

Photographier le ciel profond

Avec une caméra CCD ou un APN

1 - LA THEORIE	2
1.1 Caméra CCD ou APN ?	2
1.2 Les temps de poses	2
1.3 Les fichiers images	3
1.4 La matrice de Bayer des APN	4
1.5 Echantillonnage	5
1.6 Le bruit des capteurs et leur sensibilité	7
2 - LA PRATIQUE SUR LE TERRAIN	7
2.1 Réalisation des poses individuelles	7
3 - DEVANT L'ORDINATEUR.....	9
3.1 Le signal global issu du capteur	9
3.2 Le signal de décalage de zéro (offset ou zéro).....	9
3.3 Le signal de noir ou signal thermique (Dark).....	10
3.4 Plage de lumière uniforme (PLU, ou blanc, ou Flat Field).....	10
3.5 Elimination des pixels chauds	11
3.6 Isoler le signal	11
3.7 Conversion en images couleur	11
3.8 Registration	12
3.9 Compositage	12
3.10 Balance des blancs.....	12
3.11 Traitements.....	13
3.12 Corrections finales	14
4 - POUR RESUMER	14
5 - LE JARGON	15

1 - LA THEORIE

1.1 Caméra CCD ou APN ?

Les surfaces sensibles numériques utilisées en astrophotographie du ciel profond sont soit des APN (Appareils Photo Numériques), soit des caméras CCD ou CMOS.

Les capteurs CMOS ont aujourd'hui quasiment détrôné les CCD. Les caméras pour ciel profond utilisent ce type de capteur CMOS, avec succès.

Il sera question, parmi les APN, des reflex et des hybrides à objectif interchangeable. Les avantages et inconvénients des deux systèmes (APN et CCD/CMOS) sont les suivants (liste non exhaustive) :



- Les caméras dédiées à l'astrophotographie (CCD/CMOS) sont bien plus sensibles à la lumière que les APN. La sensibilité d'un capteur, sa propension à détecter la faible lumière des objets du ciel profond, est fonction de la taille des photosites (les plus grands captent plus de lumière et sont moins bruités) et de son rendement quantique (jusqu'à 80% pour une caméra CCD/CMOS, sans filtre interposé).
- Contrairement aux APN, les caméras dédiées peuvent être facilement refroidies, ce qui réduit le bruit thermique des poses individuelles, permet les poses plus longues.
- Environ la moitié des caméras CCD/CMOS donnent des images en noir et blanc. Pour passer à la couleur, il est nécessaire de réaliser des poses au travers de filtres colorés, ce qui grossièrement triple les temps de pose. Les APN et de plus en plus de caméras à capteur CMOS fournissent directement des images en couleurs au prix d'une interpolation due à la matrice de Bayer (voir plus loin).
- La caméra CCD/CMOS nécessite un ordinateur portable pour les réglages et l'acquisition des images. On peut plus facilement s'en passer avec un APN (conservation de la vision nocturne).
- Les APN ont généralement une très mauvaise sensibilité dans le rouge, du fait de l'interposition devant le capteur d'un filtre IR peu sélectif (et les nébuleuses sont rouges en majorité !).
- Une caméra CCD/CMOS ne fait que des photos d'astronomie, est extrêmement spécialisée. Un APN sert à tous types de photographies.

L'APN (reflex ou hybride) possède des objectifs interchangeables. Comme dans le cas d'une caméra dédiée, l'objectif est l'instrument astronomique : télescope, lunette, voire téléobjectif, et le capteur est positionné au foyer optique. On peut avantageusement y adjoindre un correcteur de champ afin d'obtenir des étoiles piquées même sur les bords du champ.



Les appareils compacts et les téléphones portables sont mal adaptés pour la photo du ciel profond, car ils ne permettent pas les poses individuelles longues, ne fournissent pas (ou rarement) de fichiers bruts, sans traitement. Ils ont une mauvaise sensibilité globale, et génèrent beaucoup de bruit, surtout aux fortes sensibilités.

La seule utilisation possible, avec de piètres résultats, est le montage en digiscopie, c'est-à-dire en photographiant l'objet visé au travers de l'oculaire du télescope ou de la lunette.

À oublier si l'on vise l'astrophotographie de qualité.

1.2 Les temps de poses

Photographier des objets du ciel profond, peu lumineux par essence, nécessite des poses longues, et des surfaces sensibles ... très sensibles ! Une heure est un minimum pour la plupart des objets visibles facilement à l'oculaire d'un 200 mm ouvert à $F/D = 10$. Il est possible d'allonger la pose jusqu'à plusieurs heures sans autre inconvénient que le temps nécessaire à la réalisation et au traitement.

Cette durée de base peut varier d'un objet à l'autre. Plus il sera de faible luminosité apparente, plus la pose devra être longue.

De même, si le rapport F/D (la focale divisée par le diamètre, l'« ouverture » de l'instrument) est plus grand, la pose s'en trouvera grandement allongée. Si je double le rapport F/D, je multiplie par 4 le temps de pose ! Autant dire que les instruments à faible rapport F/D seront privilégiés.

Avec les capteurs numériques, la pose totale peut être fractionnée. Les poses individuelles seront ensuite additionnées grâce à l'informatique, avec plusieurs avantages :

- Le rapport signal/bruit après addition est meilleur que les poses individuelles. L'augmentation du bruit par addition est proportionnelle à la racine carrée du nombre de poses individuelles, alors que les détails du sujet augmentent en proportion directe de ce nombre.
- Le suivi est facilité (poses individuelles plus courtes).
- Les erreurs de mise en station (raisonnables) peuvent être corrigées, dans une certaine mesure.

Les poses individuelles doivent permettre de capter suffisamment de lumière pour impressionner le capteur. Pour un total de 1 heure de pose, 3 600 poses de 1 seconde chacune ne conviennent pas. Encore faut-il que le signal soit présent sur les images individuelles ! Qu'il ne soit pas confondu avec du bruit.

Malgré tout, une nouvelle technique est apparue récemment, qui consiste à justement réduire drastiquement les temps de poses unitaires à 1 ou moins de 1 seconde, de façon à figer plus ou moins la turbulence et obtenir une meilleure résolution. La contrepartie est qu'il faut additionner des dizaines de milliers d'images individuelles. Cette technique s'applique à des objets très brillants et les temps de traitement s'allongent avec le nombre de poses...

En dehors de cette technique particulière, et en fonction de la luminosité des objets photographiés, les poses individuelles s'échelonnent entre 1 et 5, voire 10 minutes. La mise en station doit permettre la stabilité en déclinaison durant cette période unitaire afin d'éviter la rotation de champ. L'erreur périodique doit aussi être très faible sur l'axe d'ascension droite. L'autoguidage réduit à presque zéro cette erreur.

Cela dit, des poses bien faites, avec un instrument bien réglé pourront seules donner de bonnes images. L'informatique ne peut restituer visuellement que des signaux captés suffisamment distincts du bruit. Rien n'est inventé. Si la collimation et/ou la mise au point sont mauvaises, si la mise en station est trop approximative, le traitement informatique n'y pourra rien !

Le point capital est donc de réussir de bonnes images brutes.

