



Séminaire SNA
Malvilliers
21/03/03

Initiation à l'imagerie électronique appliquée à l'astronomie

Michel Willemin

Rue du Soleil 3
CH-2523 Lignières

www.willemin.li



Contenu

Séminaire SNA
Malvilliers
21/03/03

- Principe du capteur électronique
- CCD, CMOS – capteurs à pixels actifs (APS)
- Caractéristiques générales
- La webcam en astronomie
- CCD refroidie à haute performance et applications
- Le traitement d'images
- Conclusions



Bref historique

Séminaire SNA
Malvilliers
21/03/03

- Fin des années 1960 Premier capteur d'images CMOS
- 1971 Invention du capteur d'images CCD à Bell Lab. M.F. Tompsett et. al, Capteur linéaire avec 96x1 pixels
- 1986 – 1987 Premiers CCD performants pour l'astronomie d'amateur
- 1994 – 1995 Capteur d'images APS + nouvelles technologies d'intégration CMOS
nouveaux types de capteurs CMOS

Collection de photo-charges dans les capteurs CCD et CMOS

CMOS

CCD

Jonction pn

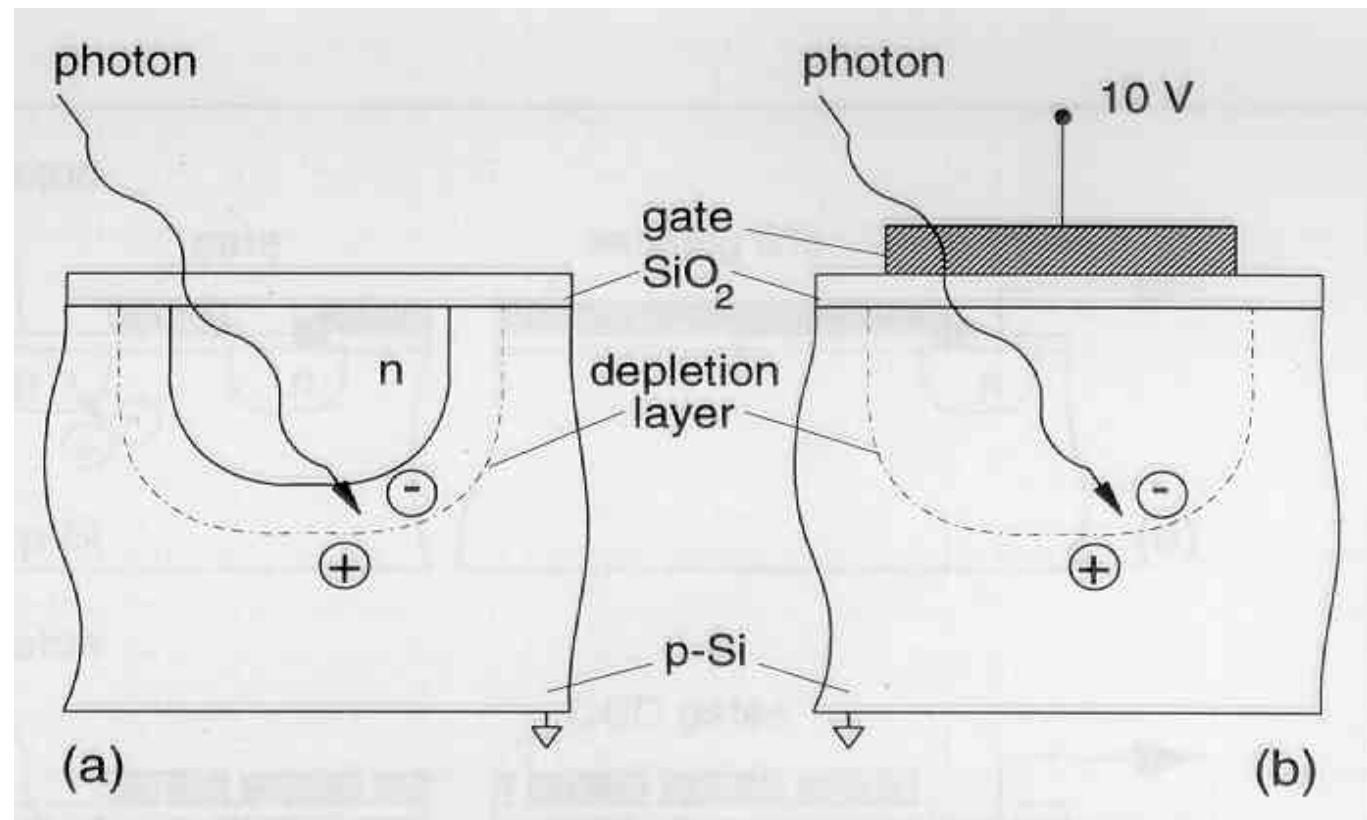
réseau de photodiodes

IT-CCD

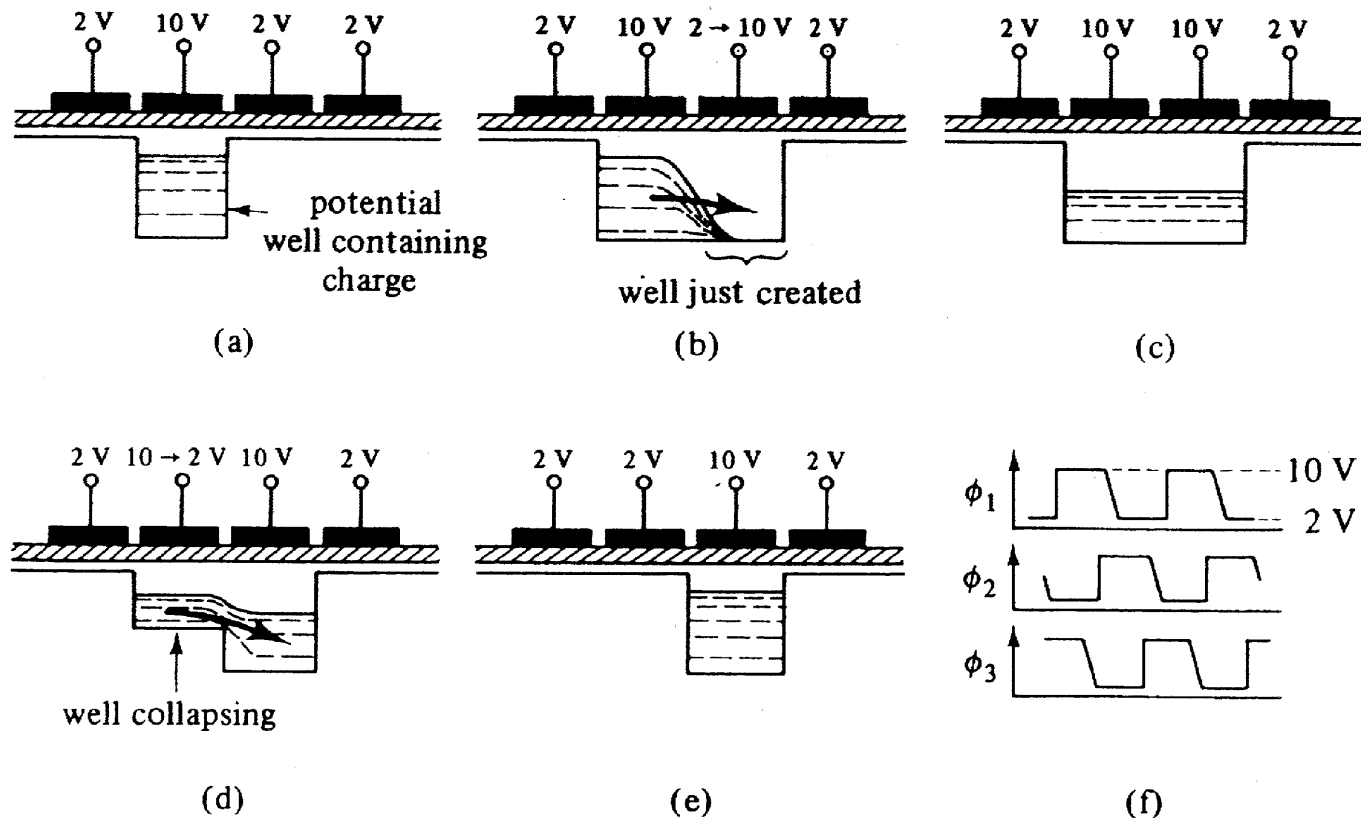
Capacité MOS

photogate

FT-CCD



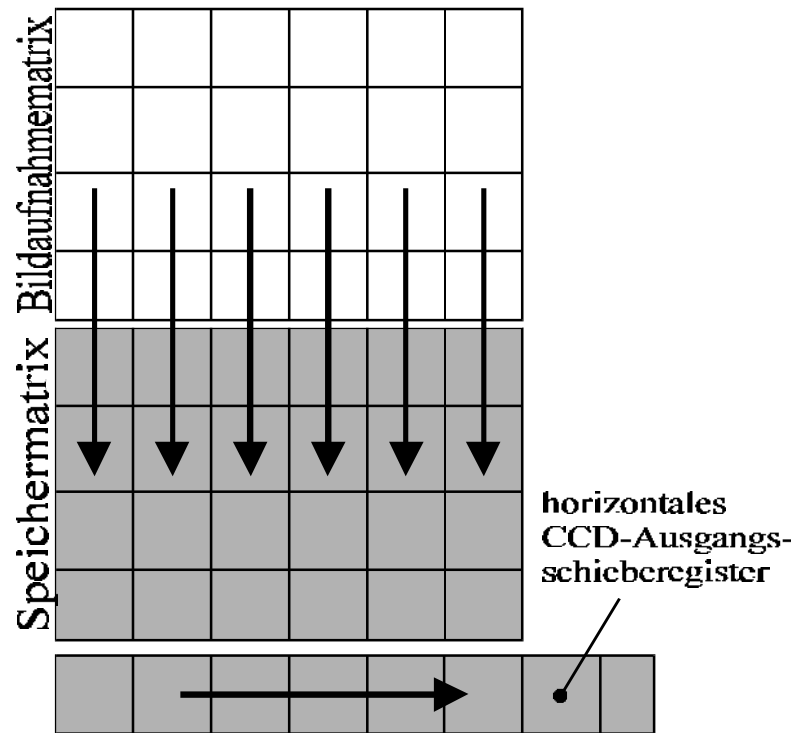
- Le signal est une charge électrique, la lecture est sérielle



