

Vision industrielle

Capture d'image

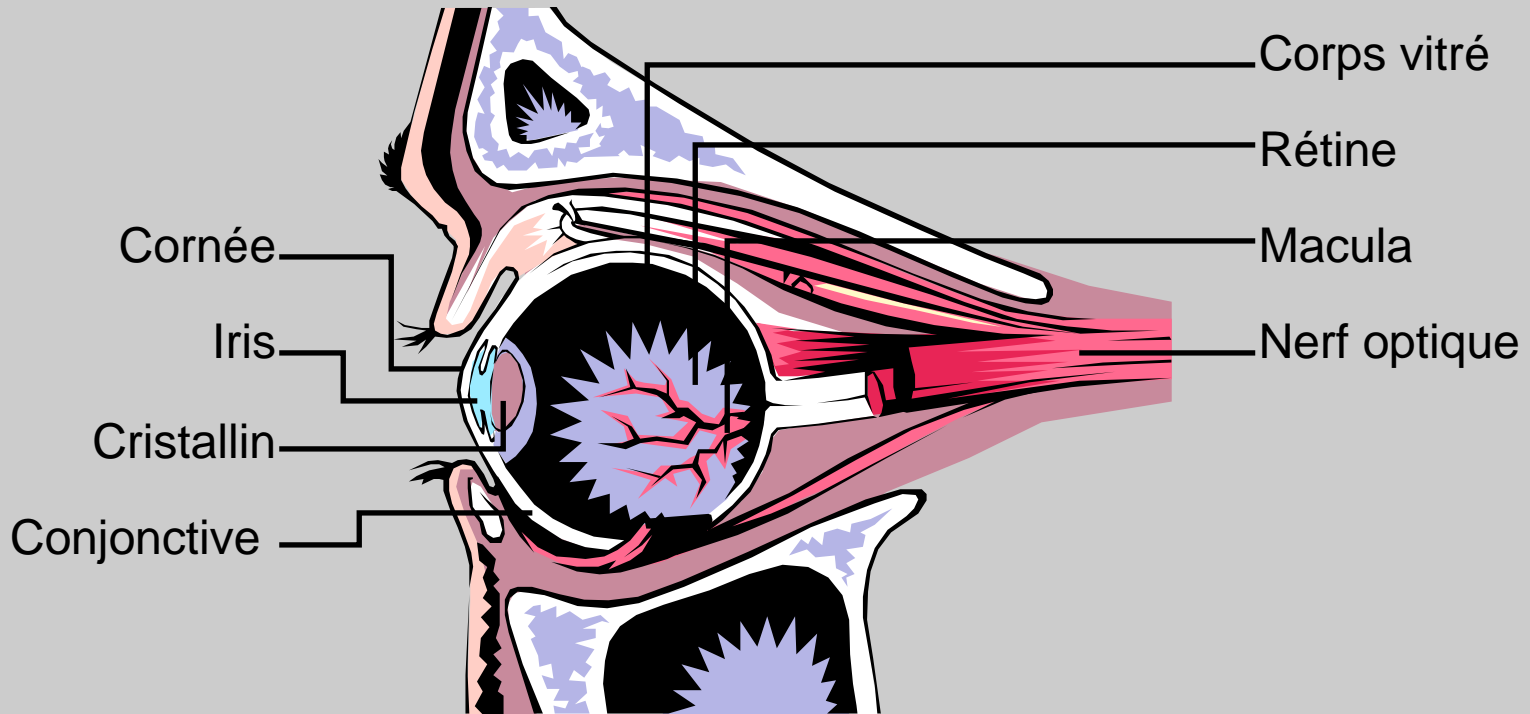


Plan du cours

- Vision humaine
- La caméra
- CCD / CMOS
- Monochrome / Couleur
- Analogique / Numérique
- Matricielle / Linéaire

L'œil

- Composition



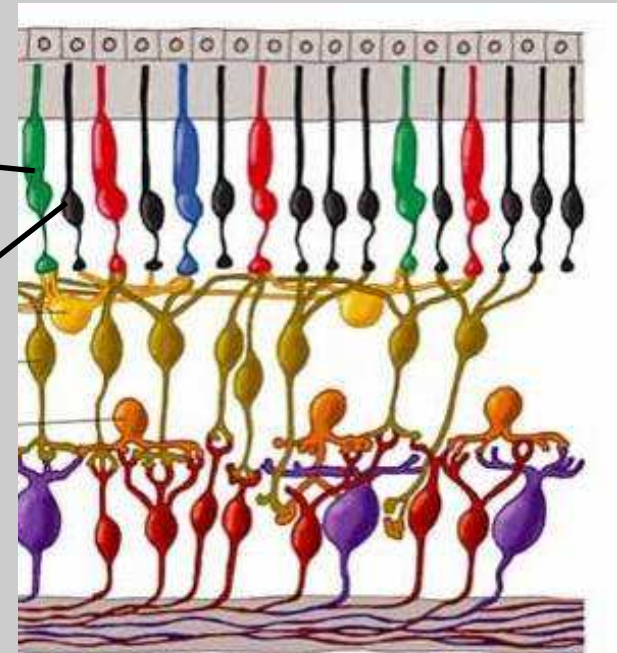
L'œil

- La rétine

- C'est sur elle que viennent se projeter les images de la scène que nous observons. Elle contient deux types de cellules photosensibles : les **cônes** et les **bâtonnets**.

Cônes : ils permettent la vision diurne (vision photopique).

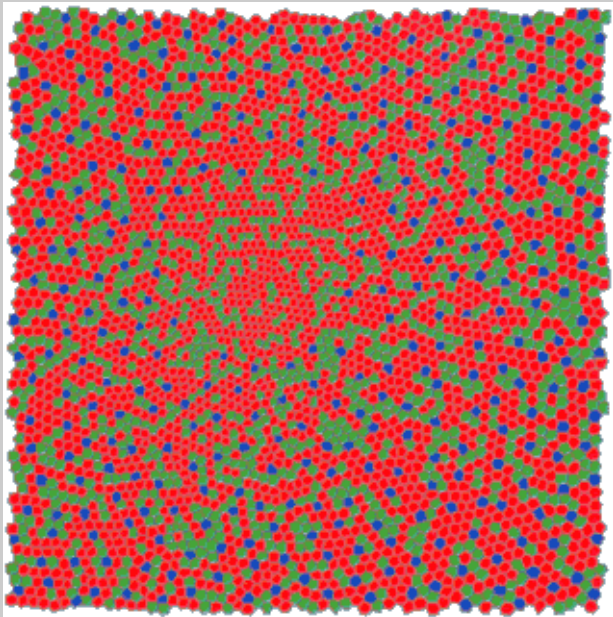
Bâtonnets : ils permettent la vision nocturne (vision scotopique)



