

A la capture du Ciel Profond : L'Astrophotographie

Depuis les premières observations lunaires esquissées par Galilée en 1616, les premiers croquis de la Nébuleuse d'Orion par Christian Huygens en 1659, ainsi que les dessins de Charles Messier au milieu du 18^{ème} siècle, et le daguerréotype de l'étoile Véga réalisé en 1850 par Whipple et Black, les photos argentiques ont tenu une place prépondérante. Bien que certains, avec une obstination passionnée, persistent à utiliser cette technique, l'avènement des capteurs CCD puis CMOS, accompagné de la création de montures équatoriales motorisées, ainsi que des logiciels permettant leur contrôle et le traitement en masse des images, ont considérablement propulsé l'astrophotographie, en particulier parmi les amateurs. Les superbes images capturées par le télescope Hubble et, plus récemment, par le JWST (James Webb Space Telescope), ont largement contribué à cet engouement.

Pourquoi se limiter à observer ces objets à l'œil nu à travers un oculaire ? Il est certes merveilleux de plonger son regard dans l'oculaire d'une lunette ou d'un télescope pour contempler une nébuleuse, une galaxie ou un amas stellaire. Cependant, la plupart du temps, ces observations se font en noir et blanc en raison de notre perception visuelle, comme nous le verrons dans la section sur le traitement.

En moyenne, notre œil forme une image toutes les 1/30 secondes, puis la remplace par une autre. Nos yeux réalisent donc des poses très courtes, ce qui est crucial pour percevoir les mouvements. Alors, pourquoi ne pas opter pour un Appareil Photo Numérique (APN) ou une caméra numérique, permettant des poses beaucoup plus longues, allant de quelques dizaines de minutes à quelques heures ?

Cela n'est pas aussi simple. L'objectif est de capturer un maximum de photons provenant des objets célestes (le « signal ») tout en minimisant les « bruits » parasites comme expliqué dans la section pré-traitement à venir. Un temps de pose excessivement long peut entraîner la saturation du capteur, enregistrant ainsi des éléments indésirables tels que les traînées d'avion, de satellites, d'étoiles filantes, ou même la lumière lointaine des phares d'une voitures. De plus, le suivi sidéral peut présenter des imperfections dans le temps, provoquant des traînées d'étoiles sur l'image.

Une solution largement utilisée consiste à prendre un grand nombre de photos (les « brutes »), puis à les « empiler » numériquement. Cette technique permet de réduire considérablement le bruit : en moyenne, le rapport Signal/bruit (RSB) double lorsque le nombre de poses est quadruplé. Ainsi, la qualité de la photo finale dépend fortement du nombre de clichés pris.

Quel est l'intérêt de l'astrophotographie pour l'astronome amateur, l'enseignant et ses élèves, ou le chercheur ?

Capter une « belle photo » d'un objet du ciel profond pour la partager est certes gratifiant, mais l'intérêt principal réside dans l'apprentissage et la maîtrise de techniques variées : choix du matériel, orientation du trépied, équilibrage, mise en station du télescope, mise au point, sélection des temps de pose, pré-traitement pour améliorer la qualité de l'image finale, acquisition des « brutes » en fonction du temps de pose défini, et enfin traitement des images pour obtenir un résultat final.

Il faut également résoudre divers problèmes pouvant survenir avant, pendant et après la prise de vue : problème de suivi, de mise en station, des conditions météorologiques, de la pollution nocturne de mise au point (qui va varier en fonction de la température nocturne), s'assurer que le retournement de la monture au méridien en pleine nuit se passe correctement, passage de nuages en pleine nuit entraînant une perte du suivi automatique....

Mais surtout, cela implique une compréhension approfondie de la mécanique céleste, de l'optique, du fonctionnement des lunettes et télescopes, des APN et des logiciels (Stellarium, Siril, phdguiding APT, Pixinsight, Deepskystacker, Gimp etc...). Il offre également la possibilité de faire des découvertes telles qu'une nouvelle comète, astéroïde ou nébuleuse.

Et par-dessus tout, il offre une véritable expérience de voyage dans le temps !

Au-delà de l'aspect artistique, l'astrophotographie ouvre la porte à des activités de recherche telles que la détection d'exoplanètes (par photométrie), la recherche de supernova, la surveillance des variations de luminosité des étoiles variables, la recherche d'astéroïdes ou de comètes, la détermination de la formation d'astéroïdes etc... pour l'astrophotographie solaire ou planétaire, elle permet également de suivre les variations de l'activité de notre soleil et les changements de surface des planètes.

Dans cet article, nous nous limiterons à l'astrophotographie du ciel profond, en utilisant une monture équatoriale motorisée pour le suivi et une caméra CMOS pour l'imagerie.

1 - Le matériel

1.1 - Le trépied

Le choix du trépied est très important, car c'est lui qui va assurer la stabilité de l'ensemble monture + télescope.

Il doit être réglable en hauteur, de manière à régler son niveau (les montures comportent en général un niveau à bulle intégré, mais les modèles classiques ne sont en général pas étalonnés, il est donc préférable de le faire soi-même directement sur le trépied avec un niveau à bulle).

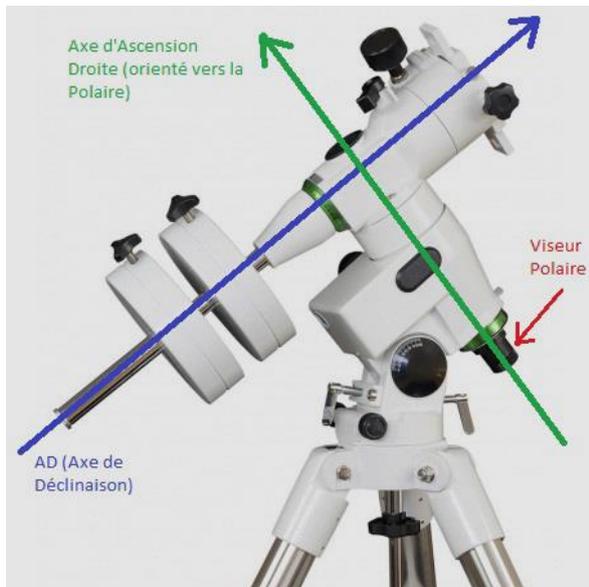
1.2 - La monture

Il existe de nombreux types de montures. Pour l'astrophotographie, une monture altazimutale ou une monture équatoriale seront privilégiées, même si la monture équatoriale est préférable, car elle évite d'avoir à installer un rotateur de champ pour son appareil photo ou sa caméra.

Une monture équatoriale, qui va supporter le télescope, comporte 2 axes :

L'axe d'Ascension droite (en Anglais RA : Right Ascension) et l'axe de déclinaison (en Anglais DEC : Declinaison axis).

Certaines montures disposent en plus d'un viseur polaire, dont nous reparlerons.



L'intérêt principal d'une monture équatoriale réside dans sa capacité à compenser la rotation de la Terre en suivant le mouvement d'un seul axe, l'axe d'Ascension Droite (RA). Ce mouvement est aligné avec l'équateur céleste. En ajustant la monture en fonction de la latitude du lieu d'observation, la rotation de la Terre peut être compensée de manière efficace, permettant ainsi au télescope ou à la caméra

d'observer des objets célestes de manière stable et sans qu'ils ne dérivent hors du champ de vision. Cela facilite grandement l'observation prolongée d'objets célestes et est particulièrement avantageux pour l'astrophotographie.

1.3 - Le choix de la lunette (ou du télescope)

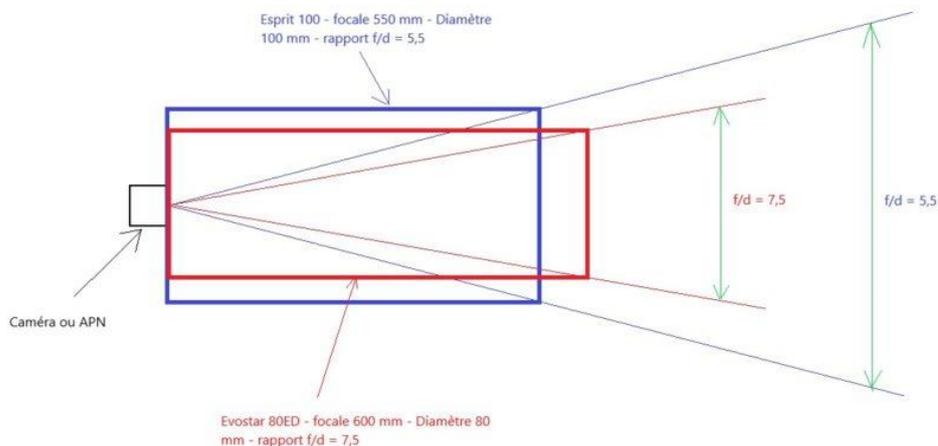
Pour débuter, une lunette de 60 mm est largement suffisante. Cela permet de s'affranchir de la collimation d'un télescope, et le prix reste abordable.

