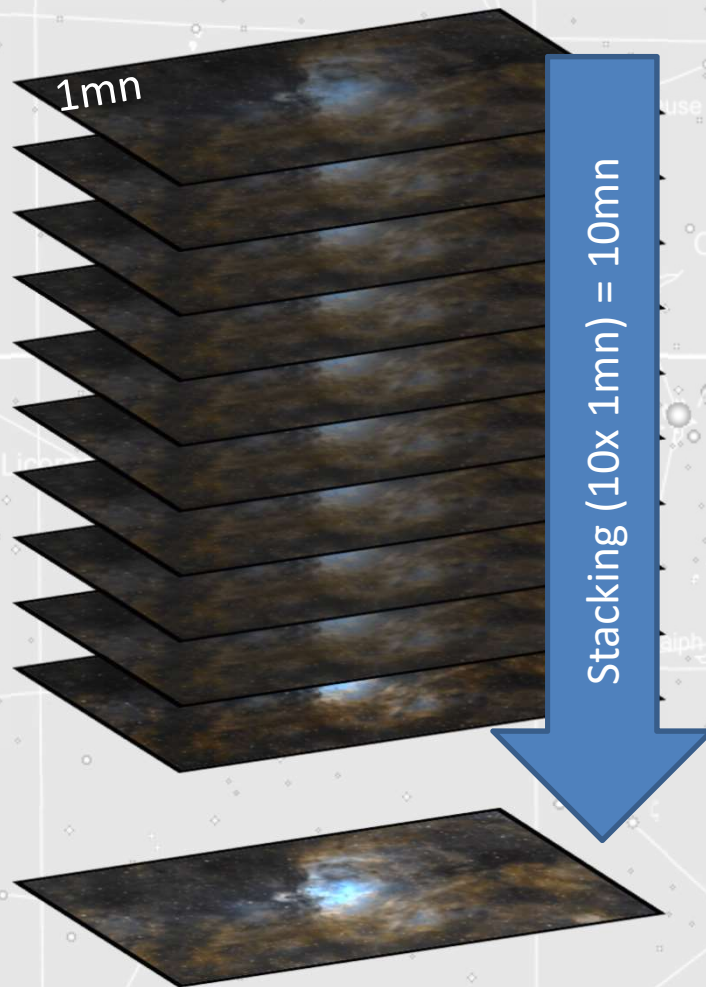
- Les **darks** : ce sont les photos prises avec le même temps de pose que les photos du sujet mais avec le cache. Cela permet de révéler le signal thermique (bruit de chauffe du capteur lors des longues poses) et une partie du bruit numérique.
 - Au moins le double de poses unitaires du sujet.
- Les **offsets** : ce sont les photos prises avec le temps de pose le plus rapide disponible sur l'appareil photo numérique. Cela permet de révéler le signal (bruit) de lecture du capteur.
 - Au moins une bonne centaine.
- Les **flats** : en français P.L.U. (plage lumineuse uniforme) : ces photos sont réalisées sur une surface uniformément éclairée, sans modifier notamment la mise au point. Cela permet de révéler le vignettage et les éventuelles taches, poussières dans le chemin optique.
 - Au moins une vingtaine.
- Toutes ces poses techniques permettent d'améliorer le résultat final lors de la phase de pré-traitement

Dark

Offset

Flat

Principe d'imagerie Long pose cumulée pour les objets du ciel profond



En 10mn :

- Risque de bougé
- Dérive du suivi
- Bruit thermique + important
- Si perte → 10mn de perdu

Résultat
« identique »