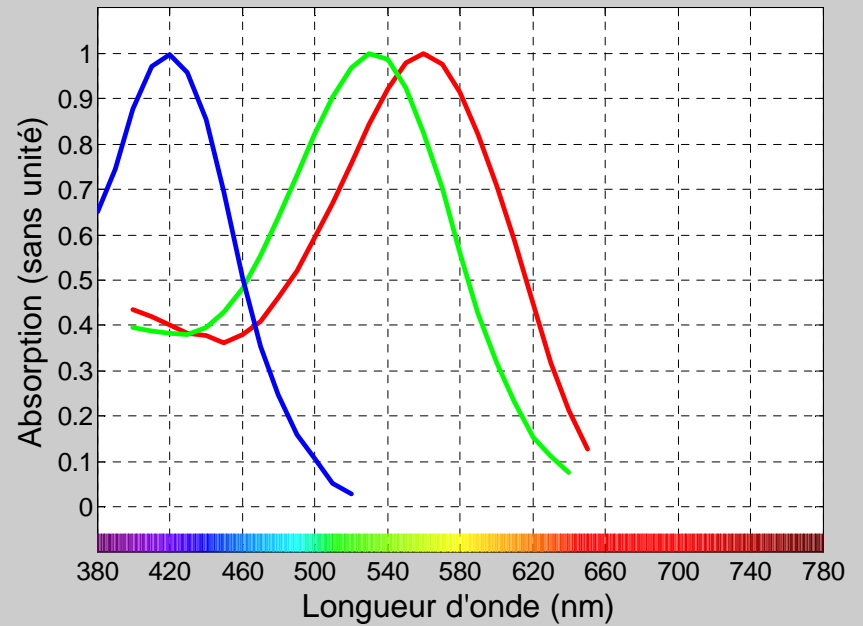
L'œil

- Les cônes sont de trois types :
 - ◆ cônes S (short) sensibles aux longueurs d'onde courtes (bleu),
 - ◆ cônes M (medium) sensibles aux longueurs d'onde moyennes (vert),
 - ◆ cônes L (long) sensibles aux longueurs d'onde longues (rouge).

L'œil



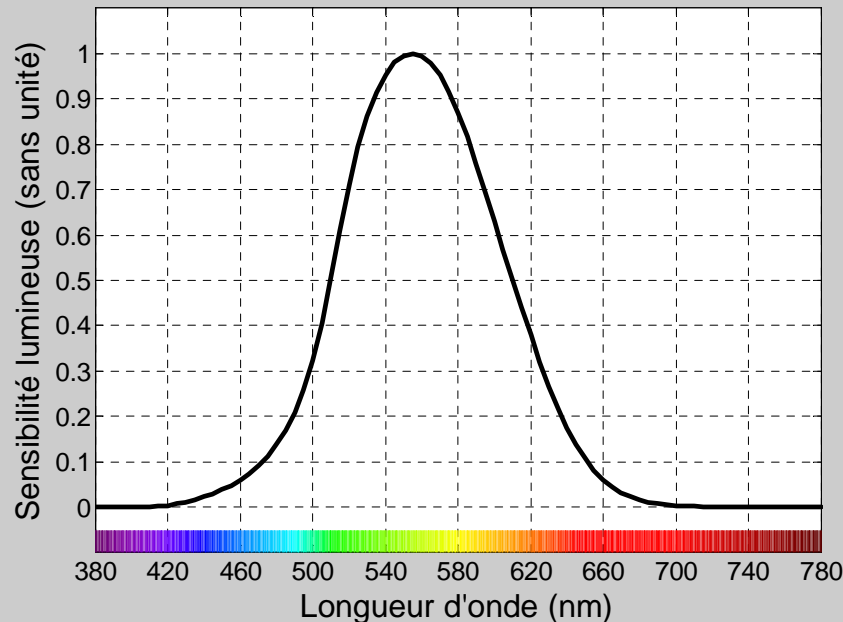
Répartition des cônes



Fonctions d'absorption relative des cônes

L'œil

■ Sensibilité lumineuse de l'œil



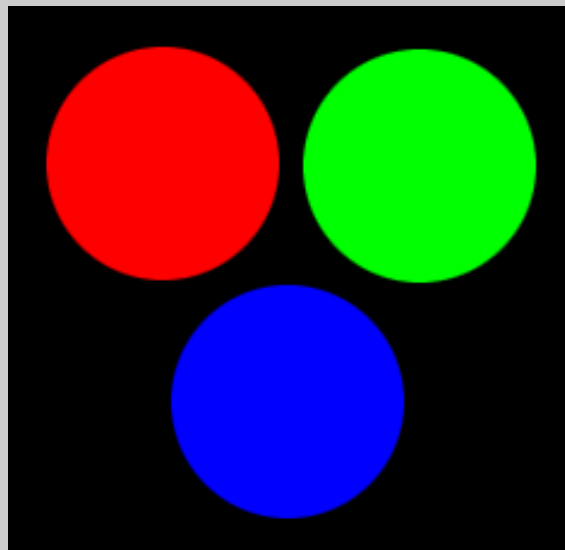
L'œil humain est plus sensible aux couleurs verte ou jaune qui nous apparaissent plus claires que les couleurs bleu ou rouge plus sombres.

Fonction d'efficacité lumineuse relative spectrale de l'œil

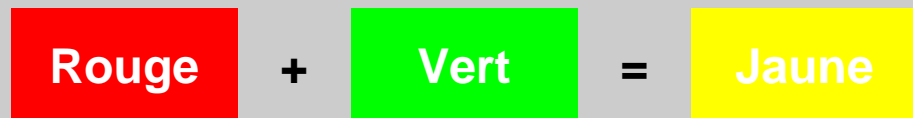
Théorie trichrome

- Définition

- Tout stimulus de couleur peut être reproduit par le mélange de trois autres stimuli : le rouge, le vert et le bleu, appelées **primaires**.