Dans tous les cas, le rapport f/d est le plus important :

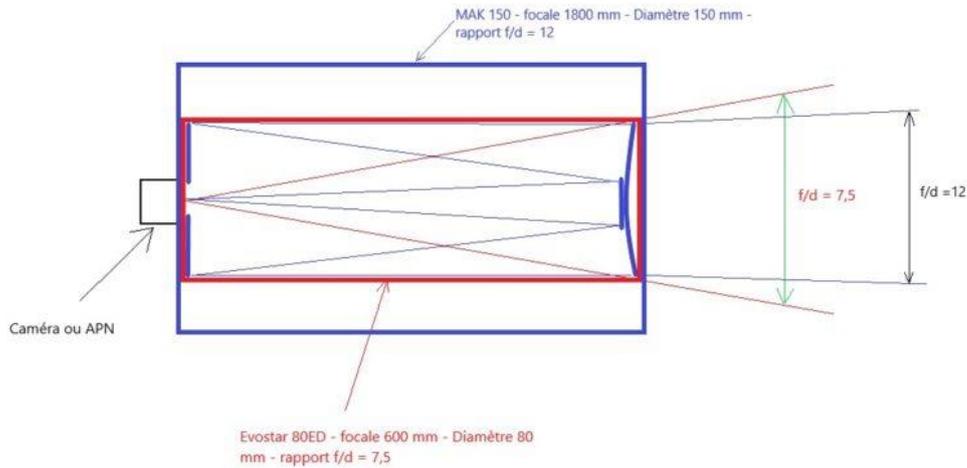


Le rapport (distance focale) /diamètre détermine l' « ouverture ». Ces 2 paramètres sont très importants, car ils vont déterminer les objets à imager, mais aussi la luminosité (et donc les temps de poses des photos).

Plus ce rapport est petit, plus le télescope va être **lumineux**. Ci-dessous, un exemple avec 2 lunettes : l'Evostar 80ED et l'Esprit 100.



Un autre exemple avec l'Evostar 80ED et le MAK150 montre bien d'une part le manque de luminosité, mais aussi le faible FOV (field of view : champ de vision) de celui-ci (voir l'[échantillonnage](#)).



1.4 La caméra ou l'appareil photo

Le choix de la caméra ou de l'APN (Appareil Photo Numérique) vont dépendre de plusieurs facteurs : Le budget, évidemment, les caractéristiques du capteur, la lunette ou le télescope utilisé, et la taille des objets que l'on veut imager.

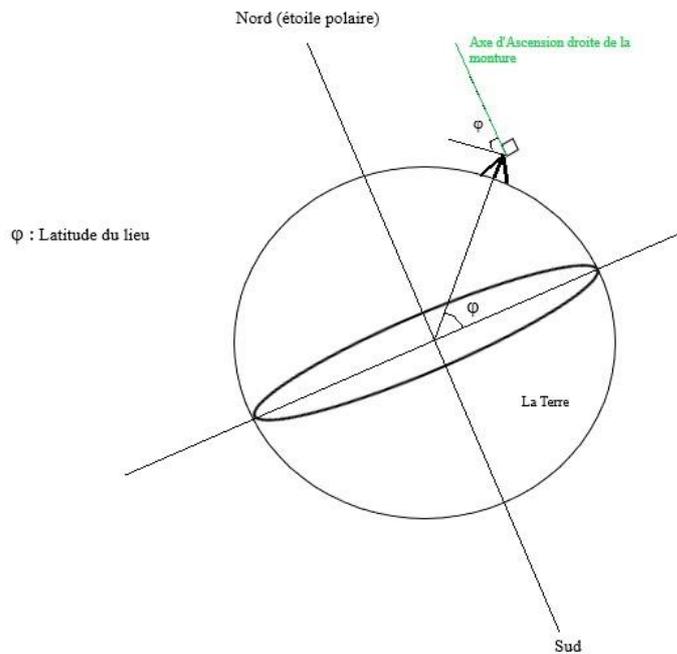
Le choix du capteur est la clé : la dimension, la taille des pixels, vont conditionner la vue possible en fonction de la focale de l'instrument, comme nous le verrons dans le paragraphe 2.

Une grande différence entre l'APN et la caméra : le contrôle de la température du capteur. Alors qu'avec un APN, les photos sont capturées par le capteur à la température ambiante, la caméra permettra (grâce à un module à effet Peltier), de faire des poses jusqu'à 40° en dessous de la température ambiante.

Alors qu'avec un APN, il faudra réaliser des poses de Darks (pour limiter les bruits thermiques du capteur, voir paragraphe 3.1), à la température ambiante, sachant que celle-ci va évoluer au cours de la soirée, l'utilisation d'une caméra à effet Peltier permet de se constituer une bibliothèque de Darks, à différentes températures et différents temps de poses.

1.5 La mise en station (MES)

Une Mise en Station est un réglage qui concerne les télescopes équipés de montures équatoriales. Le principe est de régler l'axe horaire (l'AR) de la monture, pour la rendre parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Par simple rotation sur cet axe, on va pouvoir observer cet astre pendant de longues périodes, en suivant sa trajectoire.

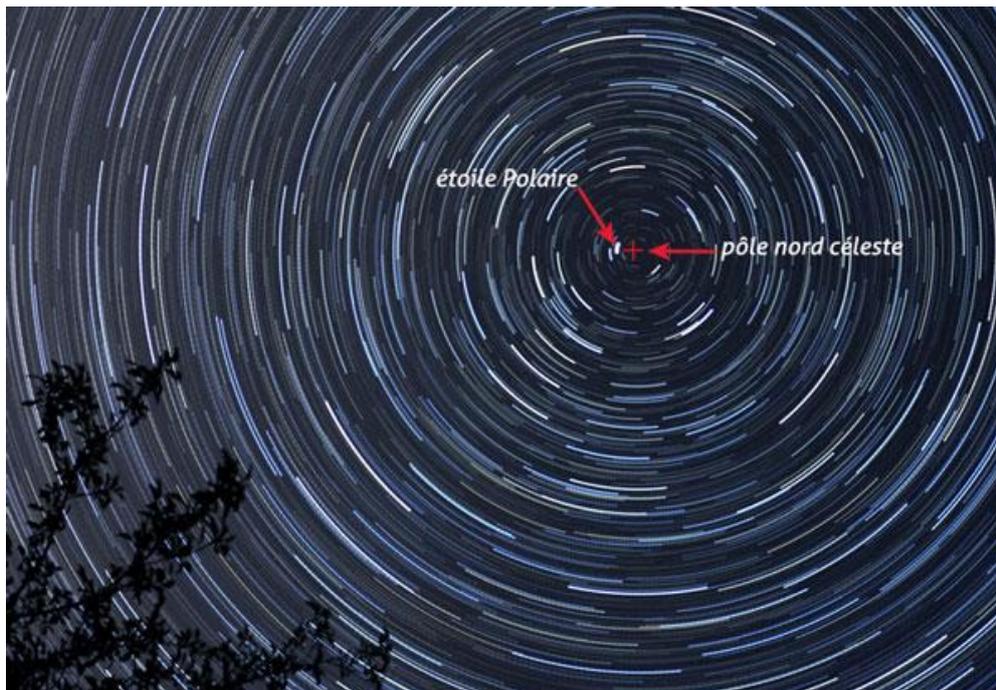


Il existe différentes méthodes pour faire une M.E.S., on peut citer :

- **Mise en station avec le viseur polaire**

De nombreuses montures équatoriales sont livrées avec un viseur polaire intégré.

Ce viseur polaire va permettre de « situer » l'étoile polaire (Polaris), par rapport au Pôle Nord Céleste (PNC). En effet, actuellement (et pour encore quelques milliers d'années), Polaris représente approximativement ce PNC (à moins de 1°). Dans 12 000 ans, ce sera au tour de Véga !



En observation visuelle, on peut se contenter de mettre en station approximativement sur Polaris.

Par contre, on voit bien qu'en Astrophotographie, ce décalage de près de 1° , sur des longues poses, va amener du « filé d'étoiles ». Il faut donc faire une mise en station précise.

Le viseur polaire va permettre de situer polaris par rapport à la position qu'elle devrait avoir au moment où l'on fait la M.E.S.

De nombreux logiciels permettent de savoir quelle position elle doit avoir : Eqmod, APT, Polarscope ou SAM sur téléphone portable. Il suffit de rentrer sa position GPS, et on va avoir en temps réel la position de Polaris :



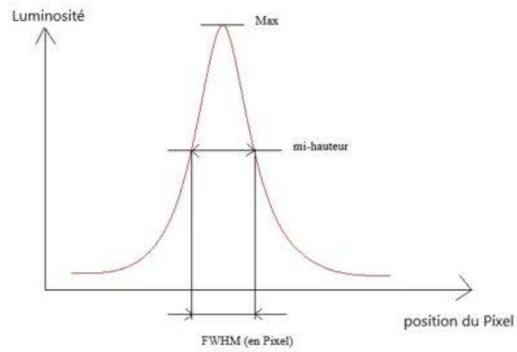
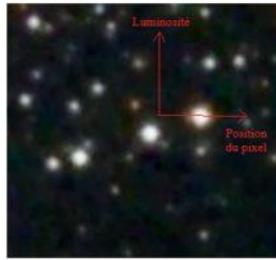
La mise en station pourra se faire à vue (via le viseur polaire), par la méthode de Bigoudan, celle de King, avec l'aide d'un logiciel par prises de vues successives.

1.6 La mise au point (MAP)

La mise au point (focalisation), consiste à mettre le plus près possible le capteur (de l'APN ou de la caméra, ou de l'oculaire) au foyer de l'instrument. On peut la faire de différentes manières (calcul de la FWHM, de la HFD, masque de bahtinov....)

La « FWHM » :

Full Width at Half Maximum– Largeur à mi-hauteur du maximum du pic. C'est une valeur très utilisée, car elle rend bien compte de la mise au point de l'instrument. Plus cette valeur est petite, plus la mise au point sera bonne. Plus la luminosité de l'étoile sera concentrée sur son centre, plus l'étoile sera « piquée ».