1.3 Les fichiers images

Quelle que soit la solution matérielle retenue, caméra dédiée ou APN, il est important de travailler avec des fichiers images bruts, sans aucun traitement interne dans l'APN ou la caméra. Pas de réduction de bruit, pas d'accentuation, pas d'équilibrage des couleurs... qui dénaturent le signal d'origine.

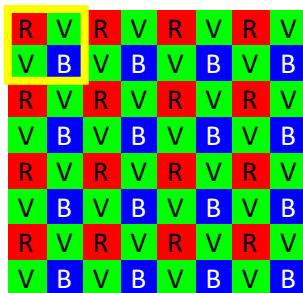
Les fichiers bruts sont accessibles naturellement avec les caméras CCD/CMOS, mais doivent être programmés dans les APN. Les fichiers bruts sont souvent appelés fichiers « RAW » (brut en anglais), et ont une extension qui varie avec les fabricants (.raw, .crw, .cr2, .nef...).

Une image d'un fichier brut d'APN d'une scène en couleurs est une image noir et blanc contenant les informations issues des photosites filtrés en rouge, vert et bleu (voir chapitre suivant). Cette image en noir et blanc s'appelle une image « CFA » (Color Filter Array, en anglais).

1.4 La matrice de Bayer des APN

Dans une caméra CCD ou CMOS, chaque photosite reçoit de la lumière qui est traduite en courant électrique directement proportionnel à la quantité totale de lumière reçue, au rendement quantique près. Le courant électrique est traduit numériquement en « niveaux de gris ». L'image finale est en noir et blanc. Il faut utiliser la trichromie pour rendre leurs couleurs aux objets photographiés. Ou utiliser une caméra avec matrice de Bayer (voir ci-dessous).

Il n'en va pas de même avec les APN ou ces caméras couleurs, qui donnent directement une image colorée. L'artifice utilisé est un filtre interposé juste devant le capteur, sur chaque photosite. Le filtre est grosso modo alternativement rouge, vert ou bleu, comme l'indique ce schéma d'une partie d'un capteur :



Chaque carré de 4 photosites (repéré en jaune ci-contre) contient un filtre rouge, un bleu et deux verts (le vert est la couleur la mieux perçue par l'œil).

Cette mosaïque de filtres s'appelle la « Matrice de Bayer ». L'image qui en est issue (image CFA) est en noir et blanc, contenant les niveaux respectifs de rouge, vert et bleu.

Chaque pixel de l'image finale renferme donc un niveau d'éclairement (N&B) correspondant à la couleur de son filtre.

L'opération qui consiste à former une image couleur à partir de l'image noir et blanc issue de la matrice de Bayer s'appelle « DERAFTISATION » (affreux anglicisme se prononçant « dérôatisation »).

Elle s'effectue en trois phases :

- Le « développement » consiste à restituer par interpolation les niveaux de chaque couleur (obtention, à partir de l'image CFA, de 3 images représentant les niveaux R, V et B).
- L'addition des différentes couches colorées donnant une image en couleurs à forte dominante verte.
- La balance des couleurs rétablit les bonnes couleurs de la scène d'origine.

L'image est divisée en quatre couches (R, B et deux V). Les valeurs de niveaux de couleurs inconnus, sont calculées lors du développement. Par exemple, les valeurs de rouge d'un pixel filtré vert sont calculées par interpolation entre les pixels rouges adjacents. Les 4 couches R, B et les deux V d'un même photosite sont ensuite colorées puis additionnées pour donner l'image couleur qui va pouvoir subir d'autres traitements.

Un logiciel spécialisé comme Siril travaille sur les images CFA, du moins dans la première partie du prétraitement.

Une dernière remarque.

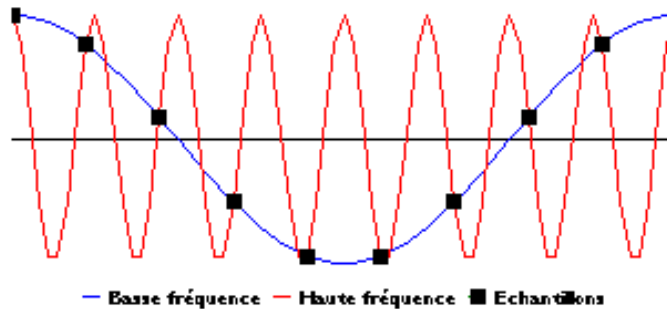
Les capteurs numériques sont sensibles dans l'infrarouge IR. Sur un APN, et afin de restituer au mieux les scènes de la vie courante (l'œil ne voit pas l'infrarouge) un filtre IR supplémentaire est placé devant le capteur. Malheureusement, ce filtre n'est pas très sélectif et filtre aussi l'extrémité rouge du spectre. La conséquence est une très faible sensibilité aux rayonnements de l'hydrogène composant majoritairement les nébuleuses (raie H α).

La faible sensibilité dans le rouge, ainsi que le nombre plus important de pixels filtrés verts, font que l'image traitée a une forte dominante verte qui est corrigée par le traitement ultérieur (la balance des blanc).

1.5 Echantillonnage

L'échantillonnage sert à convertir un signal analogique, continu et périodique, en un signal numérique représentatif, le plus proche possible de la réalité analogique. Cet échantillonnage est réalisé en « prélevant », en « échantillonnant » des valeurs du signal initial pour le reproduire. Si les prélèvements sont trop espacés dans le temps, le signal sera mal reproduit.

Dans l'exemple qui suit, l'échantillonnage (en bleu) ne reproduit pas la courbe d'origine (en rouge), car les échantillons sont trop espacés :



Harry Nyquist et Claude Shannon ont démontré que la fréquence d'échantillonnage d'un signal doit être égale ou supérieure à deux fois la fréquence maximale contenue dans le signal d'origine. C'est l'« échantillonnage de Nyquist », l'échantillonnage idéal qu'il faut atteindre.

Comme illustration, citons la reproduction numérique de la musique (signal d'origine analogique). Une bonne oreille humaine perçoit des sons jusqu'à la fréquence de 20 000 hertz (20 000 oscillations par seconde). Pour convertir ce signal de 20 kHz en un signal numérique de qualité suffisante, il faut prélever un échantillon à une fréquence double, soit 40 kHz ou plus, c'est-à-dire à au moins 40 000 échantillons par seconde.

En astrophotographie, l'échantillonnage d'une image représente la portion angulaire du ciel vue par un photosite, et rendue par un pixel. Il s'exprime en seconde d'arc par pixels ("/pix) et doit être au moins la moitié de la fréquence spatiale maximale, c'est-à-dire des plus petits détails discernables, fournis par l'instrument. On calcule aisément l'échantillonnage d'un système instrument/capteur par la formule :

$$E = 206 P/f$$

E est l'échantillonnage en seconde d'arc par pixel
P est la taille des photosites en microns (μ)
f est la focale résultante de l'optique en mm.

Exemple : L'échantillonnage d'un système composé d'un C8 et d'un APN Canon 350D ($f = 2\,000$ mm et $P = 6,4 \mu$) est de $206 \times 6,4 / 2\,000 = 0,66$ "/pix.

On voit que l'échantillonnage n'est fonction que de la taille d'un pixel et de la focale de l'instrument à l'exclusion de tout autre paramètre.

