

# Les moyens de prise de vue et leurs limitations

Ref: Astrophotographie de T.LEGAUX

Le guide pratique de l'astronomie CCD de  
P.MARTINEZ et A. KLOTZ

Photographier le ciel en numérique de P.LECUREUIL

+ beaucoup de perso

+ un peu d'internet

# Objectif de cet exposé

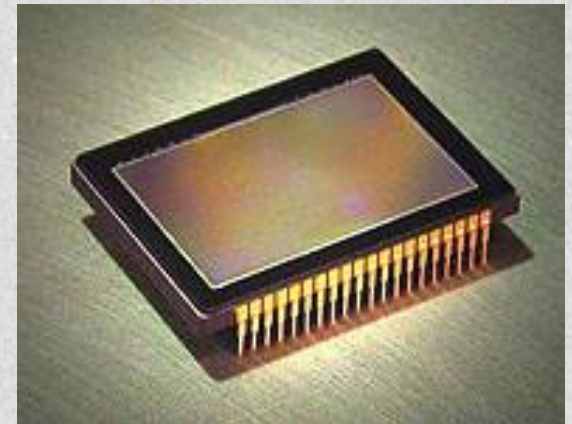
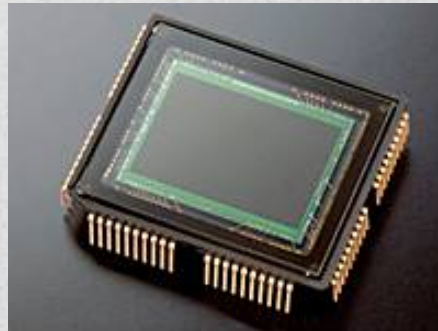
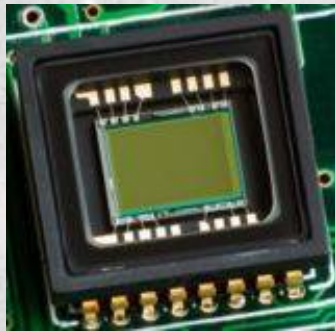
- Mieux comprendre ce que sont les différents systèmes de prise de vue.
- Comment ça marche ?
- Quelles sont leurs caractéristiques importantes ( être capable de lire et comprendre leurs caractéristiques et donc de les choisir )
- Quelles sont leurs différents domaines d'application



# Les capteurs numériques

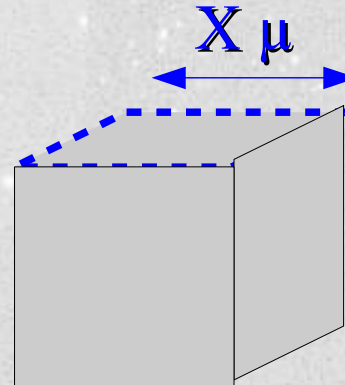
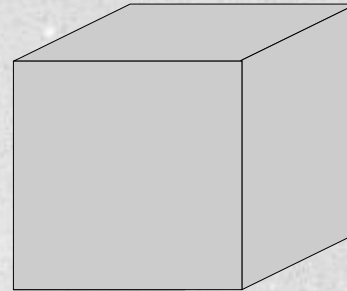
## Généralités sur la structure

Le capteur est un composant électronique que l'on retrouve dans les WEBCAM les APN ou les Caméras CCD



# L'élément de base de tout capteur: Le Photosite

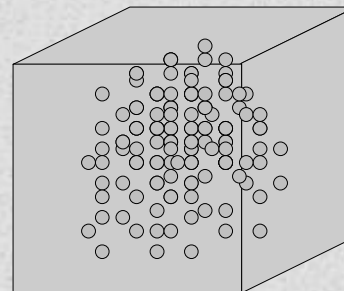
## Un Photosite



Caractérisé par une dimension exprimée en Microns (en général carré)

De ~3 à 30 microns

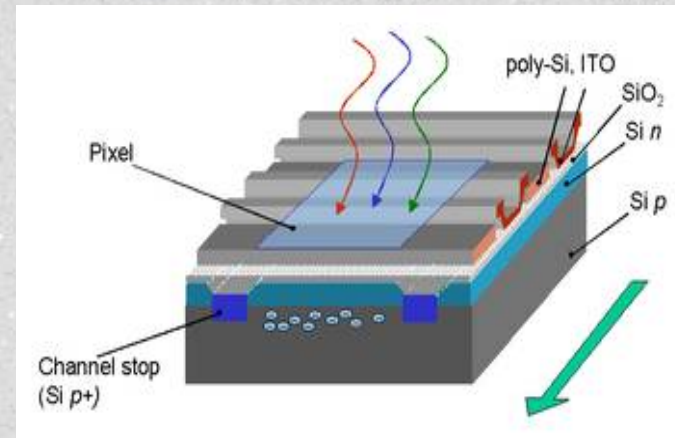
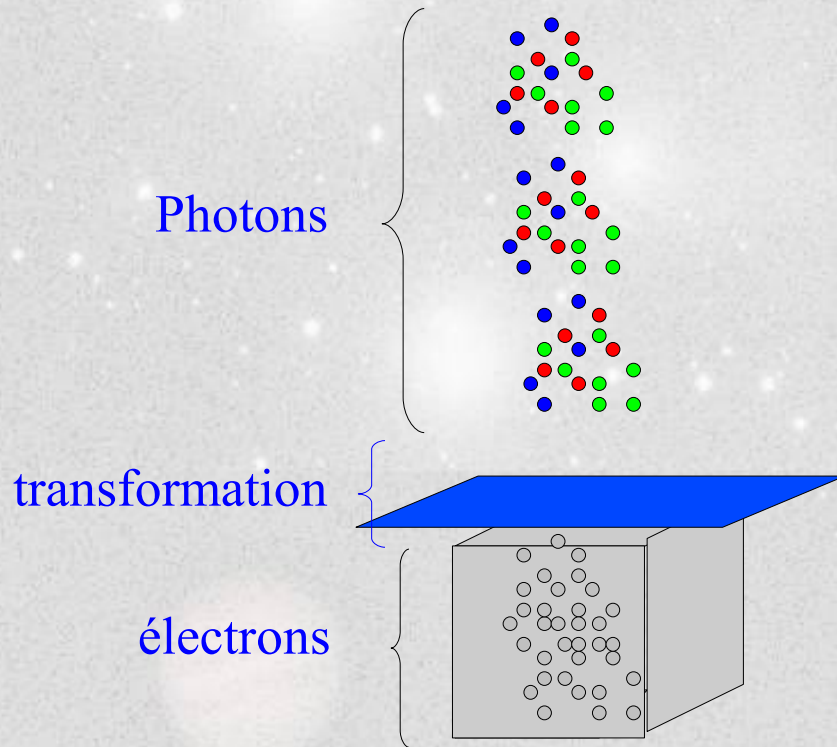
Caractérisé par une capacité maximale en nombre d'électrons  
Au delà il y aura débordement appelé blooming



De 256 à 65000 électrons



# Photosite monochrome

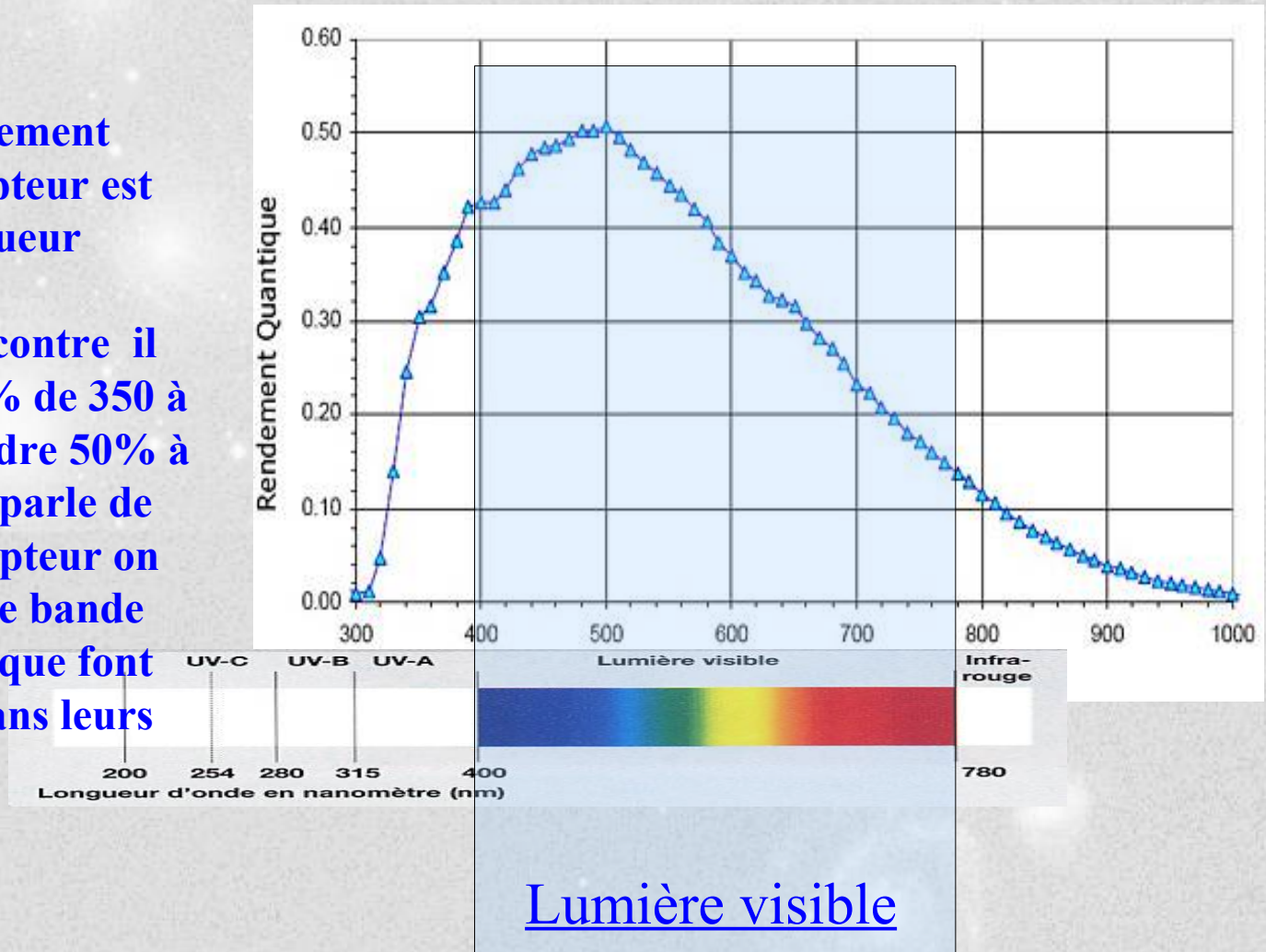


Le rapport entre Le nombre de photons capturés et transformés en électrons , et le nombre réel de photons , est appelé le rendement quantique du capteur il est fonction du type de capteur ( en général de 50 à 80%)

# Rendement quantique d'un capteur

Comme on peut le remarquer le rendement quantique d'un capteur est fonction de la longueur d'onde.

