

SAV Caméra et captation

Romuald Mosqueron

Octobre 2017



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD
/ REDS), 2017

Plan du cours

1. Les caméras
2. Capteurs CCD et Capteurs CMOS
3. Les applications

Les caméras

Qu'est-ce qu'une caméra?

Utilisée pour capturer des images chronologiquement pendant un certain temps.

Utile pour voir et analyser des mouvements:

- Films
- Analyse scientifique
- Observation de phénomène

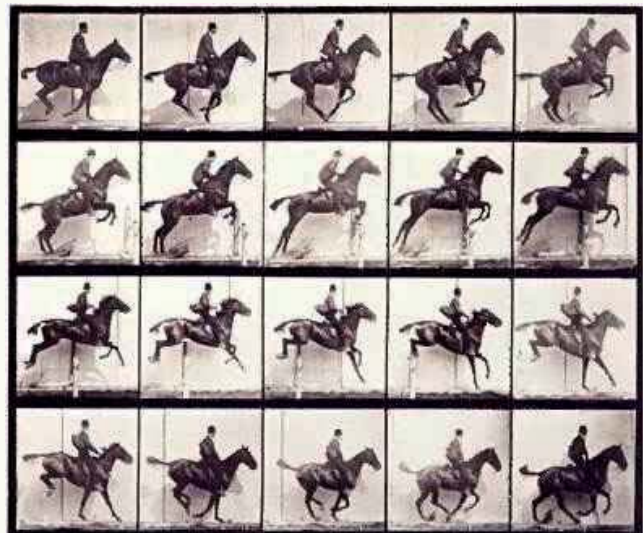
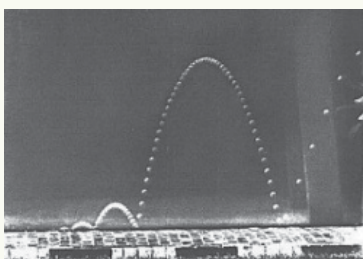
Les caméras

Pourquoi?

Les photographies ne fixaient que un seul moment.

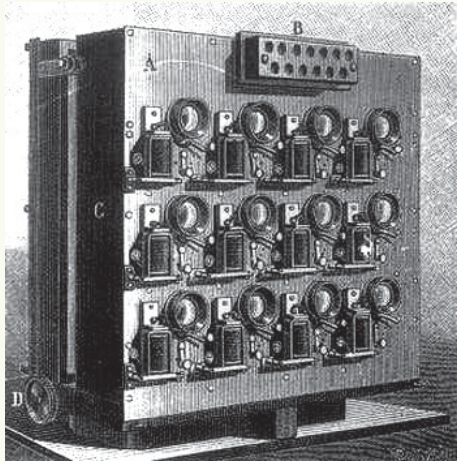
Comment faisait-on avant?

Plusieurs appareils photo pour capturer le mouvement ou sur-exposition.



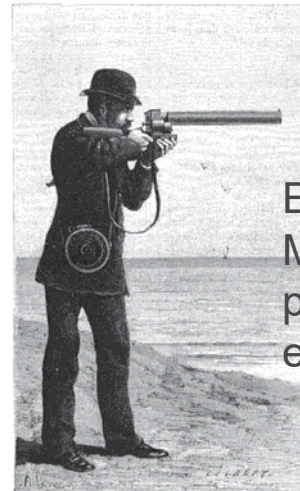
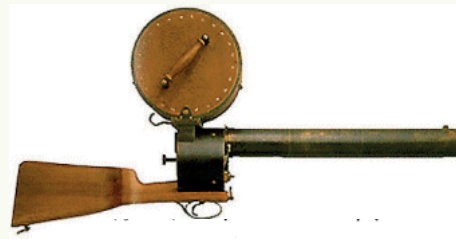
Exemple: Muybridge

Ancêtres:



Albert Londe : douze objectifs et autant de chambres noires, 1891

R. Mosqueron (HES-SO)



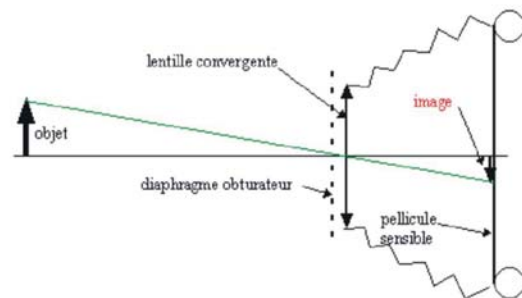
Etienne-Jules Marey: fusil photographique en 1882

Fig. 1. Mode d'emploi du fusil photographique.

