

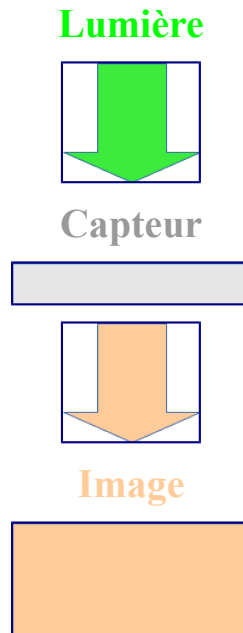
Image numérique astronomique

Quand on aborde l'astrophotographie numérique on est confronté à des techniques bien particulières qui mettent en jeu des concepts comme les Dark, Bias, Flat propres à l'imagerie numérique

Une image astronomique numérique met en jeu un certain nombre d'éléments qui ne sont pas tous désirés

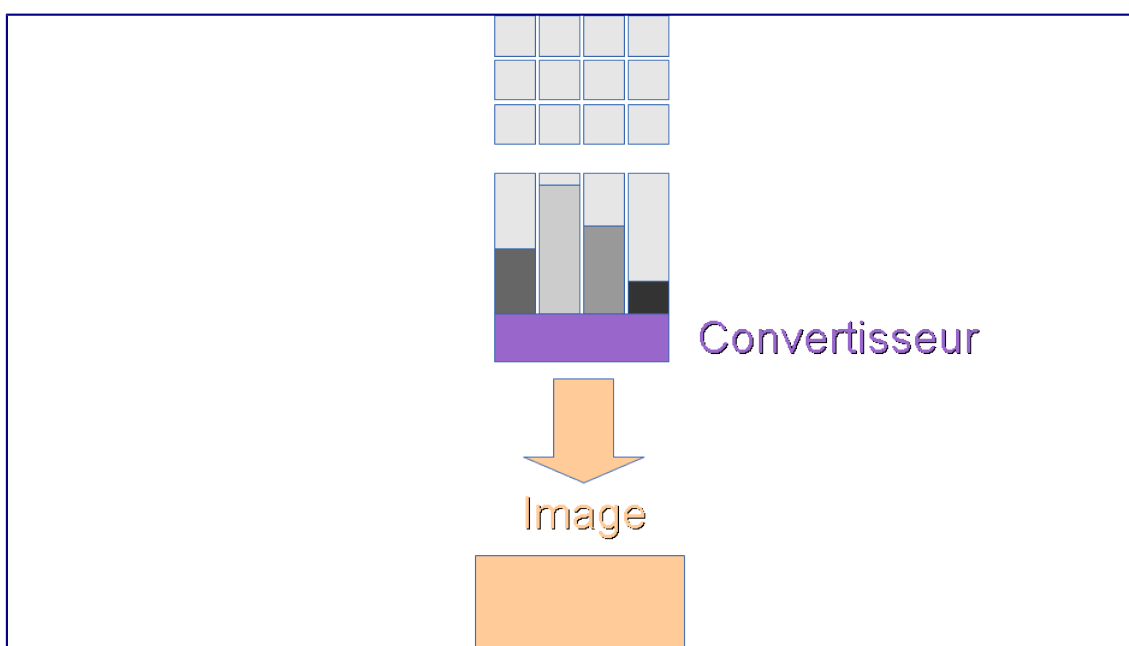
Comment se forme une image ?

D'une manière simplifiée la formation de l'image se réalise ainsi :



- **Lumière** : toute source de rayonnement capable d'être intégrée par la capteur
- **Capteur** : le capteur d'un APN ou d'une caméra CCD
- **Image** : l'image brute sous forme d'un fichier

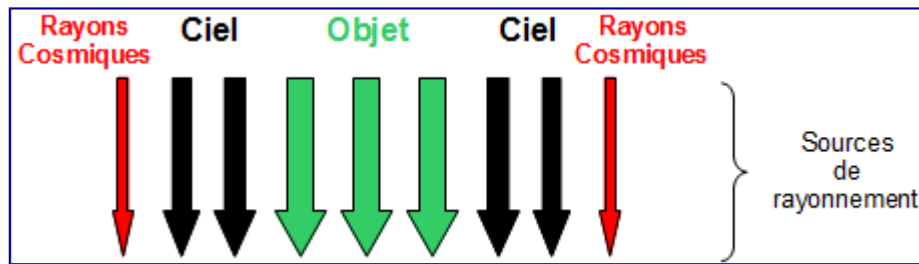
Le capteur est formé d'une mosaïque de cellules appelées photosites qui accumulent des électrons proportionnellement à la quantité de lumière reçue, ceux-ci sont lus par convertisseur qui génère l'image (explication très simplifiée)