Architectures CCD

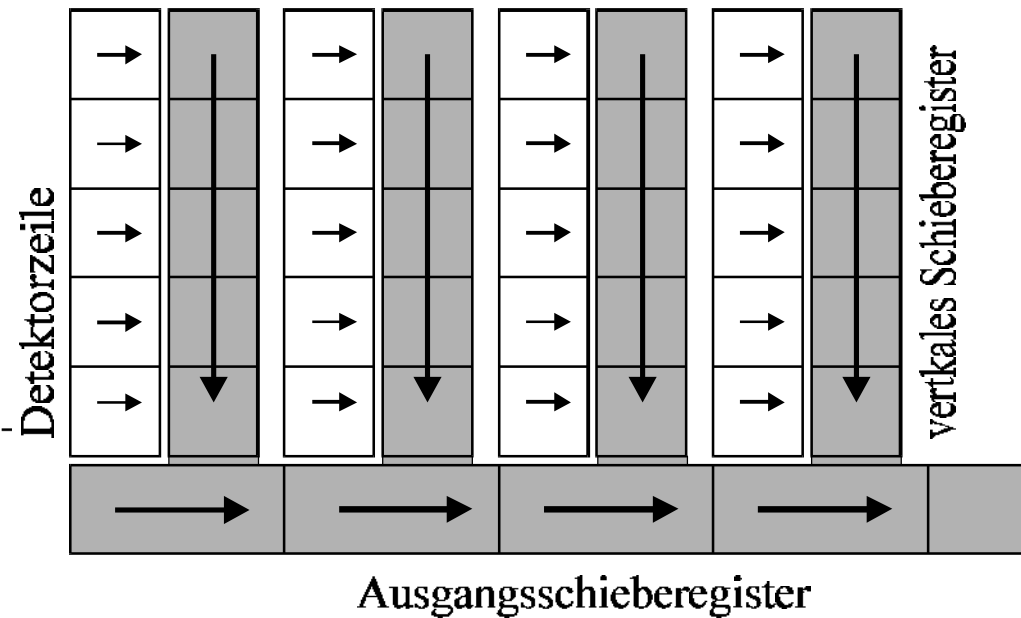
Facteur de remplissage

Frame-transfer CCD



Facteur de rempl. : 100%

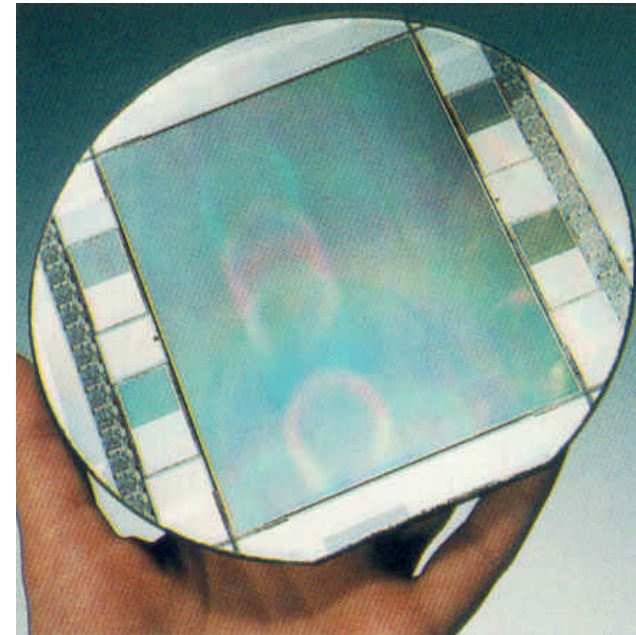
Interline-transfer CCD



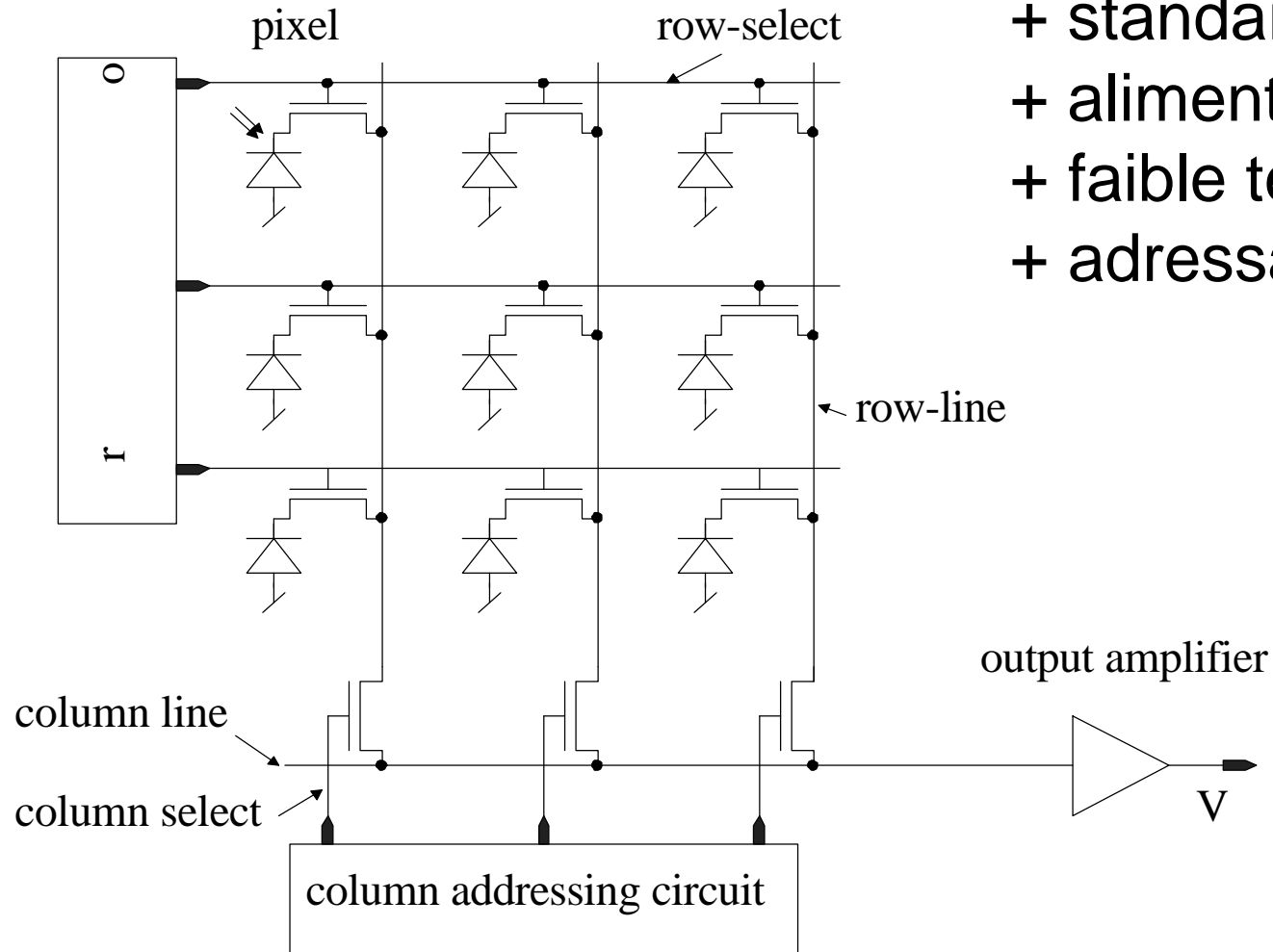
Facteur de rempl. : 25-50%

CCD – implantation sur le marché

- + résolution élevée
- + pixels petits
- + haute dynamique (>100 dB)
- + faible bruit (<1 e)
- + faible courant d'obscurité
- + haute vitesse (>10'000 frames/s)
- multiples alimentations requises
- puissance consommée élevée
- technologie coûteuse



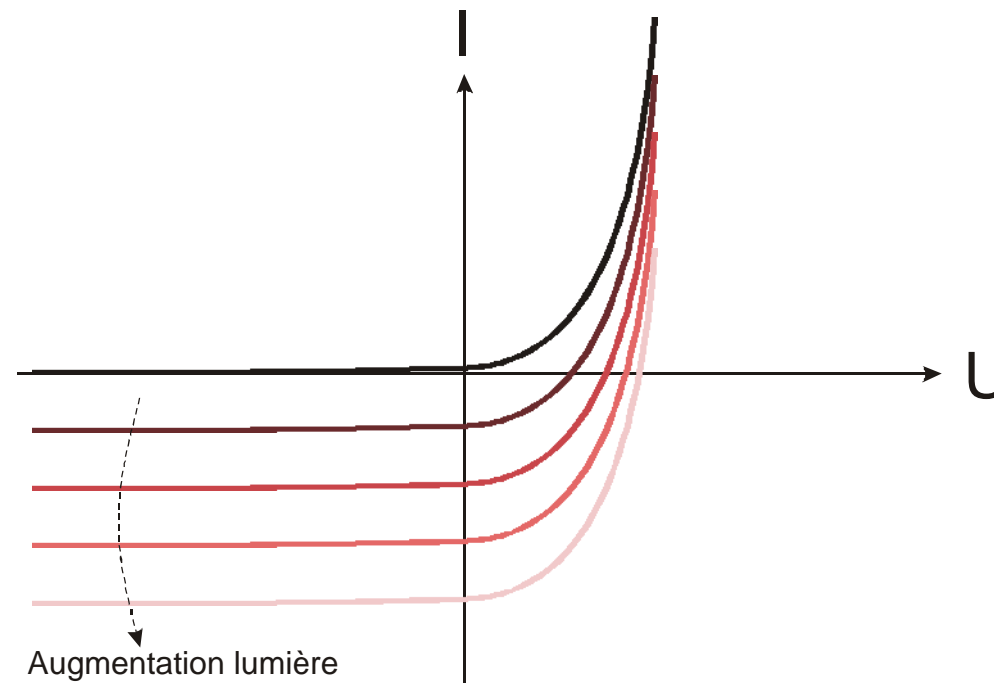
Example: CCD imager from Philips. 6" wafer-size CCD with 7168x9216 pixels, 12 μm pixels