Calcul de la FWHM d'une étoile (Largeur à mi-hauteur du maximum du pic)

La « HFD » (Half-Flux diameter) :

C'est le diamètre, en pixel, qui contient la moitié de l'énergie de l'image de l'étoile. Plus la valeur est basse, plus l'image est nette. C'est une valeur similaire à la FWHM, mais plus précise. Elle est facilement calculée par les logiciels actuels.

La mise au point avec le masque de Bahtinov :

Géniale invention de Pavel Bahtinov, il permet de faire une mise au point précise. Je l'utilise régulièrement, quand je n'utilise pas d'autres systèmes permettant de faire une mise au point avec la FWHM ou la HFD.

Le masque est constitué de trois grilles sur un même disque, orientées selon trois angles différents, de façon à produire une légère diffraction pour chaque grille, à la focale de l'instrument (il faut choisir une étoile suffisamment brillante) :



(Exemple de Masque de Bahtinov)

On place le masque sur l'objectif, puis on fait une MAP avec la Crayford, de manière à obtenir cette



image, au centre :

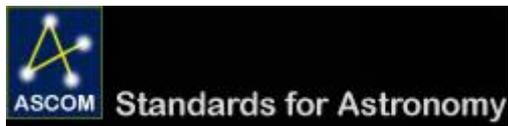
1.7 - Les logiciels (Stellarium, Siril, phd Guiding, pixinsight, Astrophoto Tools etc...)

De nombreux logiciels d'astrophotographie. Des logiciels open-source, aux logiciels payants.

Il existe les logiciels « tout en un », et d'autres logiciels qui vont travailler les uns avec les autres via une plateforme (ASCOM : un standard pour de nombreux logiciels et appareils), qui va permettre de les relier et de les « lire » de manière plug & play.

1 – la plateforme ASCOM :

Cette plateforme va permettre de relier la monture, les caméras, les roues à filtres, les cartes du ciel, les logiciels de guidage etc...



Elle permet même de gérer un observatoire.

2 – un logiciel de Carte du ciel :

- Stellarium

Il en existe d'autres (dont « carte du ciel », mais Stellarium est très pratique).

3 – un logiciel de capture de photos :

Là, beaucoup de choix : Prism, SGP, APT, Sharpcap, Firecapture....

4 – un logiciel de guidage :

un exemple (opensource) : PHD Guiding (d'autres logiciels intègrent le guidage, comme Prism).

Ces logiciels devront être paramétrés en fonction de votre localisation et des appareils que vous utiliserez (monture, APN / Caméra, lunette etc...)

5 – un logiciel de pré-traitement d'images :

Ici aussi, beaucoup de choix : PRISM, SIRIL, DeepSkystaker, Pixinsight, Autostakker...

SIRIL : logiciel open-source (gratuit), SIRIL est un outil de traitement d'images astronomiques. Il est spécialement conçu pour la réduction du bruit et l'amélioration du rapport signal/bruit d'une image issue de plusieurs captures, comme l'exige l'astronomie. SIRIL peut aligner automatiquement ou manuellement, empiler et améliorer des images provenant de différents formats de fichiers, même des fichiers de séquences d'images (films et fichiers SER).

Très intuitif, disposant de scripts permettant un pré-traitement rapide des DOF et des brutes, Siril est un excellent logiciel qui permet d'obtenir une image finale (Masterlight) qui pourra être ensuite affinée avec un logiciel de traitement d'images si nécessaire.

PixInsight : logiciel payant, il permet d'aller plus loin dans le pré-traitement et le traitement des images. L'interface est au début un peu déroutant, mais il existe de très nombreux tuto sur internet permettant de commencer à le maîtriser.

2 - Le choix de la cible

Ce choix va être conditionné par les caractéristiques du capteur de l'APN ou de la caméra, et du télescope (ou de la lunette). Le calcul de l'échantillonnage, et l'aide d'un logiciel de carte du ciel vont être d'un grand secours.

2.1- L'échantillonnage

L'échantillonnage est la portion du ciel « vue » par un pixel. Il va déterminer le Champs de vue (FOV : Field of view) de votre set-up, en fonction de la taille du capteur, de la taille des pixels, et de la focale de l'instrument.

Typiquement, l'échantillonnage est donné par la formule : **(206 x Taille du pixel)/focale**

206 ? mais il vient d'où ce chiffre ???

Démontrer la formule de l'échantillonnage :

Soit

p la taille du pixel,

f la focale de l'instrument,

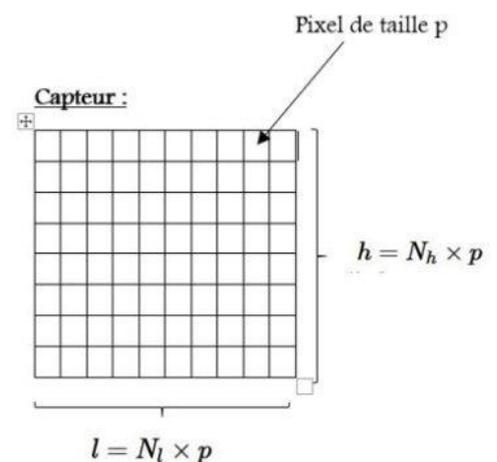
$\alpha = FOV$, l'angle de vision du télescope (le Champ de Vue)

h la hauteur du capteur, et

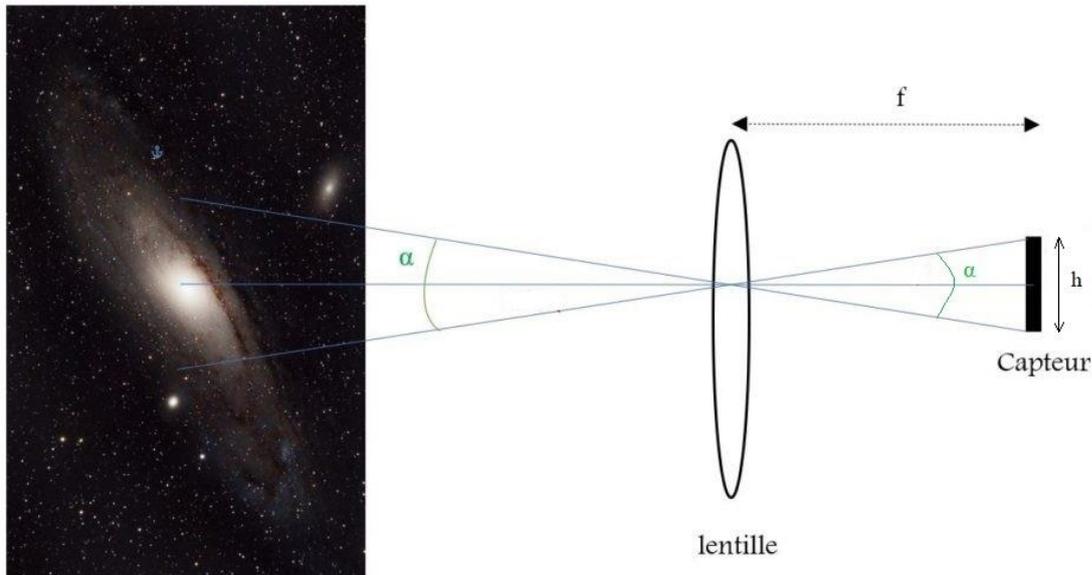
l la longueur du capteur

N_h le nombre de pixel selon la hauteur du capteur

N_l le nombre de pixel selon la longueur du capteur



Le champ de vision est la portion du ciel que l'on peut voir avec son matériel :



Un peu de mathématiques :

$\tan \alpha = \frac{h}{f} = \frac{N \cdot p}{f}$ - or, pour des angles très faibles, $\tan \alpha$ est pratiquement égal à α .

D'où $\alpha = \frac{p}{f} * N_h$

On définit l'échantillonnage, α_p , comme le « champ de vision d'un pixel : $\alpha_p = \frac{p}{f}$

Comme nous travaillons en arc-secondes, nous allons mettre les bonnes unités :

1 cercle fait 360° , ou 2π radians. 1 radian = $\frac{360}{2\pi}$ = environ $57^\circ 30'$

Soit environ $57.3 \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ sec} = 206\,265 \text{ arcsec}$

La taille du pixel est donnée en μm , et celle de la focale en mm, soit :

$p = p_{\mu\text{m}} \times 10^{-6}\text{m}$ et $f = f_{\text{mm}} \times 10^{-3}\text{m}$

on a donc :

$\alpha_p = 206.26 \times p_{\mu\text{m}} / f_{\text{mm}}$

Exemple 1 : on souhaite photographier M31 (Andromède), qui a champ apparent d'environ $3^\circ \times 1^\circ$, avec un Samyang 135 mm et canon 2000D

Focale du Samyang : 135 mm

Caractéristiques du Canon 2000D : capteur 5134×3456 pixels, taille du pixel : 4,3 microns