Différents types de caméras:

- Caméra à film
- Caméra vidéo analogique
- Caméra vidéo numérique

1. Utilise la réaction chimique pour enregistrer l'image.
2. La caméra film a pour principe l'enregistrement successives de photographies sur une pellicule au cours du temps pour mémoriser une séquence.
3. Le principe de la photographie est donc utilisé et un système mécanique fait circuler la pellicule dans la chambre noire pour que l'image à cet instant y soit fixée.



Caméra à film (rapide)

1. Les appareils photographiques
2. Les caméras à défilement saccadé
< 100 images par seconde
3. Les caméras à défilement continu
> 100 images par seconde
4. Les caméras Mécano-optique
10 000 000 images par secondes

Inconvénient => nature du support
=> Caméra vidéo

Conversion de l'information lumineuse en signal électrique.

Analogique: support bande magnétique comme les caméscopes.

Numériques: support disques durs, flash...

Surface: photo-capteur

Augmenter la cadence => augmenter la bande passante

Amélioration des composants permet d'augmenter les caractéristiques.

Offre la possibilité de traiter directement les signaux.

Capteur et électronique de conversion (CAN) au plus proche, voire directement intégrée au capteur.

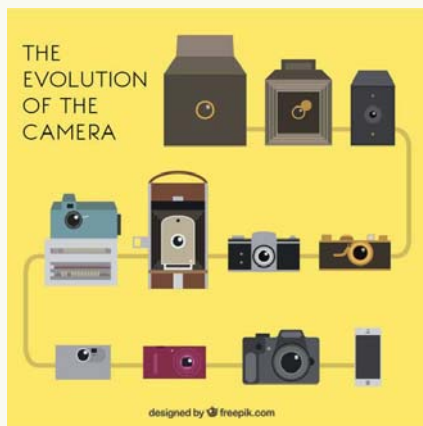
- 2 technologies utilisées

⇒ **CCD**

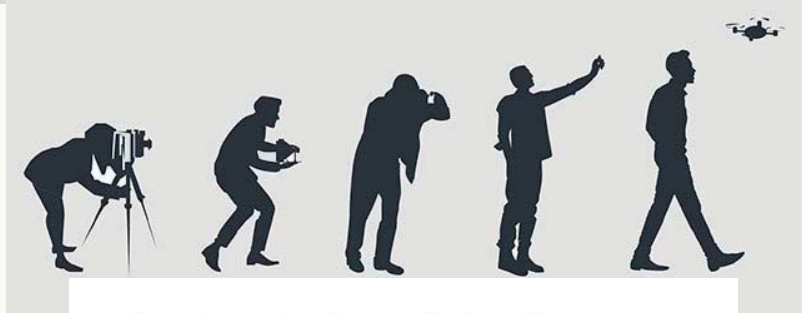
⇒ **CMOS**

Evolution

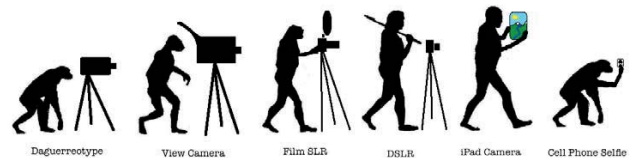
1927	1965	1977	1983	1984	1995	1995	2000	2005
								
Belax H-16 used 16mm film was popular for making home movies since 1927 to 1950s.	Super 8 used film in a cartridge was popular for making home movies in the 60s.	Polaroid used film in a cartridge. The cartridge had to be destroyed to view the film. Launched in 1977 to 1979.	Betamovie BMC-100 the world's first camcorder with a mounted-video cassette recorder.	JVC GR-C1 was notable as the first all-in-one VHS camcorder by introducing VHS-C cartridge.	SONY DCR-VX1000 Sony launched DCR-VX1000 which was the first camera to use MiniDV tape.	Apple video iPhone P8A Apple prototype mobile phone that is capable of recording video and taking photograph.	Hitachi MV1000 Launched by Hitachi was the world's first camcorder to use DVD-RAM.	Panasonic AG WVX2000 Earlier High definition camera to use MiniDV tape combined with P2 digital storage.



15/11/2017



The Evolution of the Camera



11

Plan du cours

1. Les caméras
2. Capteurs CCD et Capteurs CMOS
3. Les applications

Capteur ?