Plus le photosite accumule des électrons plus l'image sera lumineuse et inversement

Les sources de rayonnement

Ce sont celles à l'origine de la création de l'image



- **Objet** : rayonnement de l'objet que nous voulons photographier
- **Ciel** : rayonnement du ciel auquel participent l'atmosphère, diverses particules en suspension, la pollution lumineuse
- **Rayons cosmiques** : particules diverses qui peuvent agir sur les photosites du capteur

L'idéal serait de ne capturer que le rayonnement du à l'objet à photographier

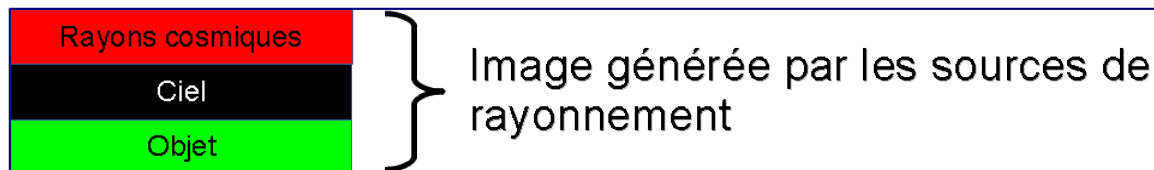
Deux solutions pour réduire la capture du rayonnement du ciel :

- Choisir un site avec un ciel le plus noir possible
- Utiliser un filtre pour réduire son influence : par exemple le filtre [CLS d'Astronomik](#)

L'image brute

Beaucoup d'éléments entre en jeu dans le signal généré par le capteur pour constituer l'image brute.

On a en premier lieu les signaux générés par les rayonnements :



L'idéal serait de ne conserver que le *Signal Objet*

On a vu que l'on peut diminuer le *Signal du Ciel* au moment de la capture, on pourra également agir par traitement de l'image

Le *Signal du aux Rayons Cosmiques* pourra être diminué/supprimé en combinant plusieurs images brutes et par traitement de l'image

On a ensuite les signaux générés au sein du capteur et de l'électronique de traitement (influences internes) :



Le *Signal Thermique* est du à la chaleur du capteur, plusieurs solutions pour le diminuer/supprimer

- Capturer en température ambiante plus basse
- Refroidir le capteur
- A partir d'un master Dark pris dans les mêmes conditions que les brutes : il contient alors le même signal thermique que les brutes, on peut alors le soustraire de celles-ci

Le *Signal Amp Glow* se manifeste par une lueur rouge sur un des bords ou un coin d'une image brute, il a pour origine les transistors MOSFET situés dans l'ampli de lecture, il est causé par électroluminescence, deux solutions pour le diminuer/supprimer :

- Utiliser un imageur qui éteint les transistors MOSFET pendant la capture
- A partir d'un master Dark pris dans les mêmes conditions que les brutes : il contient alors ce même signal que les brutes, on peut alors le soustraire de celles-ci

Le *Signal Offset* est généré par les électrons du courant appliqué au capteur pour collecter les électrons qu'il a générés à partir du rayonnement capté, pour le diminuer/supprimer on crée un master Bias qui comporte ce signal que l'on peut alors soustraire des brutes

Viennent ensuite les facteurs qui modifient le signal :



Le *Vignettage* se manifeste par un assombrissement des bords de l'image, la lumière étant bloquée par des adaptateurs, porte-oculaires, filtres, ... trop petits, ou par des considérations d'optique géométrique, on va le diminuer/supprimer à partir d'un master Flat (ou PLU) pris dans les mêmes conditions de mise-au-point et d'environnement physique, duquel on aura soustrait un master Bias