Connaissant l'échantillonnage, il est facile de calculer le champ photographique du capteur en multipliant E par le nombre de pixels en largeur et en longueur.

Quelle valeur d'échantillonnage utiliser ?

Celle de Nyquist évidemment comme base de travail. En appliquant à l'astrophotographie le théorème de Nyquist, on trouve que l'échantillonnage optimal est :

$$E_n = 0,206 \lambda / 2D$$

E_n est l'échantillonnage de Nyquist en seconde d'arc par pixel
 λ est la longueur d'onde de la lumière observée en nm
D est le diamètre de l'instrument, en mm

Exemple pour le montage précédent, et pour la raie H α : $E_n = 0,206 \times 656,28 / 200 = 0,34$ "/pix

Plus pratique est l'utilisation du rapport F/D de Nyquist qui s'écrit :

$$F/D_n = 2000P/\lambda$$

F/D_n est le rapport F/D optimal

P est la taille d'un photosite en μ

λ est la longueur d'onde observée en nm

Par exemple, photographier une nébuleuse émettant en H α avec le même APN, comportant un capteur de 3 456 x 2 304 photosites de 6,4 μ :

$$F/D_n = 2 \times 6,4 / 0,656 = 19,5 \text{ (environ 20)}$$

Si l'instrument est le C8 à 2 000 mm de focale et un diamètre de 200 mm :

$$E = 206 \times 6,4 / 2\,000 = 0,66 \text{ ''/pix} \quad \text{avec un champ photographique de } 38 \times 25'$$

$$E_n = 656.10^{-9} / 0,4 = 0,0000016 \text{ rd/pix} = 0,34 \text{ ''/pix}$$

On voit que le télescope peut accueillir une Barlow x2. La focale va doubler et l'échantillonnage sera divisé par 2. E et E_n seront très voisins. La qualité de l'image sera améliorée.

Pousser encore le rapport F/D introduit des inconvénients souvent rédhibitoires comme l'allongement des temps de pose, la difficulté du suivi, le rétrécissement du champ... sans gagner en résolution.

Ne pas oublier que la turbulence peut dépasser la seconde d'arc facilement, et que la prise de vue ci-dessus sera brouillée par l'atmosphère.

Mais...

Ces conditions conviennent au planétaire avec un bon ciel, mais est peu adapté au ciel profond qui demande de longs temps de poses, des grands champs et se satisfait d'échantillonnages plus importants, du fait de la turbulence.

L'expérience montre qu'un échantillonnage de 1 à 3 ''/pix est un compromis qui convient parfaitement au ciel profond, avec une turbulence moyenne, de cet ordre.

On peut alors calculer la focale donnant un échantillonnage de 1''/pix (bonne turbulence) :

$$f = 206 \times 6,4 / 1 = 1\,318 \text{ mm}$$

Dans le cas du C8, le réducteur 0,63 convient parfaitement avec une focale résultante de 1 260 mm. Mais la turbulence ne doit pas dépasser 1 seconde d'arc.

Le champ photographié est alors de 3456 x 2304'', soit 58' x 38'.

Descendre en dessous de 1''/pix introduit les inconvénients du sur-échantillonnage cités plus haut : empâtement des images (fait apparaître la turbulence), réduction du champ, allongement des temps de pose, difficulté du suivi...

D'après la formule donnant la valeur de l'échantillonnage ($E = 206P/f$), E augmente quand f diminue. Les petits instruments, de courte focale, à capteur égal, ont une valeur d'échantillonnage plus grande.

Le tableau suivant donne une idée de l'échantillonnage de deux instruments de taille différente, ainsi que l'échantillonnage d'une émulsion grain fin en argentique, pour comparaison.

	C8	ED80
Diamètre	200 mm	80 mm
Focale	2 000 mm	600 mm
Échantillonnage (EOS 350D)	0,66 ''/pix	2,2''/pix
Émulsion (grain de 15 μ)	1,54 ''/pix	5,15 ''/pix

Cela veut dire que les petits instruments, ayant par ailleurs une résolution théorique moindre, ne verront pas une turbulence si celle-ci est en dessous de leur seuil d'échantillonnage.

1.6 Le bruit des capteurs et leur sensibilité

Le bruit issu du capteur est fonction de sa nature, ainsi que de sa température d'utilisation. Les caméras CCD/CMOS refroidies ont ici un avantage sur les APN. Plus la température du capteur est basse, plus le bruit est faible. Les froides nuits d'hiver procurent un certain avantage...

Le « bruit » d'un capteur est différent du « grain » d'une émulsion. Le grain est défini par la taille moyenne des grains d'argent de la couche sensible. Les meilleures pellicules grain fin d'antan donnaient un grain d'environ 15 μ . La taille des photosites des capteurs numériques est bien inférieure à cette valeur.

Le bruit numérique se manifeste notamment par des pixels colorés aléatoirement dans des zones de faible lumière où ils devraient être uniformément foncés.

Le bruit d'un capteur est aléatoire, et réparti uniformément. Ce qui permet de le réduire en superposant plusieurs poses du même objet dans les mêmes conditions.



Dans un APN, le bruit du capteur est augmenté en même temps qu'augmente la sensibilité.

La sensibilité ISO n'est qu'une amplification, apportée électroniquement au signal... et au bruit.

De plus, l'amplification apporte son propre bruit ! Les appareils reflex récents (pour obtenir les meilleurs résultats, il faut viser le haut de gamme) ont un bruit faible jusqu'à 3 200 ISO. Il commence à être présent visiblement au-dessus de 6 400 ISO.

Mais ceci est valable pour les poses courtes. Avec les poses plus longues, on montre que les capteurs des APN ont un bruit minimum entre 800 et 3200 ISO, selon les appareils.

Les valeurs élevées permettent de réduire les temps de poses individuels. C'est donc un avantage en astrophotographie à pose longue.

Améliorer la résolution d'un capteur ne se fait pas forcément en réduisant la taille de ses photosites et en les multipliant. Les trop petits photosites captent individuellement moins de lumière et leur rapport signal/bruit diminue. C'est ce qui se passe pour les photoscopes à petit capteur et photosites minuscules, comme sur les téléphones portables.

2 - LA PRATIQUE SUR LE TERRAIN

2.1 Réalisation des poses individuelles

Pour résumer, prendre une photo du ciel profond demande une excellente mise en station, une bonne mise en température du tube optique, une collimation sans faille, et une mise au point parfaite. Dur, dur !

Un mot sur le suivi.

Poser plusieurs minutes nécessite une monture dépourvue de déviation par rapport à la rotation terrestre, avec une erreur de l'ordre de la seconde d'arc sur les deux axes. Ces montures sont rares, de haut de gamme, mais existent, notamment chez 10-Micron ou Paramount. Les montures à entraînement direct (Direct drive) en font aussi partie.

À défaut, il convient de suivre une étoile « guide » pour corriger en temps réel les défauts de la monture. Ceci peut être réalisé manuellement à l'aide de la raquette de commande, mais mieux automatiquement avec un système d'autoguidage.

Dans les deux cas, en manuel et en automatique, nous avons le choix entre la lunette guide ou le diviseur optique.