~~Pixel~~

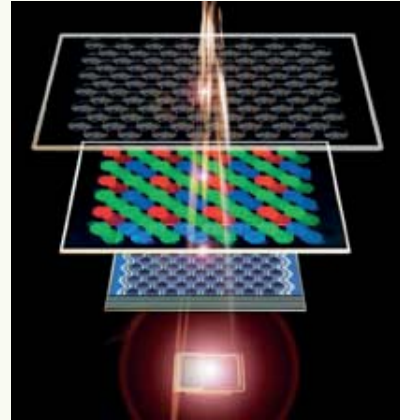
Cellules photovoltaïques

1. Mesurent : Intensité de la lumière et sa couleur.
2. Convertit en signal électrique.

Deux éléments sont superposés:

- Cellules photosensibles
- Dispositif à transfert de charge

Filtre de couleur pour les pixels.



Fonctionnement

1. Quand on appuie sur le déclencheur d'un appareil, le diaphragme s'ouvre et laisse le passage à une certaine quantité de lumière composée de photons.
2. Chaque photon transporte une énergie particulière qui, absorbée par un atome de silicium, libère un électron.
3. L'ensemble des électrons ainsi obtenus constitue une charge qui va être isolée, puis conduite vers un amplificateur qui s'occupe alors de la conversion charge/tension.

1. Quand on appuie sur le déclencheur d'un appareil, le diaphragme s'ouvre et laisse le passage à une certaine quantité de lumière composée de photons.
2. Chaque photon transporte une énergie particulière qui, absorbée par un atome de silicium, libère un électron.
3. L'ensemble des électrons ainsi obtenus constitue une charge qui va être isolée, puis conduite vers un amplificateur qui s'occupe alors de la conversion charge/tension.

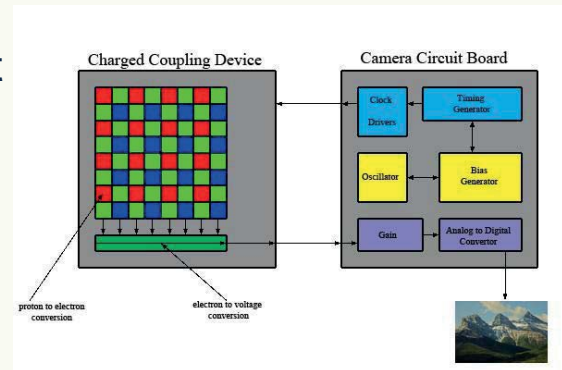
CCD VS CMOS

CCD = Charge-Coupled Device

Composé d'une matrice de cellules photosensibles qui transfère la charge vers un collecteur qui transfère à son tour l'ensemble des charges vers le convertisseur.

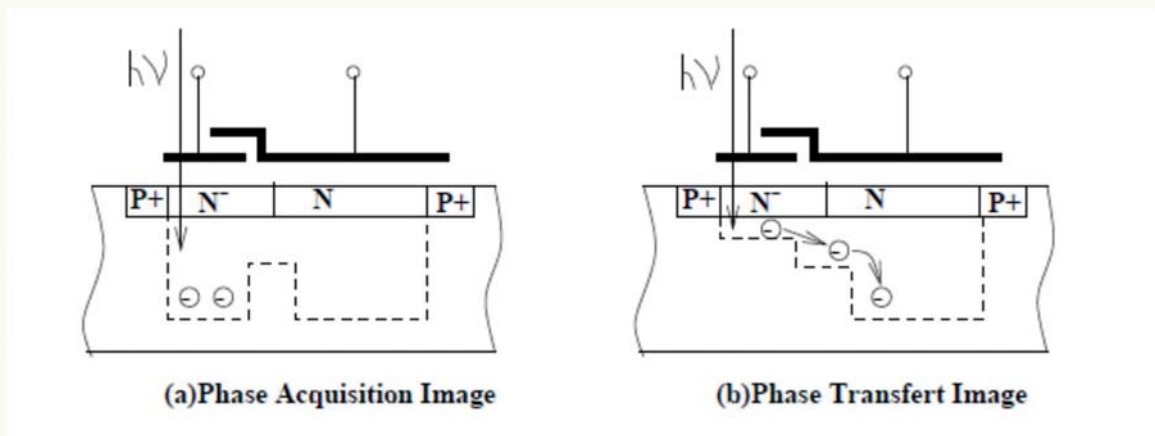
Conversion charge-tension en un point unique suite à un transfert de charge récolté au niveau des pixels

Premier capteur utilisé dans la photographie.