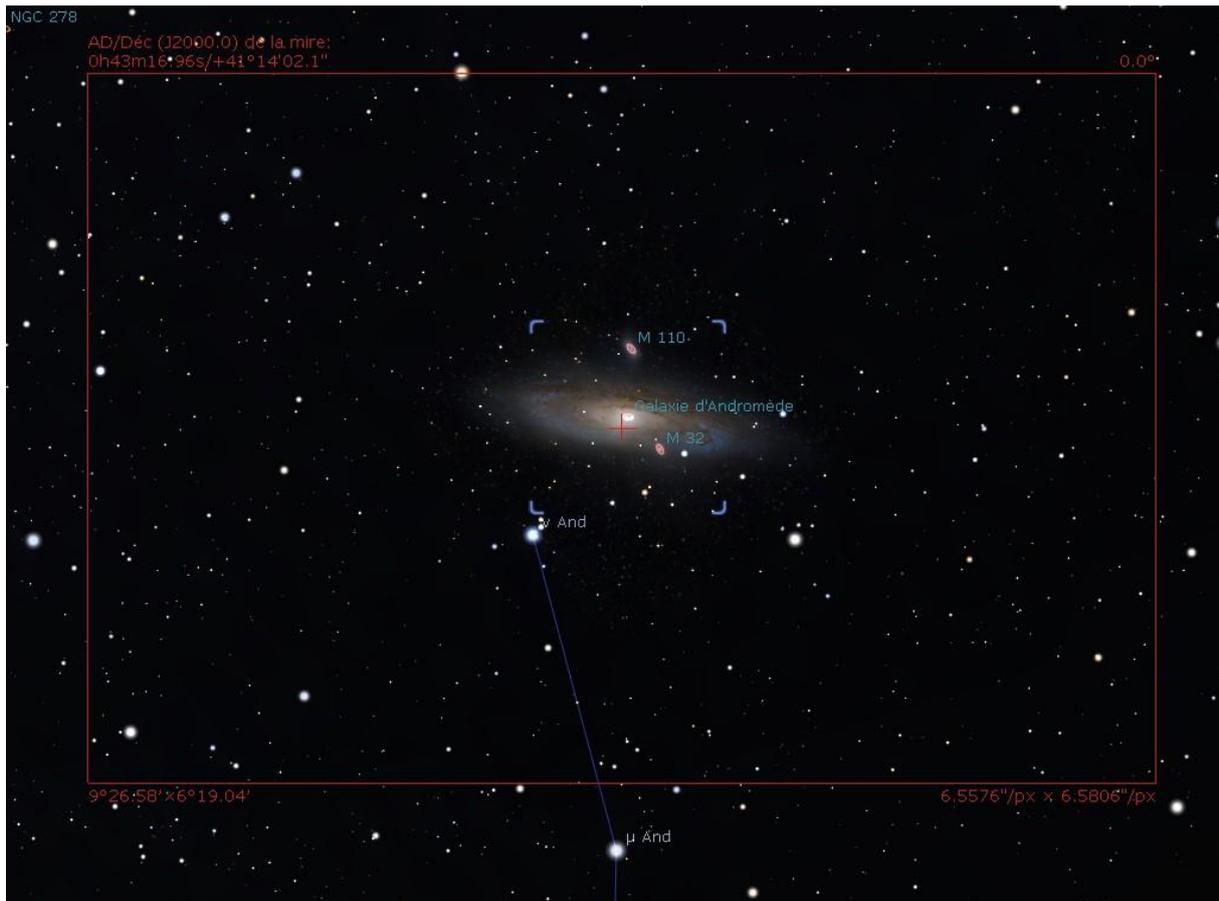
L'échantillonnage correspond donc à $206 \times 4,3 / 135 = 6,52 \text{ Arcsec} / \text{pixel}$

Selon la taille du capteur du Canon 2000D, je vais donc avoir :

Longueur : $6,52 \times 5134 = 33\,800 \text{ arcsec}$ (soit $33\,800 / 3600 = 9^\circ 4'$)

Largeur : $6,52 \times 3456 = 22\,533 \text{ arcsec}$ (soit $22\,533 / 3600 = 6^\circ 26'$)

M31 rentre donc largement dans le champ de ce set-up :



Exemple 2 :

On veut photographier M31 (Andromède), avec un MAK 150 et un canon 2000D

Focale du MAK150 : 1800 mm

Caractéristiques du Canon 2000D : capteur 5134 x 3456 pixels, taille du pixel : 4,3 microns

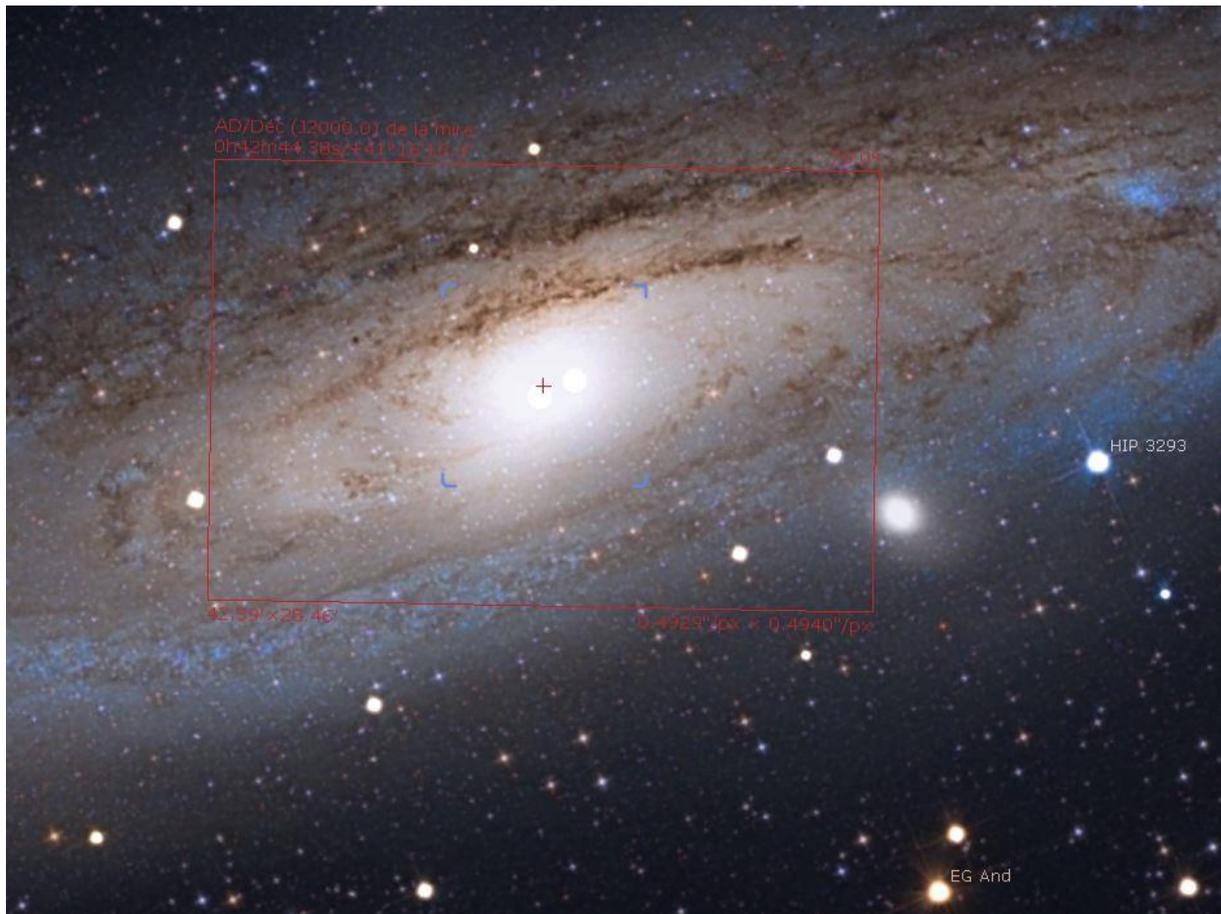
L'échantillonnage correspond donc à $206 \times 4,3 / 1800 = 0,49$ Arcsec / pixel

Selon la taille du capteur du Canon 2000D, je vais donc avoir :

Longueur : $0,49 \times 5134 = 2\,526$ arcsec (soit $2\,576 / 3600 = 0,7^\circ$)

Largeur : $0,49 \times 3456 = 1\,693$ arcsec (soit $1\,693 / 3600 = 0,47^\circ$)

Ici, aucune chance de prendre M31 en photo (à part le coeur de la galaxie) !!!



Un Logiciel tel que Stellarium permet de visualiser à l'avance le FOV, il suffit de lui indiquer les caractéristiques de la lunette et du capteur de l'APN ou de la caméra.

2.2 - Le suivi (autoguidage)

La plupart des montures du commerce vont permettre de suivre pendant plusieurs dizaines de secondes, sans avoir recours à un suivi. Ensuite, les imprécisions de ces montures vont entraîner des artefacts sur les photos (filets d'étoiles, étirement de l'étoile...).

Pour éviter ces problèmes, on a recours à l'autoguidage. Il s'agit soit d'ajouter une lunette guide munie d'une caméra, ou d'un diviseur optique installé sur la chaîne optique du télescope et muni d'une caméra.

Cette lunette guide va être chargée de suivre une étoile dans le champ photographique. Elle va prendre des poses très courtes (quelques secondes). Dès que cette étoile se déplace du centre de la photo, un logiciel (type phdguiding) va donner une impulsion à la monture pour que celle-ci corrige l'erreur.

2.3 - Le temps de pose

Le temps de pose va être fonction des instruments utilisés, mais aussi de l'objet à photographier.

Plus le temps de pose est long, plus il y a des risques que le suivi ne soit pas parfait, et donc entraîne sur la photo une étoile en filet.

En ce qui concerne l'objet à photographier, une exposition trop longue risque de saturer une partie de cet objet (un exemple typique est la Nébuleuse d'Orion : typiquement, un temps de pose de plusieurs minutes permettra de mettre à jour les nuages de gaz et de poussières, mais le centre de la nébuleuse

sera saturé, et on ne verra pas son amas ouvert, pourtant très facile à obtenir avec des poses de quelques dizaines de seconde).