- La lunette guide (petite lunette positionnée en parallèle du tube imageur) permet de choisir confortablement l'étoile guide, mais les risques de flexions entre la lunette et l'instrument sont grands.



- Le diviseur optique n'a pas ce défaut de flexion, puisque c'est une partie de l'image photographiée qui est utilisée pour guider l'ensemble. L'inconvénient est la difficulté de trouver une bonne étoile guide dans cette petite partie du bord du champ. Pas toujours évident !



Le guidage peut avantageusement être fait à l'aide d'une seconde caméra CCD ou d'une webcam, dont le logiciel assurera le suivi correct par des actions contrôlées sur les moteurs de la monture. C'est l'autoguidage, qui tend à se généraliser.

Nous voici donc partis pour photographier un objet du ciel profond. Nous avons déterminé l'échantillonnage, la focale à utiliser, le temps de pose (temps total et poses individuelles), la sensibilité ISO de l'APN, si APN il y a, les différents réglages de son menu, le passage en manuel, pose B (bulb), mode « RAW », etc. Le tout en fonction de notre propre matériel.

Les réglages d'une caméra CCD ou CMOS se font directement dans le logiciel d'acquisition.

Pour un APN, le déclenchement des poses est fait à l'aide d'une commande à distance, avec un relevage préalable du miroir pour éviter les vibrations.

Mieux, les poses peuvent se faire par occultation manuelle, qui consiste à démarrer les poses avec un cache de dimension suffisante devant l'objectif. Après un temps de stabilisation, le cache est enlevé et la lumière rentre sur le capteur. Il faut ajouter ce temps de stabilisation au temps total, par exemple afficher 32 s pour une pose effective de 30 s et 2 s de stabilisation. Cette méthode était utilisée autrefois pour les poses en argentiques et peut être remise au goût du jour, avec autant d'efficacité.

Les chapitres suivants montreront qu'il faut, en plus des poses de l'objet, réaliser d'autres images qui permettront d'épurer le signal venant du ciel.

Ne jamais oublier que la prise de vue est essentielle, et qu'on n'obtiendra jamais de bonnes images avec des mauvaises données brutes, malgré l'apport considérable de l'informatique.

3 - DEVANT L'ORDINATEUR

3.1 Le signal global issu du capteur

Analysons une des vues de l'objet convoité.

L'image brute issue d'une caméra CCD/CMOS ou d'un APN se compose en fait d'au moins 5 signaux superposés :

- L'image de l'objet en question, bien sûr. C'est le signal recherché. À noter que la pollution lumineuse ou le passage d'un satellite est dans cette catégorie de signaux.
- Un signal de décalage électronique.
- Un signal de bruit thermique dû à l'électronique.
- Des signaux non voulus dus au matériel : poussières sur le capteur, inhomogénéité de sa sensibilité, vignettage...
- D'autres bruits, plus confus, et plus difficiles à éliminer.

Le signal de bruit thermique, peut en partie être atténué d'une part en refroidissant le capteur (CCD), d'autre part en additionnant plusieurs poses de l'objet.

Ce qu'on appelle le « prétraitement », aura pour but éliminer au mieux ce qui n'est pas le signal de l'objet. Pour cela, il faut prévoir, au moment de la prise de vue de réaliser des clichés supplémentaires (aussi des images en mode « RAW ») visant à isoler les autres signaux.

Il faudra ensuite utiliser à bon escient ces images des signaux parasites avec des logiciels spécialisés comme Siril, Registax, Prism ... ou avec moins de flexibilité et de rapidité, des logiciels classiques de traitement d'image comme Paint Shop Pro, Photoshop, The Gimp...

3.2 Le signal de décalage de zéro (offset ou zéro)

Dans un circuit électronique compliqué comme dans une caméra astro ou un APN, un signal faible est généré, même en l'absence de lumière sur le capteur ou d'alimentation électrique.

C'est le « signal de décalage », sorte de zéro électrique, appelé « Offset » ou « Bias » en anglais. Il n'est jamais nul, et n'est pas forcément réparti uniformément sur le capteur.

Il est reproduit en réalisant une photographie sans lumière sur le capteur, en bouchant l'objectif de l'instrument. Il faut aussi s'assurer sur un APN, que de la lumière n'entre pas par le viseur oculaire en l'obturant également.

Les poses sont les plus courtes possibles, permises avec le matériel à disposition, au moins inférieures au millième de seconde.

Dans la pratique, on réalise plusieurs images, afin d'obtenir une image « maître » de décalage de zéro, représentative de la moyenne (en fait la médiane) de ce signal, et qui sera utilisé par la suite. Chaque image de décalage est faite à la même sensibilité que la prise de vue de l'objet.

Le décalage maître est obtenu en conservant la valeur médiane de chaque pixel de toutes les images. Cette méthode est plus efficace qu'une simple moyenne car elle permet d'éliminer les artéfacts, les valeurs aberrantes qui peuvent être provoquées par des pixels défectueux ou par des rayons cosmiques. La méthode des médianes demande idéalement un nombre impair d'images de décalage.

3.3 Le signal de noir ou signal thermique (Dark)

Durant la pose de l'objet à photographier, le capteur génère un signal thermique qui n'a rien à voir avec l'image de l'objet lui-même. Il est différent d'un pixel à l'autre, et dépend de la qualité du silicium composant le photosite, et surtout de sa température. Ce signal apparaît avec les poses longues. Il est d'autant plus élevé que la pose est longue.

Il est reproduit en réalisant une image dans l'obscurité, en obturant l'objectif de l'instrument et le viseur de l'APN. D'où le nom de ce signal : « signal de noir » ou « signal thermique », ou « dark » en anglais.

Contrairement au signal de décalage, les images de noir sont réalisées avec le même temps de pose que l'image de l'objet. Si les poses individuelles de l'objet sont de 4 minutes, les images de noir seront également de 4 minutes, avec la même sensibilité, à la même température.

Une image « maître » du noir est réalisée grâce à une médiane d'un nombre idéalement impair d'images de noir. Le maître de décalage (offset) est soustrait de chaque image de noir avant de procéder à la médiane pour réaliser le noir maître.

Il est important que les images de noir soient réalisées à la même température que les images du ciel.

Dans l'idéal, on peut envisager la suite : quelques images du ciel, image de noir, image de décalage, quelques images du ciel, image de noir, image de décalage... Dans ce cas, les conditions de prises de vue, de température... restent identiques (éviter les images de noir le lendemain).

Certaines caméras possèdent une régulation de température du capteur. Alors, les darks peuvent être réalisées à part. On peut même se confectionner une bibliothèque de darks à différentes températures et différents temps de pose.

Pour résumer, faire un noir maître, c'est :

- Soustraire le maître de décalage (offset) de chaque image de noir.
- Calculer le noir maître par médiane.

3.4 Plage de lumière uniforme (PLU, ou blanc, ou Flat Field)

La réponse à la lumière des différents photosites du capteur n'est pas uniforme. Cela est dû à leur construction, à leur taille qui peut varier, mais aussi et surtout à des poussières sur le capteur générant des taches, et au vignettage optique de l'instrument qui assombrit les angles. Le signal de l'objet sera pollué par ce signal parasite qui peut être important.

