



Défauts et correction des images en astrophotographie



Le capteur

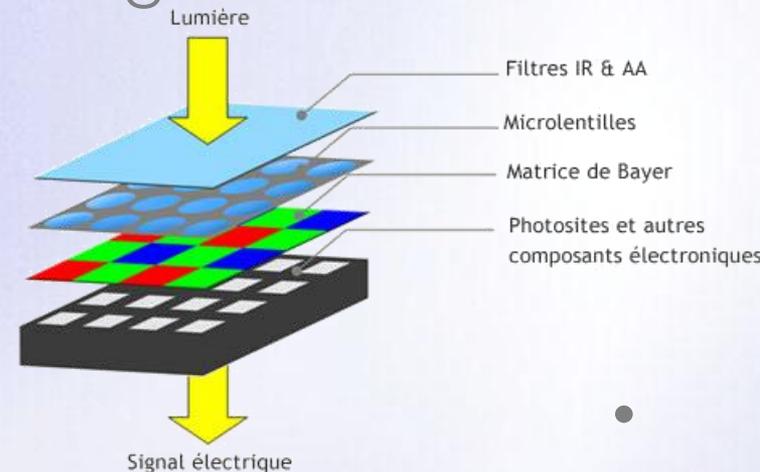
C'est le point commun de tous les appareils de prise de vue utilisés en astrophotographie

- C'est une puce électronique comportant une surface constituée de silicium, sensible à la lumière.
- Cette surface est constituée d'une grille d'éléments microscopiques.
- Chaque élément est une cellule capable de recueillir des photons. C'est un photosite.
- Le silicium n'enregistre que des intensités lumineuses, l'image fournie est en noir et blanc.

Le capteur

Pour récupérer une information en couleur...

- Un filtre, dit de Bayer, est placé sur les photosites de façon à recréer l'ensemble des couleurs visibles par l'œil.
- Chaque photosite est sensible à une seule couleur. Pour un groupement de quatre photosites, un est recouvert de bleu, un de rouge et deux de vert.
- Cette répartition correspond à la sensibilité de notre vision.





Le capteur

Pour récupérer une information en couleur (suite)...

- L'inconvénient du capteur couleur est que la majeure partie des photons incidents est perdue.
- Par ex. tous les photons qui correspondent à de la lumière rouge, bleue, IR, qui arrivent sur un photosite vert, ne sont pas captés.
- De plus le taux de transmission de chaque filtre dans sa propre couleur est inférieur à 100%.
- On montre qu'un capteur couleur recueille environ le 1/4 des photons d'un capteur monochrome.



Le capteur

Remarque sur les capteurs des APN

- Sur les APN, les fabricants mettent un filtre anti IR devant le capteur, bloquant le passage du rayonnement IR. Sans ce filtre, les images auraient une teinte violette désagréable.
- Le filtre limite ainsi la sensibilité des APN au seul spectre visible (visibilité de l'œil humain de jour : de 400 à 650 nm).
- Ceci est un problème pour l'astrophotographie (principalement photos du ciel profond), car il enlève une partie de l'IR et du rouge profond (Ha 656,3 nanomètres).



Le capteur

Caractéristiques des capteurs

- Le nombre de photosites : ce n'est pas le critère le plus important.
- La taille des photosites : plus les photosites ont une grande surface, plus ils accumulent de charges et captent des informations dans les hautes lumières. Ils sont aussi plus sensibles aux faibles quantités de lumière et l'image aura donc plus d'informations dans les basses lumières.
- <https://www.pierro-astro.com/faq/265-quelle-camera-planetaire-choisir>



Le capteur

Caractéristiques des capteurs (suite)

- La technologie : CCD ou CMOS

Moins sensibles, les capteurs CMOS ont cependant fait d'énormes progrès et tendent à s'imposer à cause de leur faible consommation, leur coût moins onéreux.

- Doc Etude Capteurs



L'acquisition d'une image

- Etape 1
 - Un photon *arrive sur un photosite*. Un phénomène photoélectrique se produit.
 - Grâce à l'énergie du photon, un électron d'un des atomes de silicium qui compose le photosite, est expulsé.
 - Les électrons vont s'accumuler dans les photosites.