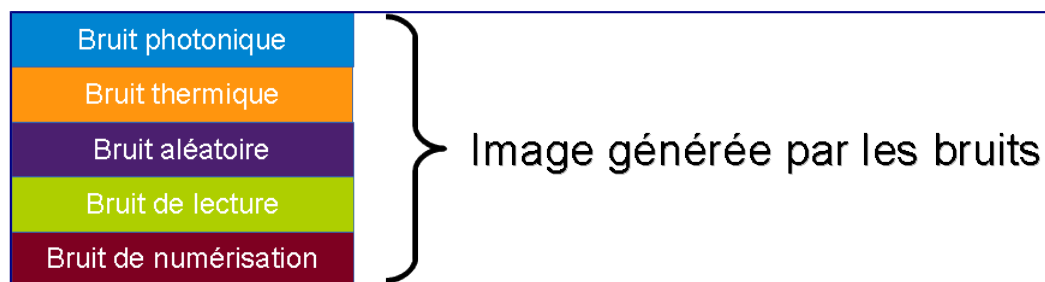
La *Sensibilité des photosites* pouvant différer d'un photosite à l'autre, fait qu'un éclairage uniforme ne donnera pas une image uniforme, on va la neutraliser à partir d'un master Flat (ou PLU) pris dans les mêmes conditions de mise-au-point et d'environnement physique, duquel on aura soustrait un master Bias

Les *Poussières* visibles sont celles sur le filtre disposé devant le capteur, on va les supprimer à partir d'un master Flat (ou PLU) pris dans les mêmes conditions de mise-au-point et d'environnement physique, duquel on aura soustrait un master Bias

L'*Eclairage inégal* peut être causé par un mauvais bafflage, des réflexions dans les pièces sur le chemin optique, ..., on diminue son influence à partir d'un master Flat (ou PLU) pris dans les mêmes conditions de mise-au-point et d'environnement physique, duquel on aura soustrait un master Bias

Le *Gradient* est un dégradé du fond lumineux dont la cause est la pollution lumineuse qui n'est pas uniforme sur le ciel, on le réduit avec un traitement par un logiciel spécifique, sous un ciel bien noir

Viennent enfin les sources de bruit :



Les bruits sont par constitution aléatoires, donc non reproductibles, ainsi plus difficiles à éliminer

Le *Bruit photonique* est du à la nature quantique de la lumière qui fait qu'une source de lumière d'intensité constante produit un ratio de photons qui peut varier, la variation dans le temps autour d'une intensité constante suit une distribution de Poisson, les électrons produits suivant la même distribution : c'est cette variation qui constitue le *Bruit photonique*. Pour diminuer l'impact de ce bruit on va tenir compte de la propriété suivante :

- Le *Bruit photonique* est proportionnel à la racine carrée du signal

Ainsi pour diminuer l'impact du *Bruit photonique* (donc augmenter le rapport signal/bruit) il suffit d'augmenter le signal :

- Soit en augmentant le temps d'exposition
- Soit en cumulant plusieurs expositions courtes (tient compte de la linéarité des capteurs numériques)

Le *Bruit thermique* qui accompagne le *Signal Thermique* est la variation aléatoire de ce dernier et suit la même distribution de Poisson que le *Bruit photonique*, il est présent dans les brutes et dans les Darks, on le minimise en créant un master Dark à partir de plusieurs Darks

Le *Bruit aléatoire* a des sources diverses, fluctuations des circuits électroniques, interférences

électromagnétiques ,... On le réduit en augmentant le signal :

- Soit en augmentant le temps d'exposition
- Soit en cumulant plusieurs expositions courtes (tient compte de la linéarité des capteurs numériques)

Le *Bruit de lecture* est celui généré par l'ampli de sortie quand la charge d'un photosite est trop petite pour être mesurée sans être amplifiée, ce qui ajoute ce bruit, on le réduit en augmentant le signal :

- Soit en augmentant le temps d'exposition
- Soit en cumulant plusieurs expositions courtes (tient compte de la linéarité des capteurs numériques)

Chaque exposition contient le *Bruit de lecture*, quand on additionne plusieurs expositions on additionne aussi le *Bruit de lecture*, qui sera dans ce cas plus élevé que celui présent dans une exposition de longueur égale à la somme des expositions additionnées. Si les expositions sont limitées par le fond du ciel, le *Bruit de lecture* est petit comparé au *Bruit photonique*, il est alors préférable d'additionner de courtes expositions pour éviter de saturer des photosites avec une longue exposition.