Un moyen de contourner ce problème est de faire à la fois des poses longues, et des poses courtes. Ensuite un traitement par un logiciel photo permettra de composer et de révéler l'ensemble.

3 - Les pré-traitements

3.1 - Théorie et Préparation des Darks / Flats et offsets (les « DOF »)

Ces images, qui vont permettre de prétraiter les photos prises, vont servir à réduire considérablement les signaux « parasites » (les bruits) – entre-autres :

- Signal thermique du capteur (les « Darks »)
- Signal de lecture du capteur (Bias, ou « Offset »)
- Défauts optiques de l'objectif (poussières et vignettage) – les « Flats »

Il va falloir prendre un certain nombre de ces DOF, puis les empiler pour obtenir des « images Maîtres » (MasterDark / MasterFlat / MasterBias), qui seront utilisées pour calibrer les images du ciel profond.

Pour chaque image, on applique la formule suivante, via le logiciel sélectionné :

Image brute prétraitée = (image brute – MasterDark)/(MasterFlat – MasterBias)

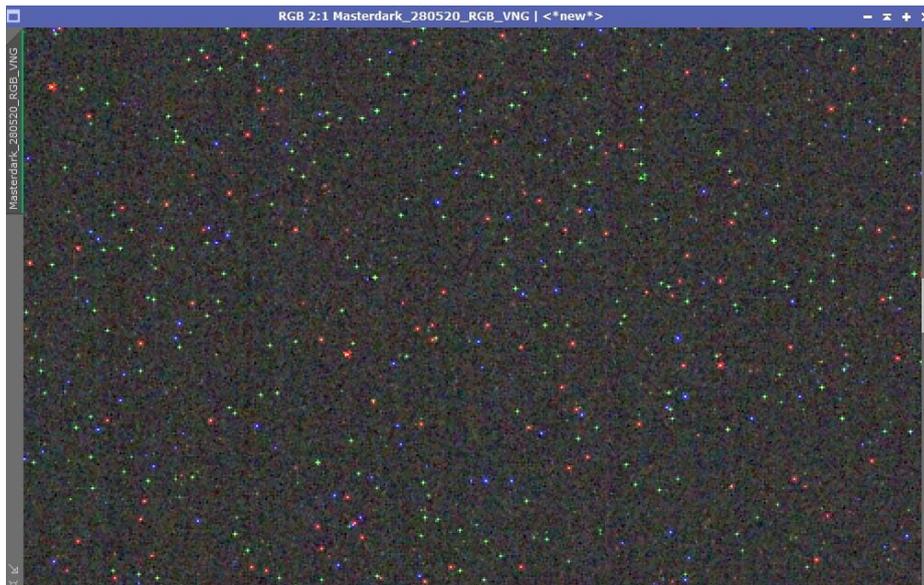
Comment les réaliser ?

Les Darks :

Le principe consiste à prendre des poses d'une image noire (donc capuchon fermé) dans les mêmes conditions que celles prises pour les images du ciel profond : mise au point, durée, température, ISO (ou gain) – j'en fait entre 30 et 80 (APN ou caméra).

Avec une caméra refroidie, on peut se constituer une bibliothèque de darks facilement, alors qu'avec un APN, les darks doivent être pris après la séance (mais la température varie au cours de la nuit, il arrive donc que l'on fasse des Darks en fin de séance quand il fait -5°C, alors que les premières prises ont été faites à des températures plus élevées).

Ici un Masterdark avec un histogramme étiré :

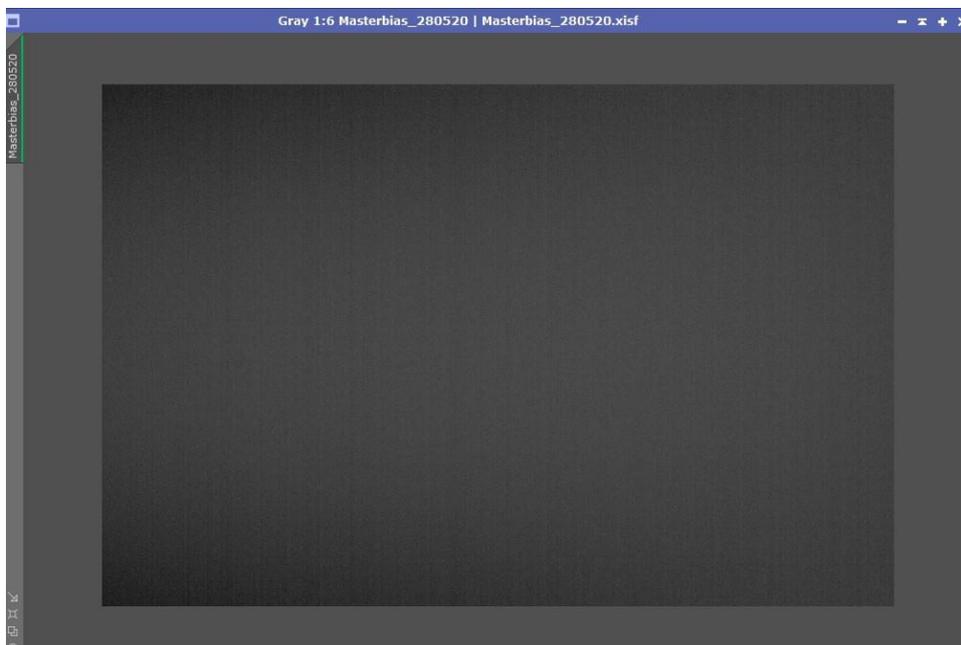


La majorité de ces pixels chauds seront éliminés lors du prétraitement sur les images brutes

Les Offsets (ou Bias) :

Comme pour les darks, on fait des images noires, mais avec un temps de pose extrêmement court (1/4000 – 1/6000 de secondes) – il faudra en faire entre 50 et 100. Une fois ces Offsets créées, on va faire un Master_offset (ou MasterBias) qui pourra être utilisé longtemps !

Ici un Masterbias avec un histogramme étiré :



Les Flats :

Les Flats (ou Plage de Lumière Uniforme (PLU)) permettent de corriger les défauts de l'optique (objectif, télescope) ainsi que les poussières éventuellement présentes soit sur les optiques, soit sur le capteur. Elles corrigent considérablement le vignetage. Différentes méthodes existent pour les prendre : photos du ciel en début de matinée, T-shirt blanc sur l'objectif du télescope, boîte à flat....

Là aussi, une règle à respecter : il faudra avoir la même mise au point que pour les photos brutes (mais la température importe peu), et histogramme aux 3/4

Ici un MasterFlat avec un histogramme étiré – on voit bien la présence des poussières et le vignetage (MAK 150 et caméra ZWO ASI 071) :

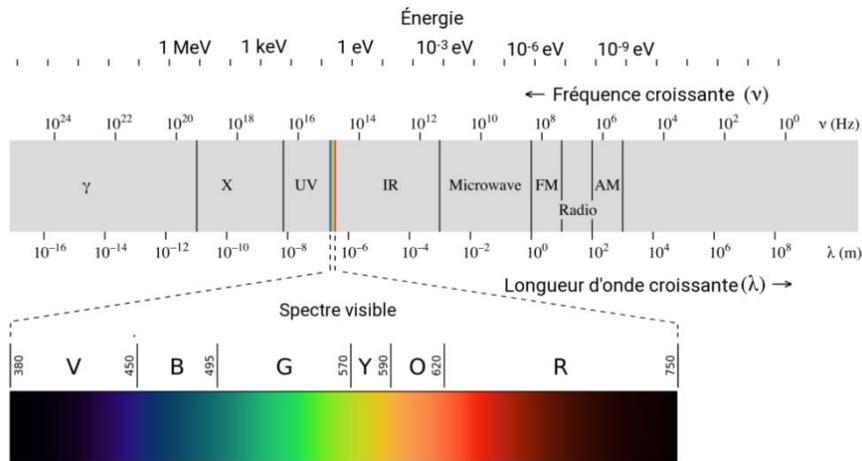


5 - Le traitement

5.1 - La couleur des photos – APN couleur – capteur monochrome LRGB – SHO

Quelles sont les propriétés de la lumière ?

La lumière est une onde électromagnétique composée d'une infinité d'ondes électromagnétiques élémentaires caractérisées par leur longueur d'onde ou, plus simplement, leur couleur.



Source : https://www.wikiwand.com/fr/Spectre_visible#/Bibliographie

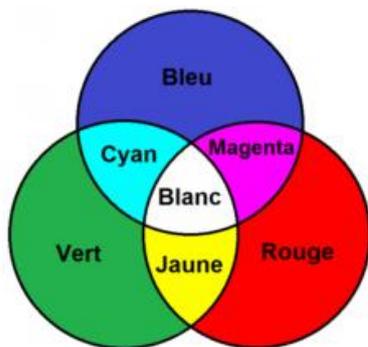
Cette composition est révélée quand on fait passer la lumière à travers un prisme (ou une goutte d'eau), ce qui, dans le cas de la lumière du soleil, crée un arc-en-ciel. L'ensemble des longueurs d'onde visibles par l'homme s'appelle le spectre de la lumière visible. Il s'étend d'environ 380 nm — que nous percevons comme du violet — à 700 nm — que nous percevons comme rouge.