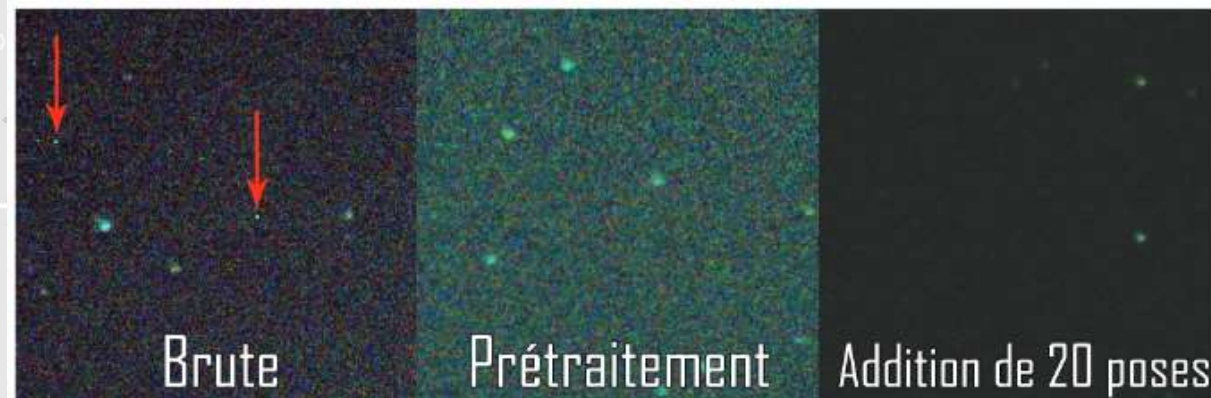
(Nouveau) Principe d'imagerie courtes poses pour les objets du ciel profond

- Une nouvelle façon d'imager a fait son émergence depuis ~2ans le lucky imaging ! Déjà utilisé en planétaire depuis de nombreuses années il tend à s'exporter au ciel profond pour plusieurs raisons liées :
- Bruit de lecture faible on peut donc faire des poses courtes (parfois inférieur à la seconde pour certaines NP)
- Poses courtes implique qu'on peut augmenter le gain (moins de risque de saturer)
- Poses courtes implique aussi plus besoin d'autoguidage ni d'un suivi parfait
- On se libère de la turbulence ce qui permet d'avoir des images plus nettes
- Possibilité d'utiliser une camera planétaire pour faire du ciel profond
- Inconvénient : Beaucoup d'images à traiter et à stocker, PC costaud, long tri à effectuer pour garder les meilleurs, RSB plus faible

Les traitements

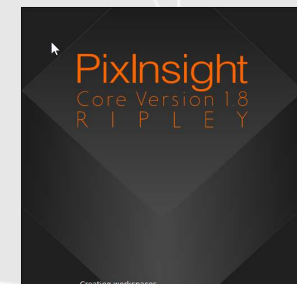
Utilisation de logiciels

- Prétraitement (soustraction, alignement, addition,...)