Le *Bruit de numérisation* est l'incertitude introduite quand le nombre d'électrons à convertir en nombre ne correspond pas exactement à une valeur de quantification. On le réduit en augmentant le signal :

- Soit en augmentant le temps d'exposition
- Soit en cumulant plusieurs expositions courtes (tient compte de la linéarité des capteurs numériques)

et/ou en augmentant le nombre de bits de quantification

Il existe enfin un autre bruit qui est en rapport avec le traitement des images :

Bruit de traitement

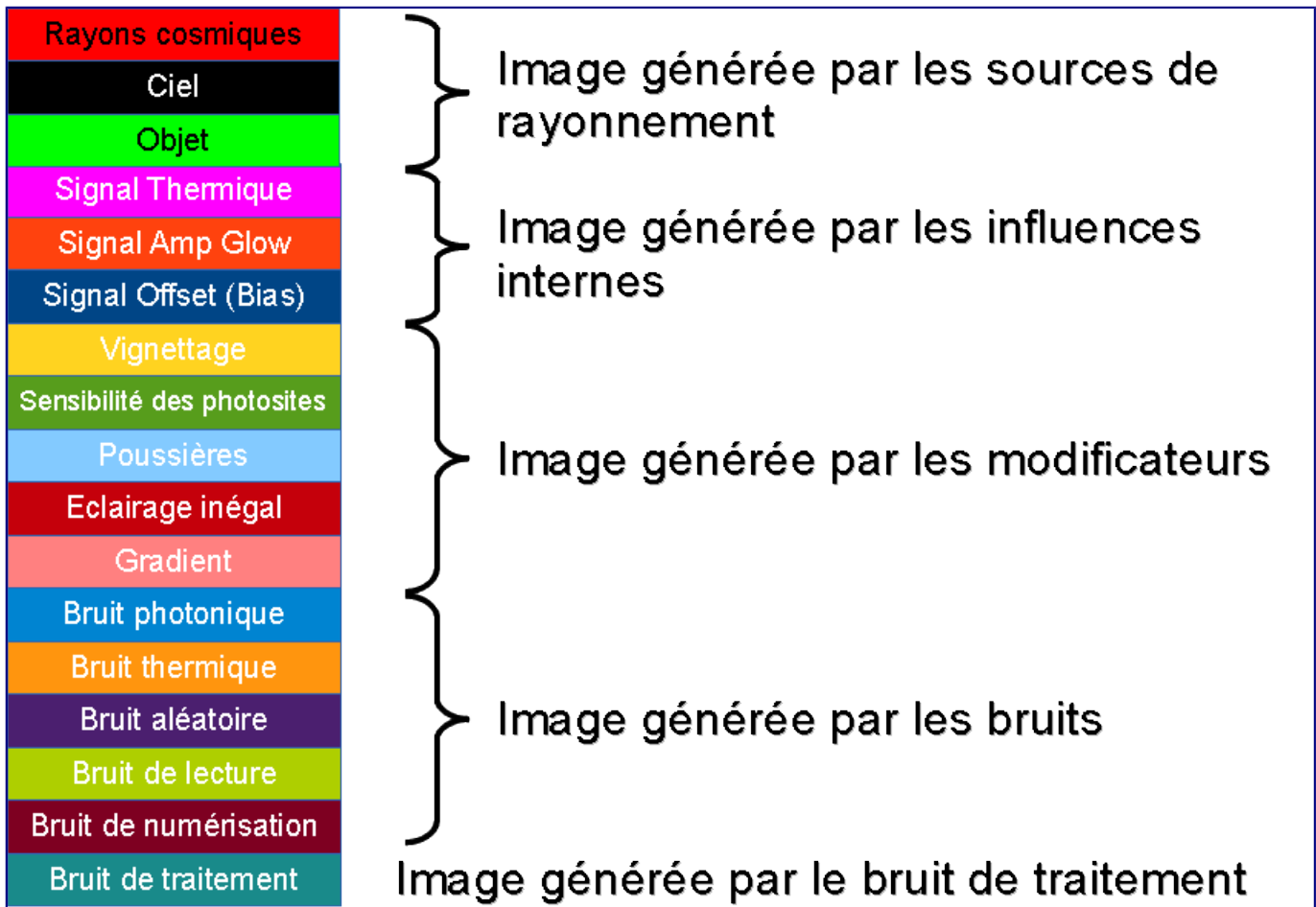
Image générée par le bruit de traitement