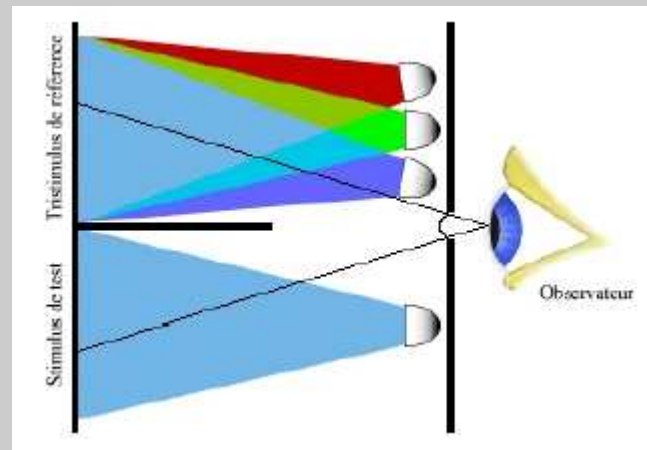


Synthèse additive

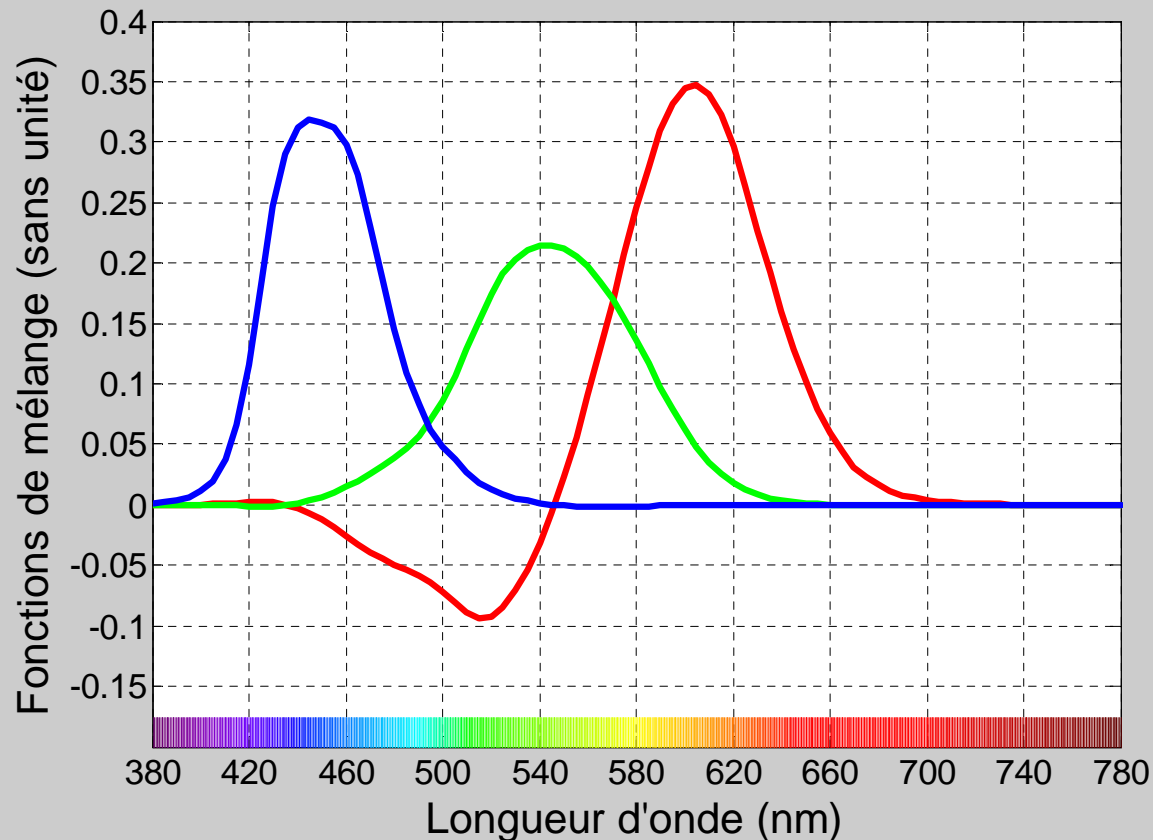


Théorie trichrome

- Expérience d'égalisation (ou d'appariement)
 - L'observateur doit reproduire une couleur par mélange en quantité appropriée de trois primaires rouge, verte et bleue ou soustraire à la couleur à reproduire les quantités nécessaires de ces primaires pour permettre l'égalisation.

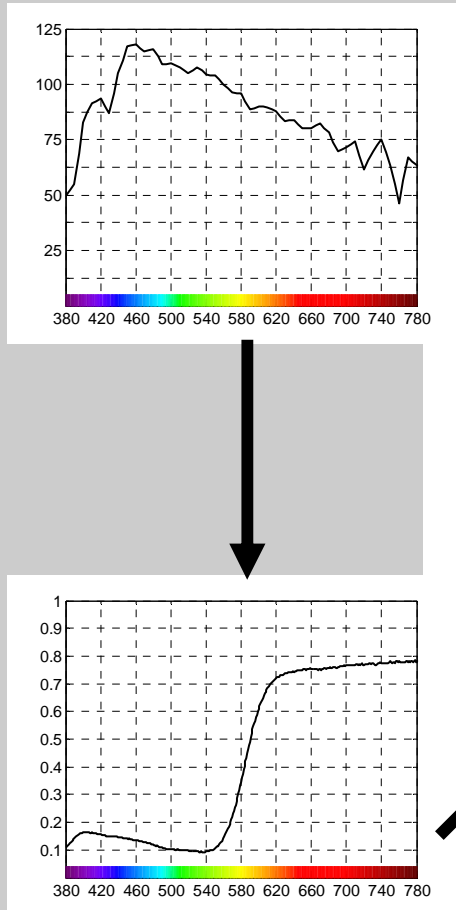


Théorie trichrome

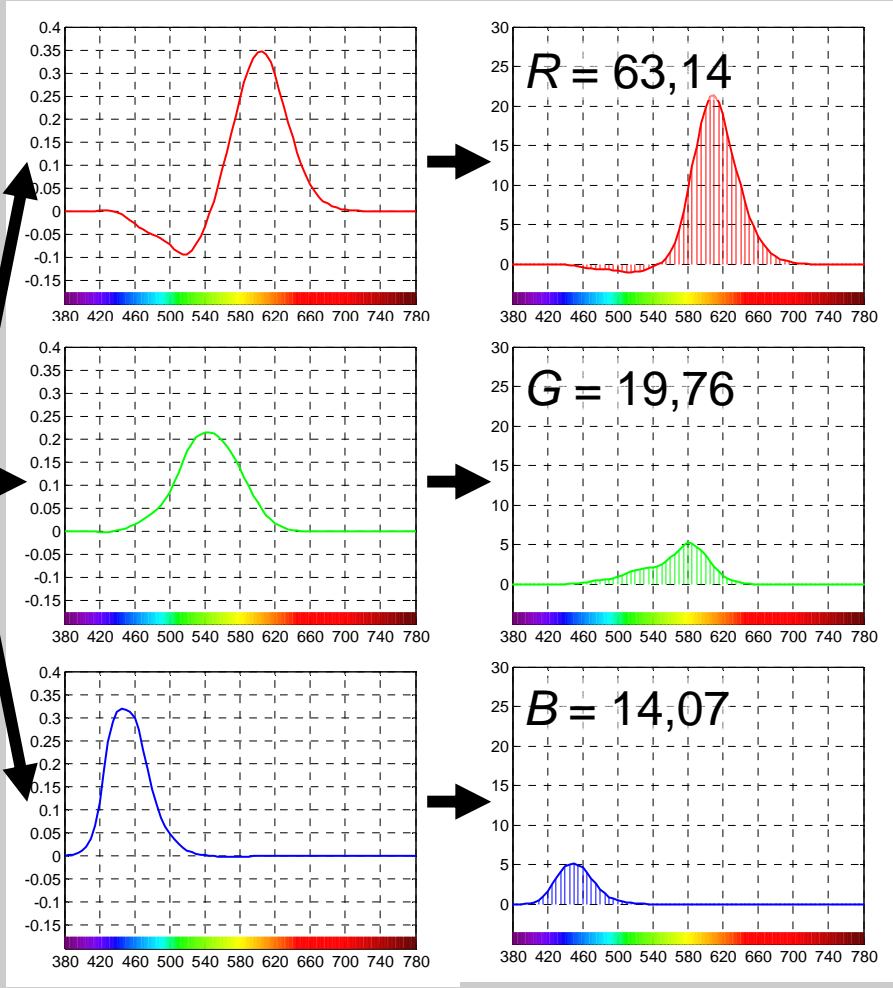
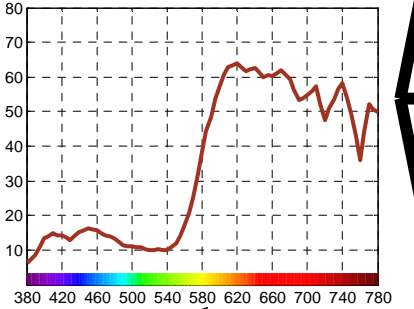