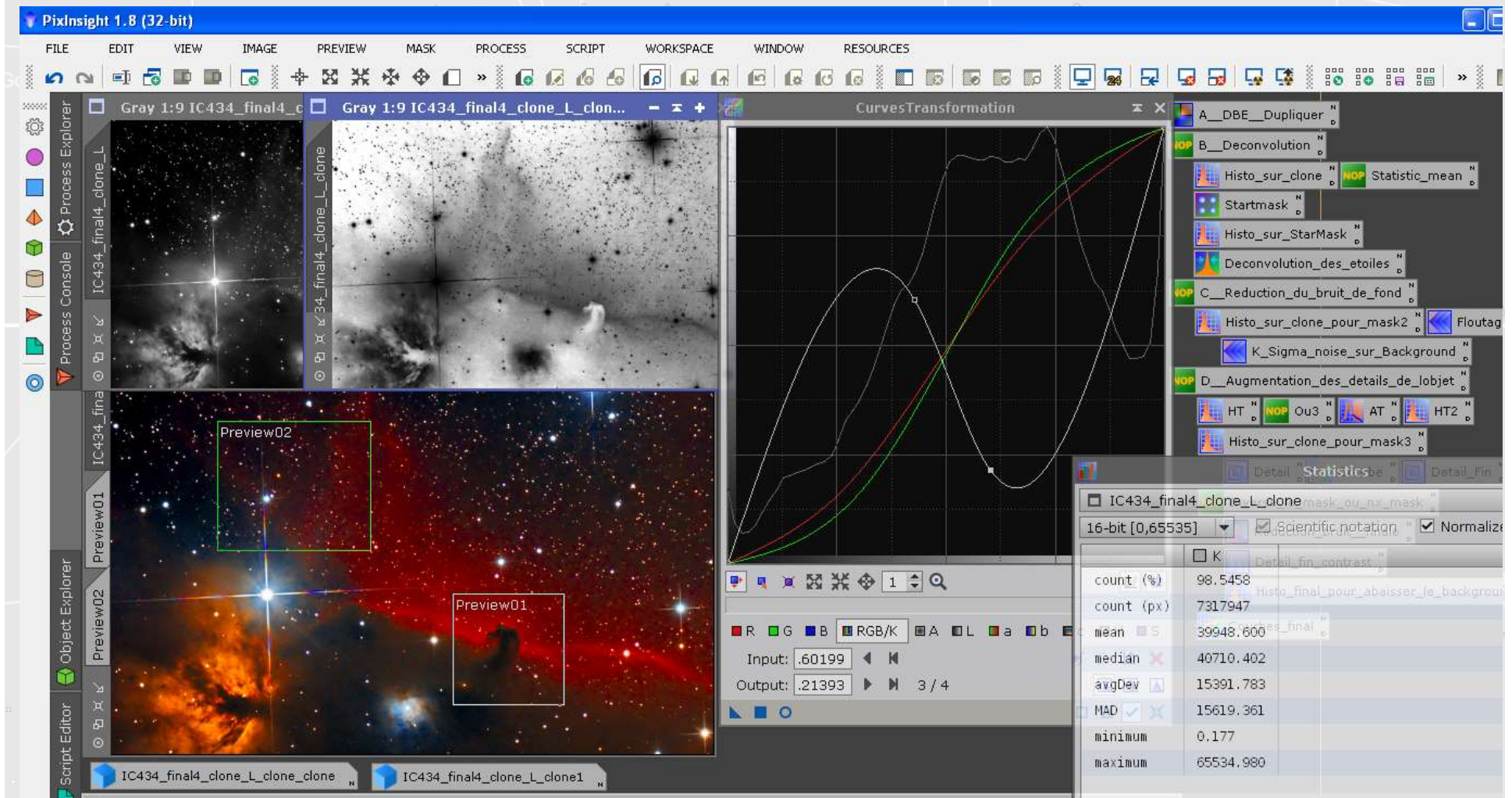


But du prétraitement et du cumul des poses, les flèches rouges montrent les pixels chauds

- Traitement (amélioration)
 - Retrait des gradients, alignement des fonds de ciel, Accentuation des détails, ...
- Post-traitement (cosmétique si besion)
 - Utilisation de logiciels 'Cosmétiques' comme PhotoShop, Gimp, ...
 - Ou des logiciels spécifiques Astro comme Pixinsight, starTools, ...



Les PréTraitements, traitements - PixInsight



Filtres et correcteurs

Exemple d'utilisation du filtre UHC

Canon 500d non dé-filtré
Avec correcteur de coma

M27
Sans filtre
(oh! La belle pollution
lumineuse depuis Antony

M27
+ filtre Baader UHC-s

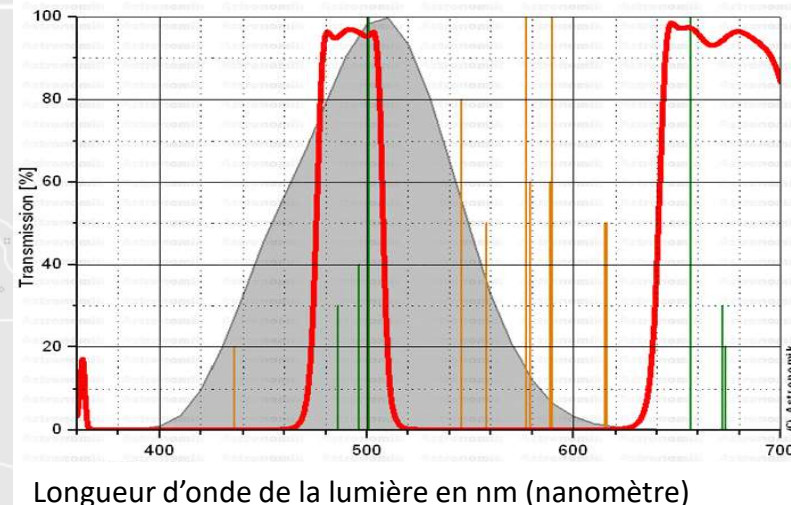
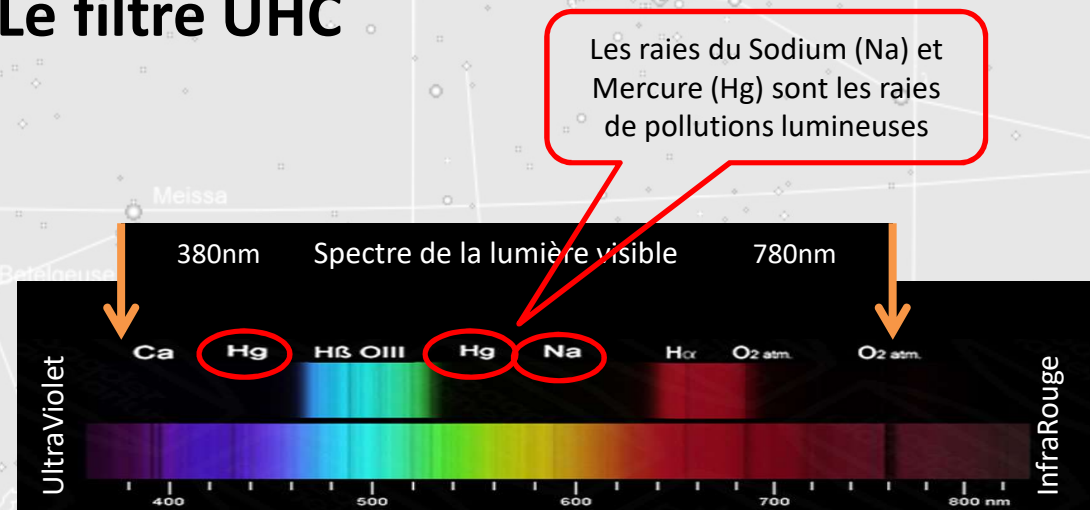
Nous voyons nettement l'apport du
filtre UHC-s sur la pollution