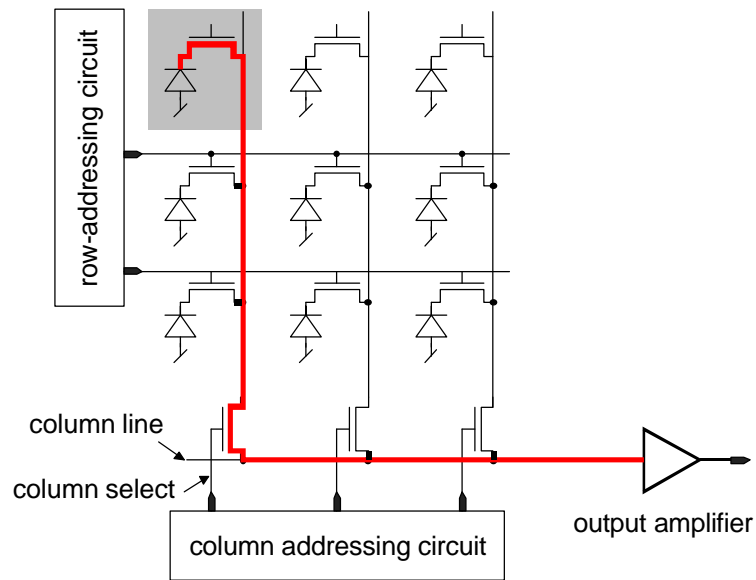
- + standard CMOS
- + alimentation unique
- + faible tension / puissance
- + adressage non-séquencé

Photodiode - caractéristique

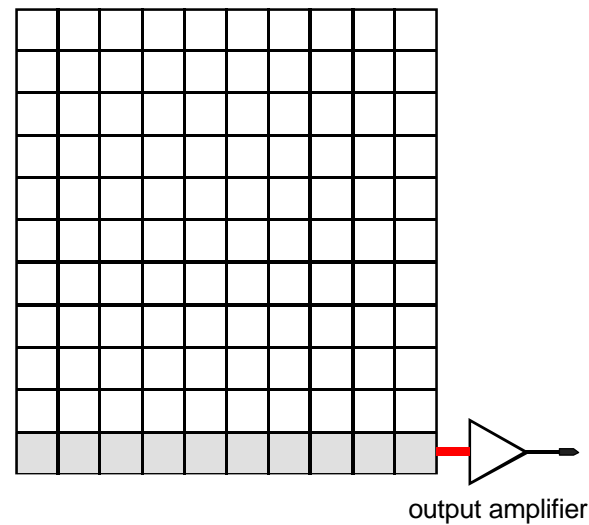
Caratéristique I – V en fonction de l'illumination



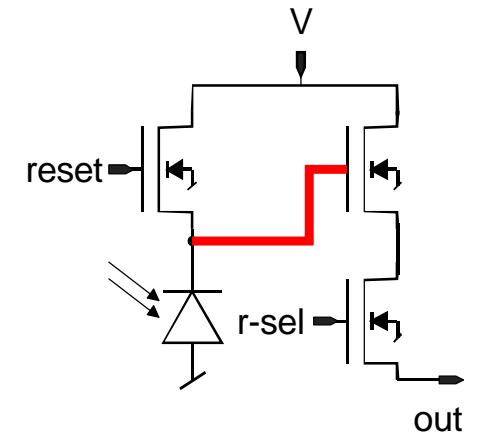
Une photodiode ou jonction pn se comporte comme une source de courant commandée par le degré d'illumination.



MOS – réseau de photod.