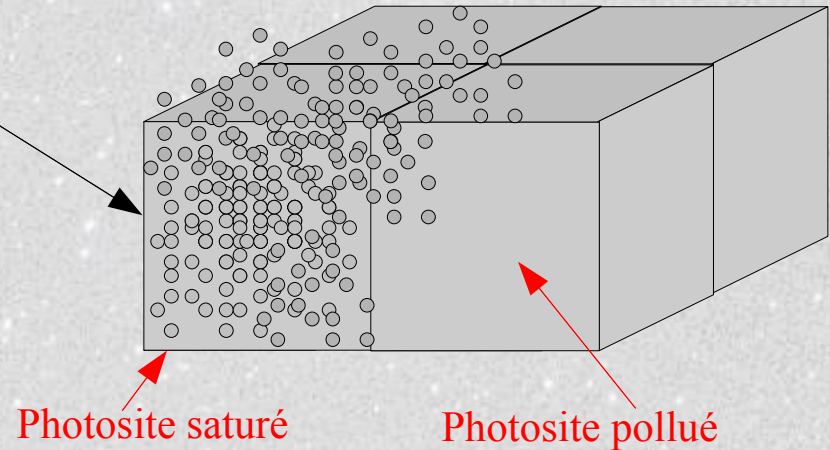
Dans l'exemple ci-contre il est supérieur à 25% de 350 à 700nm pour atteindre 50% à 500nm ( quand on parle de rendement d'un capteur on doit l'associer à une bande spectrale), c'est ce que font les fournisseurs dans leurs documentations



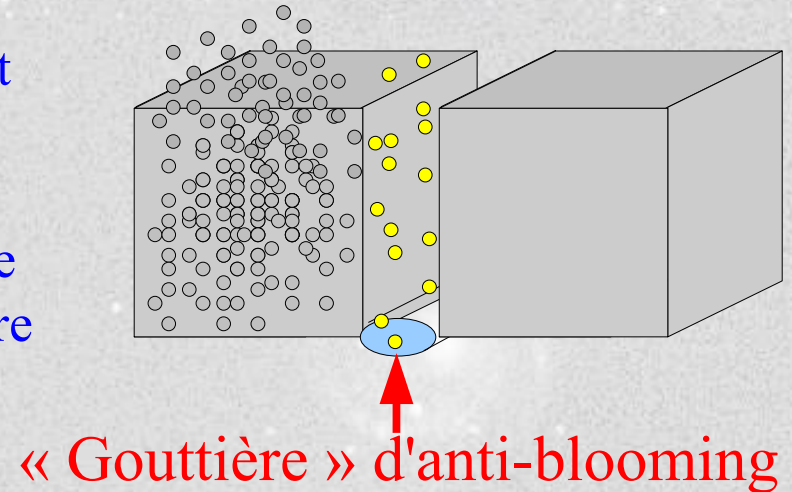


# Le Blooming

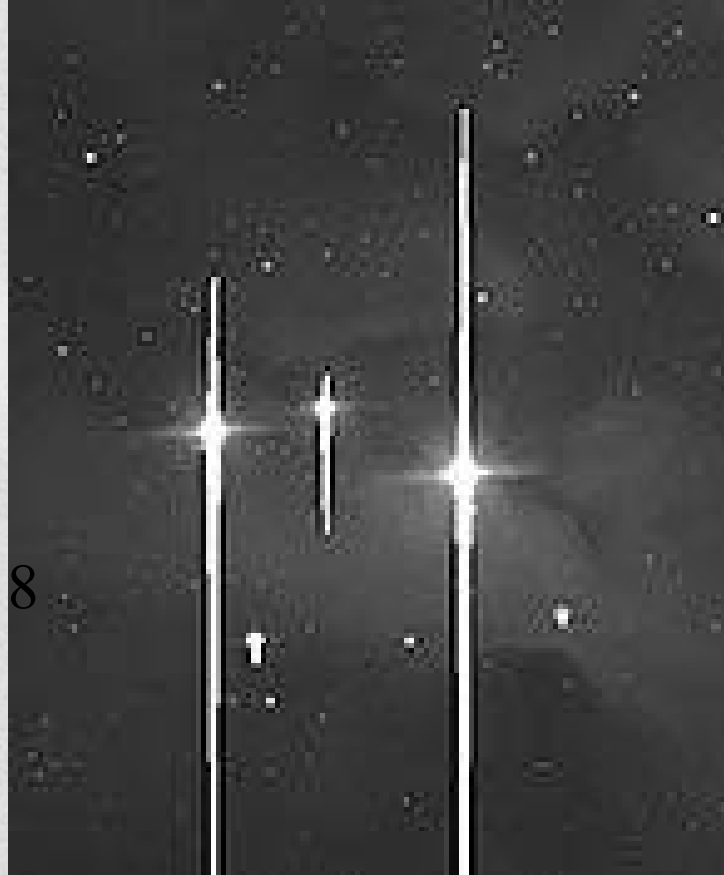
Si nous raisonnons sur ce photosite le « blooming » est d'abord le signe qu'il est saturé et il va « déborder » vers les photosites adjacents et les « polluer » d'électrons qui ne sont pas les leurs.



L'antiblooming ( noté ABG dans la plupart des docs ou NABG s'il n'y a pas d'Antiblooming) est un dispositif qui permet ( dans une certaine mesure) d'évacuer le « trop plein » d'électrons ( colorés en jaune pour la compréhension) avant qu'il ne pollue ses voisins, c'est un peu comme une gouttière qui récupère et évacue les électrons vers l'extérieur



# Exemple de Blooming

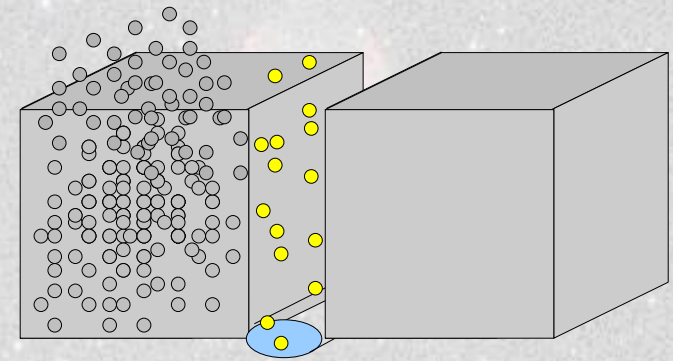




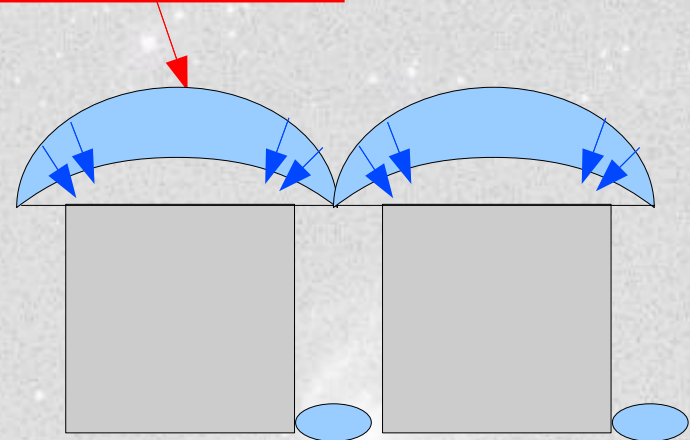
# Avantages et inconvénients de l'antiblooming

Le système d'évacuation du trop plein d'électrons nécessite d'ajouter de l'électronique qui prend une place supplémentaire, les photosites sont un peu plus éloignés les uns des autres et on perd en sensibilité, à ne pas utiliser en photométrie

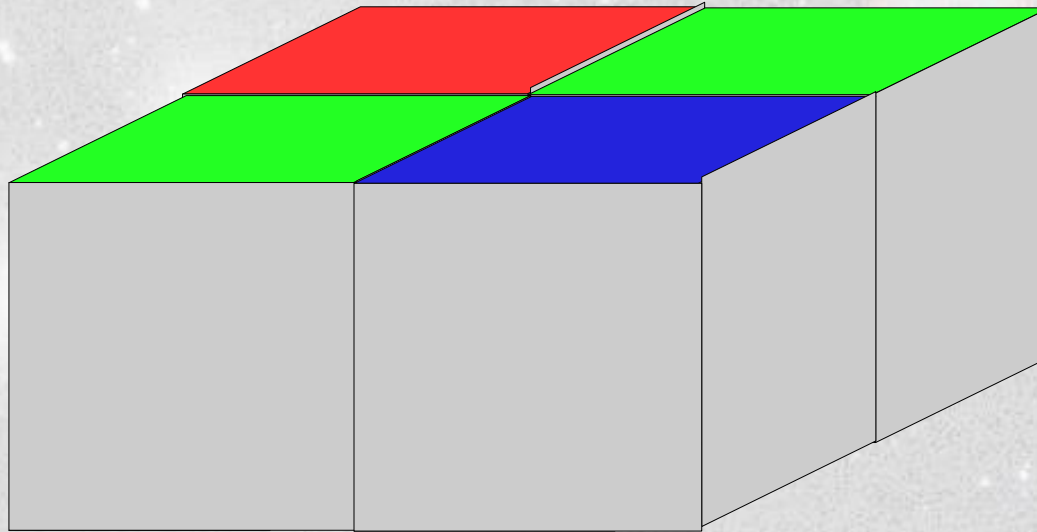
Pour limiter la perte en sensibilité on utilise des micro-lentilles qui dévient les électrons pour les diriger vers la surface photosensible et ainsi limiter la perte de surface et de photons



Micro lentille



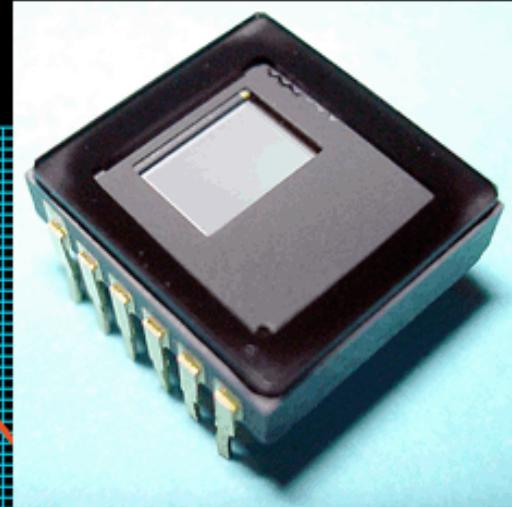
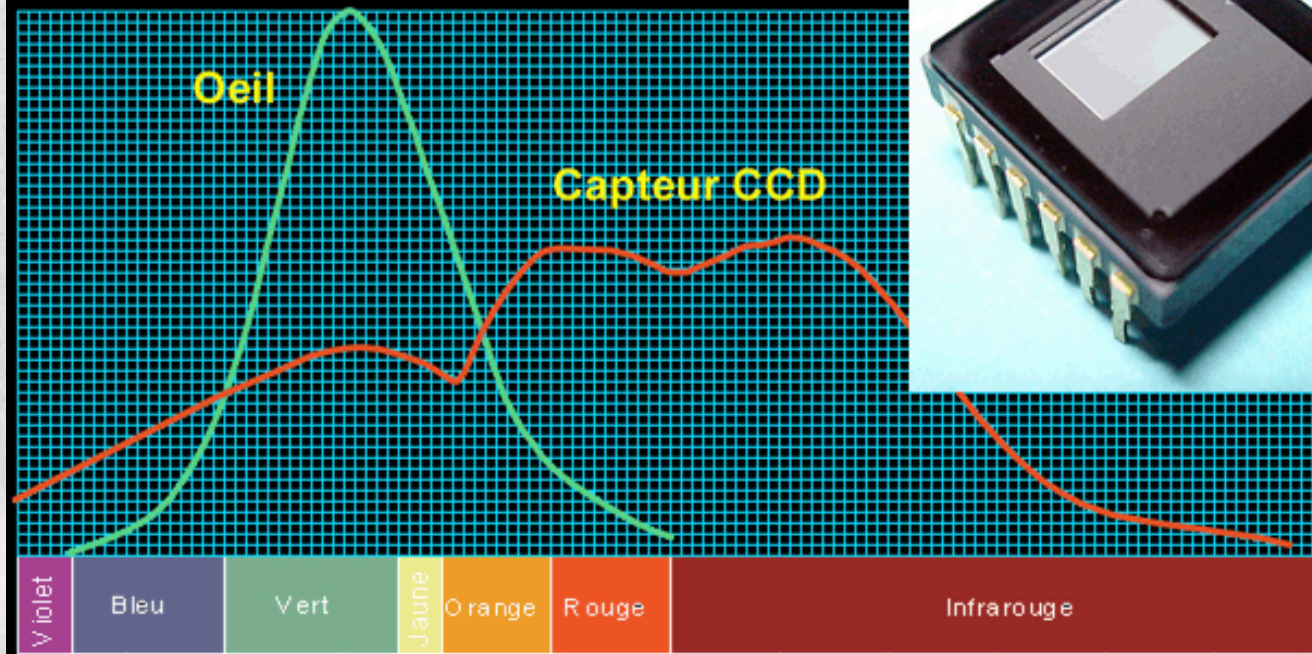
# Le capteur couleur



Le capteur couleur est composé de photosites monochromes sur lesquels on a ajouté des filtres RVB. La composition la plus utilisée est la matrice dite « de Bayer ». Chaque filtre ne laisse passer que la bande spectrale du filtre. Les pixels vert sont représentés en plus grand nombre, car l'œil humain est plus sensible au spectre du vert.