L'acquisition d'une image

- Etape 2 : lecture et numérisation

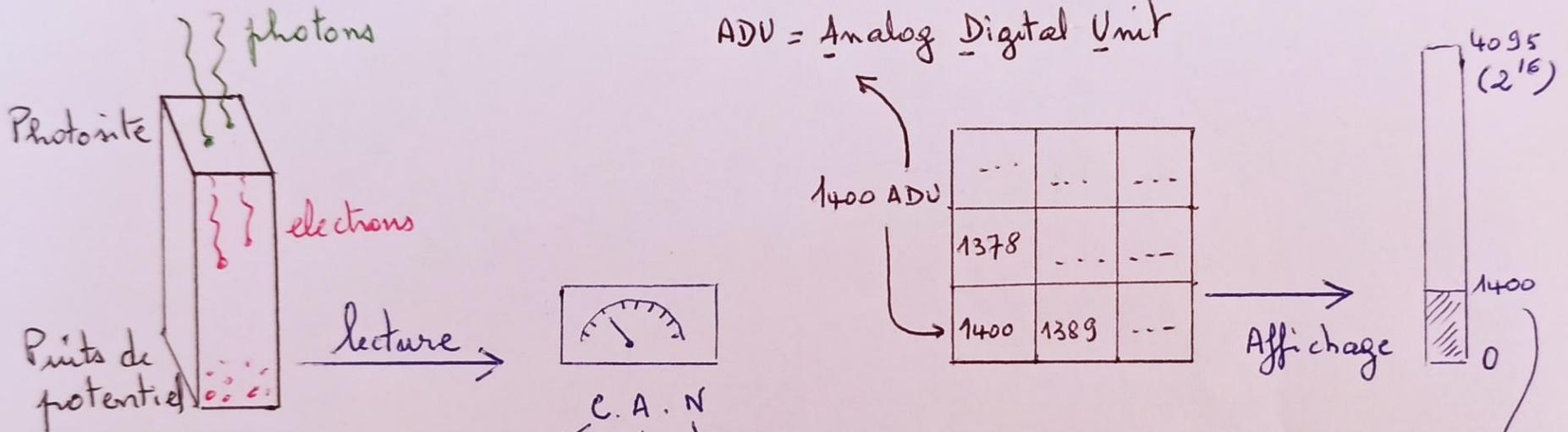
- A l'issue de la pose, le photosite est vidé de son stock d'électrons.
- Une mesure est effectuée et grâce à un composant électronique, cette mesure donne quelque chose interprétable par l'ordinateur : un nombre entier proportionnel au nombre d'électrons captés (numérisation).
- La plage de valeurs possible est fonction du nombre de bits.

8 bits --> nb de 0 à 255 (256 valeurs possibles soit 2^8)

16 bits --> nb de 0 à 65535 (2^{16} valeurs possibles)



L'acquisition d'une image



C.A.N
 Convertisseur / Numérique
 Analogique
 La tension électrique
 est convertie en
valeur numérique

valeur de gris du px.

Les valeurs numériques de chaque photodiode sont enregistrées dans un fichier.



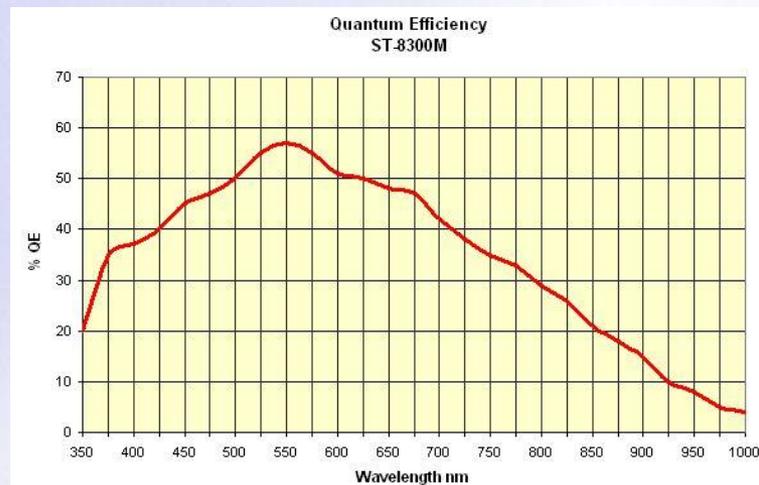
Le rendement quantique

- C'est le rapport entre le nombre d'électrons stockés et le nombre de photons reçus