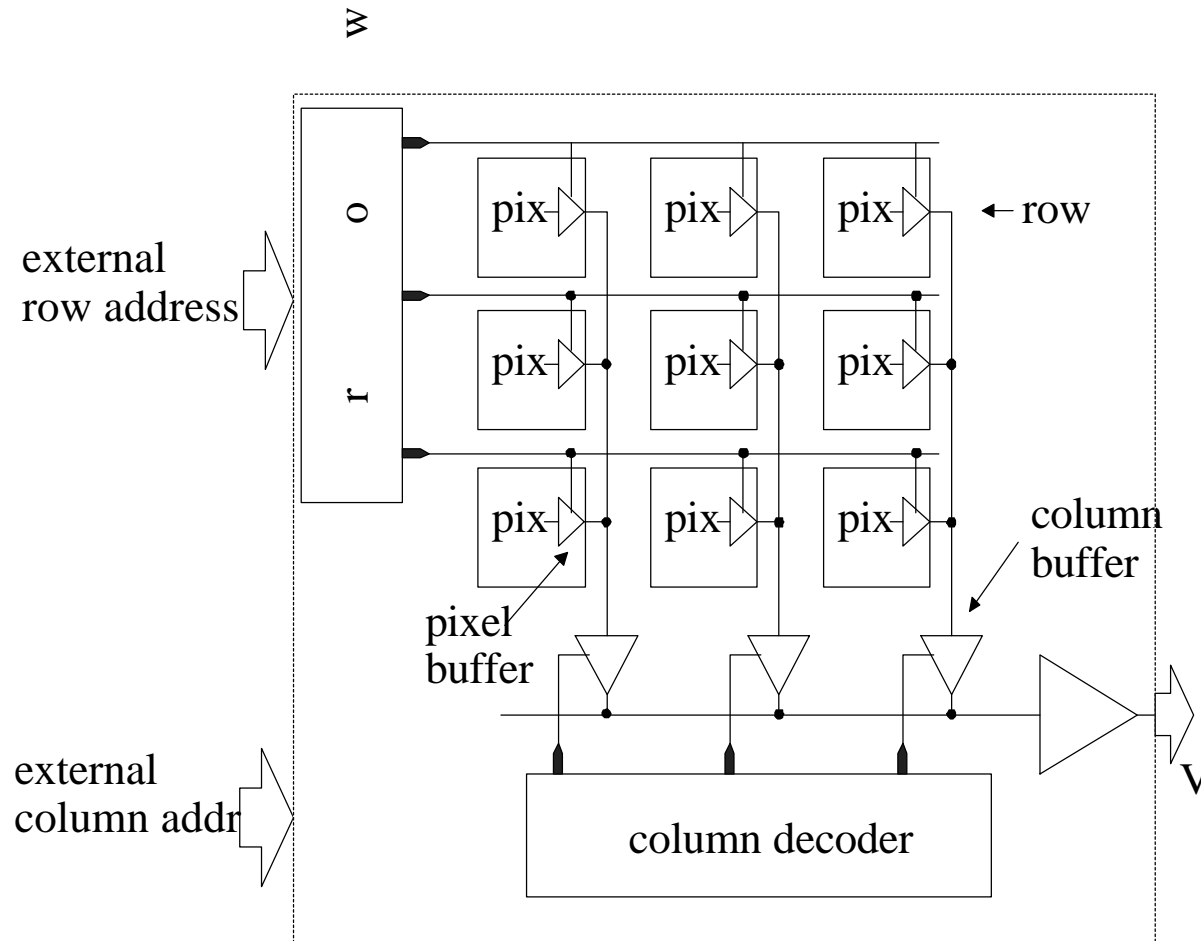


CCD



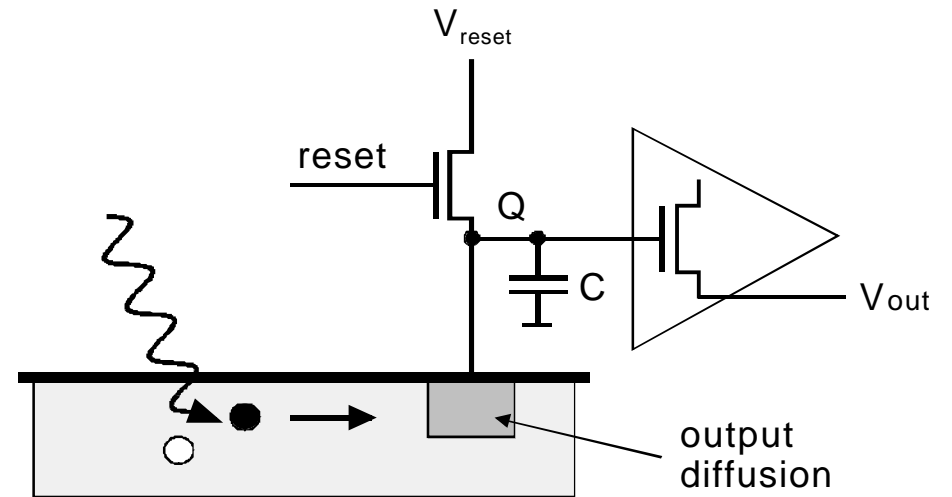
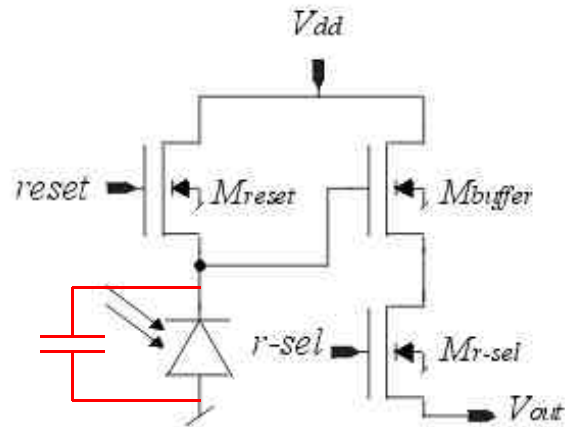
APS

Capteur à pixel actif (APS)



- + CMOS standard
- + alimentation unique
- + faible puissance / tension
- + adressage non-séquencé
- + réduction du bruit
- courant d'obscurité élevé

Pixel actif



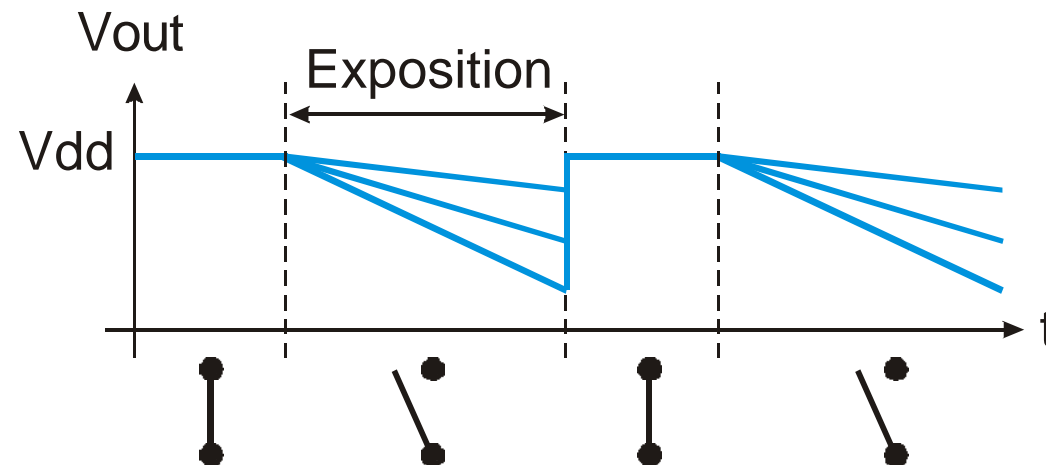
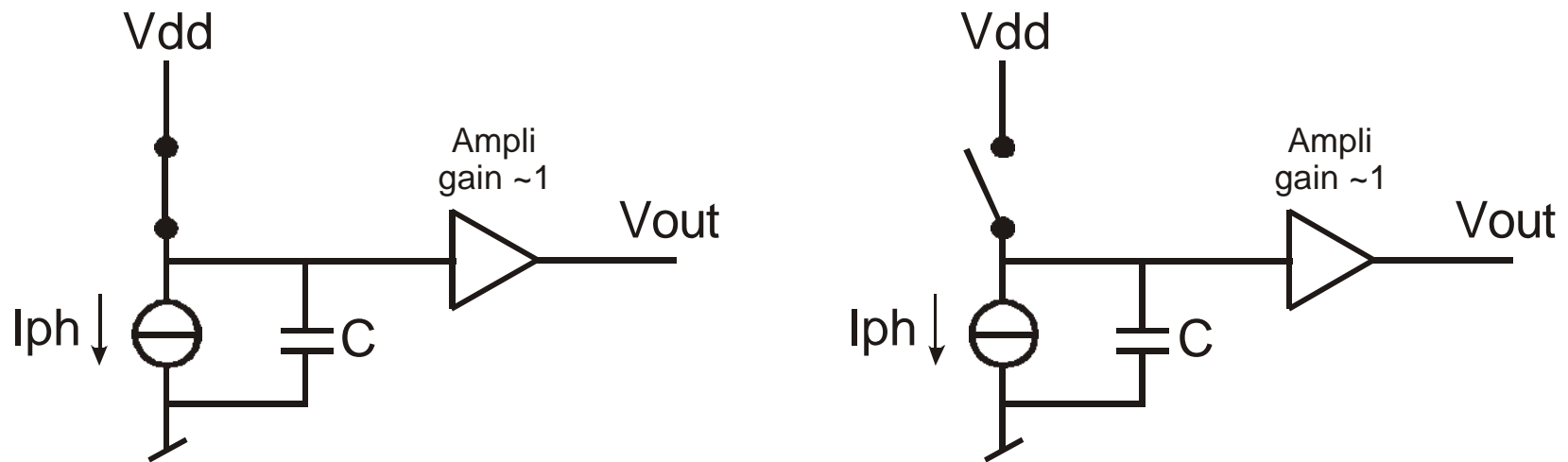
En début de séquence
reset = 1