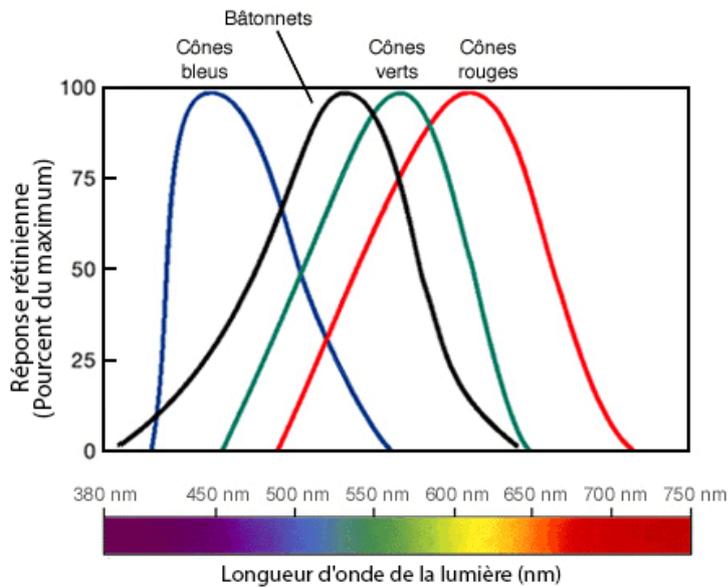
Le spectre visible par l'œil ne représente qu'une infime partie des ondes électromagnétiques. Il existe des ondes de longueur d'onde beaucoup plus courtes (UV, rayons X, rayons gamma) ou beaucoup plus longues (infrarouge, ondes radios). Alors que l'astronome amateur ne travaille généralement qu'avec la lumière visible par l'œil, les astronomes professionnels utilisent toutes les longueurs d'ondes pour explorer l'univers.

L'œil

L'œil humain est un capteur, qui comporte 2 types de récepteurs : les cônes, et les bâtonnets.

Les cônes ont besoin de beaucoup de lumière pour fonctionner, et il en existe 3 types, qui sont respectivement réceptifs au Rouge, au Vert, et au bleu (RVB ou RGB en Anglais). En « mélangeant » ces 3 couleurs primaires, le cerveau va être capable de fabriquer, de reconstituer les couleurs :





(source : <https://commons.wikimedia.org>)

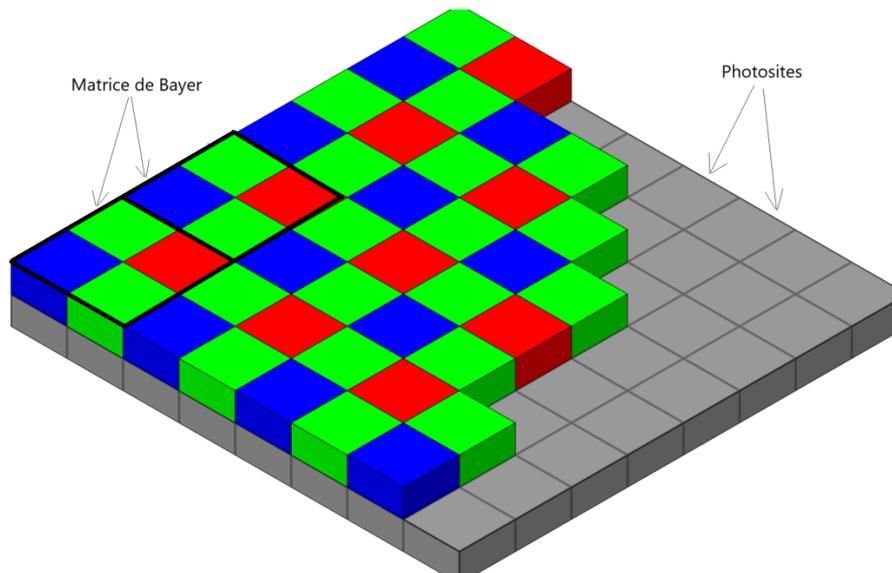
Les bâtonnets quant à eux, ont besoin de beaucoup moins de lumière, par contre, ils ne distinguent que les échelles de gris. Ils seront très importants pour la vision nocturne.

Les capteurs couleurs des APN et caméras :

En astrophotographie, on n'utilise pas l'œil, mais un capteur photosensible. Ce capteur va reproduire l'effet de l'œil : sur chaque photosite (pixel), une couleur Rouge, Verte ou Bleu va être rajoutée (matrice RVB dite matrice de Bayer).

La Matrice de Bayer, c'est quoi ?

Le capteur est donc équipé de photo sites (pixels), qui vont recevoir de la lumière (des photons) possédant certaines longueurs d'ondes. Ces pixels sont recouverts d'une matrice Bayer représentant les 3 couleurs primaires RVB. La vision humaine étant plus sensible au vert, il va y avoir 50 % de capteurs plus sensibles au vert, 25 % au Rouge et 25 % au Bleu :



(source : Par
en:User:Cburnett — Travail personnel, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1496858>)

A la fin de la pose photo, chaque pixel aura donc reçu une information sur la « quantité » de couleur primaire (soit Bleu, soit Vert, Soit Rouge). Par une opération de « débayérisation, ou dématricage » (interpolation par rapport aux autres sites voisins), le capteur renverra une photo couleur.

Il existe 4 types de matrices de Bayer. Nous n'entrerons pas dans les détails ici.

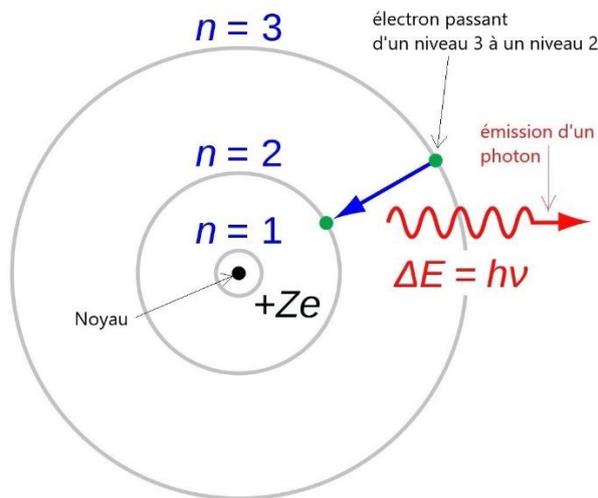
Lors de ce traitement (par un logiciel type Siril, Prism, Pixinsight ou autre) il faudra bien renseigner la matrice de Bayer correspondant à son appareil.

La tendance vers le Rouge des photos de Nébuleuses :

Les Nébuleuses en émission sont des régions riches en Hydrogène.

L'hydrogène est l'élément le plus simple, et le plus abondant de l'Univers. Il ne possède qu'un électron.

Cet électron peut se situer à différents niveaux d'énergie autour du noyau d'hydrogène (Modèle de Bohr). Quand cet électron passe du niveau 3 au niveau 2, cela s'appelle la transition « H-Alpha ». Elle s'accompagne de l'émission d'un photon à une longueur d'onde bien précise. Dans ce cas, cette longueur d'onde est de 656,3 nm (la « Raie H-alpha ») :



C'est cette transition qui se passe en majorité dans les régions riches en hydrogène. La longueur d'onde de 656 nm étant dans le rouge, les nébuleuses par émission sont donc bien rougeâtres. D'autres transitions ont lieu (H-Beta, séries de Lyman etc...), mais sont en moindre importance.

Un filtre « H-Alpha », qui va donc laisser passer uniquement les photons de longueur d'onde correspondant à 656 nm va être d'une très grande utilité pour regarder le soleil (par exemple une lunette type « lunt » ou un « coronado »).

Capteurs monochromes et filtres :

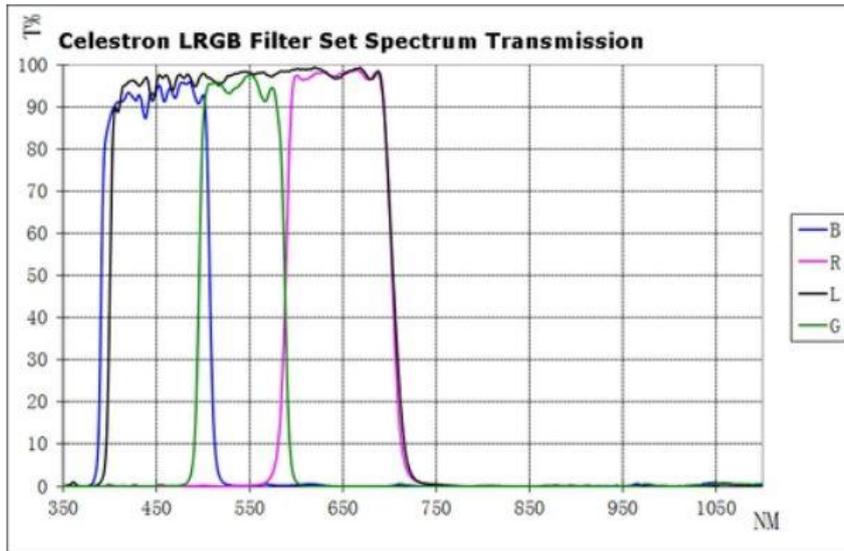
Plutôt que d'utiliser un capteur couleur, équipé d'une matrice de Bayer, on peut utiliser un capteur monochrome (sans matrice). Dans ce cas, pour obtenir une photo couleur, on va devoir prendre des poses avec différents filtres, puis assembler les brutes en assignant à chaque filtre une couleur lors du traitement.

La caméra est alors équipée d'une roue à filtres.