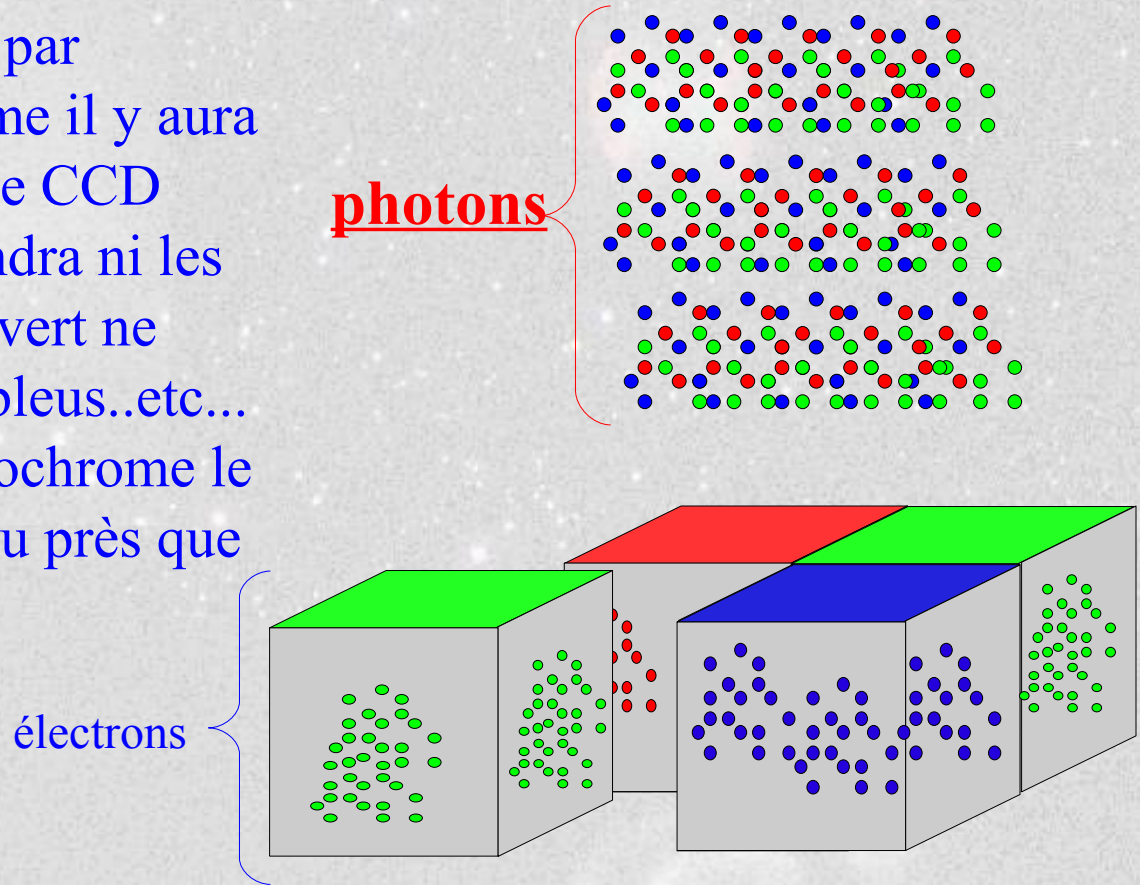


## Sensibilité spectrale de l'oeil humain, comparée au rendement d'un capteur CCD



# Le capteur couleur

On comprend facilement que par rapport à un CCD monochrome il y aura perte puisque , par exemple, le CCD muni d'un filtre rouge ne prendra ni les bleus , ni les verts., le CCD vert ne prendra ni les rouges , ni les bleus..etc... Par rapport à un capteur monochrome le capteur couleur ne reçoit à peu près que le quart de l'information!!



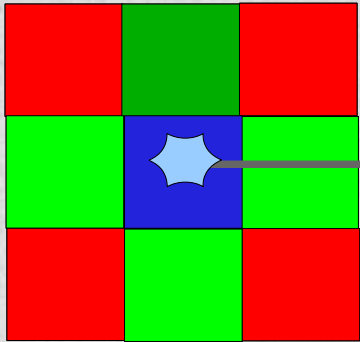


# La recomposition des couleurs

Pour recomposer les couleurs avec un APN et que chaque photo site soit transformé en un pixel couleur, une recomposition sera faite à partir de la moyenne des pixels adjacents.

Prenons en exemple le pixel bleu central, L'image finale sera une recomposition basée sur une interpolation des pixels adjacents rouges et verts

200	50	220
60	100	62
196	58	198



Couleur du pixel central =

Composante Bleue=100

Composante rouge= moyenne des rouges adjacents

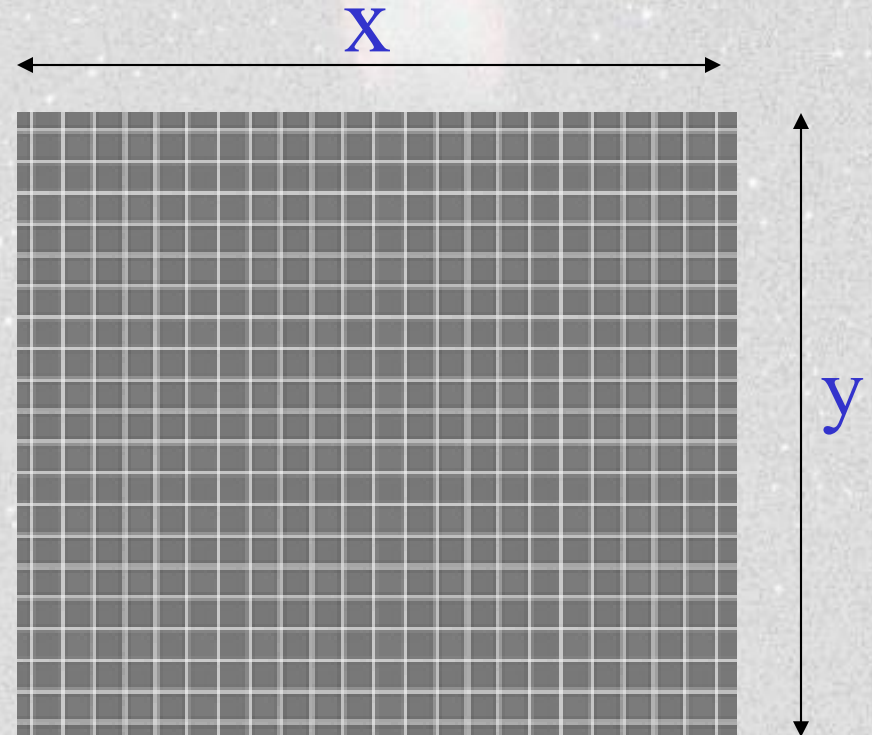
$$(200+220+196+198)/4$$

Composante verte= moyenne des verts adjacents

$$(60+50+58+62)/4$$

# Le capteur

Le capteur est constitué de  $X$  fois  $Y$  photosites (aussi appelés pixels) organisés en matrice, en monochrome ou en N&B, c'est ce qui détermine la taille du capteur ou encore la résolution





# Taille et forme des photosites et qualité des capteurs

Comme on l'a vu plus haut, La taille des photosites varie aujourd'hui à peu près entre 4 et 30 $\mu$

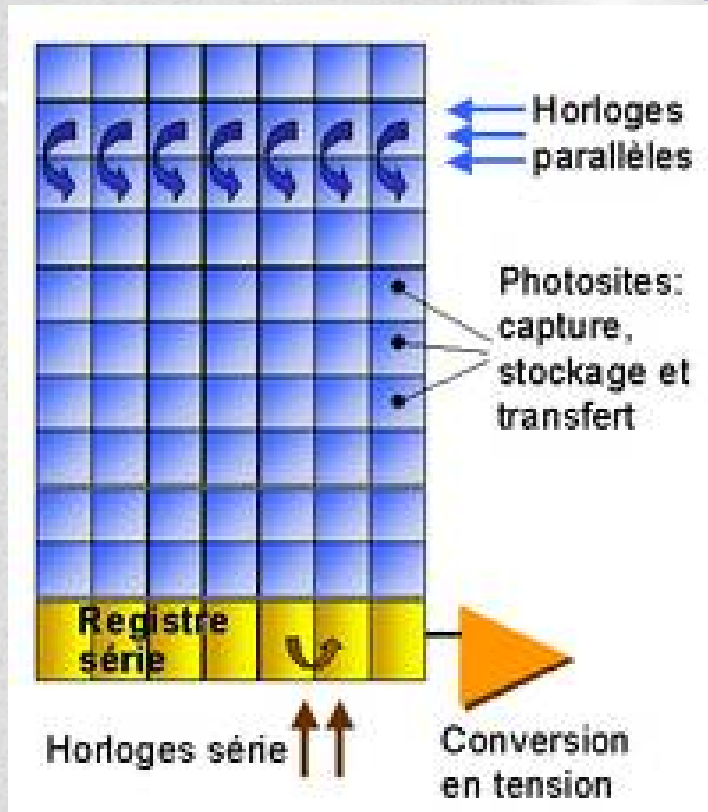
les photosites peuvent être rectangulaires ou carrés. Le fait qu'ils soient rectangulaires peut provoquer une déformation de l'image récupérable au traitement.

Le prix est lié à la taille de l'assemblage des photosites (donc à la résolution du capteur). Les tranches de silicium d'où sont extraits les photosites contiennent des défauts, plus la taille des capteurs est grande plus les rejets sont importants, donc à qualité égale, plus les prix montent.

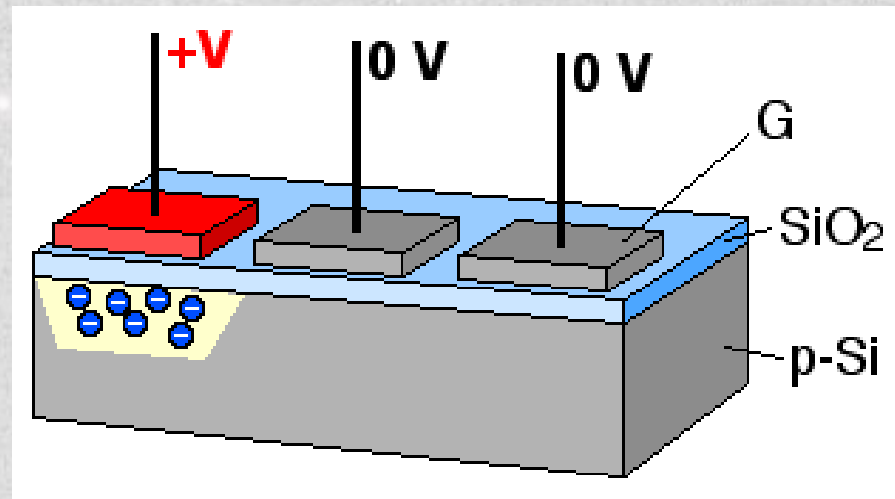
On voit apparaître des classes sur certains capteurs (classe 0, classe 1 et classe 2), la classe 0 n'a pas de défauts, la classe 1 garantit moins de défauts que la classe 2, mais la classe 2 est suffisante pour la photo astronomique, les traitements permettent d'éliminer la plupart des défauts, s'ils sont visibles, et les capteurs sont nettement moins chers!!!