Durant l'intégration, reset = 0

Output signal: $V_{out} = Q / C$

For $C = 40 \text{ fF}$, conversion gain: $q / C = 4 \mu\text{V}/e$

Pixel actif – principe



Définition : Surface sensible / Surface totale du pixel

- FF CCD / FT CCD $\approx 100\%$
- IT CCD 25 – 30%
- CMOS APS 25 – 65%

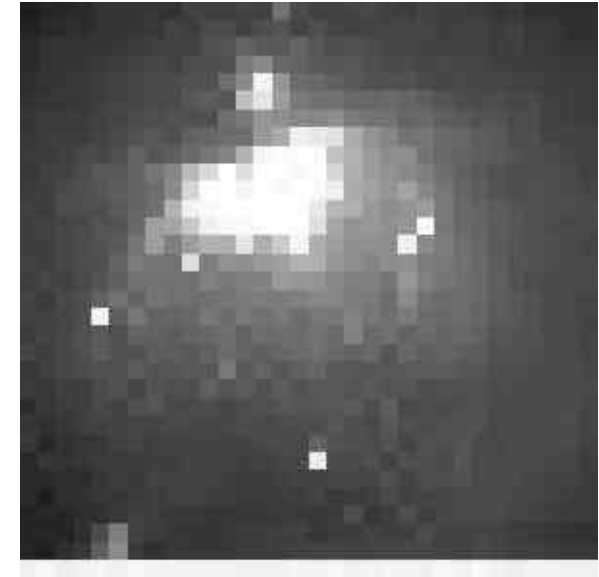
En astronomie : Un facteur de remplissage proche de 100% est nécessaire en photométrie stellaire. Un capteur électronique sensible a, généralement, un grand facteur de remplissage.



300x300 pixels



100x100 pixels



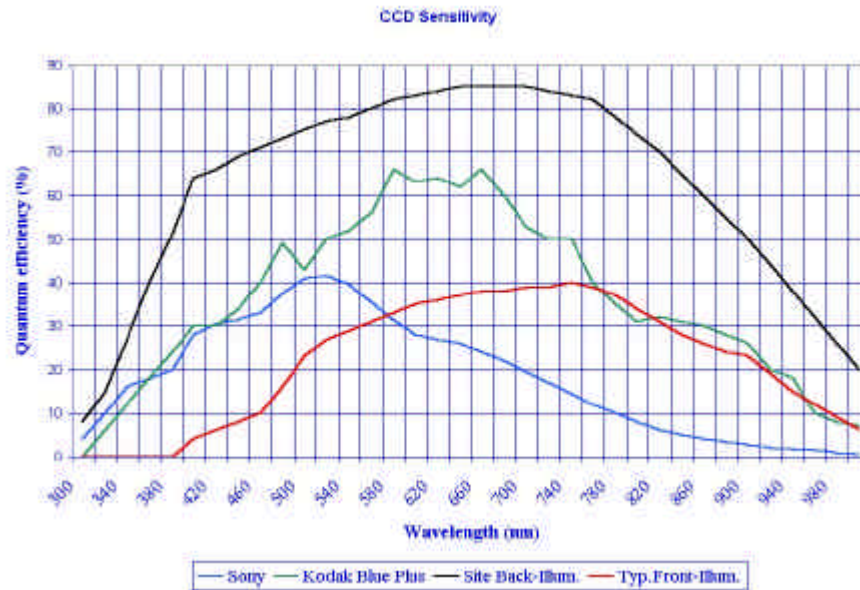
32x32 pixels

- Quelques standards courants
 - CIF 288x352
 - VGA 480x640
 - CCIR 576x768
 - SVGA 624x832
 - XGA 1024x768
 - HDTV 1152x2048
- Format 24x36 mm² correspond environ à 2000x3000 pixels

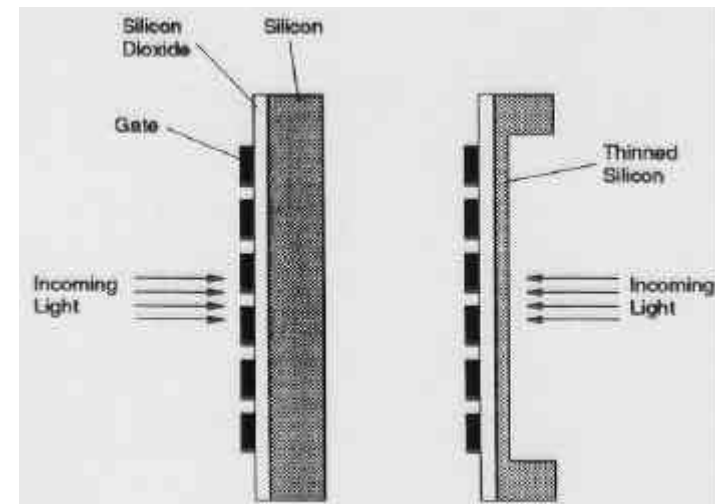
Le rendement quantique

Définition :
$$\eta = \frac{\# e_{\text{photogenerated}}}{\# \text{ photon}}$$

Sensibilité spectrale



Technique d'amélioration : CCD illuminé par l'arrière



Le courant d'obscurité

Valeurs typiques à température ambiante

CCD	10-50 pA/cm ²
CMOS optimisé	50-200 pA/cm ²
CMOS standard	1000 pA/cm ²

Le courant d'obscurité provient de charges générées spontanément (sans photon incident). On parle souvent de charges générées thermiquement.