Ce bruit intervient chaque fois que l'on réalise des traitements sur les images :

- Création d'un master brut
- Création d'un master Dark
- Soustraire un master Dark d'une brute

On le réduit en le gardant aussi bas que possible dans les masters Dark, Bias et Flat en combinant autant d'images que possibles pour créer les masters

Ainsi l'image brute astronomique est le résultat de la combinaison de plusieurs éléments :



L'idéal serait de ne conserver que le *Signal Objet*

La perfection n'étant pas de ce monde, on va essayer de s'en approcher

Prétraitement

Le bruit est toujours présent dans les images, étant de nature aléatoire on ne pourra jamais les supprimer complètement de l'image, on le diminue en augmentant le signal (augmentation du rapport signal/bruit), en exposant le plus longtemps possible pour des conditions données puis en combinant le plus possible de ces longues expositions

Pour diminuer/éliminer les signaux non désirés on va mettre en oeuvre différents types d'images

L'image *Dark* : image prise sans qu'aucune lumière n'atteigne le capteur, doit être prise avec les même ISO, température et temps d'exposition que les brutes. Avec un APN il est préférable d'alterner les captures de brutes et de Darks, avec une CCD régulée en température les Darks peuvent pris à tout moment



Sa principale fonction est de supprimer le *Signal Thermique* présent lors des longues pauses, ainsi que le *Signal Amp Glow*

On a aussi la possibilité d'utiliser un Dark générique : celui-ci est réalisé à une autre température et/ou avec un

autre temps de pose, le logiciel astronomique ajustera lui-même un coefficient pour corriger l'image à traiter (ceci est possible car le *Signal Thermique* est proportionnel à la température et au temps de pose)

L'image *Bias* : ce courant d'offset est le même pour les images prises avec le même ISO, prise sans qu'aucune lumière n'atteigne le capteur, avec le temps d'exposition le plus court possible, le même ISO et la même température que les brutes



C'est le *Signal Offset* qui nous intéresse ici, ce signal est présent dans toutes les images, il est supprimé des brutes avec l'image *Dark* qui contient ce signal, l'image *Bias* est utilisée pour enlever ce signal des images *Flat*.

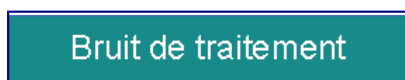
L'image *Flat* (PLU) : image d'une surface uniformément éclairée sans texture, met en évidence poussières, sensibilité inégale des photosites, illumination inégale du système optique, prise avec un ISO faible et une exposition correcte, dans les mêmes conditions optiques que les brutes, même mise au point, mêmes compléments optiques, sans déplacements physiques d'un accessoire afin que d'éventuelles poussières ou tâches soient à la même place. Le temps d'exposition doit être court pour éviter l'apparition de *Signal Thermique*



Les différents facteurs qui modifient le signal d'image seront corrigés par l'image *Flat*

Pour chacun de ces types d'images on va créer un master : il est le résultat de l'addition de plusieurs images de même type

N'oublions pas que ce traitement introduit un Bruit de traitement :



Comment sont utilisées toutes ces images pour obtenir la meilleure image possible avant traitement ?

Les opérations à réaliser correspondent à la formule suivante :

$$\text{Image avant traitement} = \frac{\text{Image brute} - \text{Master Dark}}{\text{Master Flat} - \text{Master Bias}}$$