# Les CCD Comment ça marche?

CCD=Charge Coupled Device  
( Dispositif à transfert de charges)

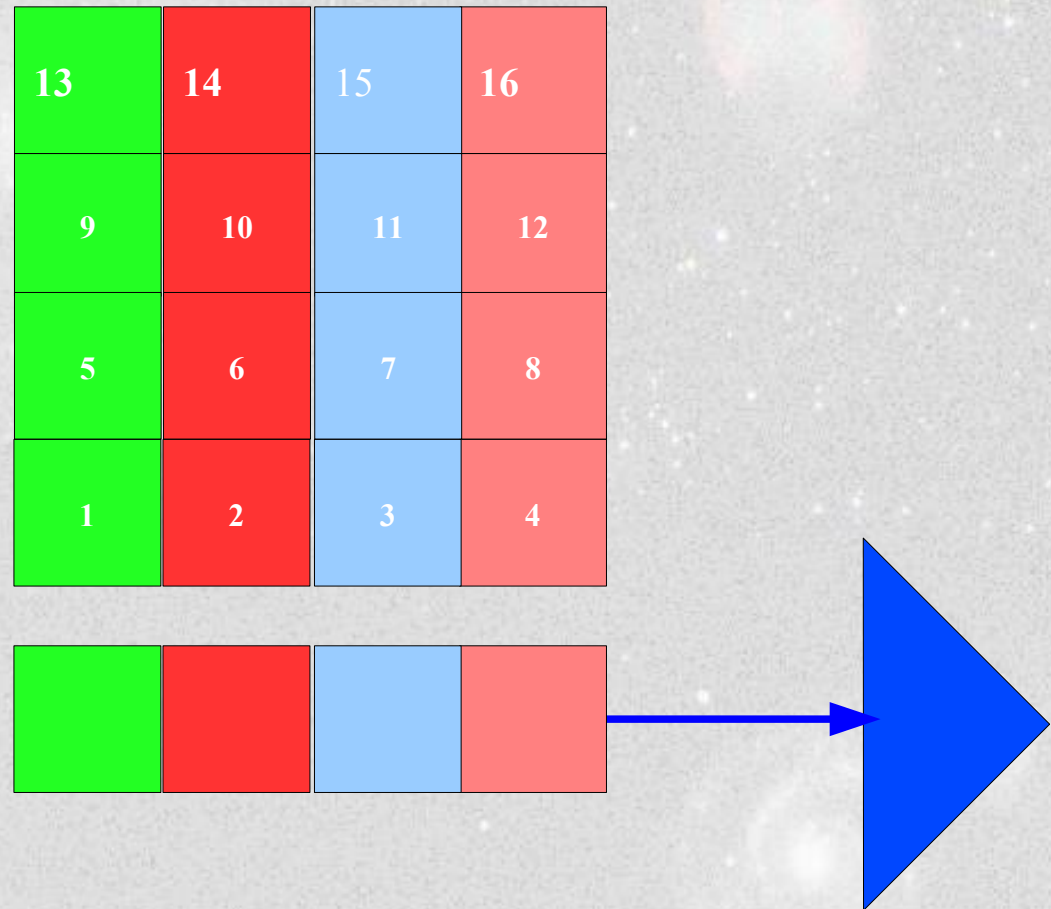


Détail d 'un photosite





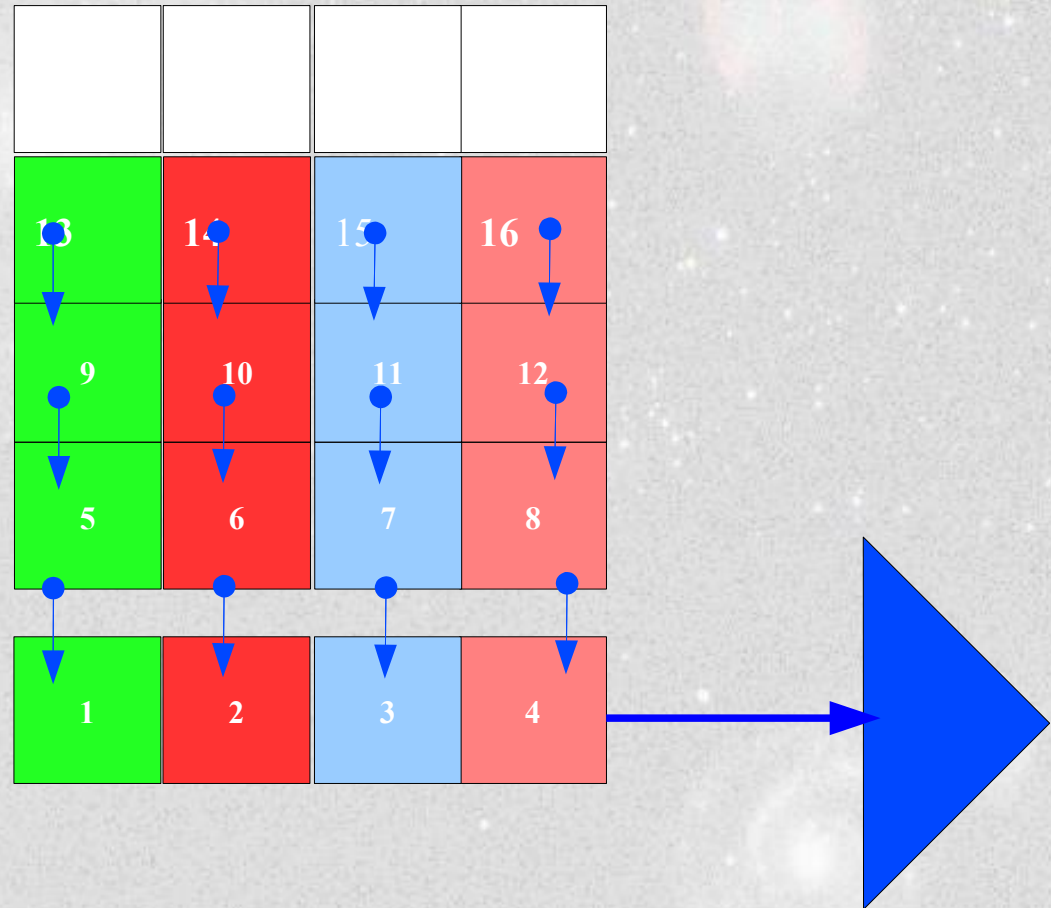
## Comment récupère-t-on les electrons dans un CCD