Fonctions colorimétriques

Mesure de la couleur

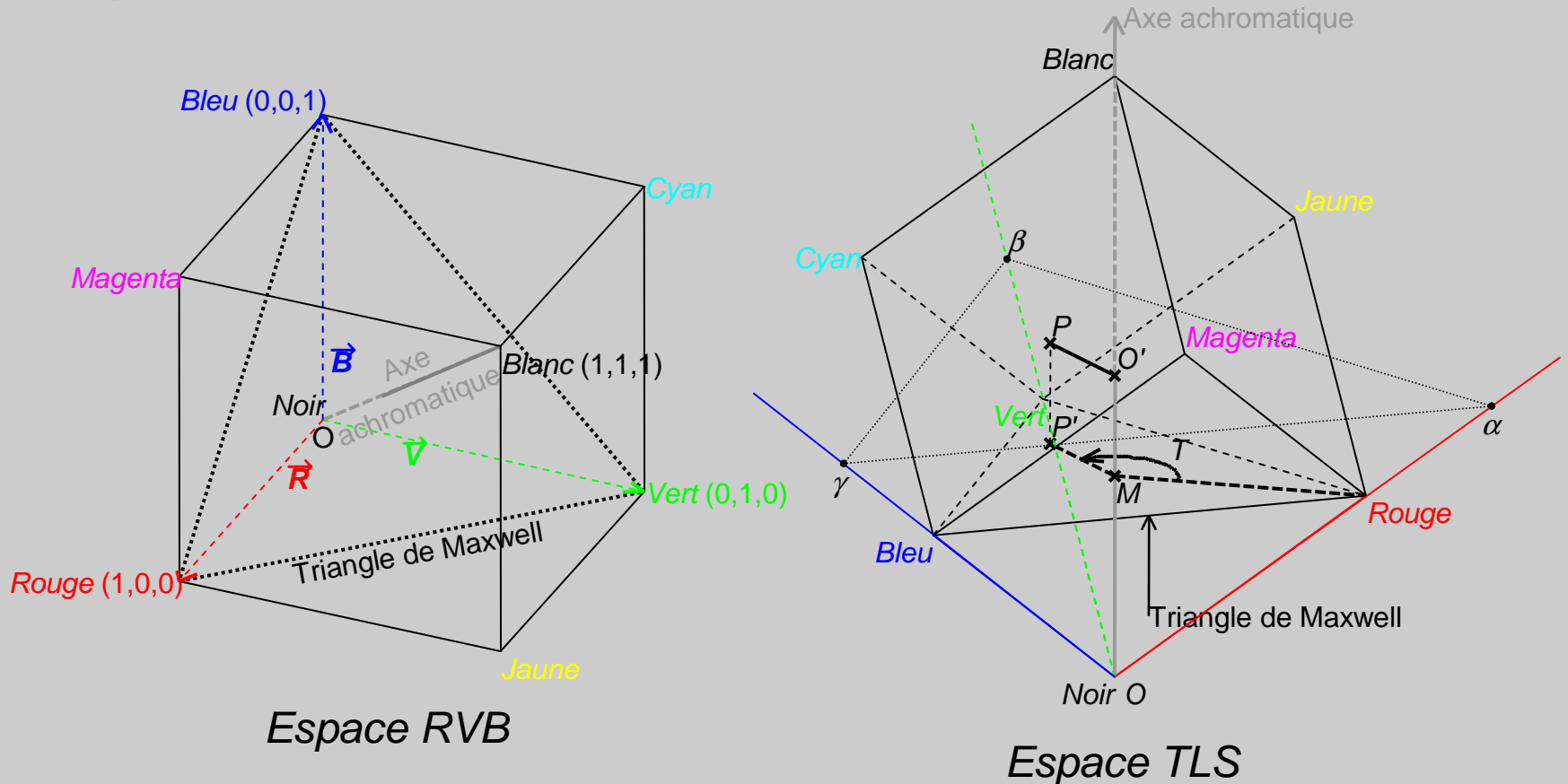


$$V = 1,0000R + 4,5907G + 0,0601B$$



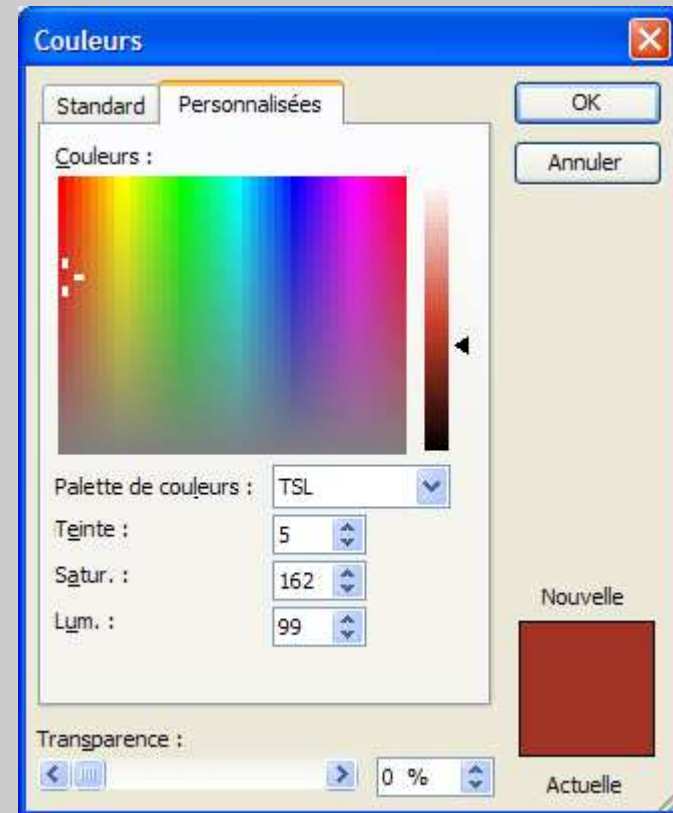
Représentation de la couleur

- Espaces couleur



Représentation de la couleur

■ Exemple



Définition

- La caméra est l'élément qui permet de capturer l'image d'une scène réelle.
- Elle est composée :
 - d'un capteur constitué d'éléments semi-conducteur photosensibles (silicium) qui convertissent l'énergie lumineuse (photon) en une énergie électrique (électron) et qui sont disposés sous forme matricielle ou linéaire,
 - de composants électroniques permettant la mise en forme du signal image.

Caractéristiques

- Temps d'intégration
 - Temps pendant lequel le capteur doit être exposé à la lumière.
 - Il peut être réglable grâce à un shutter (obturateur) électronique ou fixe pour répondre aux normes TV.