Filtres et correcteurs

Le filtre UHC

- Comme en photographie traditionnelle, l'usage de filtre permet de jouer sur les effets sur la lumière.

- Ci-contre la courbe de transmission d'un filtre UHC



Filtres et correcteurs

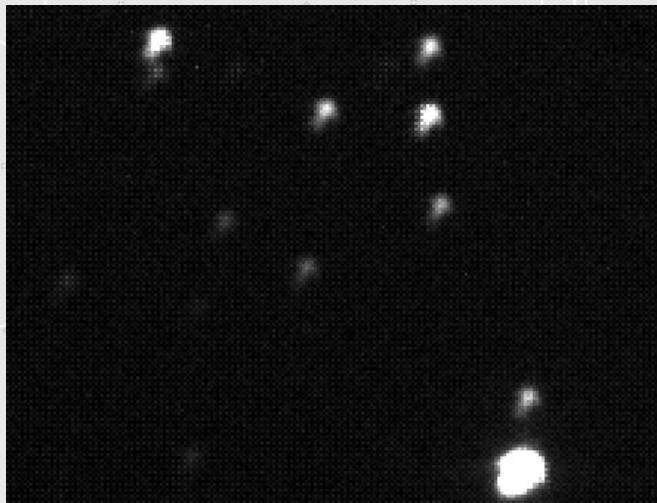
Les Différents filtres

| Filtre | Elément | Longueur d'onde (nm) | Couleur | Utilisation |
|------------------------------|-----------|---|---------------|-------------------------|
| H-Alpha | Hydrogène | 656 | rouge | Photo |
| SII | Soufre | 674 | Rouge profond | Photo |
| OIII | Oxygène | 501 | Vert-bleu | Visuel-Photo |
| H-Beta | Hydrogène | 489 | Bleu | Visuel-Photo |
| IDAS-LPS | | 410->430 440->540 550->580 600->620 640->680 | | Photo |
| UHC | | 470->520 630->700 | | Photo-Visuel |
| ND polarisant variable | | | gris | Visuel (pleine lune) |

Filtres et correcteurs

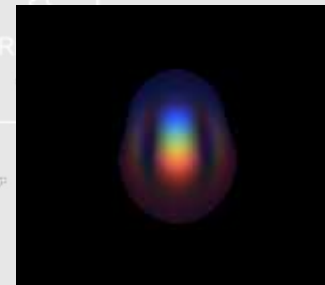
Correcteur coma, distorsion atmosphérique

- Le correcteur de coma comme son nom l'indique corrige la coma,
 - l'étirement des étoiles dans les coins du miroir qui ressemblent à des comètes.



- A.D.C. Correcteur de dispersion atmosphérique

La lumière provenant des étoiles, des planètes et des autres objets du ciel profond, voyage dans le "vide" puis traverse l'atmosphère terrestre avant de nous parvenir. Ce changement de milieu provoque alors une dispersion chromatique en déviant cette lumière verticalement, plus ou moins fortement, en fonction des longueurs d'onde de ses composantes, à la manière d'un prisme.