# Comment récupère-t-on les electrons dans un CCD

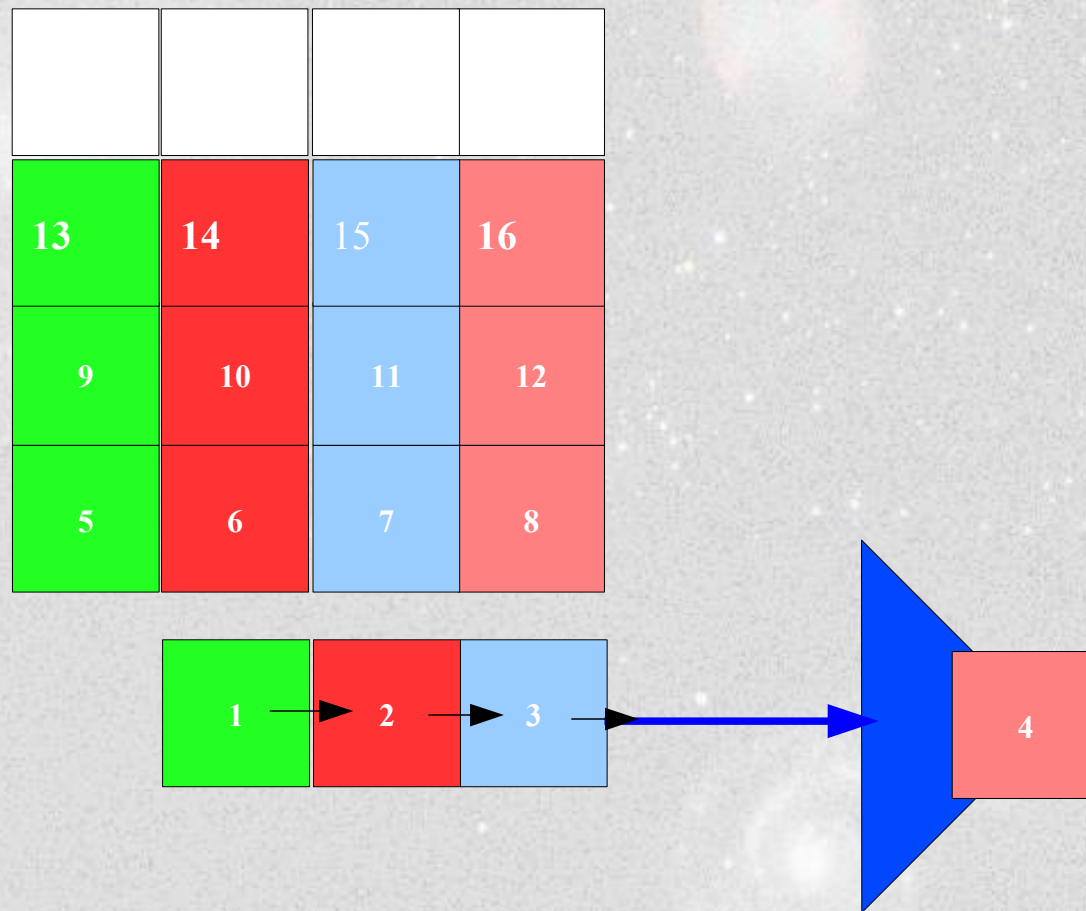
Décalage des  
suivantes de une ligne

Transfert de la  
première ligne dans le  
registre de lecture



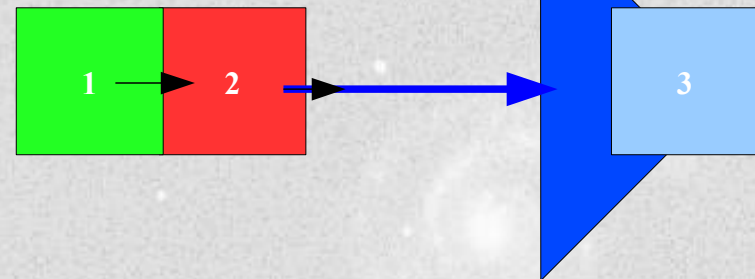


## Comment récupère-t-on les electrons dans un CCD



# Comment récupère-t-on les electrons dans un CCD

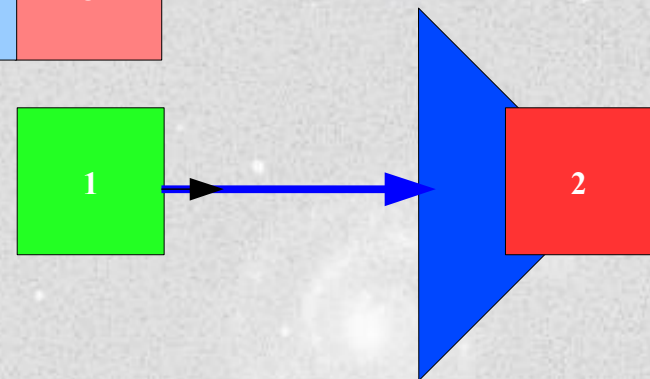
13	14	15	16
9	10	11	12
5	6	7	8



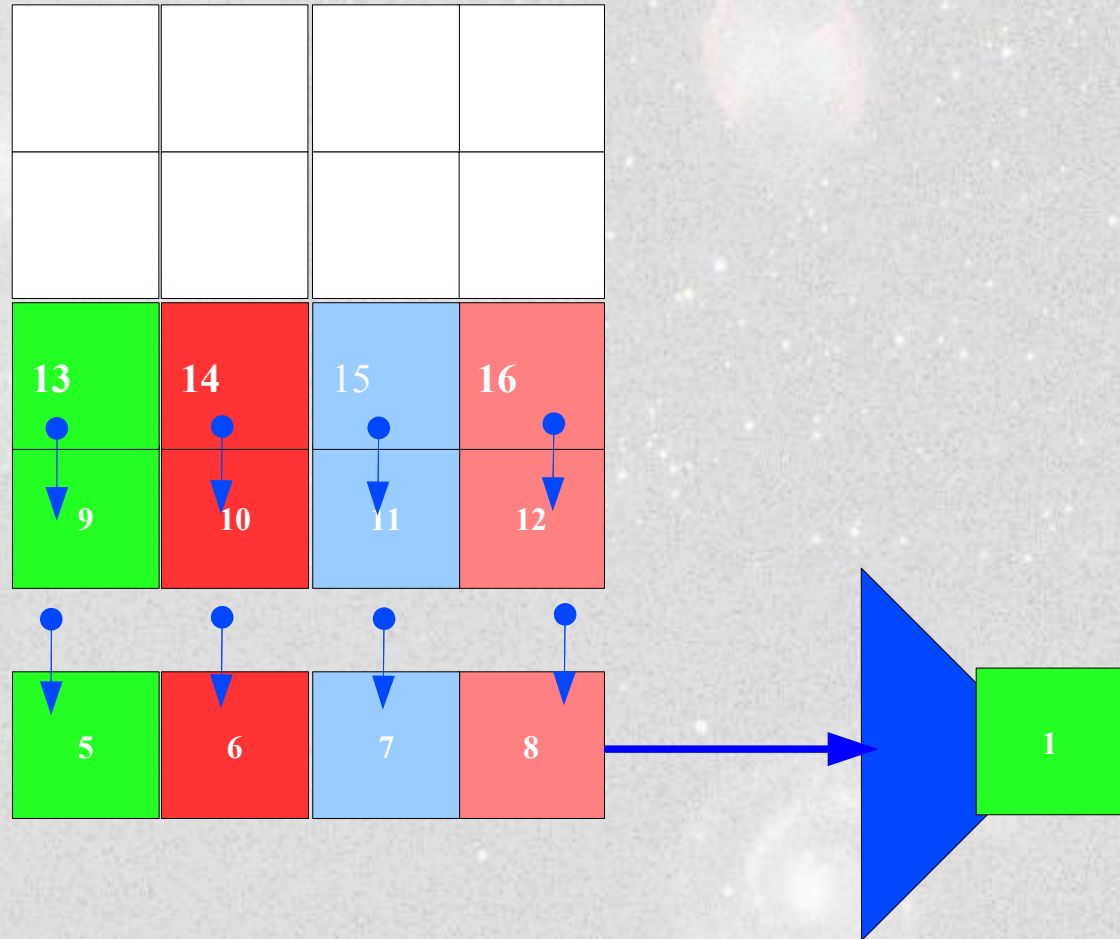


## Comment récupère-t-on les electrons dans un CCD

13	14	15	16
9	10	11	12
5	6	7	8



## Comment récupère-t-on les electrons dans un CCD

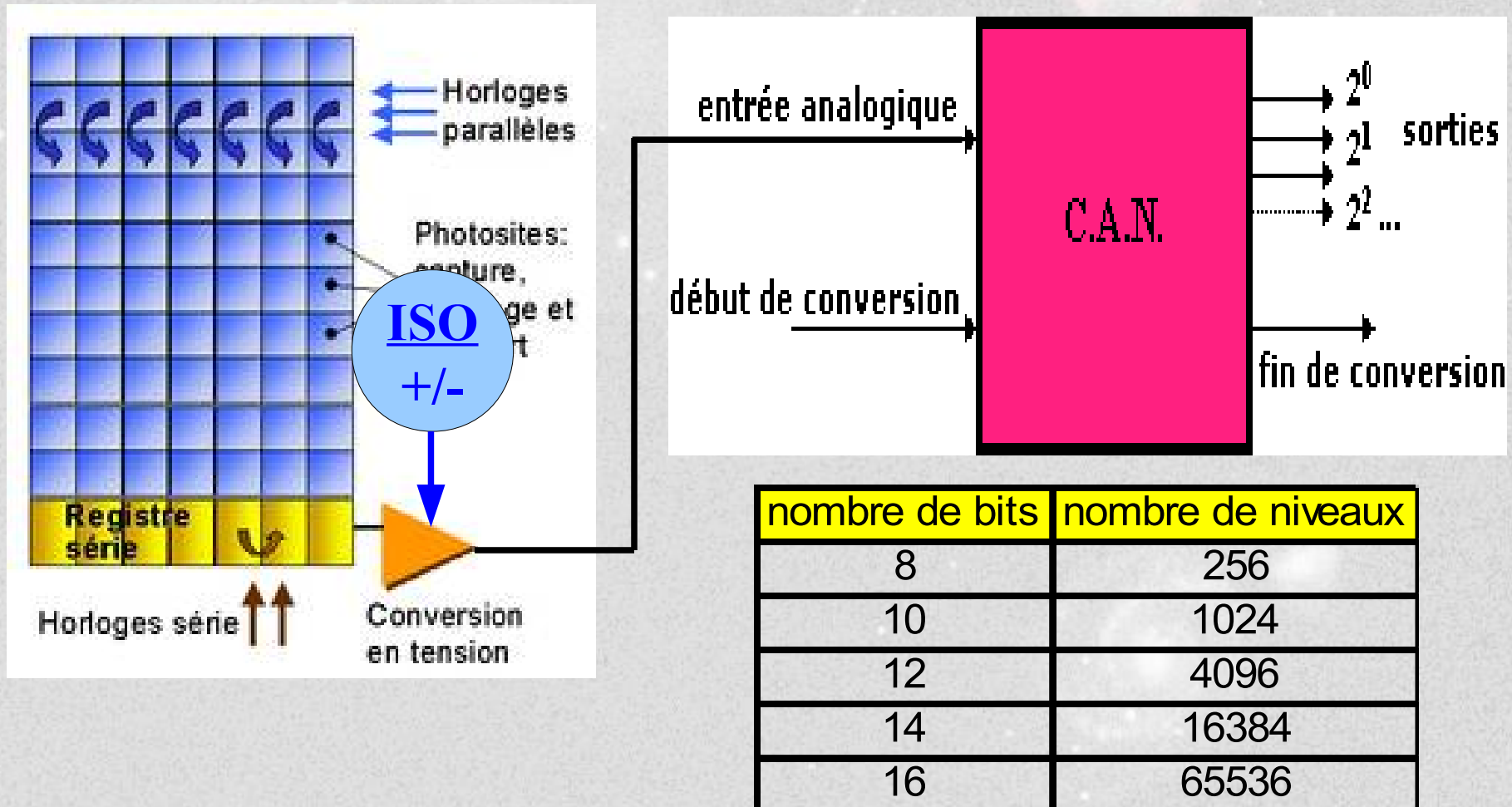


Transfert de la  
seconde ligne dans le  
registre de lecture et  
ainsi de suite



# La transformation et la lecture de l'information

Conversion des électrons en tension et de la tension en un signal numérique  
à l'aide d'un convertisseur analogique numérique



# Réglages de sensibilité (ISO)

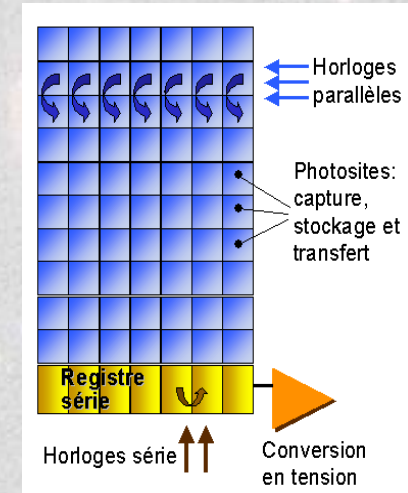
Comme on vient de le voir on ne peut pas jouer sur la « sensibilité » du photosite, il reçoit les photons en fonction de son rendement quantique

Quand on fait varier la valeur de sensibilité d'un APN on amplifie le signal d'entrée du convertisseur analogique/numérique rien de plus et donc on amplifie tout y compris le bruit (il faut trouver le meilleur compromis qui se situe souvent entre ISO 400 et ISO 800)

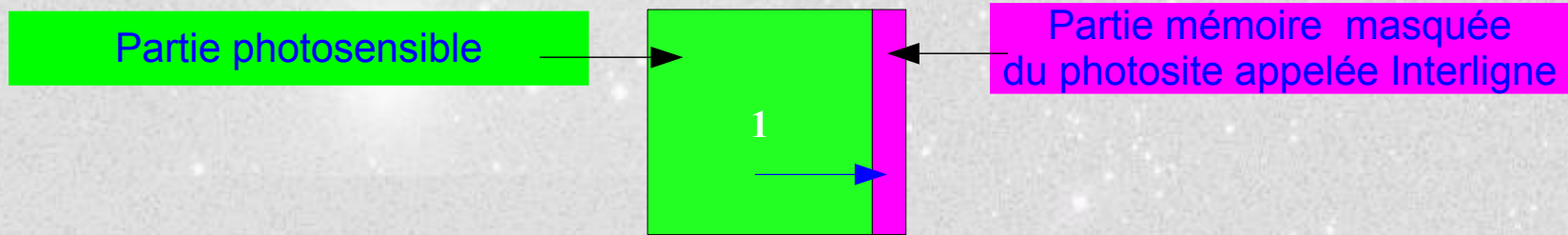


# Les grandes familles de capteurs CCD

- Le capteur dont le fonctionnement vient d'être décrit est appelé « pleine trame » ou « full frame », ce type de capteur nécessite un obturateur pour éviter de continuer à éclairer les photosites pendant le décalage lié à la lecture ( qui peut-être assez long sur les grands capteurs CCD) Kodak utilise le suffixe F ( Full Frame) pour ce type de capteurs: KAF 1603 par ex.
- S'il n'y a pas d'obturateur et que le temps de lecture est long, le défaut provoqué s'appelle le smearing (traînée).

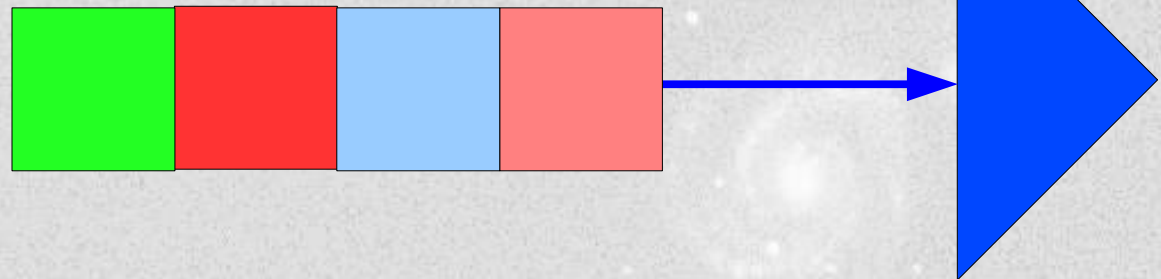
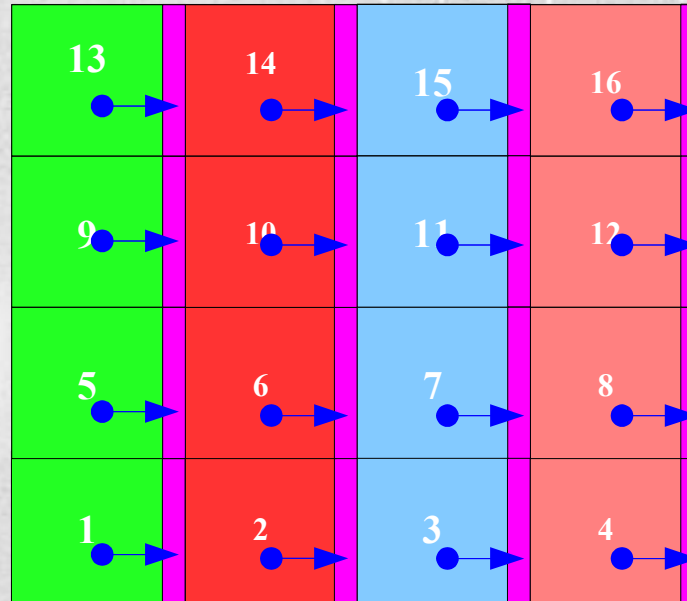