En astronomie avec long temps d'exposition (> 1 s), le courant d'obscurité est souvent un handicap majeur. Pour corriger ce problème, il est habituel de REFROIDIR le capteur. Le courant diminue d'un facteur 2 lorsque la température baisse de 6 à 8°C.

La plupart de l'imagerie effectuée en astronomie se pratique au moyen de caméras de type « noir et blanc ».

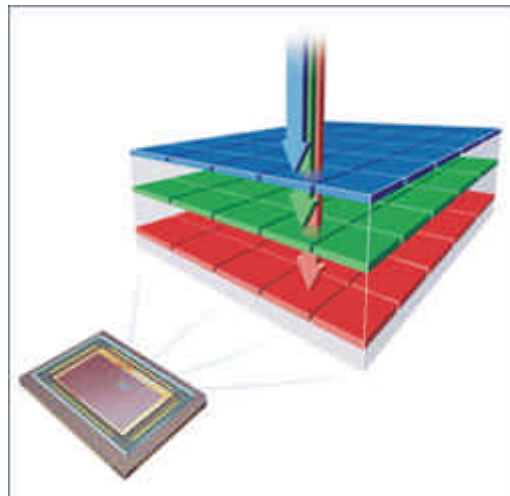
Pour des raisons purement esthétiques ou quelques fois scientifiques, il est néanmoins possible de réaliser des images en couleur.

Méthode :

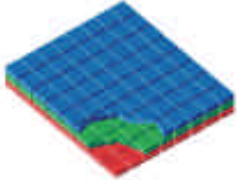
Les caméras CCD de hautes performances ne sont pas équipées de filtres colorés intégrés. Généralement, 3 prises de vue du même objet sont réalisées au moyen de 3 filtres à densités spectrales différentes placés entre la caméra et l'objectif.

Les webcams sont toujours équipées de filtres colorés. On a habituellement 1 pixels sur 4 sensible au bleu, 2 sur 4 sensibles au vert, 1 sur 4 sensible au rouge.

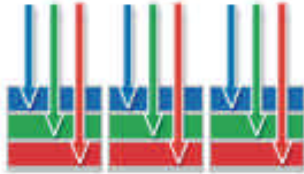
Foveon X3 technology delivers sharper images, better color detail and resistance to color artifacts.



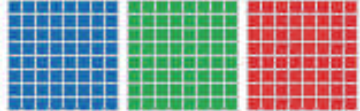
Foveon X3 Capture



A Foveon X3 image sensor features three separate layers of photo-detectors embedded in silicon

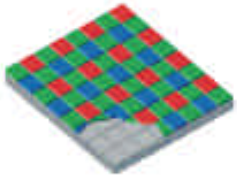


Since silicon absorbs different wavelengths of light at different depths, each layer captures a different color.

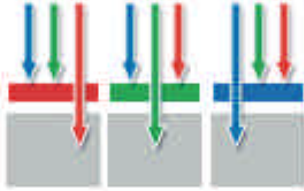


As a result, only Foveon X3 image sensors capture red, green and blue light at every pixel location.

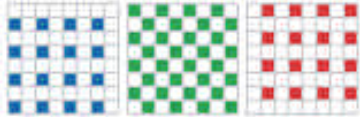
Mosaic Capture



In conventional systems, color filters are applied to a single layer of photo-detectors in a tiled mosaic pattern.



The filters let only one wavelength of light—red, green or blue—pass through to any given pixel, allowing it to record only one color.



As a result, typical mosaic sensors capture 50% of the green and only 25% of the red and blue light.

La webcam en astronomie



Avantages : 1) Son prix : 50 – 150 CHF
2) Visualisation et mise en œuvre très rapides

Exemple :
Philips Vesta Pro (ToUCam)



Retrait de l'optique
Montage adaptateur (M12x0.5)

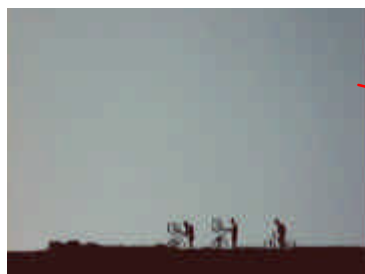


Montage sur l'instrument
(au foyer ou en projection)



Photographie avec webcam sur télescope en usage terrestre

Webcam : Philips Vesta Pro
Télescope : Newton de 15 cm d'ouverture, f/6.7



Photographie avec webcam téléscope en usage astronomique



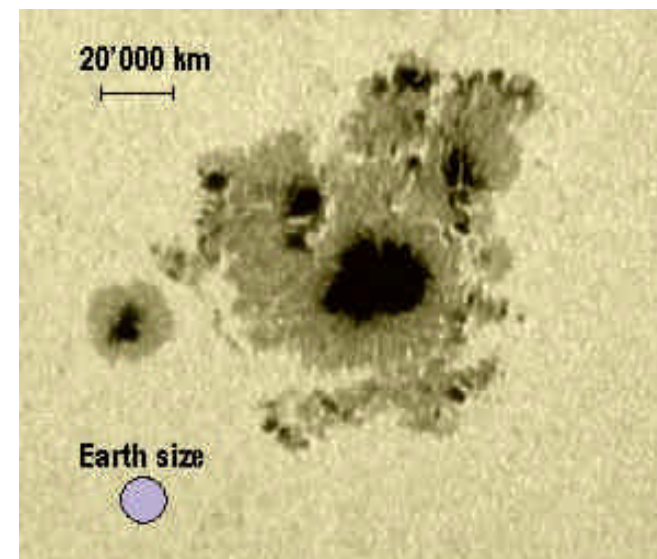
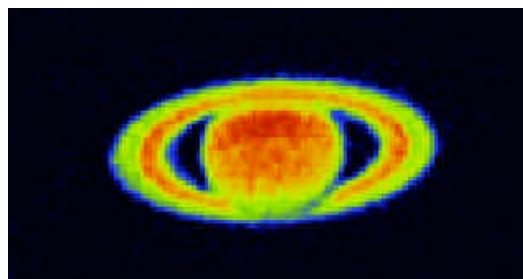
Lune, le 03/11/01