Cela signifie que si le capteur regarde une feuille de papier blanc uniforme, l'image qu'il en donnera ne sera pas forcément blanche et uniforme.

Nous devons donc réaliser des images d'une scène uniforme en luminosité, soit en visant le ciel dégagé au crépuscule, soit à l'aide d'une feuille ou d'un réflecteur blanc éclairé uniformément, placé devant l'objectif de l'instrument.

Le nom de ces images est « signal de blanc », ou « plage de lumière uniforme » (PLU) ou « Flat Field » en anglais. Comme pour les deux autres, faire idéalement un nombre impair de vues, pour l'obtention d'un PLU « maître » par médiane. Le maître de décalage est soustrait de chacune des images de blanc avant de procéder au calcul de la médiane.

Le PLU doit être réalisé au travers du même montage optique que l'image de l'objet, et pour un APN, à la même sensibilité. L'exposition en mode manuel utilise un temps de pose qui doit donner un histogramme ne comportant qu'une barre verticale, la plus fine possible (moins le capteur sera pollué par des poussières ou sujet au vignettage, plus la barre sera fine), située à peu près entre le tiers et la moitié de l'échelle des valeurs de luminosité sur l'histogramme.

Pour résumer, faire un blanc maître, c'est :

- Soustraire le décalage maître de chaque image de blanc
- Calculer le blanc maître par médiane
- Ramener les niveaux d'éclairement du blanc maître à une valeur déterminée (normalisation)

Dans la plupart des cas, les temps de pose des blancs sont suffisamment faibles pour ne pas nécessiter de retirer le signal thermique (noir).

3.5 Élimination des pixels chauds

La fabrication des capteurs numériques n'est pas parfaite. Certains photosites (peu nombreux sur les bons capteurs) donnent un signal thermique anormalement élevé et peuvent venir perturber le signal. Cela se traduit par l'apparition de points blancs sur l'image, à ne pas confondre avec une étoile exagérément piquée ! De plus, la réponse de ces pixels chauds n'est généralement pas linéaire, et soustraire le noir maître à cet endroit peut amener des surprises désagréables. Il convient donc de les repérer et de les éliminer en les remplaçant par la médiane des pixels adjacents.

Cette opération est exclusivement logicielle et utilise le signal maître de noir réalisé précédemment.

3.6 Isoler le signal

C'est retirer les signaux de décalage, de noir et de blanc. Avec un APN, il est rappelé que tout ce travail est effectué sur les images CFA, prises en mode brut (RAW).

Sur chacune des images du ciel, l'ordre des opérations est le suivant :

- Soustraire pixel par pixel le signal maître de décalage (offset) de chacune des images du ciel.
- Soustraire le signal maître de noir (dark) du résultat précédent.
- Diviser l'image obtenue par le maître blanc (Flat Field).

Si les images de noir n'ont pas été faites avec exactement le même temps de pose ou à la même température que les images du ciel, un ajustement doit être réalisé. C'est l'optimisation du fond du ciel (réduit le bruit des images brutes à leur minimum).

Les logiciels de traitement d'images astronomiques réalisent ces opérations plus ou moins automatiquement. Elles sont également réalisables avec un logiciel de traitement d'image classique comme Photoshop, manuellement, image par image. Mais c'est beaucoup, beaucoup plus long...

3.7 Conversion en images couleur

C'est ici que les images en 16 bits CFA d'un APN sont transformées en images couleurs 48 bits. Chaque niveau RVB est calculé d'après la matrice de Bayer, les 4 couches colorées avec leurs couleurs respectives, puis additionnées.

Les images sont déséquilibrées colorimétriquement, et doivent être corrigées par la balance des blancs. Cette opération se fera plus tard, sur l'image compositée (additionnée), mais certains logiciels comme Siril peuvent ajuster les valeurs relatives des couches RVB à ce stade, en attribuant à chacune des couches un coefficient. Bien entendu, cette méthode n'est à utiliser que si l'on connaît à priori l'équilibre des couleurs donné par l'APN.

Cas de la trichromie avec une caméra CCD N&B

La technique LRVB est utilisée. Elle consiste à préparer des vues dites de Luminance (L) qui captent toutes les longueurs d'onde, du violet au rouge, avec un temps de pose global suffisamment long pour obtenir tous les

détails voulus. Cette image L en N&B est ensuite colorée avec des images R, V et B (images de chrominance). Leur temps de pose peut être réduit. Elles ne contiennent que des informations de couleur. Le traitement, après retrait des offset, dark et division par le Flat, consiste à superposer les couches R, V et B à la couche de luminance pour obtenir l'image en couleurs. Il est aussi possible d'utiliser la technique RVB, en faisant des poses multiples avec un filtre rouge, puis un vert puis un bleu. Les 3 couches sont colorées selon leur filtre. L'image couleur est ensuite reconstituée en additionnant les 3 couches

3.8 Registration

Débarrassées des signaux parasites, les images du ciel vont pouvoir être additionnées. Mais auparavant, il faut les aligner pour réaliser une superposition parfaite. Cette opération s'appelle la « registration ». Les logiciels de traitement d'image astronomique savent réaliser ce type de calcul. Quatre sortes de registrations sont possibles :

- Décalage simple en x et y (translation). Rectifie la turbulence lente de la haute atmosphère et surtout les inévitables déplacements de l'objet image après image si elles ont été prises sans autoguidage. Les images sont simplement décalées linéairement (gauche/droite – haut/bas).
- Rotation. Dans le cas d'une mauvaise mise en station, la rotation de champ peut être corrigée ou limitée, selon l'ampleur du décalage de mise en station.
- Changement d'échelle. Si les images proviennent de différents montages optiques, de différents instruments, à différentes focales.
- Plus rarement, et sans garantie de réussite, des décalages locaux peuvent être calculés en utilisant une fonction de « morphing » pour repositionner localement une partie d'image déformée. Permet de gommer partiellement la turbulence locale. Les corrections sont généralement faibles.

Les trois premières registrations peuvent être réalisées en une seule fois si nécessaire dans les logiciels comme Siril. Cette registration opère à la fois le décalage linéaire, angulaire et le changement d'échelle. Le temps de traitement est long, mais permet des registrations de qualité.

3.9 Compositage

Les images sont prêtes pour une addition appelée « compositage ».

Les signaux de chaque pixel de chaque image s'additionnent. Les niveaux de l'objet photographié, mais aussi ceux du bruit résiduel. Ce dernier étant aléatoire, non constant d'un pixel à l'autre et d'une image à l'autre, leur somme grandira à l'addition moins vite que le signal recherché proprement dit. Ce qui aura pour effet d'améliorer le rapport signal/bruit. L'image finale compositée n'aura plus cet aspect granuleux des images brutes, mais sera au contraire plus douce et lisse.

La réduction du bruit est d'autant plus efficace que le nombre d'images compositées est grand. La dynamique finale de l'image est également augmentée.

3.10 Balance des blancs

À ce stade, l'image compositée en couleur d'un APN a une dominante importante comme on l'a vu précédemment. Plusieurs méthodes sont utilisables pour la corriger. Les logiciels classiques de traitement d'image (Photoshop, Paint shop pro, The Gimp...) proposent des fonctions d'équilibrage des couleurs :

- Point blanc, point noir.
- Attribution de coefficients à chaque couche Rouge-Vert-Bleu ou Cyan-Magenta-Jaune, ou les deux, pour les basses, hautes ou moyennes lumières.