# Capteur interligne principe



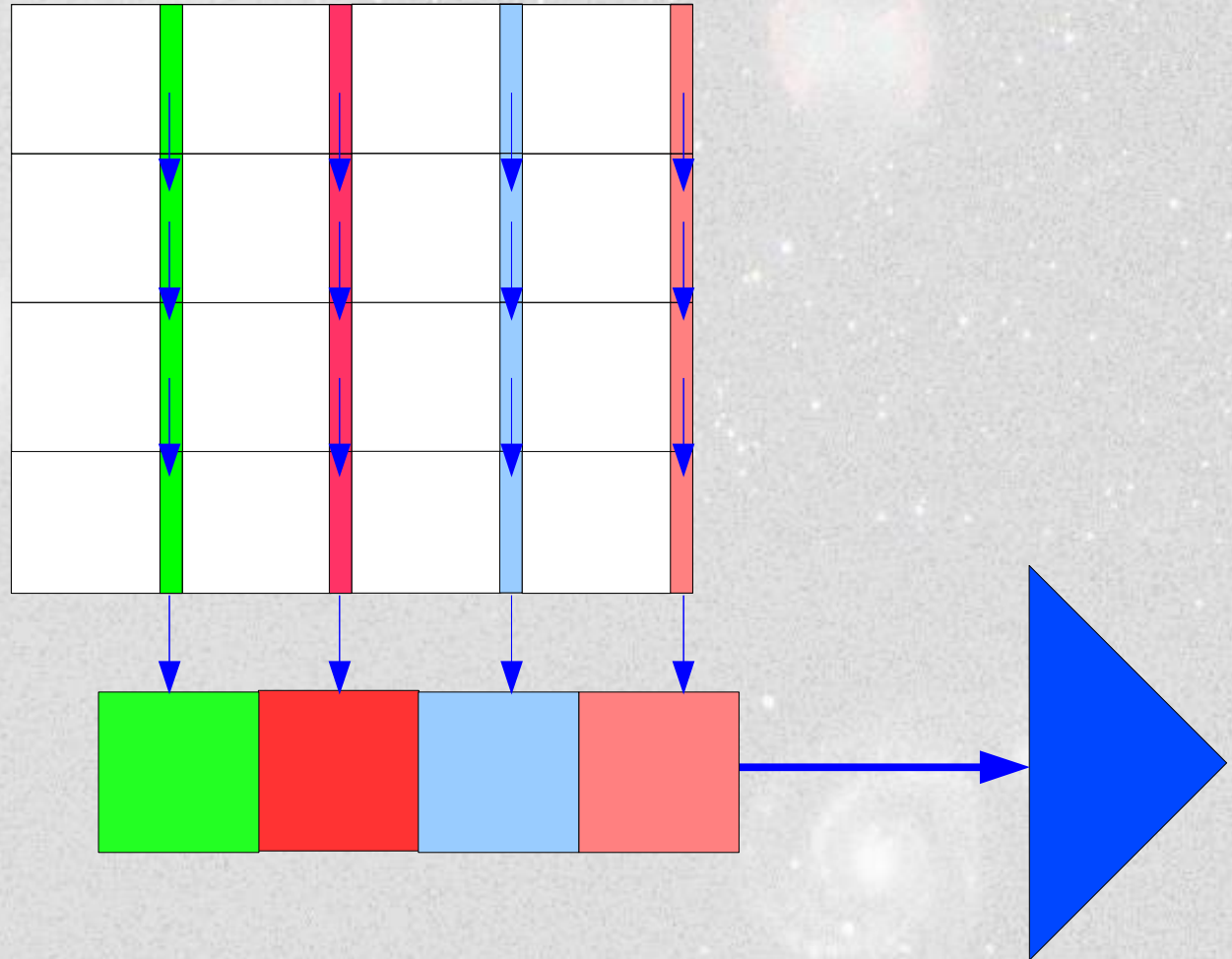
Le transfert entre la partie photosensible et la partie masquée(interligne) se fait en une seule fois pour l'ensemble des photosites

## matrice d'un capteur inter-ligne



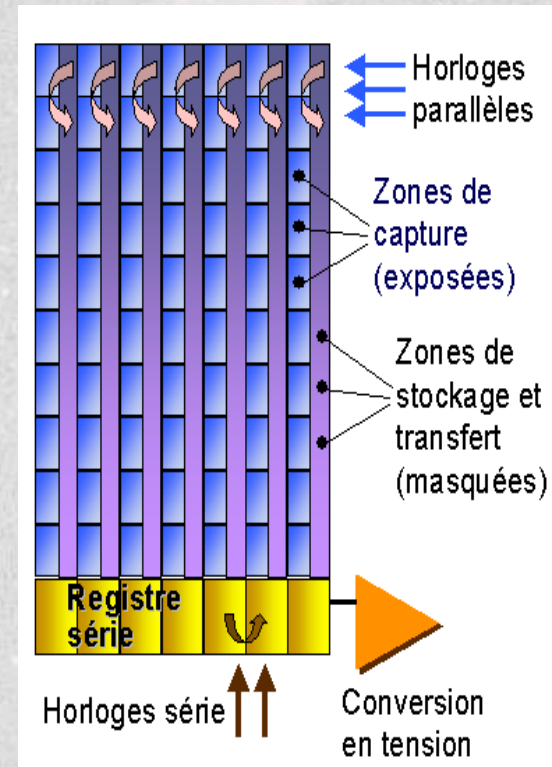


## matrice d'un capteur inter-ligne



# Les grandes familles de capteurs CCD

- Le capteur interligne est aussi appelé à obturateur électronique, chez Kodak préfixe KAI ( c'est un peu un abus de langage car il n'y a pas d'obturation..)



# Les « défauts » ou le bruit

## Les défauts liés aux capteurs

Signal d 'offset (aussi appelé précharge) ou de décalage provoqué par l 'électronique du capteur (indépendant de la T° et du temps de pose)

Le signal d 'obscurité thermique ( appelé dark) généré par le capteur sous l 'effet de la température produit un signal parasite ce signal varie avec le température et le temps de pose.Ce signal est plus ou moins important en fonction de la qualité du type de capteur ( souvent lié au prix!!), c 'est le refroidissement du capteur qui limite ce bruit thermique, CCD refroidies par effet Peltier. **En abaissant la température de 6°c on divise par deux le bruit Thermique.**

## Autres défauts (corrigés par la PLU Plage de Lumière Uniforme ou encore applé FLAT)

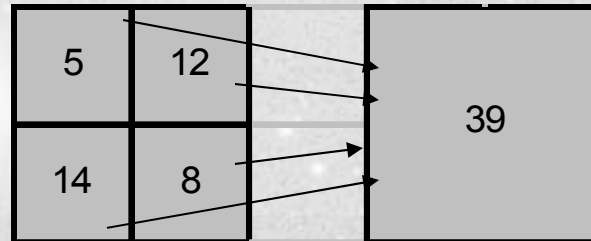
la non-uniformité de réponse des pixels du CCD, ainsi que l'effet de la présence de poussières ou de vignettage optique qui contribuent à réduire localement d'un certain facteur le flux optique parvenant sur le surface du CCD.

**Les défauts liés à un problème de mise au point ou de mauvaise collimation ne seront pas récupérables par le traitement**



# Le binning

Le binning est une technique CCD qui permet de regrouper plusieurs pixels d'une matrice en un seul "gros" pixel, par exemple un binning 2x2 sur une matrice d'un KAF 400 (765x510 pixels de 9 microns) permet d'avoir une taille de pixel de 18 microns mais au détriment de la résolution qui est divisé par 2 (382x255). Par contre la sensibilité en binning 2x2 est augmenté d'un facteur 4.



A noter qu'il existe deux grandes familles de binning:

L'analogique (il est fait sur le capteur de façon électronique)

les avantages sont un temps de transfert plus court, un rapport signal sur bruit meilleur, un seul « bruit de lecture pour n pixels »

Le numérique (il est fait par l'ordinateur, donc pas de modification sur le capteur)

Le binning peut aussi être utilisé pour cadrer l'objet au centre du capteur, avec des poses beaucoup plus courtes

# Exemple du binning

**le bruit thermique** qui dépend du temps de pose et de la température est en rouge

**Cas du binning analogique**

**Système de lecture:** le bruit provoqué par l'électronique est en bleu, il est le même à chaque lecture

analogique

**Somme du signal et du bruit**

5+4	12+3
14+6	8+5

39+18
-------

39+18+10
----------

67
----

numérique

**Somme du signal et du bruit et binning numérique**

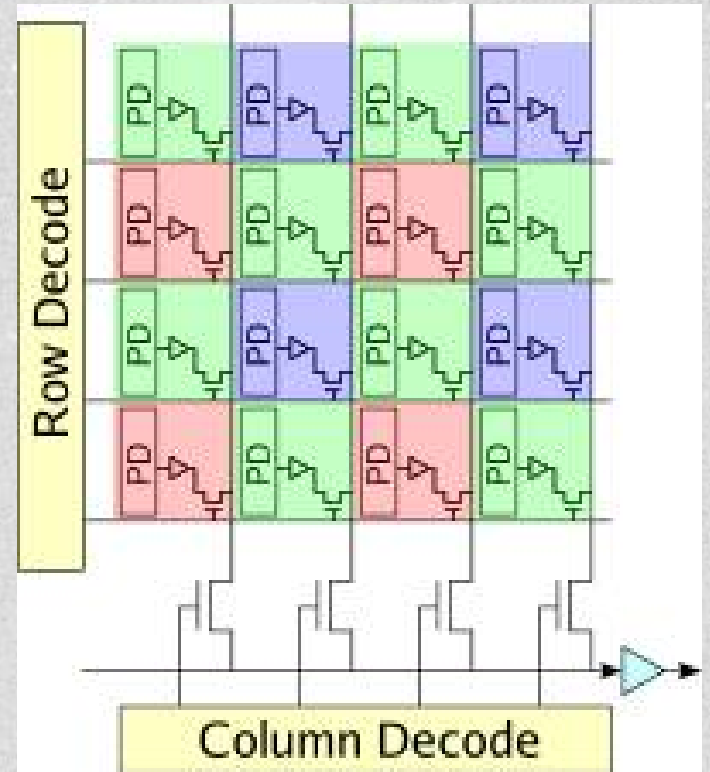
5+4	12+3
14+6	8+5

5+4+10	12+3+10
14+6+10	8+5+10

97
----

# Capteurs CMOS

Le CMOS est une technologie de capteur caractérisée par une faible consommation d'énergie, un coût de fabrication moins élevé, même technologie que les mémoires des ordinateurs (le prix du matériel s'en ressent). Le CMOS qui a fait ses armes sur les webcam dans les années 90 générait beaucoup de bruit sur l'image. Il est aujourd'hui intégré à tous les appareils reflex de Canon et les Nikon très haut de gamme, et sur un certain nombre de caméscopes





# Quelques exemples de taille pour des APN Canon (Cmos)

	Taille du pixel	Nombre de pixels	Taille du capteur (mm)	
<b>EOS 10D</b>	7.40 $\mu\text{m}$	3072 x 2048	22.7 x 15.1	6.2M
<b>EOS 350D</b>	6.42 $\mu\text{m}$	3456 x 2304	22.2 x 14.8	8M
<b>EOS 20D</b>	6.42 $\mu\text{m}$	3504 x 2336	22.5 x 15.0	8.2M
<b>EOS 5D</b>	8.20 $\mu\text{m}$	4368 x 2912	35.8 x 23.9	12.7M
<b>EOS 400D</b>	5,7 $\mu\text{m}$	3888x 2592	22,2 x 14,8	10M