Saturne, le 03/11/01



Soleil, le 31/03/01



Soleil, le 17/08/02

Webcam – « Longue » exposition

Autres applications

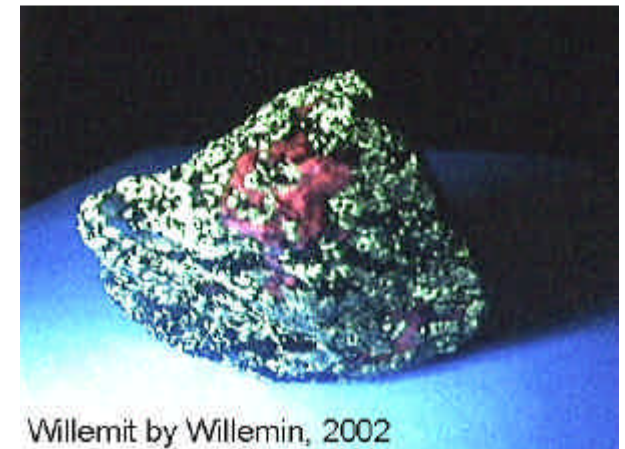
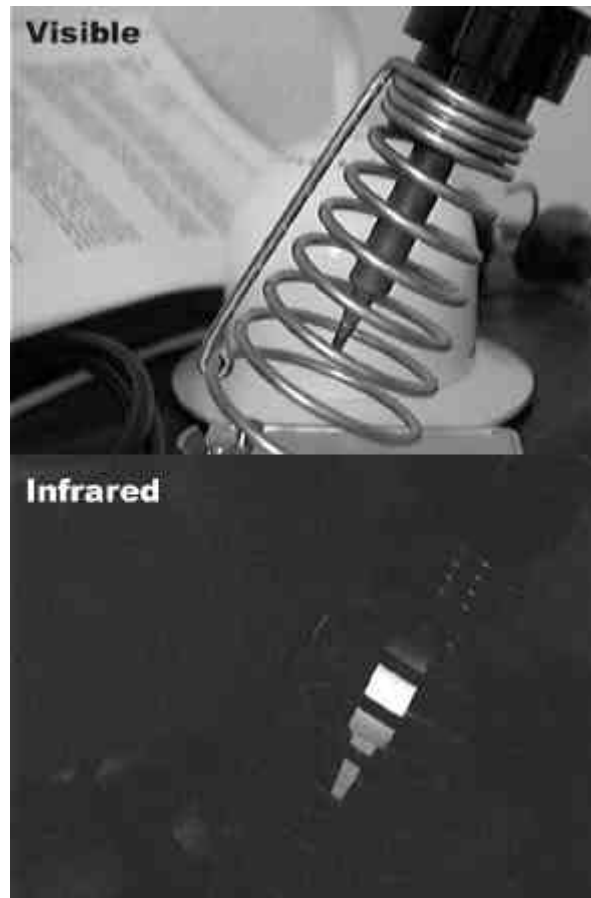
Séminaire SNA
Malvilliers
21/03/03



Occultation de
Saturne par la Lune
(novembre 2001)

Toutes ces images avec des
temps d'exposition de l'ordre de
la seconde ont été obtenues
sans refroidissement.

Utilisation de la
webcam en infrarouge



Fluorescence en
minéralogie sur un
cristal de Willemite



Spécifications intrinsèques

CCD	Kodak KAF-0401E + TI TC-211
Pixel Array	765 x 510 pixels, 6.9 x 4.6 mm
Total Pixels	390,000
Pixel Size	9 x 9 microns
Full Well Capacity (ABG)	~50,000 e-
Full Well Capacity (NABG)	~100,000 e-
Dark Current	1e ⁻ /pixel/sec at 0° C
Antiblooming	Standard (non ABG as option)

Spécifications de lecture

Shutter	Electromechanical
Exposure	0.11 to 3600 seconds, 10ms resolution
Correlated Double Sampling	Yes
A/D Converter	16 bits
A/D Gain	$2.3e^-/ADU$
Read Noise	$15e^-$ RMS
Binning Modes	1 x 1, 2 x 2, 3 x 3
Pixel Digitization Rate	Up to 420,000 pixels per second
Full Frame Acquisition	~1 second

Exemple (voir site www.sbig.com)



M1. ST-7E LRGB image taken with an AO-7 adaptive optics device through a 16" f/10 telescope. Corrections were made at 4Hz. *Courtesy Marko Moilanen*

CCD SBIG – ST7

Première image (très modeste) obtenue sur le
C14 de la SNA, le 18 février 2003





Traitement d'images

Séminaire SNA
Malvilliers
21/03/03

Exemple de software très courant dans le domaine

- avi2bmp (freeware)
- iris (freeware)
- VidEdit
- PaintShopPro
- CorelDRAW
- CorelPHOTO-PAINT
- Adobe Photoshop



Traitement d'images

Séminaire SNA
Malvilliers
21/03/03

En principe, chaque traitement d'image(s) devrait être documenté dans le détail, afin de gagner de la systématique et du temps !

Brève description du traitement de l'image finale -> COMPOSITAGE

Software : avi2bmp_us, iris (version 3.5.4)

Sujet : Grand groupe de taches solaires

Optique : Celestron C8, au foyer (F=2m)

Capteur : Caméra Philips Vesta Pro (pitch de 5.6 microns)

Filtre : BG39

1) Sélection des images valables d'une séquence *.avi avec le software avi2bmp_us.

2) Sauvegarder les images individuelles en format *.fit.

Utiliser la fonction BATCH SAVING.

Ne pas activer l'option 4_DIGITS.

3) Recadrer toutes les images avec IRIS.

>PREGISTER file_in file_out 512 im_number

(Sélectionner un rectangle autour de la zone d'intérêt, au préalable).

4) Compositage des images par blocs de 9 avec IRIS.

>COMPOSIT file_outX 2.5 100 0 9 (sigma=2.5, nombre d'itérations=100)

5) UNSHARK MASKING sur chaque compositage intermédiaire, résultant d'un bloc de 9. sigma=1.8, coefficient=2.5

6) Nouveau compositage de la séquence traitée par UNSHARK MASKING.

7) Finition par COREL DRAW.

M. Willemin, 28/12/02

WEBCAM

- + Très bon marché
- + Très simple d'utilisation
- + Images visibles en temps réel (très utile pour la mise au point)
- + Possibilité de réaliser de petits films
- + Couleur à bon marché
- Fort courant d'obscurité rendant l'exploration du ciel profond impossible
- Images souvent compressées, réduisant la résolution

CCD spécifique à l'usage astronomique

- La plupart des modèles sont très onéreux
- + Très faible courant d'obscurité – Très adaptées pour les longues poses
- + Images sauvegardées sans compression (idéal pour le traitement)