Filtres LRVB :

Ces filtres vont permettre de reproduire les couleurs vues par l'œil, en utilisant successivement :

- un filtre de Luminance (L) : il couvre l'ensemble du spectre visible
- les filtres R, V et B, qui vont couvrir le spectre correspondant à leurs couleurs :



source : Celestron.com (<https://www.celestron.com/products/lrgb-imaging-filter-set-125in>)

Filtres SHO :

Beaucoup d'autres éléments chimiques dans l'Univers vont voir leurs électrons effectuer des transitions entre niveaux d'énergie, et donc émettre à des longueurs d'ondes différentes. Les plus intéressantes, après le H-alpha, pour l'astrophotographe sont :

- le Soufre : transition SII à 672 nm
- l'Oxygène : transition OIII à 500 nm.

Certains astrophotographes utilisent ces filtres (« SHO ») pour traiter leurs photos en fausse couleur Hubble.

Les brutes sont prises avec des capteurs monochromes (sans matrice de Bayer), mais avec des filtres aux longueurs d'ondes désirées. L'assemblage va ensuite consister à assigner à une longueur d'onde, une couleur primaire correspondante.

Pour les couleurs Hubble, cela consiste en :

- raie H-alpha (Hydrogène) : Vert
- raie O-III (Oxygène) : Bleu
- raie S-II (Soufre) : Rouge

Par exemple, la Nébuleuse de la Rosette, prise avec une caméra ZWO-ASI071 couleur. Cette région est très riche en hydrogène, mais aussi en oxygène et en soufre, mais on ne les voit pas car les raies d'émission de ces éléments sont « noyées » dans le rouge dû à l'hydrogène :



La Nébuleuse de la Rosette dévoilera tous ses détails en « SHO », notamment les régions riches en oxygène et soufre :



Cette technique est très intéressante, car elle permet de montrer beaucoup plus de détails, mais elle est également plus onéreuse :

Il faudra acheter des filtres S, H, O, une roue à filtre, et il faut bien maîtriser les pré-traitements.

Les filtres SHO sont plus ou moins chers, en fonction de la bande de longueur d'onde qu'ils vont laisser passer : par exemple un filtre H-alpha (et donc centré sur 656,3 nm) mais laissant passer +/- 35 nm autour de cette valeur coutera environ 80 euros, alors que le même filtre laissant passer +/- 4 nm coutera près de 250 euros.

5.2 Le schéma du traitement

Voilà, les brutes sont réalisées (Dark, offset, Flats (DOF), brutes de l'objet). Il ne reste plus qu'à traiter tout cela pour obtenir notre image finale.

De nombreux logiciels (gratuits, tels que Nina, Siril, Deepskystacker) ou payants (prism, pixinsight, Maxim DL) pour n'en citer que quelques-uns, vont nous aider dans cette tâche. Le principe est toujours plus ou moins le même : créer des images « Maîtres » (Master) à partir des DOF, puis calibrer, aligner et empiler les images brutes.

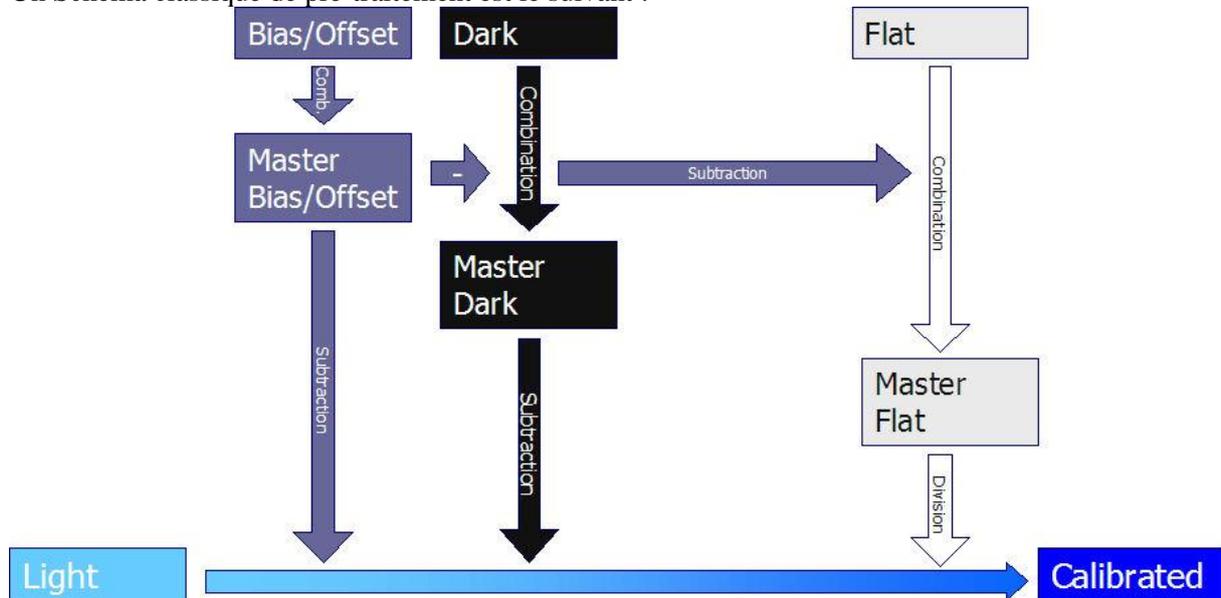
Comme nous l'avons vu au paragraphe 3.1, la formule classique pour réaliser le traitement final consiste à réaliser, pour chaque brute :

$$\text{Image brute prétraitée} = (\text{image brute} - \text{MasterDark}) / (\text{MasterFlat} - \text{MasterBias})$$

Une fois cette image brute prétraitée, le logiciel devra l'aligner avec les autres brutes (pour compenser les erreurs de suivi – chaque image sera comparée à une image de référence, et par triangulation, toutes les images seront alignées).

Ces images brutes, prétraitées, alignées pourront alors être empilées pour révéler l'image finale par étirement de l'histogramme (voir paragraphe suivant).

Un Schéma classique de pré-traitement est le suivant :



(source - <http://deepskystacker.free.fr/french/theory.htm#Calibration>)

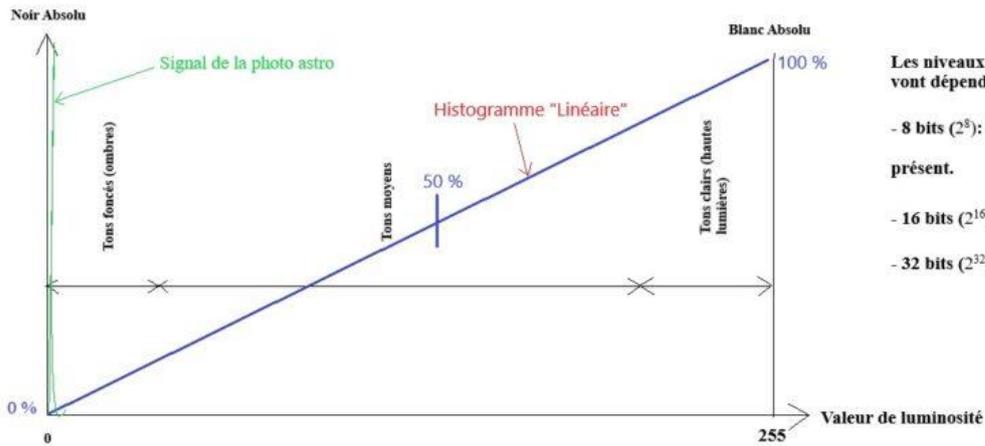
Une fois cette image brute (« light », dans le schéma ci-dessus) prétraitée, le logiciel devra l'aligner avec les autres brutes (pour compenser les erreurs de suivi – chaque image sera comparée à une image de référence, et par triangulation, toutes les images seront alignées).

Ces images brutes, prétraitées, calibrées et alignées pourront alors être empilées pour révéler l'image finale par étirement de l'histogramme.

5.3 L'étirement de l'histogramme de l'image

En photographie, l'histogramme permet de visualiser comment se distribuent les tons de l'image, entre les tons clairs et les tons foncés. Ils donnent donc des informations sur l'exposition de l'image.

A gauche, les tons sombres – à droite, les tons clairs.



Les niveaux de couleurs (Valeur de luminosité), vont dépendre du nombre de bits de la photo :