# Capteurs FOVEON

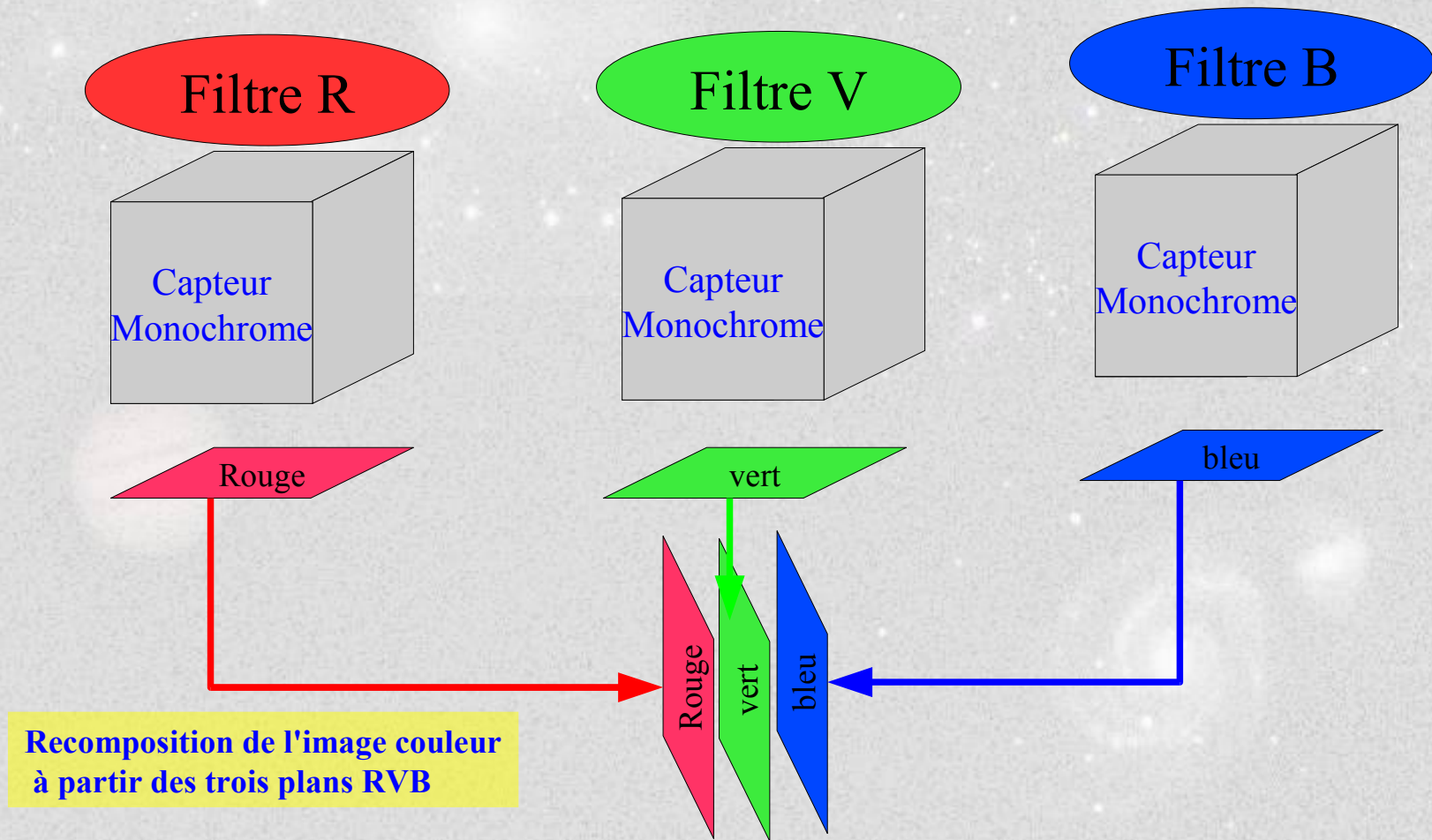


La technologie des capteurs X3 développée par Foveon permet la capture des informations des trois couleurs (rouge, vert, bleu) par un seul photosite grâce à la propriété du silicium de ne pas être sensible aux mêmes longueurs d'onde selon la profondeur de la couche. Pour simplifier, la couche supérieure est sensible au bleu, la couche intermédiaire au vert et la couche inférieure au rouge

Les APN sont de la famille Sigma XXX

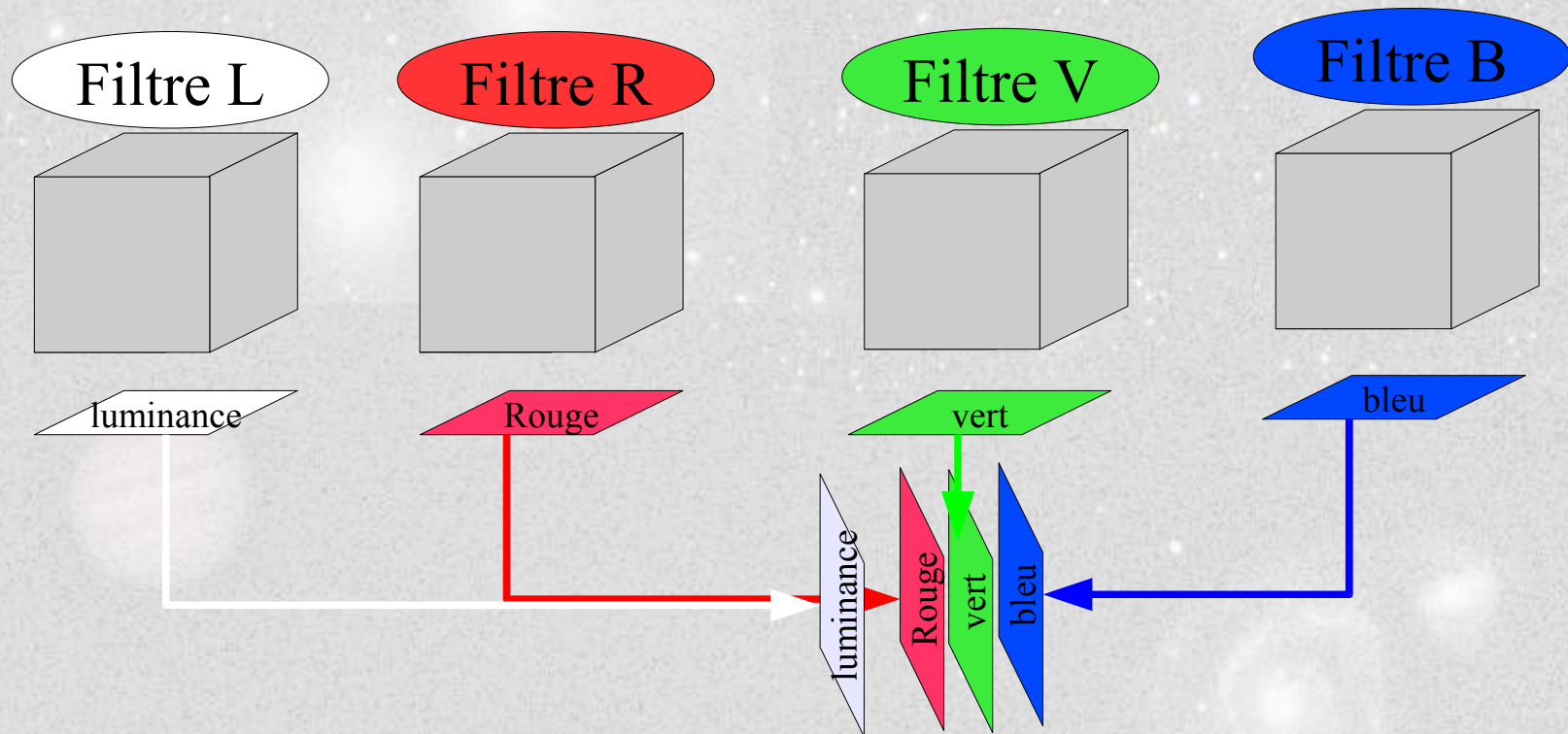
# Photos couleur avec un capteur monochrome

- pour faire des photos couleurs avec un capteur monochrome il faut utiliser des filtres et faire au moins 3 prises de vue pour une photo couleur, la recomposition se fait à l'aide d'un logiciel de traitement d'image (Iris, Photoshop...)





Une autre technique dite LRVB est souvent utilisée l'image dite de luminance est une image monochrome qui contient toutes les informations, les autres plans ne sont là que pour coloriser l'image



**Recomposition de l'image couleur  
à partir des quatres plans LRVB**

# Caractéristiques des CCD

**Type de CCD:** Il donne le composant utilisé ( Sony, Kodak...) et sa référence

**Résolution:** Elle est exprimée en millions de pixels (1M pixels =matrice de 1024\*1024 photosites par exemple)

**taille des pixels ou photosites:** Elle est exprimée en  $\mu$ , plus le pixel est grand plus il capture de photons (transformés en électrons)

**taille du capteur:** elle est donnée en mm, la taille du capteur a une importance , liée à une résolution importante elle permettra d 'avoir de grandes images détaillées.le capteur peut-être carré ou rectangulaire

**Capteur d 'autoguidage:** c 'est un capteur de plus faible résolution qui peut être ajouté au capteur principal et qui permet de faire de l 'autoguidage, seul le fabricant SBIG propose cette option ( propriétaire d'un brevet)

**rendement quantique (sensibilité):** l 'ordre de grandeur est de 50% contre 5% pour les films photographiques

**bruit de lecture:** Exprimé en Electrons rms, c 'est le bruit provoqué par l 'électronique pendant la lecture.le bruit de lecture (constant) est dominant aux courts temps de pose, et finit par devenir négligeable devant le bruit thermique quand la pose s'allonge

**Format des données (ou numérisation):** il est donné en nombres de bits en général de 8bits (WebCam) à 16 bits Caméra CCD, il faut au minimum 12 bits pour faire de l 'astrométrie.

**Blooming (NABG) et antiblooming(ABG):** Capacité du capteur à évacuer le « trop plein » d 'électrons sans affecter l 'image.



# Caractéristiques des CCD suite

**Courant d 'obscurité:**il est dû aux charges générées spontanément lorsque la matrice n'est pas éclairée (charges thermiques). Pour un pixel donné, il est proportionnel au temps de pose et est lié à la température.Pour le limiter il suffit de refroidir le capteur.A l 'heure actuelle sur certains capteurs il est tellement faible qu 'il n 'est pas nécessaire de faire une soustraction du dark en astrophotographie ( du moins c'est ce qu'annoncent certains fournisseurs).

**qualité CCD (classe ou grade):** il garantit un nombre de défauts maximum (perte de colonnes, nombre de pixels chauds...)Il y a trois niveaux de qualité: Classe 0= pas de défaut, Classe 1= amas pixels défectueux, classe 2: quelques colonnes défectueuses et amas de pixels défectueux.

**gain du système:**exprimé en ev (électron volt) par ADU (Analog to Digital Unit), c 'est la plus petite valeur détectable par le convertisseur.