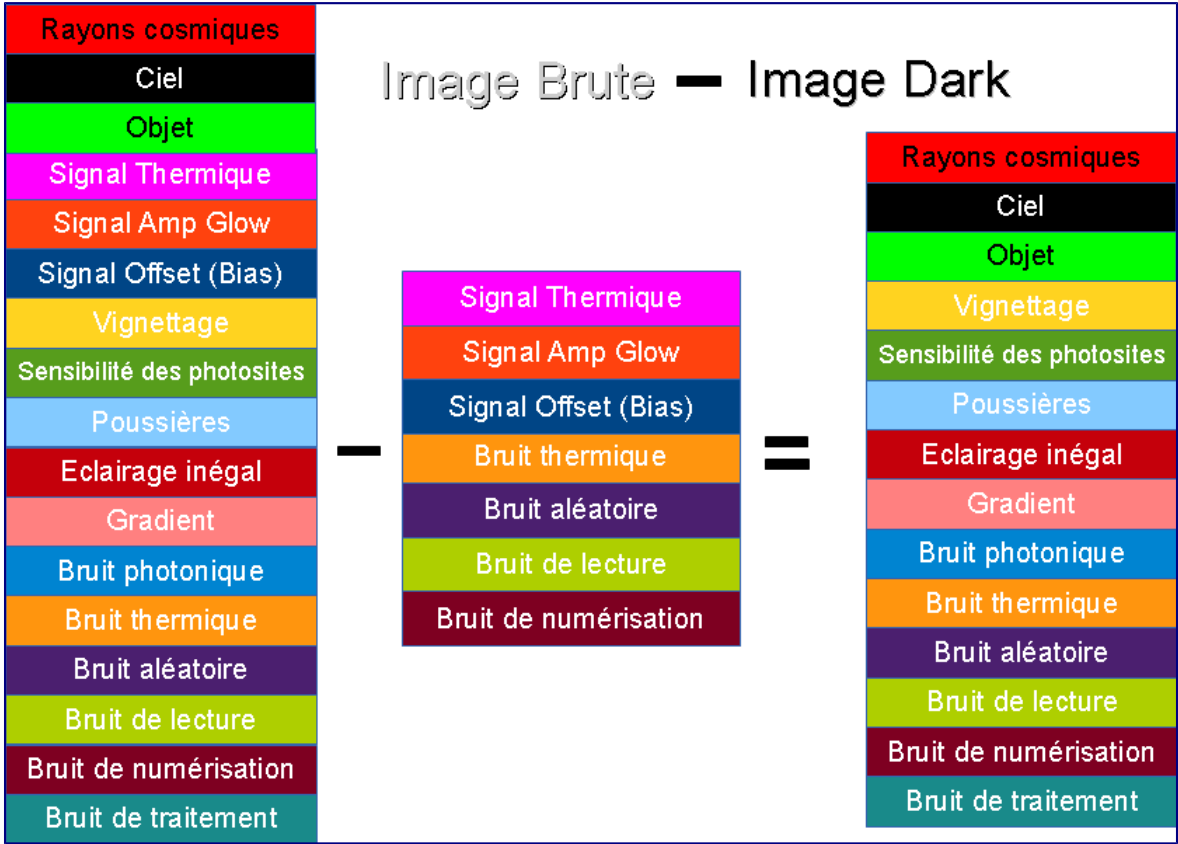
Si les images *Flats* utilisées pour créer le *Master Flat* contiennent du *Signal Thermique* (exposition trop longue), il faut remplacer le *Master Bias* par un *Master Dark* réalisé à partir de *Darks* de même temps de pose que les *Flats* utilisés pour réaliser le *Master Flat*

Si on utilise un *Master Dark* créée à partir de *Darks* génériques on doit d'abord soustraire le *Signal Offset* du *Master Dark*, ce qui donne alors la formule :