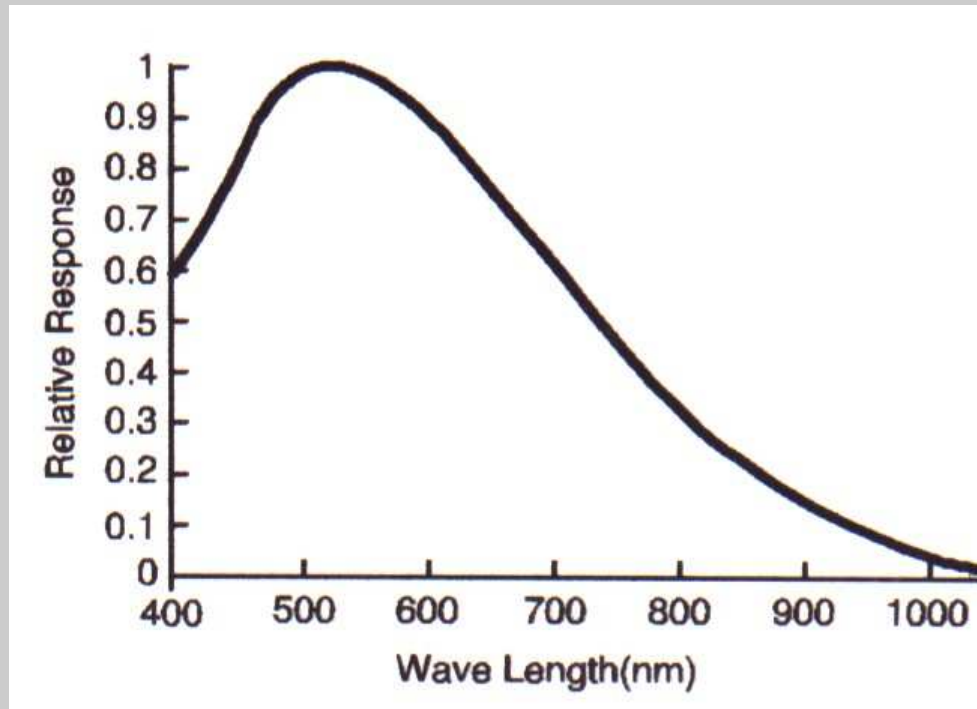
Caractéristiques

- La sensibilité
 - Variation électrique pour un éclairement donné
 - Intensité lumineuse minimale que la caméra peut détecter
 - Lorsque la sensibilité est faible, la caméra est limitée pour des application à temps d'intégration faible.
 - Lorsque la sensibilité est trop forte, il y a risque de saturation du capteur.

Caractéristiques

- La réponse (ou sensibilité) spectrale
 - C'est la région du spectre dans laquelle est sensible la caméra.
 - Les capteurs sont sensibles dans le visible mais également dans le proche infrarouge (IR) et ultraviolet (UV).
 - Lorsque leur maximum de sensibilité est centré sur le rouge, l'utilisation de filtres infrarouges est souvent préconisée.
 - Au contraire, la sensibilité de certains capteurs dans l'infrarouge ou l'ultraviolet permet de concevoir des caméras IR et des caméras UV.

Caractéristiques



Réponse spectrale de la caméra monochrome SONY XC-55

Caractéristiques

- Le rapport signal/bruit
 - C'est le rapport entre la puissance du signal de sortie et le niveau du bruit présent en absence de signal.
 - Il dépend notamment de l'électronique associée au capteur.
- La fréquence d'acquisition
 - C'est le nombre d'images par seconde que peut acquérir la caméra.
- Température de fonctionnement
- Résolution
 - C'est le nombre de pixels du capteur.

Caractéristiques

Dénomination	Résolution	Rapport	Taille image
QVGA	320 × 240	4:3	76 800
VGA	640 × 480	4:3	307 200
SVGA	800 × 600	4:3	480 000
XGA	1024 × 768	4:3	786 432
SXGA	1280 × 1024	5:4	1 310 720
UXGA	1600 × 1200	4:3	1 920 000
QXGA	2048 × 1536	4:3	3 145 728
QSXGA	2560 × 1920	4:3	4 915 200

Les résolutions standard de capteurs

Caractéristiques

- Taille du capteur
 - Pour une même résolution, plus la taille du capteur est grande, plus il est sensible.
 - Historiquement, les tailles ont été créées pour les caméras à tubes et ont gardées les mêmes caractéristiques pour les caméras à semi-conducteurs. Leurs dénominations correspondent donc à la taille de la diagonale des caméras à tubes.
 - Le rapport entre la hauteur et la largeur du capteur est de $4/3$. Ce rapport est celui qui correspond le mieux au champ visuel humain pour que l'image n'apparaisse pas déformée.

Caractéristiques

Dénomination	Taille (mm)	Rapport	Diagonale
1/4"	3,2 × 2,4	4:3	4
1/3"	4,8 × 3,6	4:3	6
1/2"	6,4 × 4,8	4:3	8
1/1,8"	7,176 × 5,319	4:3	8,933
2/3"	8,8 × 6,6	4:3	11
1"	12,8 × 9,6	4:3	16
4/3"	18 × 13,5	4:3	22,5

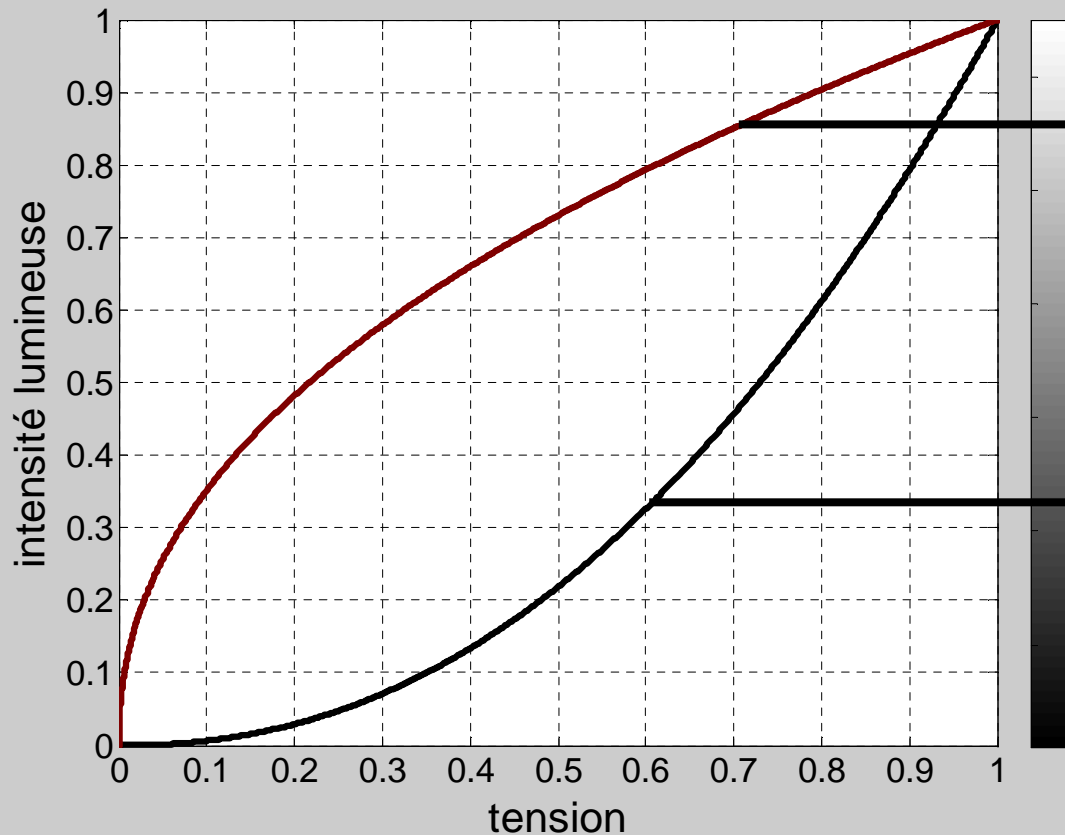
*Les tailles standards de capteurs
(1" (pouce) = 2,54 cm)*

Caractéristiques

- Fonction de transfert

- C'est le lien entre le signal lumineux et le signal électrique.
- Par exemple, une **correction gamma** est souvent utilisée pour que la fonction de transfert du capteur soit proche de celle de l'œil humain mais aussi pour que l'image soit affichée sur des écrans à tubes cathodiques.