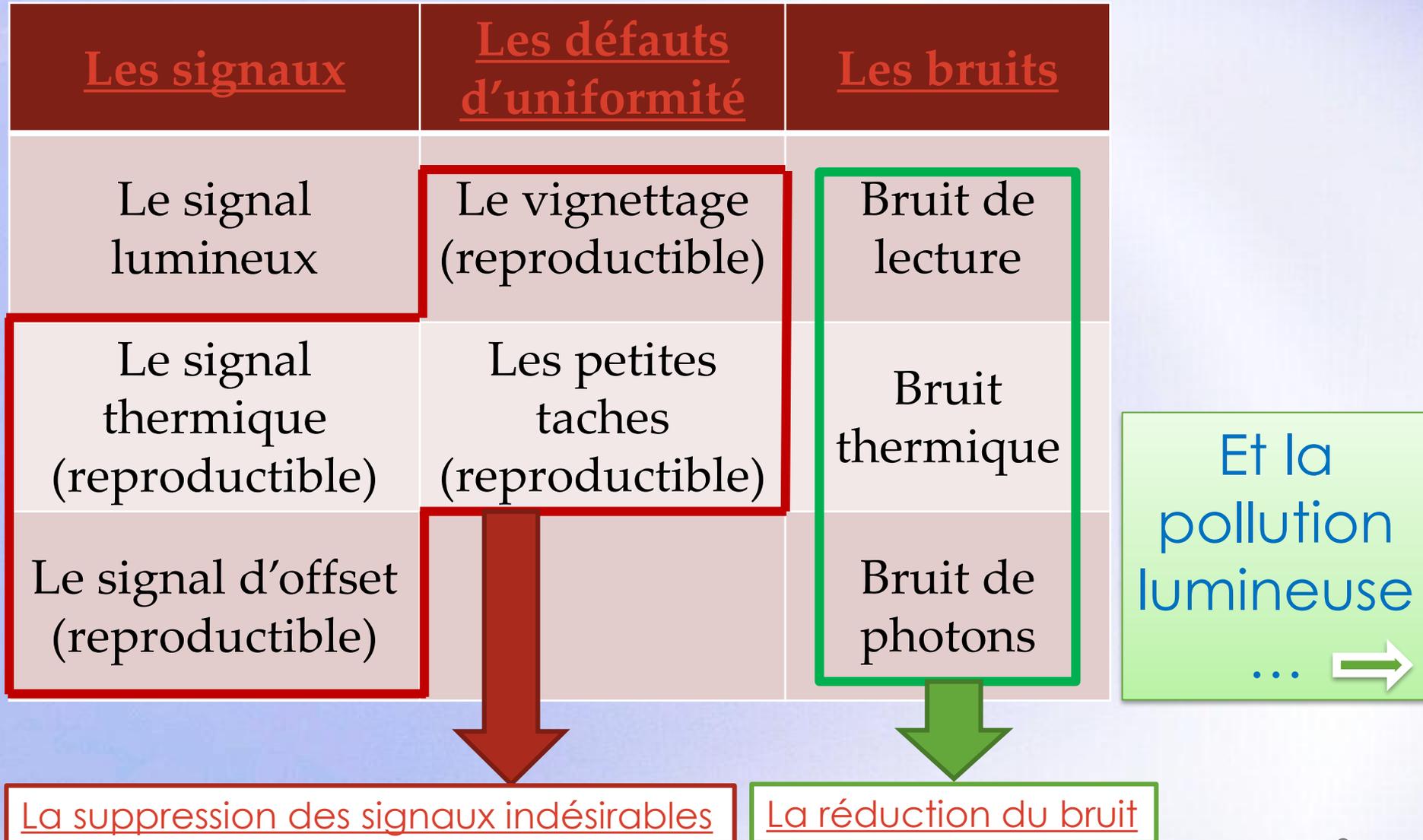
Il devrait être égal à 100% mais ...

- Le capteur n'absorbe pas toute la lumière incidente.
- Entre les photosites se trouvent des zones non sensibles --> photons incidents perdus.
- Les photons de lumière UV pénètrent très peu dans le silicium --> pas d'expulsion d'électrons.
- Courbe indiquant la valeur du rendement quantique moyen en fonction de la longueur d'onde : 51% (R49%, V58%, B45%).

<https://ciel-astro-ccd.com/wp/rendement-quantique/>



Composantes d'une image





Les signaux

- Le signal lumineux provenant du ciel.
- Le signal thermique : à température ambiante, les atomes de la matière sont sujets à une agitation qui provoquent chez certains de ceux qui constituent les photosites, la libération d'électrons, qui s'ajoutent aux précédents.