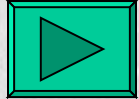
**refroidissement:** en général les systèmes de refroidissement garantissent un delta de température par rapport à la température ambiante -30°C à -50°C. Quelques constructeurs garantissent une température négative fixe pour une plage de température ambiante donnée..Il font de la régulation

**temps de téléchargement:** est en général lié au type d 'interface , le plus courant est l 'USB2 mais aussi un peu plus récemment le fireWire

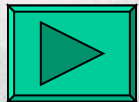
**Obturbateur** : Toujours présent sur les CCD ( sauf peut-être quelques bas de gamme , c'est une obturation électronique sur les CCD actuels)



# Quelques caractéristiques de CCD



**PL1-M 1,3Mp**



**STL 11000**



# Les appareils de prise de vue

Les capteurs sont intégrés dans les appareils photos numériques (APN), dans les Webcam, les caméras vidéo haute définition, dans les caméras CCD

## Les APN

trois grandes familles:

### les compacts , les bridges et les reflex

Caractéristiques importantes pour faire de l'astrophoto:

ils doivent permettre:

le mode manuel (mise au point et temps d'exposition)

un temps d'exposition long ( plusieurs minutes pour le ciel profond)

de gérer le format RAW ou TIFF ( non compressé)

de s'adapter facilement au télescope

Le relevage du miroir ( pour éviter les vibrations)

de Générer un faible bruit thermique (courant d'obscurité)

Mode zoom sur le LCD de l'appareil indispensable (mais pas toujours suffisant!!)  
pour vérifier la mise au point si pas de PC connecté ou connectable.

l'utilisation d'objectifs interchangeables ( pas indispensable)

Un plus est de pouvoir se connecter à un PC ( pas indispensable)



# Situation des différents appareils

## Bridges:

Ce sont les moins adaptés si on souhaite les coupler à un télescope ou une lunette il est difficile de les adapter avec un montage dit « afocal », on commence à en voir apparaître

## Compacts:

Des adaptateurs existent pour le montage afocal, plutôt axé lune, soleil ( avec filtres) et constellations, la plupart ne proposent que le format JPEG qui perd de l'information, on peut cependant avec des appareils de bonne qualité obtenir des résultats sur des objets assez lumineux du ciel profond (ex: avec un coolpix 4500 4Mpixels)



Difficulté à faire la mise au point

Capteur souvent mal adapté à l'astrophoto ( pixels de plus en plus nombreux , mais de plus en plus petits et donc perte de sensibilité), et souvent beaucoup de bruit généré.

montage afocal possible ( mais risque d'aberrations optiques)

Pas très cher (200 à 300€)



# Montage afocal avec compact (50€)



# Situation des appareils REFLEX

## Reflex avantages:

Mode manuel ( mise au point et temps de pose: mode Bulb)

Format RAW (brut)

Connexion PC ( la plupart du temps)

Télécommandes pour poses longues

Relevage du miroir

Format et qualité du capteur

Codage 12 bits ( voire 14)

Nettoyage du capteur

Liveview pour aide à la mise au point

Le prix par rapport à une CCD

## Reflex inconvénients:

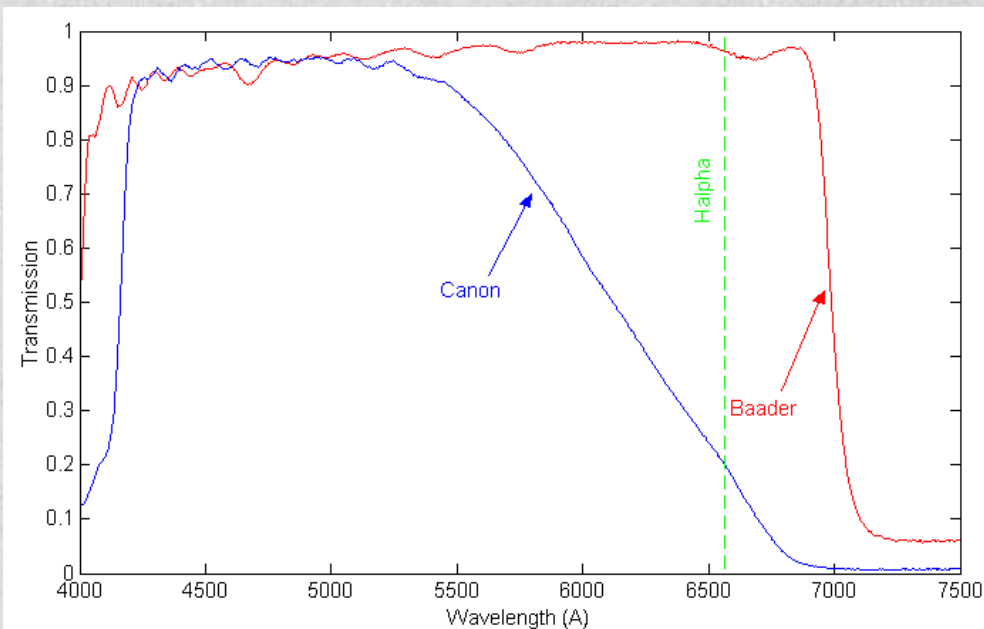
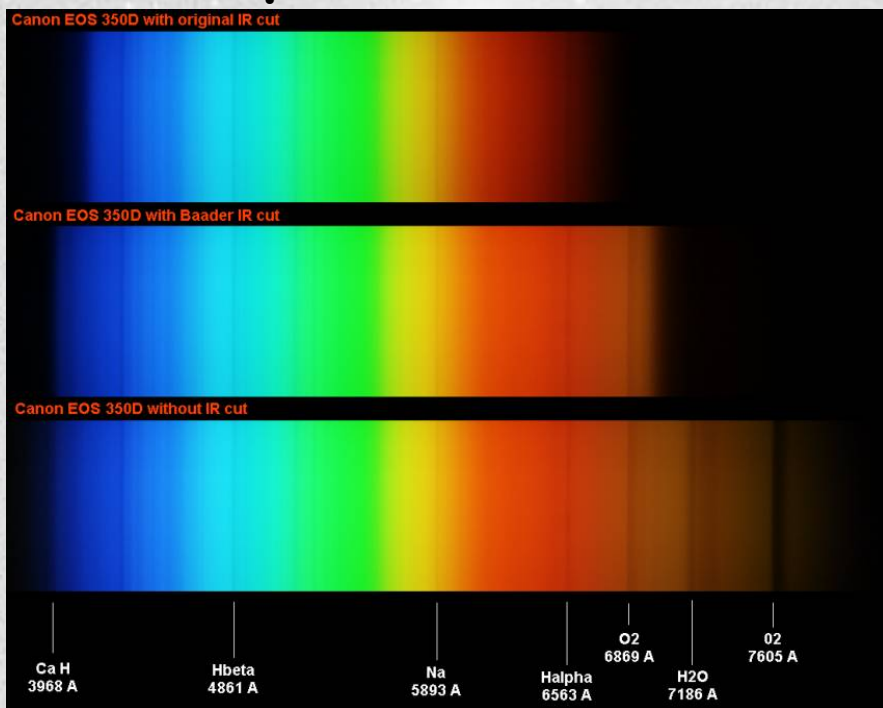
Inconvénient ( filtre anti-infra rouge donc transmission faible du rouge, mais modifiable sur certains appareils)

Matrice de bayer ( perte d 'informations)

génération de bruit thermique ( pas de refroidissement)

# APN et filtre anti-infrarouge

- Tous les APN sont équipés d'un filtre anti-infrarouge, ceux-ci sont indispensables pour nos photos courantes ( rendu des couleurs conforme à l'oeil) mais provoquent une perte d'information importante en photo Astro, en particulier la raie Halpha très riche en information pour certains objets ( nébuleuses à émission en particulier)
- Il est possible sur certains appareils de faire supprimer ce filtre, plusieurs possibilités:
  - Le remplacer par un filtre plus large en spectre, permettant d'intégrer la raie Halpha, et de garder la mise au point de l'APN en mode photo « normal » , mais avec obligation de corriger les couleurs





## APN et filtre anti-infrarouge suite

- Le supprimer complètement et n'utiliser l'APN qu'en astro-photo
- Cependant pour les APN Canon une possibilité existe depuis quelque temps d'utiliser des filtres spéciaux interchangeables, permettant de garder toutes les possibilités de l'APN, et de changer le type de filtre en fonction des besoins, utilisation de filtres anti pollution lumineuse par exemple.( de 90€ à 300€ le filtre!!)
- Une autre possibilité serait d'utiliser l'APN défiltré et une roue à filtres...



# APN et temps de pose

- Les APN de type Reflex sont, la plupart du temps limités à des temps de pose de 30 secondes. Ils possèdent un mode « Bulb », permettant d'avoir une pose plus longue par une télécommande extérieure, une prise est prévue à cet effet.
- **Attention:toutes ces informations qui sont vraies à un instant donné, ne le sont peut-être déjà plus!! Tout évolue très vite.**
- Plusieurs solutions pour les télécommandes:
  - 1) Celles vendues par le constructeur:
    - ➔ Télécommande simple, un bouton sur lequel on appuie (utilisable en astro pour des photos de lune par exemple, pour éviter de toucher à l'appareil),
    - ➔ Télécommande intervalomètre, permettant de spécifier:temps de pose, intervalle entre photos et nombre de poses. Attention, n'est pas forcément capable d'utiliser la fonction relevé de miroir,
    - ➔ Télécommande connectable à un PC qui est l'idéal pour l'astro-photo ( nécessité d'avoir un portable).C'est ce que nous utilisons au club.



## Exemples de télécommandes



Télécommande avec  
intervalomètre



Interface PC



# Webcam

Les Webcams courantes 640\*480 couleur sont utilisées pour le planétaire, la lune et le soleil (Avec des Webcams modifiées longue pose on obtient aussi des résultats sur des petits objets du ciel profond, même si elles sont moins bien adaptées)

Le très gros avantage des webcam est la lutte contre la turbulence grâce à l'acquisition vidéo, mais cela nécessitera un traitement d'image particulier

On peut les utiliser pour faire de l'autoguidage

On peut cependant modifier les Webcams pour faire de la longue pose et s'attaquer au ciel profond (il faut être bricoleur), mais ce n'est pas son domaine de prédilection

La société Atik propose des webcam modifiées pour la longue pose et refroidies par ventilateur (on en possède une au club)

Caractéristiques générales des Webcams:

5 à 60 images par sec (en général on utilise de 5 à 15 im/s, au delà la compression de l'image la dégrade trop)

Codage 8 bits

Taille capteur 3 à 4 mm

Avantage: prix

Inconvénient : obligation d'avoir un PC (portable si on veut battre la campagne!!), résolution assez faible

# Caméras vidéo

On utilise depuis quelque temps des caméras de vidéo-surveillance ou celles utilisées en microscopie. ces caméras disposent de plusieurs caractéristiques intéressantes dont principalement un capteur plus large et un transfert des données plus rapide (ce qui augmente le nombre d'images par seconde) pour des performances meilleures, plus on va vite plus on a de chances de limiter les effets de la turbulence

Ce type de caméra est aujourd'hui la meilleure solution pour le planétaire

Un autre avantage, ces caméras permettent des temps de pose plus longs ( en théorie jusqu'à une heure, inutilisables en astronomie car elles ne sont pas refroidies ), mais on peut faire des poses de 30 sec à 1 mn

Caractéristiques

Ces caméras peuvent aller au delà de 1 Mpixels de résolution

Elles sont codées sur 8 bits ( comme les webcams) et dans certains cas 12 bits

Taille du capteur 4 à 6mm

Elles ne sont pas refroidies

Un des problèmes est le transfert des données vers le disque dur, on s'aperçoit à l'usage que le débit de la caméra n'est pas suivi par l'ensemble de la chaîne du PC ( cas de la lumenera par exemple dans certaines configurations de capture)

Attention aussi à la taille des fichiers générés qui dépassent facilement le Giga-octet

C'est aussi une très bonne solution pour faire de l'autoguidage, la PL1M possède une interface ST4 dédiée à l'autoguidage



# Quelques exemples





# Caméras CCD

C'est sans conteste la meilleure solution pour la photo du ciel profond ( préférer le monochrome à la couleur)

## Les avantages:

Sensibilité et taille des capteurs

Sensibilité spectrale large

Refroidissement du capteur ( delta de  $-25^{\circ}$  à  $-50^{\circ}$  par rapport à température ambiante, dans certains cas régulée, cas SBIG)

Excellent rapport signal sur bruit

Images codées en 12 ou 16 bits

## Les inconvénients

Le prix ( ouillouillouille!!)

Dédié à l'astrophotographie ( plutôt dédié au ciel profond)

Besoin d'un ordinateur

Si monochrome besoin de filtres et de poses multiples ( plus long, plus compliqué)

Fin de la première Partie



# Programme de la seconde partie

Quelques calculs indispensables:

Le champ  
et l'utilisation de « Carte du ciel »  
L'échantillonnage  
Le pouvoir séparateur  
Temps de pose et Rotation de champ  
Temps de pose pour éviter Le « bougé »