- Ajustement des teintes, saturation, luminosité.
- Réglage de la température de couleurs.
- ...

Mais le logiciel Siril utilise la photométrie pour ajuster les couleurs de l'image. La méthode consiste à comparer le niveaux de couleurs de notre photo avec une base de données. Elle est très fiable.

Une image du ciel profond est meilleure visuellement, montre plus de détails, si le fond du ciel n'est pas totalement noir. Les logiciels peuvent aussi ajuster ce fond de ciel à une valeur légèrement supérieure à 0.

3.11 Traitements

Au sortir du prétraitement, l'image compositée, bien équilibrée colorimétriquement doit encore subir quelques modifications, en particulier pour faire ressortir des détails encore invisibles, mais présents. Toujours se rappeler que ce type de traitement doit rester léger, afin de ne pas créer d'artéfacts.

Commencer par la préparation de l'image :

- Ajustement des seuils (contraste et luminosité), du fond de ciel.
- Recadrage suite à la registration, et par soucis esthétique.

Passer ensuite au traitement proprement dit avec les fonctions suivantes :

- Améliorer le rendu des zones de basse et hautes lumières (Logarithme, DDP, Égalisation d'histogramme...).
- Pour les photos de nébuleuses, si les étoiles sont trop présentes (dans la Voie Lactée par exemple), une réduction d'étoiles peut apporter un plus esthétique indéniable. Le logiciel gratuit « Fitswork », mais aussi un script pour Siril, réalise, entre autres, cette fonction.
- Améliorer la netteté avec les fonctions de masque flou ou d'ondelettes. Pour plus de détails, voir le chapitre 4.3.5 sur le traitement des images planétaires, qui peut s'appliquer aussi dans le cas du ciel profond.
- Améliorer le rendu des étoiles, résoudre partiellement certains problèmes de suivi, de décollimation, de coma, d'astigmatisme... par des méthodes mathématiques complexes de déconvolution (Richardson-Lucy, Vancittert, optimisation d'entropie...). À utiliser avec pondération. Les paramètres d'ajustement sont souvent difficiles à trouver.

Après chaque traitement, un réajustement des seuils peut se révéler utile.

Si les prétraitements (décalage, noir, blanc) n'ont pas suffi, les pixels chauds, taches, lignes ou colonnes défectueuses peuvent être éliminés manuellement à ce stade, évidemment avec moins d'efficacité qu'avec la méthode décrite plus haut.

Compléter par les traitements suivants :

- Retrait du gradient du fond de ciel, si la pollution lumineuse apparaît sur une partie de l'image.
- Élimination manuelle des traces laissées par les satellites artificiels.
Pour ces traces, une solution est de ne pas traiter les images brutes qui en contiennent. Le résultat est propre de ce côté, mais nous aurons moins d'images à empiler, donc un rapport signal/bruit moins favorable.

3.12 Corrections finales

L'image est proche de sa version définitive. Il reste quelques corrections de détail qui font toute la valeur des belles images, selon les goûts de chacun, pour les rendre plus esthétiques :

- Saturation des couleurs.
- Effet Akira Fuji (flou sélectif des étoiles selon leur éclat)
- Etc.

Puis, terminer par la mise en valeur de l'image, phase trop souvent ignorée, à tort :

- Enregistrement dans un format qui ne détruit pas l'image.
- Conserver les images brutes, au cas où un meilleur traitement, un meilleur logiciel apparaisse plus tard, ou simplement si l'opérateur se perfectionne avec l'expérience. Les progrès sont rapides dans ce domaine !
- Présentation à l'écran : cadre, nom de l'objet, signature, conditions de prises de vue, etc.
- Agrandissement sur papier pour exposition si l'image le mérite, encadrement, titrage, conservation dans un album papier...

4 - POUR RESUMER

Sur le terrain :

- Détermination de l'objet à photographier, choix du matériel et du montage optique
- Mise en station sur un bon site et mise en température
- Collimation
- Recherche d'une étoile guide et mise en place du guidage, manuel ou automatique
- Mise au point
- Réglages de l'appareil ou de la caméra (manuel, bulb, sensibilité ISO, mode RAW...)
- Réalisation des noirs, décalages, PLU, et des images de l'objet
- Stockage sûr des images

Rentré à la maison, le travail sur ordinateur commence :

- Isoler le signal du ciel (décalage, noir, PLU, pixels chauds).
- Convertir les images CFA en images couleurs pour un APN.
- Aligner les images (registration).
- Les additionner (compositage).
- Ajuster la balance des blancs en modifiant l'équilibre des canaux RVB.
- Traitements.
- Corrections finales.

A signaler qu'un logiciel comme Siril peut réaliser toutes les opérations de prétraitement automatiquement à l'aide d'un script fourni.

PixInsight, est un autre logiciel spécialisé en traitement d'image astronomique. Il est très performant, réalise des opérations automatiques, mais est payant.

5 - LE JARGON

Quelques termes faisant partie du langage de l'astrophotographe :

APN	Appareil Photo Numérique. Appareil de prises de vues dont la surface sensible est un capteur numérique.
Artefact	Phénomène artificiel ou accidentel rencontré au cours d'une observation ou d'une expérience. En imagerie, un artefact est généré par les traitements s'ils sont trop poussés. On peut ainsi faire apparaître des détails inexistant dans la réalité.
Balance des blancs	Équilibre entre les composantes de couleurs rouges, vertes et bleues d'une image RVB, afin de rendre les couleurs plus naturelles.
Bias	<i>Voir signal de décalage.</i>
Blanc	<i>Voir signal de blanc.</i>
Bruit	Signal parasite produit par la chaîne de prise de vue, pouvant avoir plusieurs sources. Le bruit pollue le signal original de l'objet à photographier. Certaines composantes du bruit peuvent être éliminées, d'autres réduites, d'autres enfin ne peuvent être éliminées.
Bruit aléatoire	Ce type de bruit est réparti au hasard. Certains photosites enregistrent un signal de bruit important, d'autres moins. Cette répartition varie d'un moment à l'autre. Un pixel très bruité sur une image peut l'être très peu sur une autre. L'addition de plusieurs poses permet de réduire ce bruit aléatoire.
Bruit natif	C'est le bruit d'un APN lorsqu'il est réglé sur sa sensibilité réelle (en général 100 ISO). Pousser la sensibilité ne fait qu'augmenter électroniquement le signal total reçu (par amplification), le signal utile comme le bruit.
Canaux RVB	<i>Voir couches RVB</i>
Capteur	Désigne la surface sensible à la lumière, permettant d'enregistrer celle-ci. La rétine de l'œil contient des capteurs, les cônes et les bâtonnets. Une émulsion argentique est une autre surface sensible. Par extension, ce terme de capteur s'applique plus particulièrement aux surfaces numériques, capables de générer un courant électrique proportionnel à la quantité de lumière reçue. Un capteur numérique transforme ce courant en 1 et 0, codage facilement compris par les ordinateurs. Un capteur numérique est constitué de « photosites » qui sont les éléments les plus petits capables de capter un signal. En première approximation, plus le capteur contient de photosites, plus sa résolution théorique est élevée.
CCD	Technologie de capteur numérique à transfert de charge. Charge Couple Device.
CFA	Color Filter Array. Une image CFA est une image N&B qui contient les valeurs de rouge, de vert et de bleu correspondant aux photosites filtrés en rouge, vert et bleu. Voir page 4.