Chaque photosite se comporte différemment car il y a d'infimes différences de composition chimique. Certains sont même prolifiques en électrons, on les appelle les photosites chauds car ils se comportent comme s'ils étaient à une température supérieure à celle de leurs voisins.



Les signaux

Le signal thermique (suite)

Pour un photosite donné, la quantité d'électrons accumulée est proportionnelle au temps de pose.

Mais un autre facteur intervient ...

C'est la température du capteur.

+ elle est élevée, + les atomes sont agités et libèrent facilement les électrons. C'est une relation exponentielle.

Conséquence : on voit apparaître sur les images, des points lumineux (blancs si capteur N/B, rouges, verts, bleus avec capteur couleur).



Les signaux

- Le signal d'offset

Si le capteur est dans l'obscurité et si les poses sont très courtes (0 s), on pourrait penser que tous les pixels de l'image seront à la valeur 0, puisque aucune lumière n'atteint le capteur et que le signal thermique n'a pas eu le temps de se faire ...

En réalité, les pixels ont une valeur faible, + ou - constante d'un pixel à l'autre.

Le signal contenu dans cette image est dit **Offset** ou **Biais** ou **Bias** ou **Précharge**. Il est présent dans toutes les images brutes issues d'un APN, caméra.





Les défauts d'uniformité

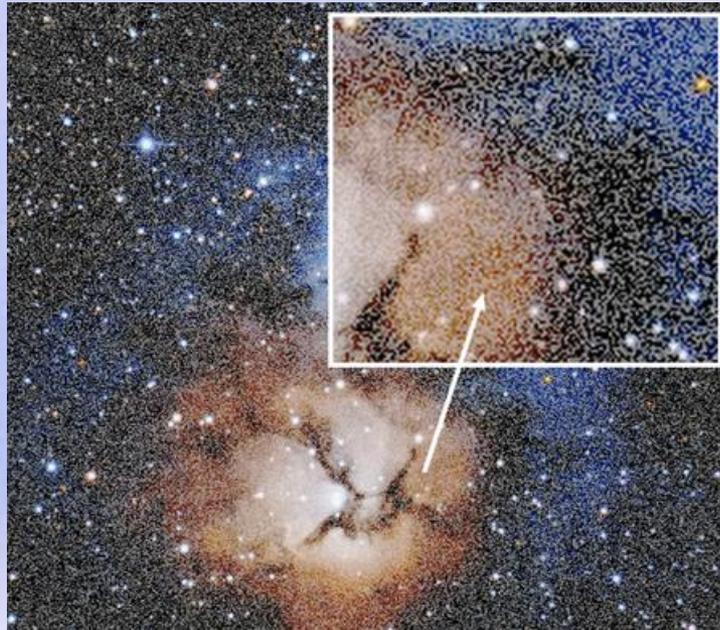
- Le vignettage : il dépend ...
 - de la formule optique,
 - de l'ouverture (rapport F/D – vignettage moins prononcé pour les ouvertures faibles),
 - de la présence de compléments optiques,
 - de la dimension du capteur (+ il est grand, + le vignettage est perceptible).
- Les petites taches : poussières sur le capteur
- par exemple.



Composantes d'une image

Attention ... il ne faut pas confondre Signal et Bruit.

- Le signal est le seul à pouvoir être reproduit à l'identique, il peut donc être soustrait. **A chaque signal est associé un bruit.**
- Le bruit se manifeste sous la forme d'une granulation plus ou moins visible dans l'image. Il est aléatoire et non reproductible. Il peut être réduit mais jamais complètement ôté.





Les bruits

Les sources de bruit

- Les 3 bruits qui constituent le bruit numérique ...
 - Le bruit de lecture : dû à l'électronique de lecture et de numérisation du détecteur numérique. **Constant quelle que soit la durée de la pose** (à même iso).
 - Le bruit thermique, sur les photos à longue pose. Il accompagne le signal thermique. **Il est divisé par 2 tous les 10°.**
 - Le bruit de photons : il est dû à la lumière elle-même. Il est toujours présent et ne dépend que de la quantité de photons reçus. Sa valeur est la racine carrée du signal reçu.
Ex. Signal 4 fois plus élevé --> Bruit 2 fois plus important

L'amplitude du bruit thermique et celle du bruit de photons dépendent de l'intensité du signal : plus il y a de signal, plus il y a de bruit.