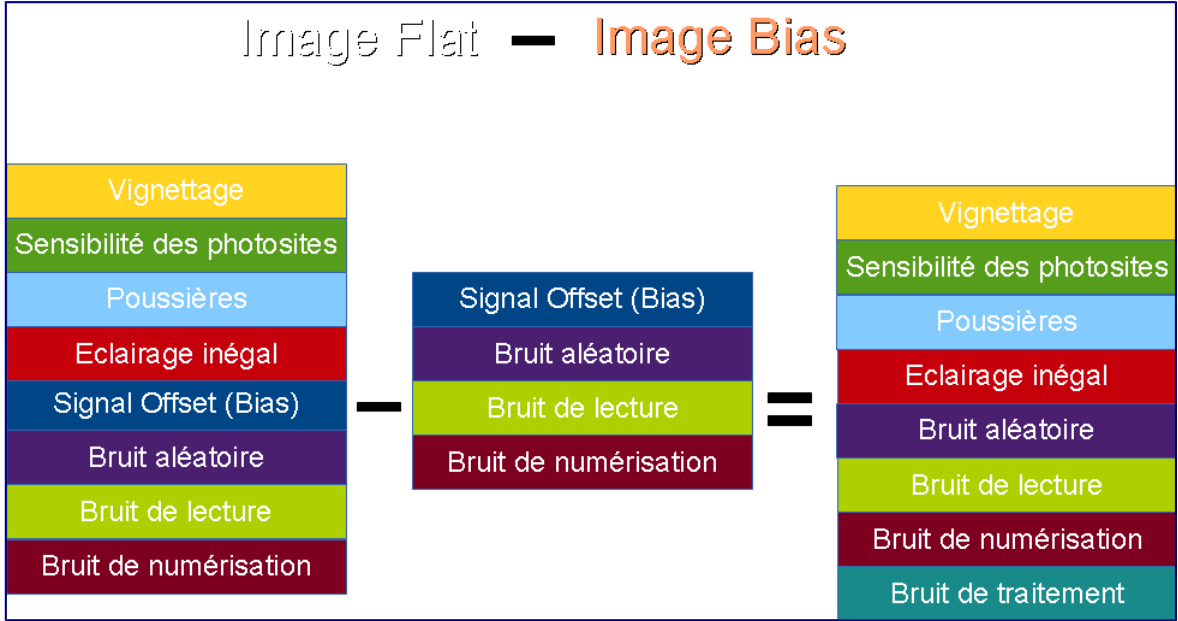
$$\text{Image avant traitement} = \frac{(\text{Image brute} - \text{Master Bias}) - \text{coeff} * (\text{Master Dark} - \text{Master Bias})}{\text{Master Flat} - \text{Master Bias}}$$

Ces opérations sont réalisées par des logiciels spécialisés comme ImagesPlus, Iris, PixInsight, une soustraction enlève du signal, la division compense

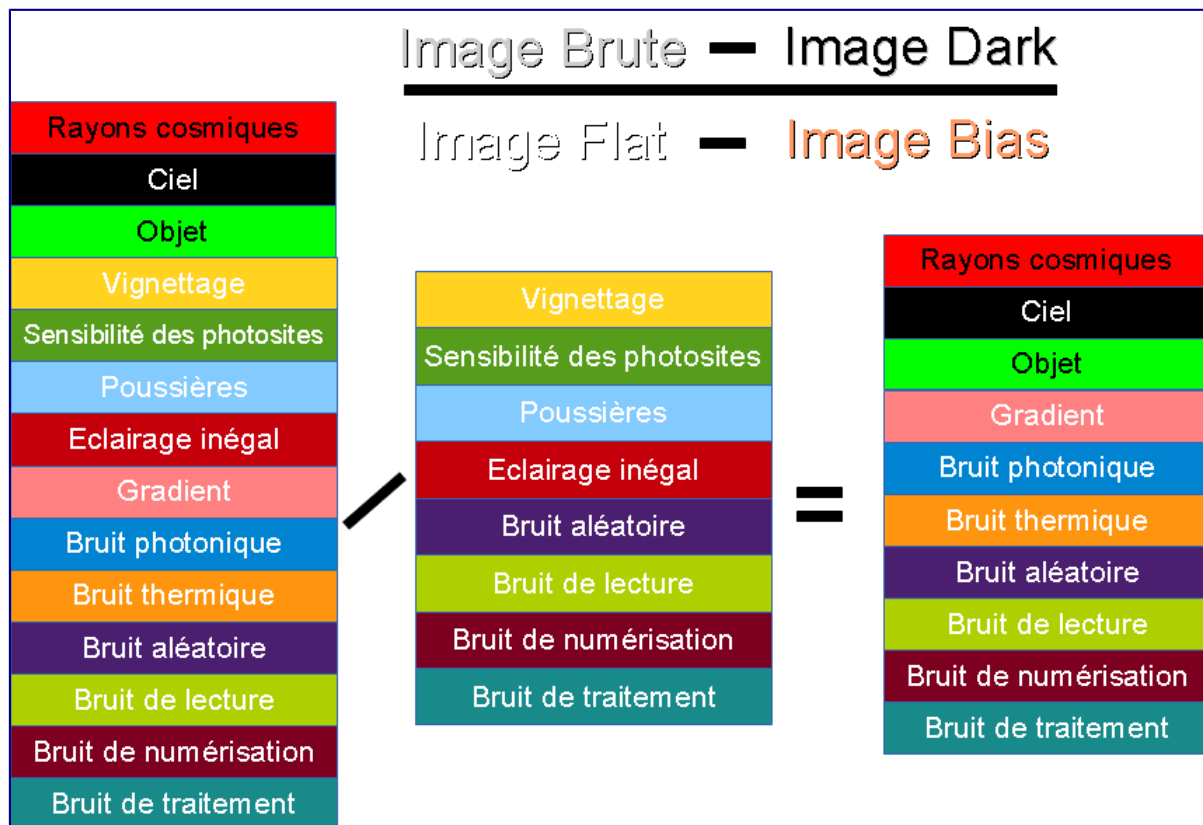
On peut représenter l'action des différentes étapes comme suit :