Caractéristiques



La correction gamma consiste à compenser cette non linéarité en appliquant une loi inverse sur la caméra :

$$V = I^{(1/\text{gamma})}$$

L'intensité lumineuse I des écrans n'est pas proportionnelle à leur tension d'alimentation V mais suit une loi du type : $I = V^{\text{gamma}}$ qui rend les images plus sombres

Caractéristiques

- Gain

- Facteur multiplicatif permettant d'amplifier le signal image avant qu'il ne soit numérisé.
- L'augmentation du gain permet de compenser un manque de lumière mais amplifie également le bruit présent dans le signal.
- Il peut être fixe ou automatique.

Caractéristiques

- Offset

- Lorsque le niveau de luminosité est trop faible, le capteur de la caméra n'est pas sensibilisé. Un minimum de luminosité est nécessaire.
- L'offset est un facteur additif permettant d'obtenir une réponse du capteur pour des niveaux de luminosité inférieurs au niveau minimum.

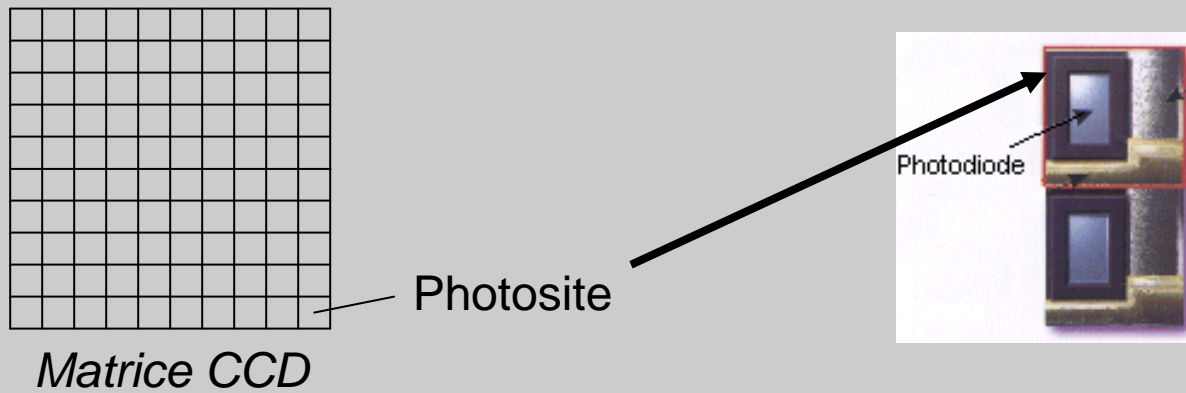
Les différents types de caméras

- CCD ou CMOS
- Entrelacée ou progressive
- Monochrome ou couleur (multispectrale, infrarouge...)
- Analogique ou numérique
- Matricielle ou linéaire
- Haute résolution
- Haute cadence

Le capteur CCD

- Définition
 - CCD : Charge-Coupled Device
 - Dispositif à Transfert de Charges (DTC)
- Principe de fonctionnement
 - Basé sur une technologie à semi-conducteur
 - Constitué d'un ensemble de photosites (cellule photosensible de 5 à 30 μm) alimenté électriquement pour accumuler des charges

Le capteur CCD



Le capteur CCD

- La partie photosensible (photodiode) est constituée de silicium qui est dopé de manière à acquérir des propriétés photosensibles.



- Trois étapes se succèdent :
 - ◆ L'intégration
 - ◆ Le transfert
 - ◆ L'amplification

Le capteur CCD

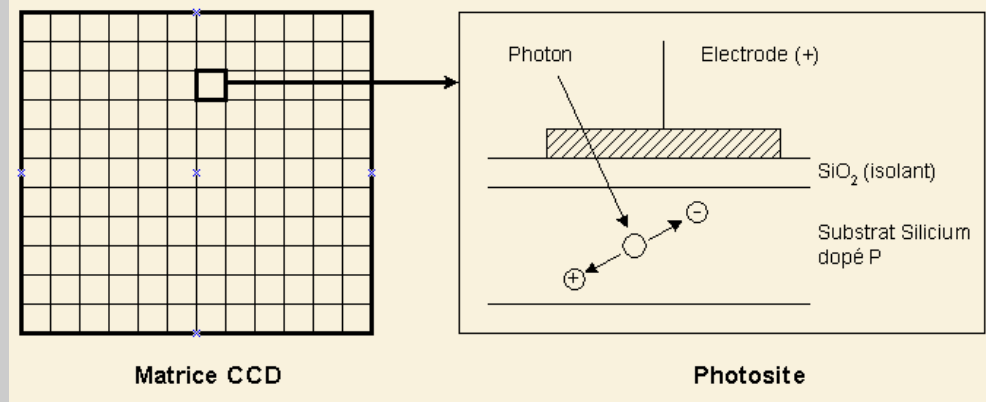
- L'intégration

- L'arrivée des photons crée des charges qui s'accumulent durant le **temps d'intégration** dans des zones appelées **puits** (charges négatives).
- Plus le temps d'intégration est grand, plus il y a de photons, plus le nombre de charges augmente. Si le temps d'intégration est trop grand, les charges se dispersent vers les photosites voisins créant un phénomène d'**éblouissement** (**blooming**).

Le capteur CCD

- Le transfert

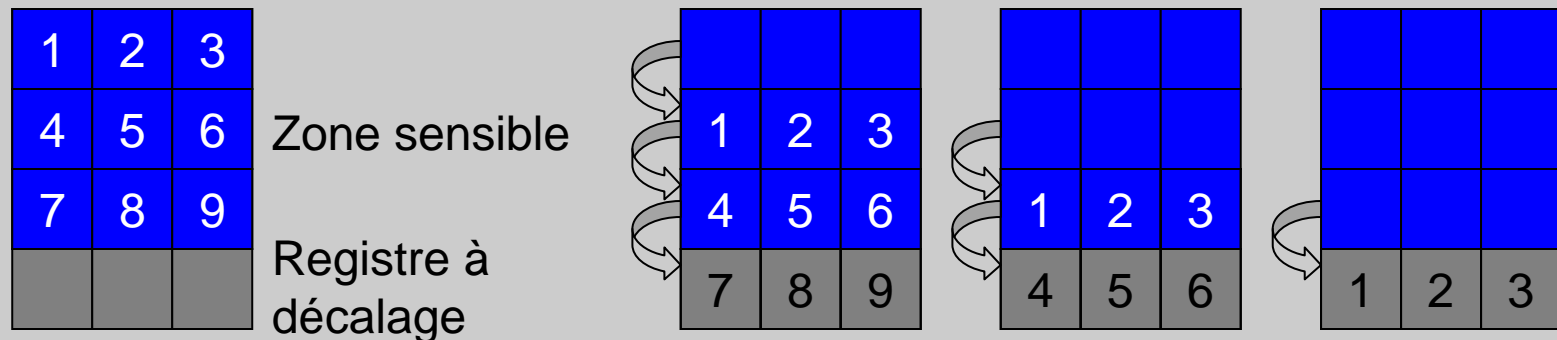
- En modifiant les tensions aux bornes de chaque photosite, la position des puits est modifiée et les charges se déplacent.