La suppression des signaux indésirables

L'objectif est de conserver uniquement le signal de la lumière recueillie.

- Correction du signal thermique : pose dans l'obscurité totale --> DARK puis soustraction de l'image à corriger.
 - Même temps de pose et même température que l'image à corriger.
 - Nombre : une centaine.
- Correction du signal d'Offset : pose dans l'obscurité totale --> OFFSET puis soustraction de l'image à corriger.
 - Temps de pose le plus court possible (ex 1/4000 s), même température que l'image à corriger.
 - Nombre : une centaine.
 - L'utilisation des Biases est de moins en moins nécessaire avec les matériels et logiciels modernes.



La suppression des signaux indésirables

L'objectif est de conserver uniquement le signal de la lumière recueillie.

- Correction des défauts d'uniformité :
reproductibles, donc corrigeables --> PLU ou FLAT
 - Ecran projetant de la lumière blanche, devant l'optique de l'appareil.
 - Même mise au point, même focale, même diaphragme que les images à corriger.
 - Régler le temps de pose pour que l'histogramme présente un pic à 2/3 de l'image.
 - La correction de PLU doit s'effectuer toujours après soustraction du signal thermique, par division.



La suppression des signaux indésirables

Les étapes de la correction

Réalisation de 3 images spécifiques : OFFSET, DARK, PLU

	Signal d'Offset	Signal thermique	Défauts d'uniformité
Image d'Offset	X		
Image Dark	X	X	
Image PLU	X		X
Image Brute	X	X	X

On trouve différentes formules ... en voici une :

$$\text{Image prétraitée} = \frac{\text{Image BRUTE} - \text{Image DARK}}{\text{Image PLU} - \text{Image OFFSET}}$$

Rq : Le signal d'offset est présent dans toutes les images. Il est éliminé des images brutes lors de la soustraction de l'image Dark puisque celle-ci le contient aussi.



La réduction du bruit

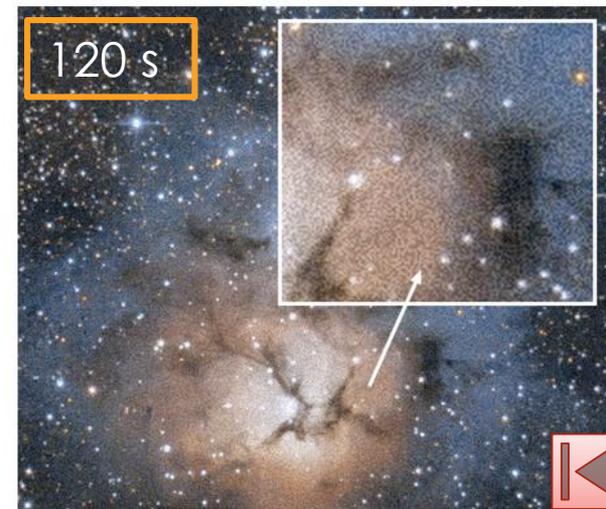
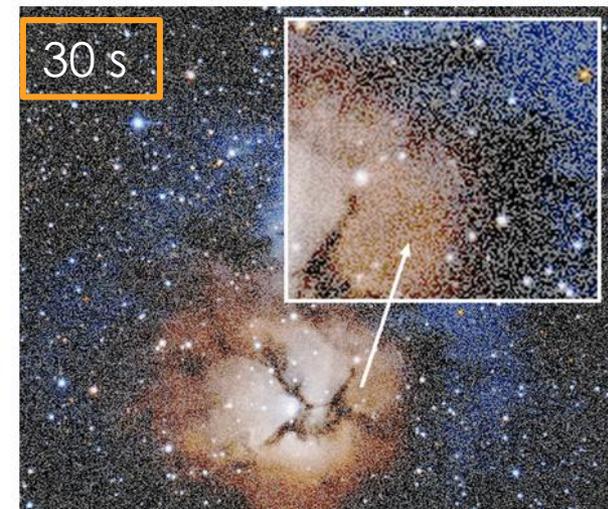
Ce qui importe dans une image, c'est le niveau de bruit rapporté au niveau de signal : c'est le rapport S/B ou S/N qui varie comme la

$$\text{racine carrée du signal } \left(\frac{S}{\sqrt{S}} = \frac{S \cdot \sqrt{S}}{\sqrt{S} \cdot \sqrt{S}} = \sqrt{S} \right)$$

- Ce rapport s'améliore si la quantité de lumière recueillie croît. Donc plus la pose est longue plus le rapport S/N s'améliore.