Sans ADC



Avec ADC

Auto-guidage

- L'autoguidage est un asservissement de la monture. Il corrige les erreurs de suivi du à une mauvaise mise en station ou autre...
- Les logiciels d'autoguidage sont PHDguiding, Guidemaster, ...
- Il faut un autre axe optique sur une lunette guide ou un diviseur optique dans lesquels on choisit une étoile guide
- Le logiciel va se calibrer avec la monture et dès que l'étoile se déplace de <1 pixel, le système corrige grâce à une petite impulsion sur la monture
- Il est très important de faire d'un bon équilibrage sur la monture afin de pas faire forcer les moteurs
- Le principe d'un diviseur optique est un petit miroir placé en dehors du champ du capteur de la camera ou APN qui renvoie la lumière dans un autre axe optique utilisé pour le guidage.
- L'autoguidage est utile seulement en astrophoto.
- L'autoguidage nécessite une seconde prise d'image, caméra d'autoguidage qui peuvent être nos caméras planétaires



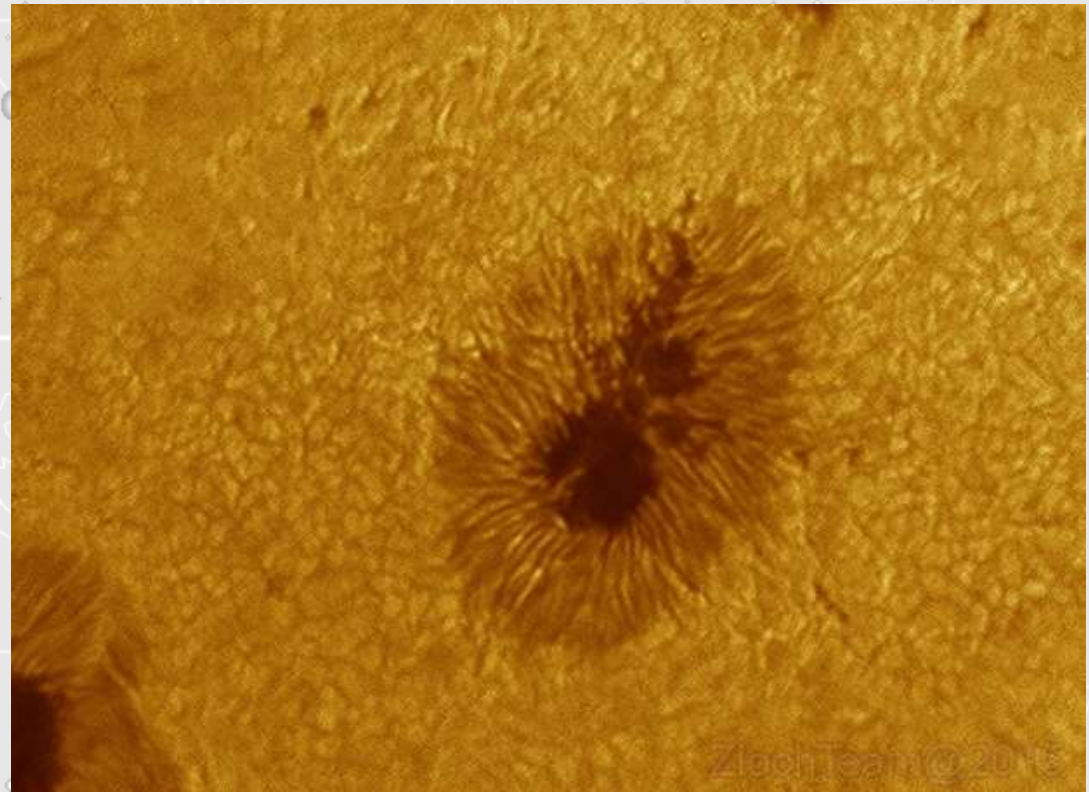
Exemple de lunette guide pointée par la flèche rouge.



Diviseur optique

Cas de la collecte solaire

!! toujours désaxer le télescope du soleil pendant les périodes de non observation



Feuille Baader Astrosolar collée sur du polystyrène de 5mm d'épaisseur. Celui-ci s'emboîte sur la bouche du newton et du chercheur.



Merci pour votre participation