CMOS	Complementary M etal- O xyde S emiconductor. Capteur numérique qui tend à se généraliser.
Compositage	Opération logicielle consistant à additionner pixel par pixel les valeurs de couleurs enregistrées dans plusieurs images du même objet.
Couches RVB	Une image couleur peut être décomposée en trois images contenant les niveaux respectifs de rouge, de vert et de bleu. Les fichiers de ces images ne contiennent que des chiffres représentatifs du niveau de densité de chaque couleur, pas la couleur elle-même. Visionner ces fichiers donne trois images N&B. Pour reconstituer l'image en couleurs, il faut générer trois images, une colorée en rouge, une en verte et une en bleue avec chacune les niveaux de rouge, de vert et de bleu correspondant aux niveaux enregistrés dans les fichiers. Les trois couches sont alors additionnées pour reconstituer l'image couleur.
Dark	Terme anglais désignant le signal thermique. Voir signal de noir.
Déconvolution	Méthodes mathématiques complexes de traitement des images permettant de corriger certains défauts optiques comme la coma, l'astigmatisme... Ces méthodes sont utilisées également pour corriger des défauts de suivi, de collimation, de mise au point par exemple. Elles sont à doser parcimonieusement et précisément si l'on veut éviter l'apparition d'artefacts.
Derawtisation	Opération qui consiste à transformer une image brute, de format RAW, en une image en couleur.
Développement	Première phase de la derawtisation donnant une image couleur déséquilibrée colorimétriquement à partir d'une image brute.
Dynamique	Les niveaux de gris d'un pixel peuvent s'étendre sur une gamme plus ou moins grande. L'étendue de cette gamme est la dynamique. Un pixel codé sur 1 seul bit ne peut prendre que deux valeurs : 0 ou 1. Le pixel est blanc ou noir. Sur 2 bits, 4 valeurs sont possibles : 0, 1, 2 ou 3. La dynamique est un peu plus large. Le pixel peut être blanc, gris clair, gris foncé ou noir. Un codage sur 8 bits (1 octet) donne une dynamique de 256 valeurs de gris. Les APN codent la dynamique sur 12 à 14 bits (4 096 à 16 384 valeurs), les caméras CCD ou CMOS sur 14 à 16 bits (16 384 à 65 536 valeurs). Plus la dynamique est élevée, mieux les petits écarts de densité d'une image sont différenciés, plus les détails fins vont pouvoir être enregistrés. L'œil n'est pas capable de différencier plusieurs dizaines de milliers (ou plus) de valeurs de densité. Mais les traitements informatiques vont eux se servir de ces écarts minimes pour les faire apparaître visuellement en les amplifiant.
Échantillonnage	Fréquence de prélèvement d'échantillons d'un signal analogique en vue de sa reproduction par des moyens numériques. En astrophotographie, se mesure en seconde d'arc par pixel.
Échantillonnage de Nyquist	Échantillonnage optimal, donnant les meilleurs résultats possibles.
Flat field	Terme anglais désignant la PLU (voir signal de blanc).

Fichier brut	Fichier informatique contenant toutes les informations nécessaires à la reconstitution d'une image couleurs ou N&B. Chaque fabricant possède une façon à lui de coder ces informations, bien que le principe de base soit le même. Les fichiers sont « propriétaires ». Un brut Canon ne peut pas être lu par un logiciel Nikon, et inversement. Il existe de plus en plus de logiciels capables de décoder n'importe quel brut de n'importe quelle marque. À titre d'exemple, l'extension des fichiers Canon est .CRW ou .CR2, celle de Nikon est .NEF.
Filtre IR	Les capteurs numériques sont sensibles au rayonnement infrarouge (IR). L'œil ne l'est pas. Pour un rendu réaliste, les fabricants d'APN placent devant le capteur un filtre qui stoppe le rayonnement Infrarouge. L'inconvénient est que ce filtre est généralement trop large, et coupe une bonne partie du signal rouge visible, en particulier la radiation H α . Certains appareils sont spécialement étudiés pour l'astronomie et n'ont pas ce filtre. Ces appareils, peu vendus, sont très chers. Il est aussi possible de faire enlever ou changer ce filtre. L'APN devient « défiltré ».
Fréquence	<p>Est proportionnelle à l'inverse de la longueur d'onde pour la lumière. Pour un signal sonore par exemple, la fréquence est le nombre de battements par unité de temps, par seconde. Pour un rayonnement se déplaçant à la vitesse de la lumière, la fréquence s'exprime comme le rapport de cette vitesse par la longueur d'onde :</p> $\nu = c/\lambda$ <p> ν = fréquence en Hertz c = vitesse de la lumière (300 000 000 m/s) λ = longueur d'onde en mètres </p>
Fréquence spatiale	Au lieu de s'exprimer par rapport à un temps comme précédemment, la fréquence spatiale s'exprime par rapport à une ou plusieurs dimensions de l'espace. La fréquence spatiale est le nombre de fois que le plus petit détail peut se retrouver par unité de longueur. En astrophotographie, l'unité de longueur est ramenée à la taille d'un pixel. La fréquence spatiale sera la portion angulaire de ciel vue par un pixel, et sera donnée en ''/pixel.
Gain	Le signal électrique de chaque photosite d'un APN peut être amplifié pour améliorer la sensibilité du capteur. Le gain est le facteur d'amplification. Dans la pratique, les constructeurs d'APN ont préféré conserver les échelles de sensibilité de l'argentique. La sensibilité s'exprime en ISO et est linéaire. Un 400 ISO est deux fois plus sensible qu'un 200 ISO.
Grain	Le grain est le plus petit élément reproduit sur une émulsion photographique argentique. C'est la taille du plus petit grain d'argent développé. À ne pas confondre avec le bruit en numérique.
Image maître	Les images de décalage, de noir et de blanc sont faites pendant la séance de prise de vue. Pour avoir par exemple une image suffisamment représentative du bruit thermique, il faut procéder à une moyenne (plus exactement une médiane) de plusieurs vues. Cette vue est appelée image maître.
Interpolation	C'est un ensemble de méthodes mathématiques permettant de calculer des valeurs inconnues dans un intervalle connu. Exemple : pour calculer la valeur d'un pixel inconnu de la couche rouge, dont les pixels adjacents font 100 et 98, il suffit de calculer la moyenne, et d'affecter la valeur 99 à ce pixel inconnu.

Cet exemple est beaucoup plus simple que l'interpolation réelle, qui tient compte des valeurs à des éloignements plus importants, et du type de zone colorée concernée (plage uniforme, dégradé, bord, ligne...).