S/N est multiplié par 2 si le temps de pose est multiplié par 4

Mais le gain finit par plafonner ...





La pollution lumineuse

- Elle apporte un **signal de photons indésirable**.
- On ne peut distinguer ces photons des autres.
- On peut soustraire ce signal (filtres) mais **le bruit associé reste** présent.

- A temps de pose égal, elle réduit le rapport S/N.
- Plus le signal est faible, plus la pollution lumineuse a une influence sur le rapport S/N.

Donc concrètement,

- Faire plus de poses en diminuant le temps de pose unitaire.
- Utiliser des filtres.
- ○ Trouver un lieu moins pollué.



La pollution lumineuse

Exemple

Ex :

- Signal objet : 1000 photons
- Signal pollution lumineuse : 2000 photons
- Bruit = $\sqrt{\textit{photons}} = \sqrt{1000 + 2000} = \sqrt{3000} \sim 55$
- $S/N = \frac{\textit{signal utile}}{\textit{bruit}} = \frac{1000}{55} \sim 18$
- (*alors que sans pollution lumineuse, $S/N \sim 32$*)

- Si on pose 3 fois plus longtemps par exemple :
- Signal objet : $3 \times 1000 = 3000$ photons
- Signal pollution lumineuse : $3 \times 2000 = 6000$ photons
- Bruit = $\sqrt{\textit{photons}} = \sqrt{3000 + 6000} = \sqrt{9000} \sim 95$
- $S/N = \frac{\textit{signal utile}}{\textit{bruit}} = \frac{3000}{95} \sim 32$



Conclusion

Signal	Bruit associé	Image pour mesurer
Signal de Bias	Bruit de lecture	Bias (ou Offset)
Signal thermique	Bruit thermique	Dark
Signal Pollution Lum.	Bruit de photons	Light
Signal de l'objet	Bruit de photons	Light

Additionner signaux et bruits :

- Somme des signaux : somme classique
- Somme des bruits :

Bruit total =

$$\sqrt{\text{Bruit thermique}^2 + \text{Bruit photons } PL^2 + \text{Bruit photons objet}^2 + \text{Bruit lecture}^2}$$

- *Rapport S/N* : $\frac{\text{Signal utile}}{\text{Bruit total}}$ (unité : nb e⁻)



Conclusion

Exemple

	Signal (nb e ⁻)	Bruit (nb e ⁻)
Signal de Bias	64	<i>Bruit de lecture</i>
Signal thermique	20	$\sqrt{20} \sim 4,5$
Signal Pollution Lum.	300	$\sqrt{300} \sim 17,3$
Signal de l'objet	200	$\sqrt{200} \sim 14,1$
Bruit de lecture		15

Additionner signaux et bruits :

- Somme des signaux : somme classique = 584
- Somme des bruits :

$$\text{Bruit total} = \sqrt{4,5^2 + 17,3^2 + 14,1^2 + 15^2} \sim 27,3$$

$$\text{Rapport S/N} : \frac{200}{27,3} \sim 7,3$$



Sources

- Cours « Introduction aux détecteurs et au traitement d'image » par P. Baudoz (DU ECU observatoire de Paris).
- Livre « L'astrophotographie » de T. Legault. Chapitre 3.
- <https://astromb.eu/maitriser-le-rapport-signal-sur-bruit-en-astrophotographie/>
- <https://sahavre.fr/wp/bruit-part-1/>
- <https://ciel-astro-ccd.com/wp/rendement-quantique/>
- https://ciel-astro-ccd.com/wp/acquisition_images_pretraitement/
- <https://media4.obspm.fr/traitement-donnees/>



Merci pour votre attention !

- Retrouver le document au format pdf en bas de la page « Astrophotographie » de notre site <https://www.helios-astronomie.com/>

HELIOS-ASTRONOMIE
Une fenêtre sur les étoiles, en Minervois !

Accueil | L'association | Actualités | Festival | Astro-Junior | **Astrophotographie** | Galerie Photos | Ressources

Quelques tutoriels pour débuter la photographie du ciel

Débuter la photographie du ciel avec un APN et trépied

- Que photographier
- Le matériel et les différents réglages
- Comment procéder

Télécharger le [PDF](#)

Réaliser une circumpolaire

- Préparer la soirée
- Le matériel
- Les différents réglages

Télécharger le [PDF](#)

Le logiciel Séquator