Deux phases pour la capture:

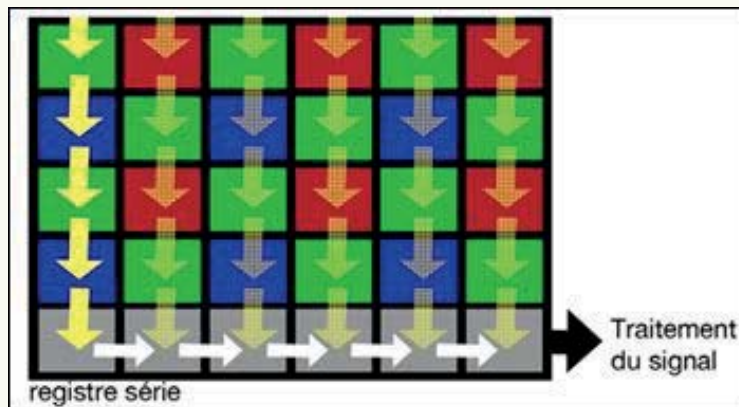
1. Temps d'intégration
2. Temps de transfert



Photosites: Large, très bonne qualité.

Si trop petit: peu sensible, très bruité

Si trop grand: définition et finesse limités



R. Mosqueron (HES-SO / HEIG-VD / REDS), 2017

Les capteurs utilisés par les caméras => le spectre peut être plus large ou plus sélectif suivant le type de matériau utilisé. Les détecteurs peuvent être classés en trois grands groupes dépendant du spectre qu'ils couvrent:

- Ultraviolet : GaP (Phosphure de Gallium), GaN (Nitrure de Gallium), SiC (Carbure de Silicium) ou TiO₂ (Dioxyde de Titane).
- Infrarouge et au-delà: InGaAs (Arséniure de Gallium et Indium).
- Visible, proche-infrarouge: Si (silicium).

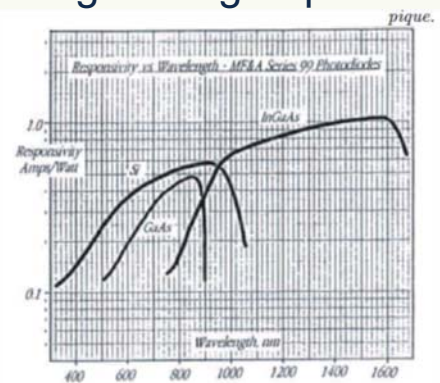
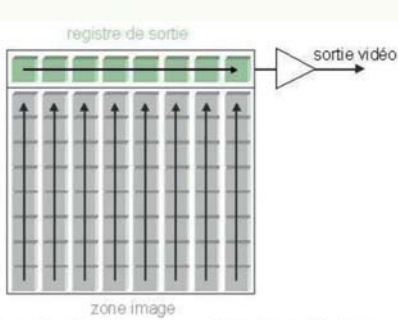


FIG. 1.5 - Spectre des capteurs.

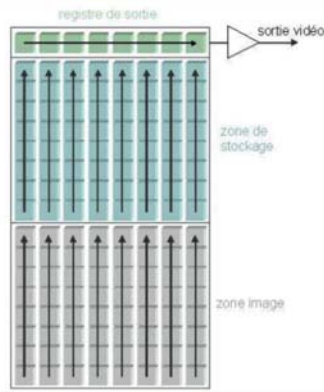
CCD

Trois types de CCD:

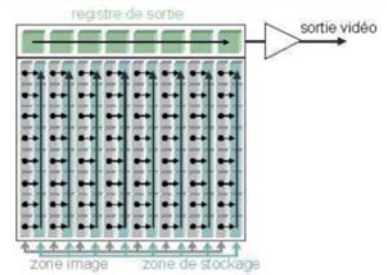
- Plein cadre Transfert de trames Interligne



Transport des charges avec un capteur à transfert parallèle-série :
 1) après le temps d'intégration, l'obturateur est fermé et les charges sont transférées dans le registre horizontal
 2) les charges sont évacuées en série



Transport des charges avec un capteur à transfert de trame
 1) les charges sont transférées dans la surface de stockage
 2) les charges sont transférées vers le registre de sortie
 3) les charges sont évacuées en série



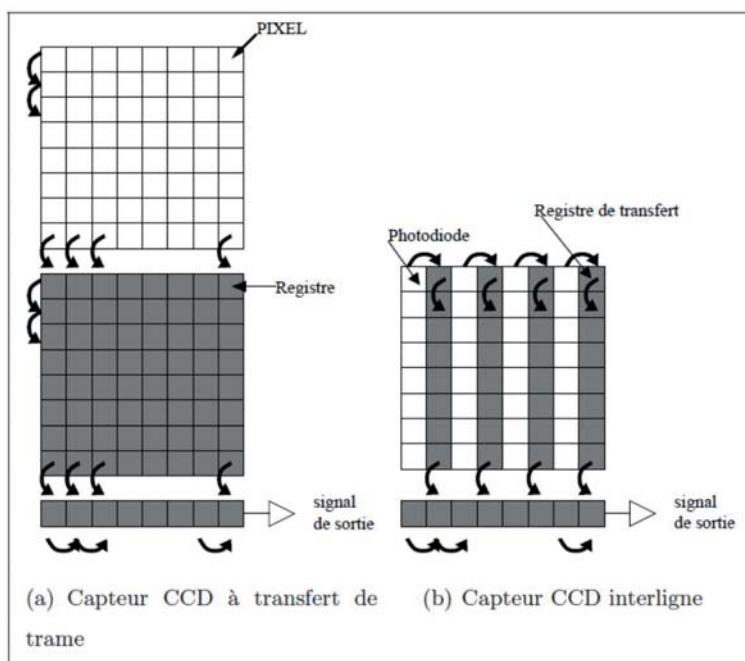
Transport des charges avec un capteur à transfert interligne
 1) les charges sont transférées dans les colonnes de stockage
 2) les charges sont transférées vers le registre de sortie
 3) les charges sont évacuées en série