Le capteur CCD

■ Le transfert parallèle-série

- ◆ Les cellules de la matrice sont couplées verticalement et toutes les lignes verticales sont transférées en parallèle dans un registre à décalage très rapide.



Le transfert parallèle-série

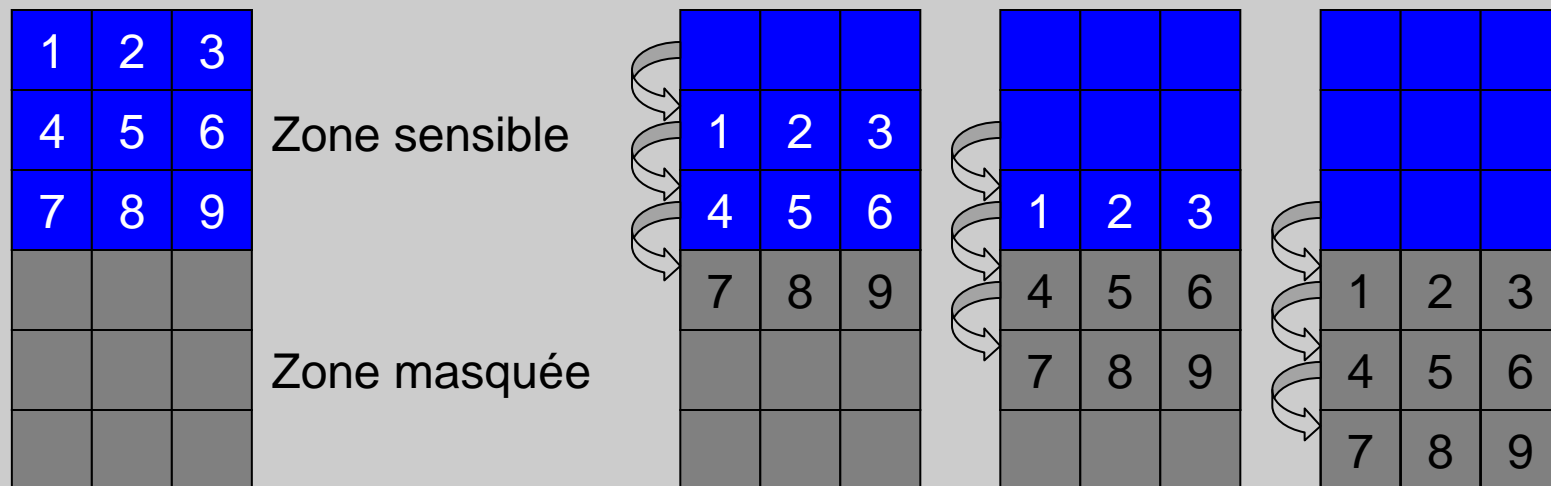
Le capteur CCD

- ♦ Ce type de capteur nécessite un obturateur électronique permettant de réinitialiser tous les photosites dans un état sans charge et maintenir la zone photosensible dans l'obscurité pendant les opérations de transfert.
- ♦ Ces dispositifs conviennent aux applications pour lesquelles le temps d'exposition est important. Ils sont peu utilisés dans les applications vidéo.

Le capteur CCD

■ Le transfert de trames

- ◆ C'est un transfert ligne par ligne vers une zone équivalente mais protégée de la lumière par un film opaque.



Le transfert de trame

Le capteur CCD

- ◆ Toute la surface du photosite reste éclairée (**taux de remplissage** maximum) , ce qui offre au capteur un maximum de sensibilité.
- ◆ Pendant le temps de transfert, les photosites du haut de l'image continuent à être éclairés par la scène et des charges parasites sont ajoutées créant le phénomène de **trainage vertical** (**smearing**). Afin d'atténuer le nombre de charges parasites, il faut augmenter le temps d'intégration.

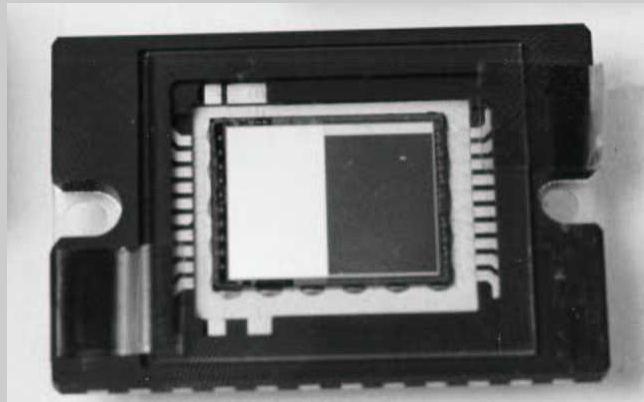


blooming et smearing



Le capteur CCD

- ◆ Technologie également utilisée pour des applications à faible luminosité, à temps d'intégration élevé ou pour scène statique.



Capteur à transfert de trames

Le capteur CCD

■ Le transfert interligne

- ◆ La zone de transfert se trouve cette fois entre les colonnes.
- ◆ Quelques microsecondes suffisent pour déplacer les charges.
- ◆ Pendant le transfert, une nouvelle étape d'intégration peut commencer.
- ◆ Plus de phénomène de smearing.

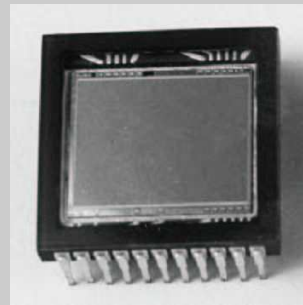
1		2		3	
4		5		6	
7		8		9	

	1		2		3
	4		5		6
	7		8		9

Le transfert interligne

Le capteur CCD

- ◆ Le taux de surface photosensible (**taux de remplissage**) est nettement réduit, ce qui entraîne une réduction de la sensibilité.
- ◆ Le temps d'intégration est moindre à cause de la plus faible surface à éclairer.
- ◆ Des lentilles convergentes sur chaque photosite permettent d'orienter les rayons lumineux vers la zone photosensible et augmenter la sensibilité.
- ◆ Technologie utilisée pour des applications nécessitant des temps d'intégration faible comme des scènes en mouvement rapide.