Siril	C'est le nom d'un logiciel gratuit de traitement d'images astronomiques. Il est performant pour les images du ciel profond, prises avec des caméras CCD, CMOS, des APN ou des webcams. Il possède des fonctions évoluées pour le traitement des images.
Matrice de Bayer	Jeu de filtres colorés positionné juste devant les capteurs numériques des APN. Voir page 4.
Médiane	La médiane remplace avantageusement la moyenne d'une série de chiffres en ne tenant pas compte des valeurs aberrantes. La méthode consiste à classer les différentes valeurs d'un même pixel de plusieurs images dans l'ordre croissant, et de ne garder que la valeur positionnée au milieu de la liste. En astrophotographie, la médiane est utilisée pour fabriquer les images maîtres de décalage, de noir et de blanc.
Mode bulb	Dans un APN, mode qui permet d'exposer le capteur à la lumière tout le temps que le déclencheur est appuyé. S'utilise de préférence avec un déclencheur à distance pour éviter les bougés.
Mode RAW	Dans un APN, mode qui permet d'enregistrer une image sans aucun traitement interne à l'appareil. Dans les autres modes, l'appareil procède à une derawtisation, puis des traitements initiaux plus ou moins sophistiqués comme la balance des couleurs, l'accentuation, la netteté... selon les réglages de l'appareil. Ces traitements internes dénaturent plus ou moins le signal d'origine.
Offset	Terme anglais désignant le signal de décalage. Voir signal de décalage.
Photoscope	Appareil photo numérique de poche, possédant un petit capteur, et dont les possibilités sont peu adaptées à l'astrophotographie du ciel profond.
Photosite	Plus petit élément d'un capteur numérique. C'est sur un photosite que la lumière arrive et est enregistrée grâce à des semi-conducteurs rendus sensibles à la lumière. Les photons arrivant sur un photosite émettent des électrons qui forment le courant électrique qui sera enregistré. Plus le nombre de photosite est grand pour une même surface de capteur, et plus sa résolution théorique sera grande.
Pixel	Le pixel est le plus petit élément d'une image numérique. C'est le résultat de l'exposition des photosites d'un capteur. À ne pas confondre avec un photosite.
Pixel chaud	Les capteurs numériques, qui contiennent plusieurs millions de photosites, ne sont pas parfaits. Certains photosites réagissent différemment des autres à la lumière. Ils se saturent plus ou moins rapidement que les autres. Sur des poses longues, les pixels correspondants apparaissent blancs. Les blancs ne doivent pas être confondus avec une étoile fine ! Ces pixels sont présents dans une image du ciel, mais également dans l'image maître thermique, d'où le nom de pixel chaud. Ils seront facilement repérables dans ce maître, et éliminés de l'image du ciel.

PLU	Voir <i>signal de blanc</i>
Prétraitement	Suite d'opérations logicielles sur les images permettant d'éliminer certains signaux parasites (décalage, noir, blanc, pixels chauds), de produire une image couleur équilibrée, d'additionner plusieurs vues pour en réduire le bruit et améliorer la dynamique. Le rendu de l'objet photographié n'est pas modifié par le prétraitement.
Prism	Logiciel de traitement d'images spécialisé pour les caméras CCD. Sait également traiter les images des webcams et des APN. Performant en photométrie et en astrométrie. Il est également capable de gérer un observatoire complet. Payant.
Rapport signal/bruit	Rapport entre la valeur du signal recherché d'un pixel d'une image à la valeur du bruit de ce même pixel. S'applique également à toute l'image. Le rapport signal/bruit est généralement exprimé en décibels, rapport du logarithme du signal sur le logarithme du bruit. Cette astuce mathématique permet de mieux visualiser les écarts importants qui peuvent exister entre le bruit et le signal utile. Pour qu'une image soit bonne, avec un bruit faible, il faut augmenter le rapport signal/bruit.
Registax	Logiciel de traitement d'image gratuit qui permet un prétraitement en très peu d'opérations. Traite les images CCD, APN et webcam.
Registration	Opération logicielle consistant à mettre en repérage exact plusieurs images par rapport à une image de référence, de façon à pouvoir ensuite les superposer et les additionner le plus parfaitement possible. Les fonctions calculent dans un premier temps les décalages linéaires, de rotation et d'échelle selon le type de registration demandée, puis procèdent aux décalages physiques sur les images.
Rendement quantique	Mesure la quantité d'électrons produits pour 100 photons reçus sur un photosite d'un capteur numérique. Un capteur parfait a un rendement quantique de 100 %. Dans le monde réel, les capteurs des CCD ou CMOS ont un rendement quantique compris entre 40 et 80 % selon la longueur d'onde. Il est possible, avec des photomultiplicateurs, d'obtenir des rendements quantiques supérieurs à 100 %. Ces systèmes sont utilisés par les militaires pour voir la nuit, mais ne sont pas utilisables sur le ciel pour la haute résolution.
Résolution	<p>Taille angulaire du plus petit détail visible par un système optique. La résolution est donnée par la formule suivante :</p> $r = 1,22 \times \lambda / D$ <p>avec r = résolution en radians λ = longueur d'onde observée en mètres D = diamètre de l'objectif en mètres</p> <p>Pour améliorer la résolution, il faut soit diminuer la longueur d'onde observée, soit augmenter le diamètre de l'instrument (ou faire les deux). Ne pas confondre avec l'échantillonnage. La résolution s'applique à un système optique analogique par essence, l'échantillonnage concerne un système numérique.</p>

Sensibilité	La sensibilité d'un capteur (numérique ou analogique comme une émulsion argentique) désigne sa capacité à enregistrer des faibles signaux lumineux. Elle est exprimée en unités ISO (ex ASA). Plus la valeur ISO est grande, plus la surface est sensible à la lumière. Dans les capteurs numériques, l'augmentation de la sensibilité est réalisée grâce à une amplification électronique du signal, ce qui a pour conséquence d'augmenter également le bruit.
Signal de blanc	Voir page 10
Signal de décalage	Voir page 9
Signal de noir	Voir page 9
Signal thermique	Voir <i>Signal de noir</i>
Sous échantillonnage	Défaut consistant à échantillonner trop peu de valeurs d'un signal analogique. Ce dernier est mal reproduit par le signal numérique qui en est issu. En astrophotographie numérique, un sous-échantillonnage donnera moins de détails de la scène photographiée par rapport aux possibilités de l'ensemble capteur/optique.
Sur échantillonnage	Défaut consistant à échantillonner trop de valeurs d'un signal analogique. Ce surplus n'apporte rien au niveau de la qualité, et encombre inutilement la mémoire. Le même détail sera traduit par trop de pixels.
Traitement	Opérations logicielles consistant à extraire d'une image prétraitée des détails invisibles mais présents, de les rendre visibles. Le traitement comprend les fonctions logarithme, DDP, égalisation d'histogramme... les fonctions d'amélioration de la netteté comme le masque flou ou les ondelettes... les fonctions de déconvolution qui améliorent entre autres l'aspect des étoiles (Richardson-Lucy, Vancittert, optimisation d'entropie...).
Trichromie	Procédé d'obtention d'images en couleurs à partir de trois images du même objet prises successivement avec 3 filtres : rouge, vert et bleu. Les trois images sont superposées avec chacune la couleur de son filtre.
Zéro électronique	Voir <i>signal de décalage</i> .