CCD

Trois types

- Plein ca

gne



Avantages:

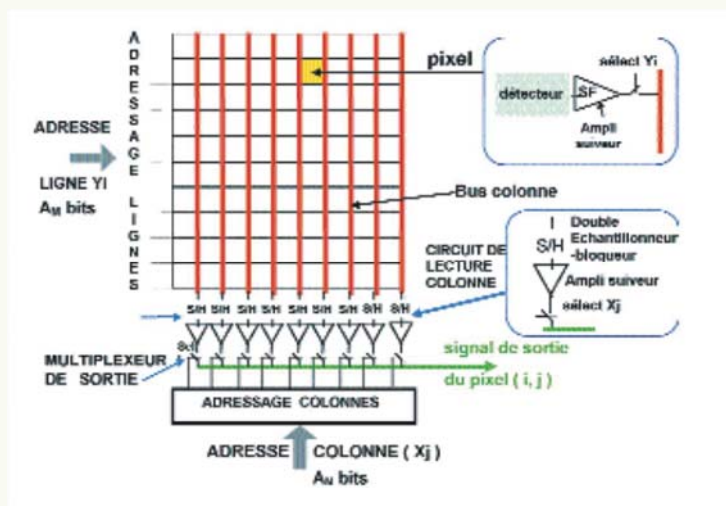
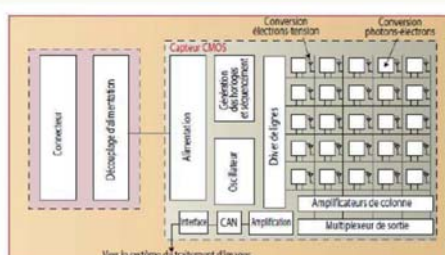
- Sensibilité à la lumière, meilleur rendu en faible lumière
- Fill factor proche de 1 => qualité élevé
- Bruit très faible car peu d'électronique près du pixel

Inconvénients:

- Saturation au fortes luminosités (blooming, smear)
- Horloges multiples pour les transferts de charges
- Pas ou peu de possibilité de ROI
- Forte consommation

CMOS

CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor
la conversion est directement opérée au niveau du pixel. Une amplification et une conversion analogique numérique sont faites pour chaque pixel. Surface d'un photosite est en partie occupée par l'électronique, pour convertir la charge en tension



Atouts du CMOS:

- Utilisation d'une technologie identique à celle des éléments de traitement (processeurs, DSPs, FPGA) ce qui facilite grandement leur intégration dans des systèmes.
- Possibilité d'adresser aléatoirement les pixels et ainsi de récupérer uniquement les parties de l'image qui nous intéressent (ROI) ou d'atteindre des fréquences extrêmement rapides en sortie pour de petites résolutions.
- Intégration de traitement au niveau du pixel

Réponse spectrale



Avantages et inconvénients

Avantages:

- ROI
- Compacité
- Faible consommation
- Acquisition grandes vitesses
- Alimentation standard au CMOS
- Faible cout
- Pas de Blooming

Inconvénients:

- Bruit spatial fixe important
- Fill factor réduit
- Peu sensible en faible lumière

Comparaison

CCD vs. CMOS Sensors		
	CCD	CMOS
Cost	expensive to produce because of special manufacturing methods employed	inexpensive because CMOS wafers are used for many different types of semiconductors
Power	consumes up to 100x more power than CMOS	low power consumption
Noise	high quality, low noise images	susceptible to noise
Maturity	produced for longer period; higher quality images, more pixels	less mature but equal in low and middle range resolutions to CCD
Extended functionality	technically feasible; other chips are used	other circuitry easily incorporated on same chip
Fill factor	high	low