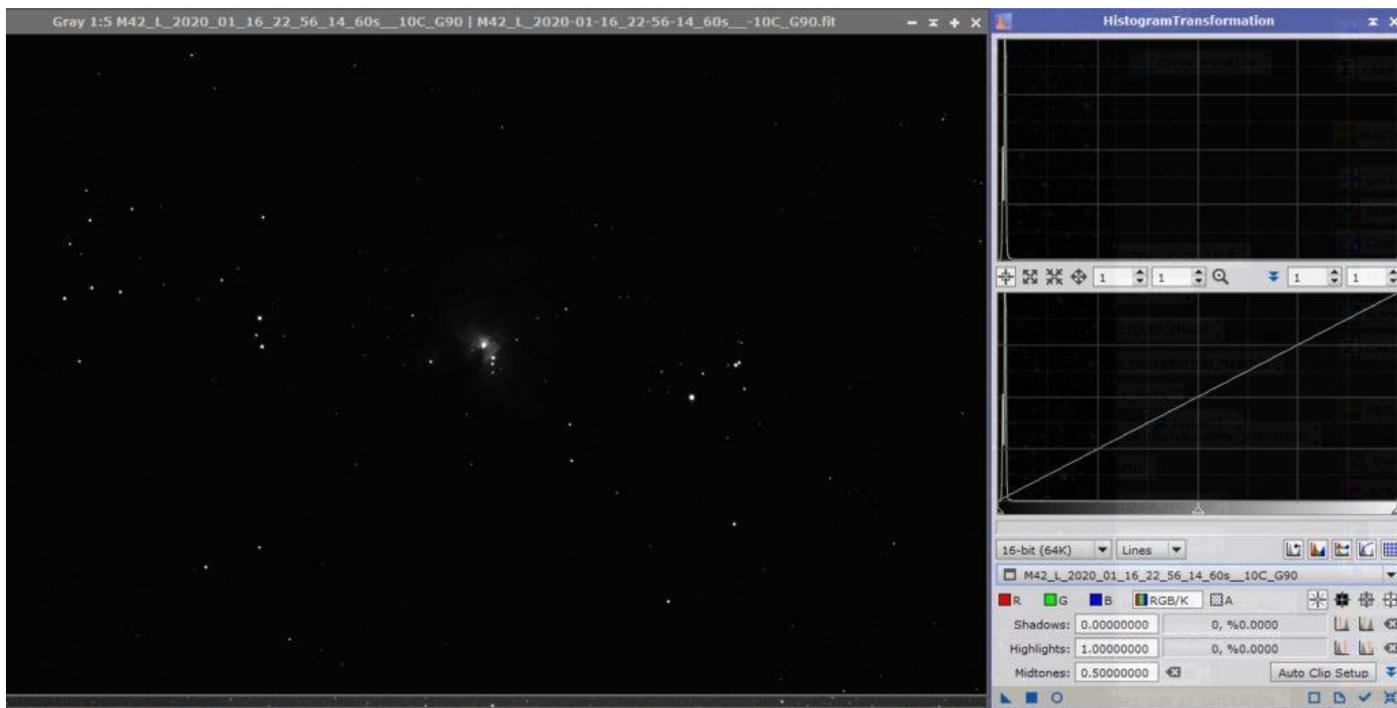
- 8 bits (2^8): 256 (de 0 à 255) comme dans le cas présent.

- 16 bits (2^{16}): 65 536

- 32 bits (2^{32}): 4,3 millions

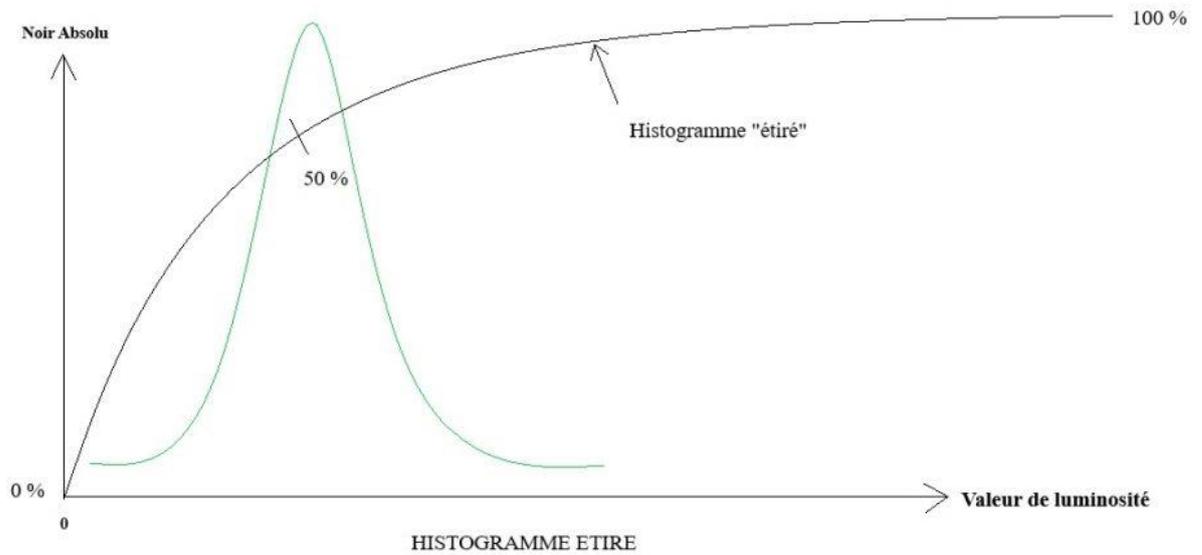
HISTOGRAMME D'UNE PHOTO

En astrophoto, le signal se situe très à gauche ! (Ci-dessous une image « brute » de la Nébuleuse d'Orion, après 60 secondes d'exposition – Télescope Esprit 100 et Caméra ASI ZWO 071) :



Une fois le pré-traitement effectué et lors du traitement, il faudra « étirer » l'histogramme (« Stretching » en anglais).

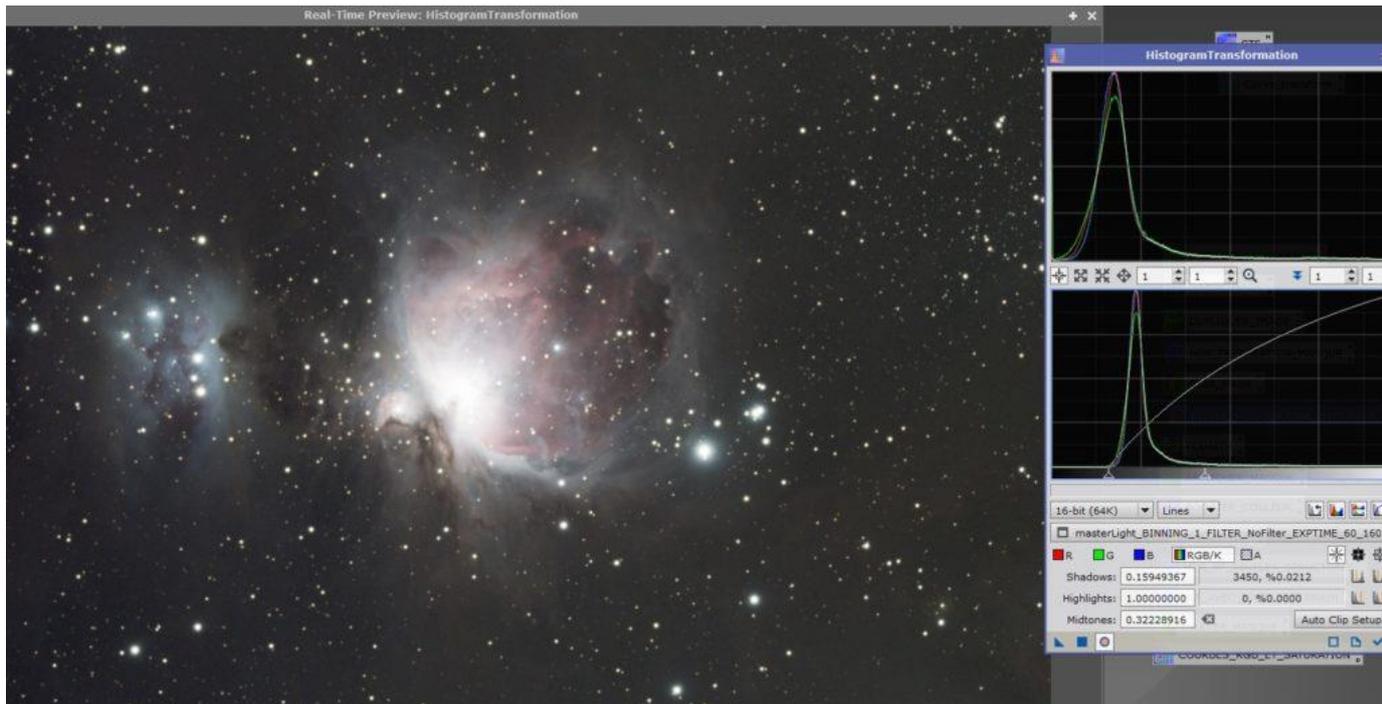
Cette méthode consiste à donner beaucoup plus d'importance aux pixels se situant dans la zone de l'histogramme dans laquelle se trouve le signal :



La même image, une fois « étirée » (notez qu'il n'y a pas de calibration de la couleur) :



En travaillant sur l'histogramme, et donc en donnant plus d'importance au signal (et après calibration de la couleur), on obtient après plusieurs itérations :



Notre image est maintenant terminée. Elle pourra encore être traitée par un logiciel de traitement d'images, selon la sensibilité de l'astrophotographe.

Conclusion

L'introduction à l'astrophotographie du ciel profond nous a dévoilé une discipline aussi vaste que fascinante, englobant un large spectre de domaines scientifiques. Chaque aspect abordé dans cet article pourrait faire l'objet d'une exploration à part entière.

Dans nos clubs d'astronomie, nous avons le privilège de croiser de jeunes élèves et étudiants qui développent une passion ardente pour cette discipline. Ils s'immergent dans la recherche, posent des questions, et acquièrent progressivement une expertise qui les propulse vers la maîtrise de ce domaine captivant.

Bien que l'avènement de nouveaux appareils « plug & play » puisse initialement susciter des sentiments mitigés, en offrant la facilité d'installation d'un équipement complet en quelques minutes, sans nécessiter de connaissances, et en automatisant des processus complexes tels que l'astrométrie et l'empilement de photos, le résultat obtenu demeure véritablement impressionnant. Au lieu de le percevoir comme une menace, nous pouvons choisir de nous réjouir du fait que cette évolution renforce la pérennité de l'astrophotographie, lui assurant ainsi de nombreuses années d'épanouissement à venir.

En plus, ces nouveaux dispositifs jouent un rôle crucial dans l'avènement des sciences participatives, élargissant l'accès au mystère du ciel à un public plus vaste. Ainsi, l'avenir de l'astrophotographie semble prometteur, avec une communauté grandissante, prête à révéler les secrets de l'univers en utilisant des outils de plus en plus accessibles.