Le *Master Dark* a permis de supprimer le *Signal Thermique*, le *Signal Amp Glow* et le *Signal Offset*, il a par contre introduit un *Bruit de traitement*.



Le *Master Bias* permet de supprimer le *Signal Offset* du *Master Flat*



Cette opération permet de supprimer les facteurs qui modifient le signal : *Vignettage, Sensibilité des photosites, Poussières, Eclairage inégal*

Elle fournit une image brute avant traitement, on combinera plusieurs de ces images pour aboutir à un *Master brut* qui sera ensuite traité par un logiciel astronomique afin de maximiser le *Signal Objet* par rapport aux divers bruits encore présents

La perfection n'existant pas on obtiendra au mieux une image avant traitement constituée du *Signal Objet* et de divers bruits

Les opérations précédentes permettent au mieux de minimiser les différents bruits mais pas de les éliminer complètement. Les traitements qui suivront réalisés à l'aide de logiciels spécialisés permettront de réduire encore ces bruits ainsi que le gradient, l'objectif étant de les minimiser au maximum par rapport au *Signal Objet*

En conclusion

Si l'on veut obtenir la meilleure image possible avant traitement il faut :

- Exposer sous un ciel le plus noir possible
- Avoir un signal le plus élevé possible
- Exposer sous une température la plus basse possible
- Utiliser la technique du *dithering* qui consiste à réaliser plusieurs expositions en les décalant de quelques pixels, le bruit étant aléatoire il ne se retrouvera pas au même endroit sur les différentes captures et pourra ainsi être plus facilement reconnu par les logiciels de traitement
- Combiner plusieurs Darks pour créer un master Dark
- Combiner plusieurs Bias pour créer un master Bias
- Combiner plusieurs Flats pour créer un master Flat
- Appliquer les master Dark, Flat et Bias à chaque image brute
- Combiner les images brutes prétraitées pour obtenir l'image qui sera traitée

On a répété que pour avoir le meilleur signal/bruit possible il faut augmenter le niveau du signal, donc le temps d'exposition, et pour encore réduire le bruit, combiner plusieurs expositions courtes plutôt qu'une seule dont la durée serait le total des expositions courtes

Une question se pose alors : quelle durée optimale pour chaque exposition courte ?

- Choix de la durée totale de pose de l'objet à photographier
- Réaliser des captures avec des temps de pose croissant
- Prétraiter chaque capture
- Corriger un éventuel gradient
- Mesurer le bruit d'une zone du fond du ciel dépourvue d'étoiles (utiliser un logiciel d'astronomie)
- Effectuer la même mesure sur une image *Offset* brute (mesure du bruit de lecture)
- Le temps de pose idéal correspond à celui où le bruit de fond du ciel dépasse le bruit de lecture d'un facteur de 3 à 4. Il est d'autant plus long que le bruit de lecture est élevé et que le bruit du fond du ciel (pollution lumineuse) est bas, l'utilisation de filtres à bande étroite permet de l'allonger d'une manière conséquente

Références

A guide to Astrophotographie With Digital SLR Cameras – Jerry Lodrigus

Astrophotographie – Thierry Legault