		CMOS	CCD	
Intrinsèque à la technologie	Process	+	-(spécifique)	
	Fill Factor	- de 20 à 50%)	+ (30 à 100%)	
	Consommation	+(3 à 10 fois moins de 2 à 100mW)	-(de 150 à 2000mW)	
	Vitesse de lecture Adressage XY	+ (Accès aléatoire)	-fixe	
	Fonctions	au niveau du pixel	+	-
		au niveau du chip	+ (Analogique,A/D, mémoire,traitement)	- (difficile)
Packaging connection	+	-		
Progression envisageable	FPN ¹	-	+(≈ 0%)	
	Bruit de lecture	- (100 à 200 e)	+ (3 à 40 e)	
	PRNU ²	- (5%)	+	
	Coût des systèmes	+ (environ - 30%)	-	

Caractéristiques métrologiques	Capteur CCD	Capteur CMOS
Résolution	Comparable	
Taille des pixels	Comparable	
Sensibilité	Elevée	Moyenne
Bruit	Faible	Elevé
Risques de saturation	Elevée	Faible
Rapidité	Grande	Très grande

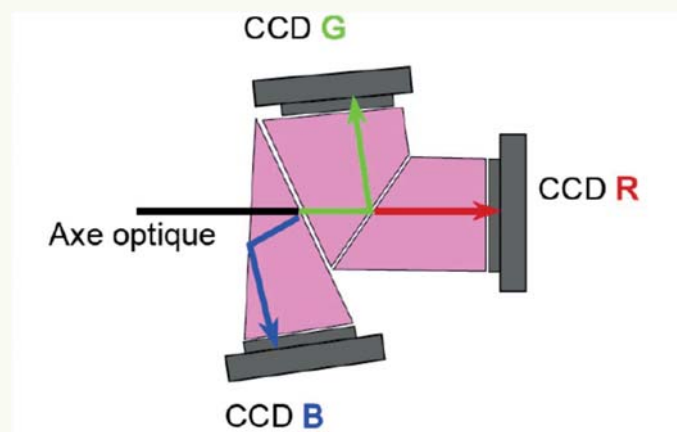
Et la couleur?

Comment gère t'on les couleurs?

1. Tri CCD/CMOS
2. Foveon x3
3. Filtre de bayer

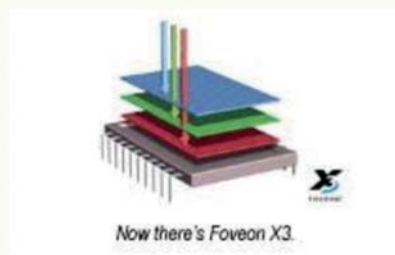
Tri-CCD/CMOS

Le capteur Tri-CCD à pour principe de base d'envoyer le signal lumineux vers trois capteurs CCD différents (CCD R, CCD V, CCD B). Chaque capteur est utilisé pour l'acquisition d'une composante couleur.



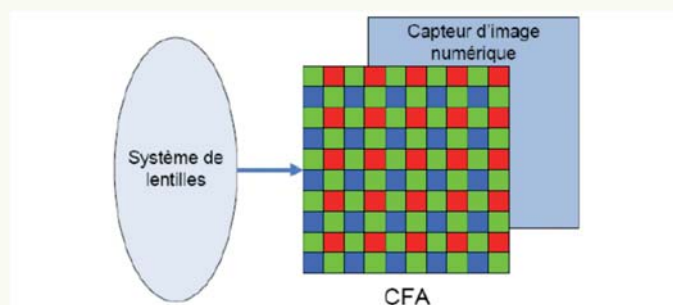
Foveon-X3

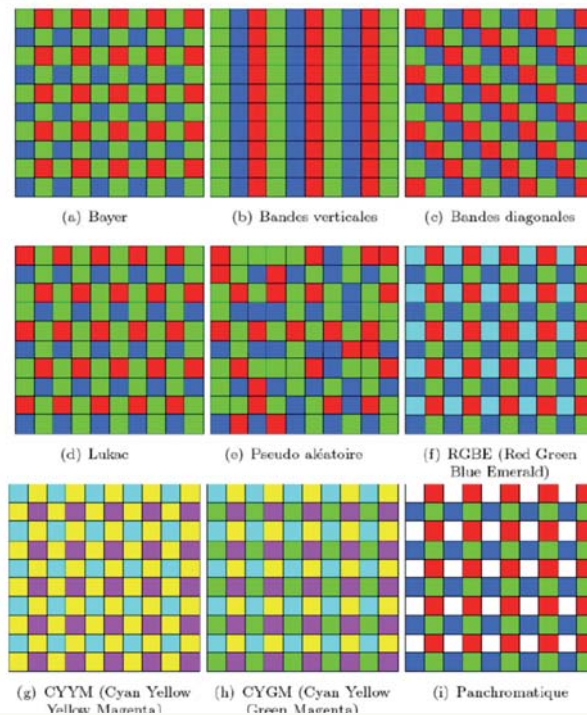
Le capteur Foveon X3 part du principe que la lumière pénètre plus ou moins le capteur. Il est basé sur la fréquence (couleur) du rayon. L'information est complète en chaque point de l'image avec ce type de capteur. En partant du principe physique que le bleu pénètre peu le cristal, le rouge plus et le vert entre les deux. A partir de cette constatation, on met les filtres à différentes profondeurs.



Filtre de Bayer

Le filtre de Bayer est le filtre CFA (Color Filter Array) le plus utilisé. Le principe est d'utiliser plus d'éléments verts que de rouges ou de bleus.





Vers la fin du CCD...

La longue bataille entre capteurs CCD et CMOS semble terminée :

Sony, le principal fabricant de capteurs CCD à ce jour, a annoncé son intention d'en suspendre la production en 2025.

Source : CEI Europe

Voir pdf dans documents.

Vainqueur

Pas de vainqueur.

Tout dépend de l'application.

Le CMOS a rattrapé le CCD sur beaucoup de points.

Faire une étude de l'application et choisir le bon capteur!

Plan du cours

1. Les caméras
2. Capteurs CCD et Capteurs CMOS
3. **Les applications**

CCD: Applications nécessitant un haut niveau de précision, pour les systèmes de traitement d'images complexes, les applications scientifiques, pour celles présentant un faible niveau d'éclairage.

CMOS: Utilisés pour le contrôle industriel simple, ne nécessitant pas impérativement une qualité d'image très élevée.

En utilisant la méthode de global shutter, les capteurs CMOS ont un intérêt pour l'acquisition d'objets en mouvement ou à grande vitesse. Le global shutter permet une exposition entière et en même temps de tous les photosites présent sur le capteur. Normalement les CMOS fonctionnent ligne de photosites par ligne de photosites (méthode de rolling shutter).

Comme déjà vu ce sont les applications dont nous avons les représentations les plus connues.

Plusieurs types de capteur peuvent être utilisés.

Capteur CCD (tri-CCD) pour les caméras de tournage.

Capteur CCD haute vitesse pour les slow-mo

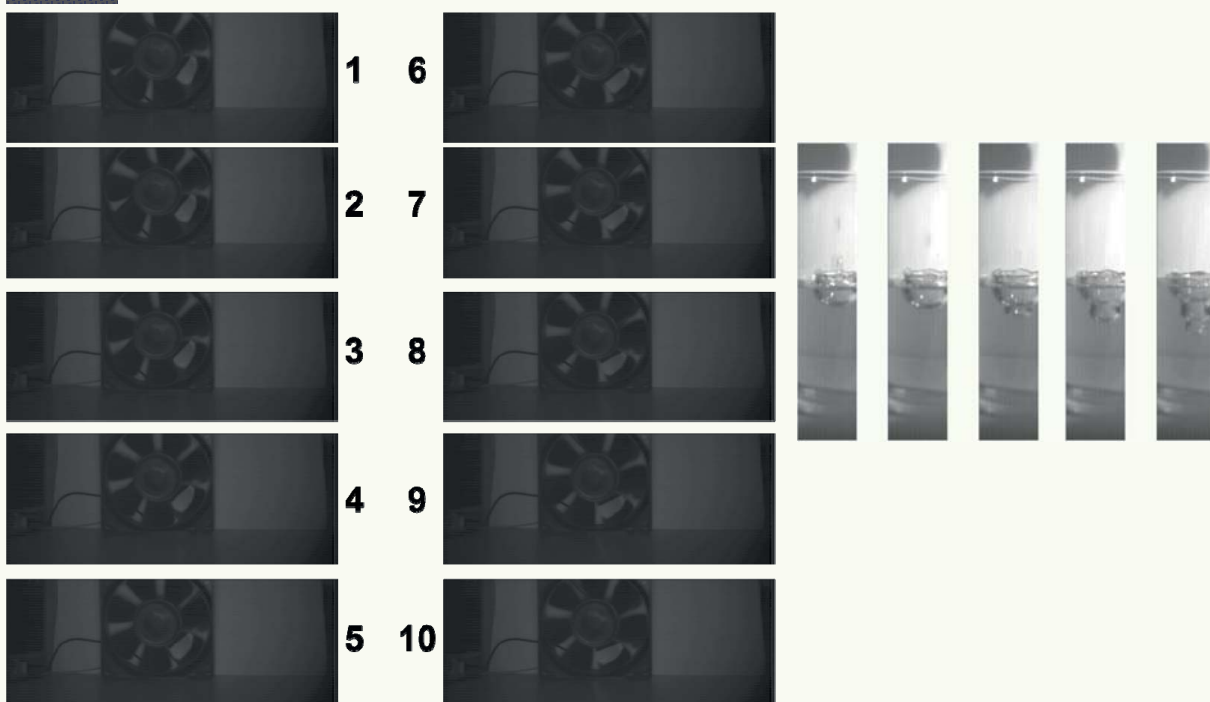
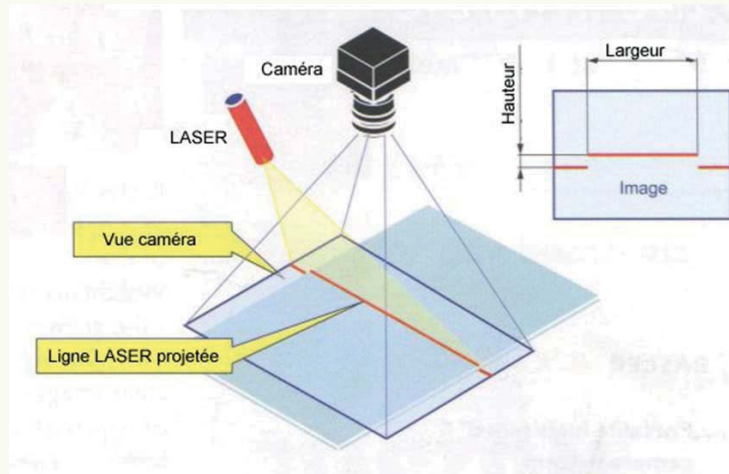
Capteur CMOS pour les caméras embarqués, type Gopro

Etc...

Suivant l'application et l'observation.
CMOS le plus souvent utilisé.

Observer et détecter des événements:

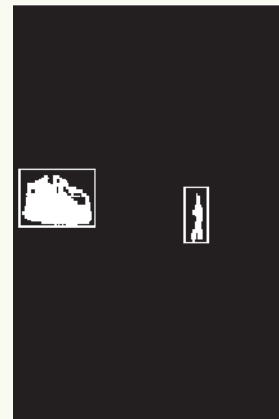
- Spectraux
- Rapides
- Défauts
- Etc...



Toutes applications militaires peut être innovantes et ensuite portées au public (voir internet)

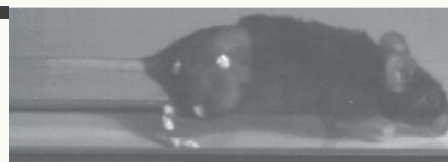
Application:

- Surveillance
 - Diurne
 - Nocturne (capteur IR)
- Tracking
- Guidage
- Etc...



Adaptées à l'observation:

- Evénements brefs,
- Astronomie,
- Médical,
- Stockage,
- Etc...



- Contrôle de la qualité,
- La sécurité dans l'industrie,
- La médecine,
- La biomécanique,
- La recherche scientifique
- Etc...

Evénement bref => caméra rapide représente un moyen non destructif d'analyse numérique quasi instantanée et souple d'utilisation

Exemple

- 1000 images par seconde
- Choc < 100 ms

⇒ Observation de différents paramètres

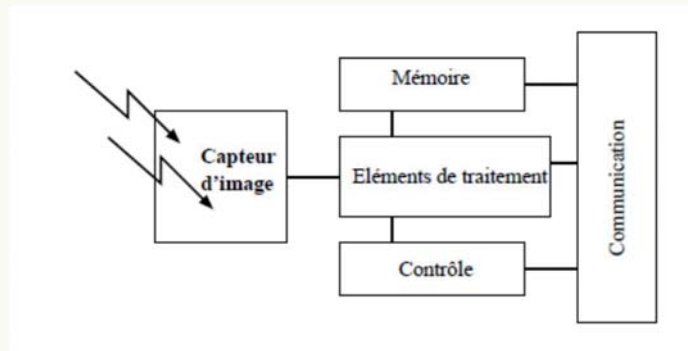
- Ceinture
- Airbag
- Déformation du capot
- Airbag
- Etc...



Caméra intelligente

Capteur + traitement dans le même système

Sortir seulement le résultat ou l'action à faire



Caméra intelligente

Rétine: similaire à l'œil.

Traitement proche du pixel, de plus en plus complexe.

Système embarqué: s'affranchir de calculateurs performants et diminuer la bande passante.

Algorithmes de plus en plus complexes.

Utilisation de FPGA, DSP, etc...