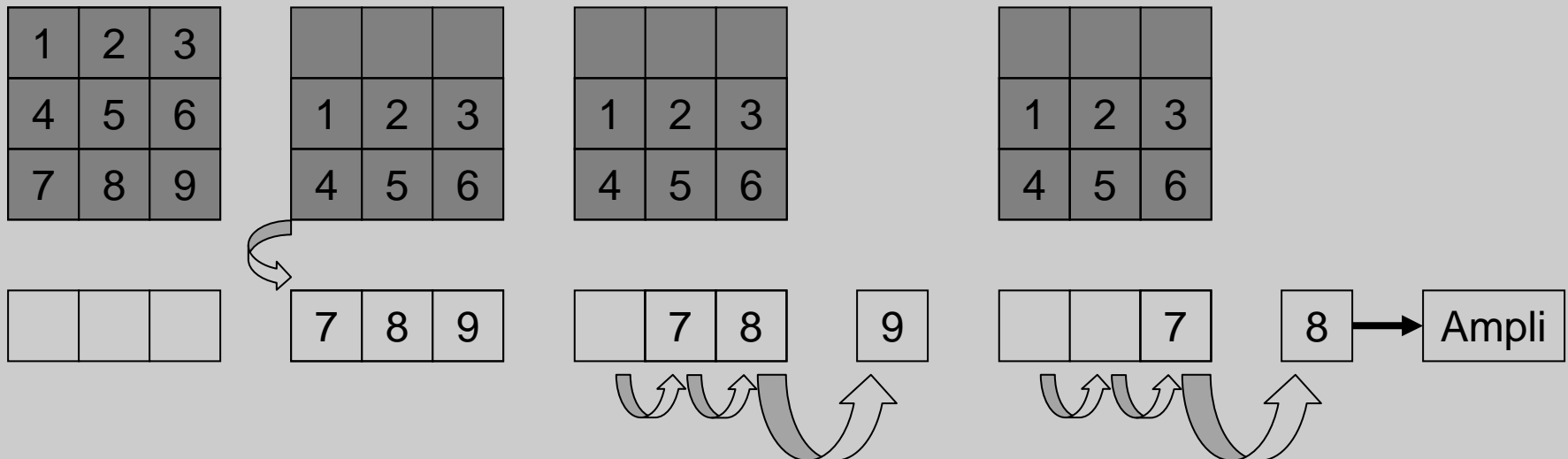


Capteur à transfert interligne

Le capteur CCD

• L'amplification

- Dans la zone tampon (masquée), les charges sont transférées dans un registre à décalage vers l'extérieur du capteur pour être converties en tension puis amplifiées et donner le signal analogique.

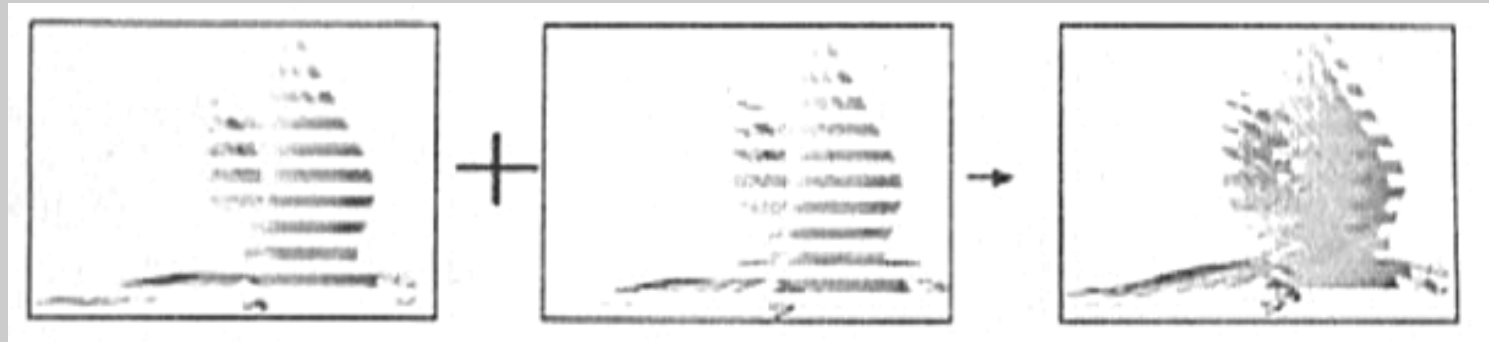


Balayage entrelacé et progressif

- Les caméras entrelacées
 - Afin de rendre la visualisation plus fluide (norme TV), l'image est renouvelée par trame, une trame paire et une trame impaire (ce qui permet une seule zone de transfert pour les capteurs à transfert interligne et donc une meilleure sensibilité).
 - Pas de problème pour les scènes statiques
 - Si la scène ou la caméra sont en mouvement, les deux trames peuvent être décalées et un effet de contours dentelés se produit.
 - Si, durant la durée d'une trame, l'objet a trop bougé par rapport à la précision souhaitée, l'image sera floue.

Balayage entrelacé et progressif

- Il faut utiliser une seule trame.



Trame 1

+

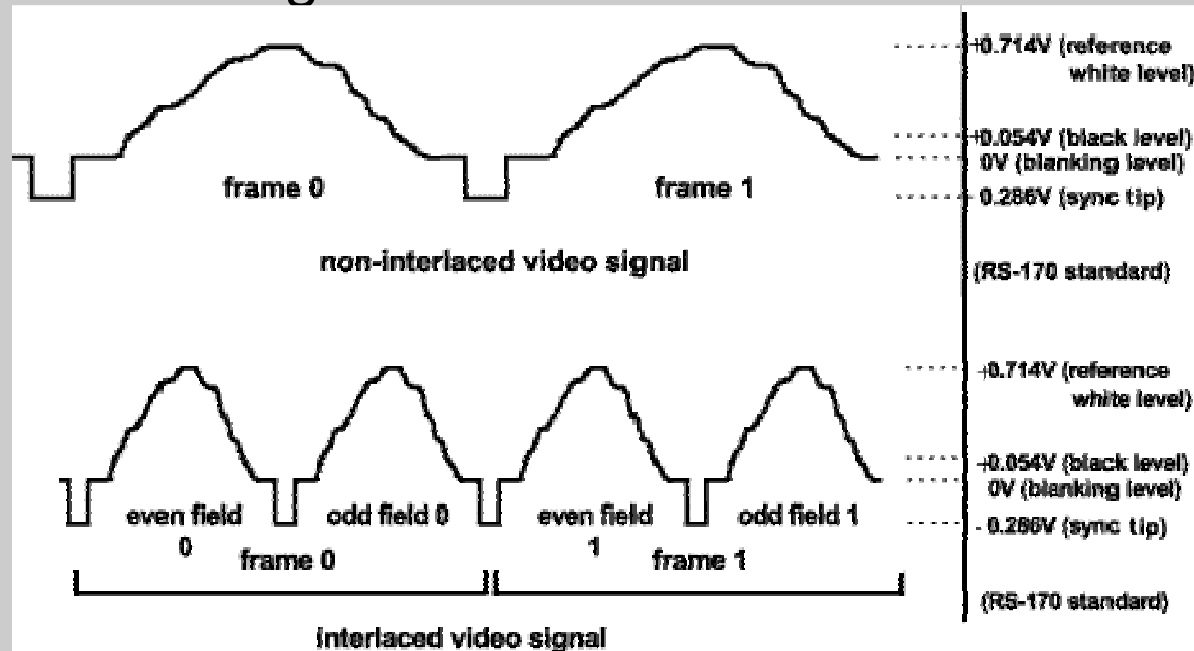
Trame 2

=

Image Reconstituée

Balayage entrelacé et progressif

- Les caméras progressives (progressive scan)
 - Les deux trames sont acquises en même temps.
 - Le phénomène de contours dentelés n'apparaît plus.
 - On parle d'image « full frame ».



Balayage entrelacé et progressif

- Comparaison entrelacée / progressive



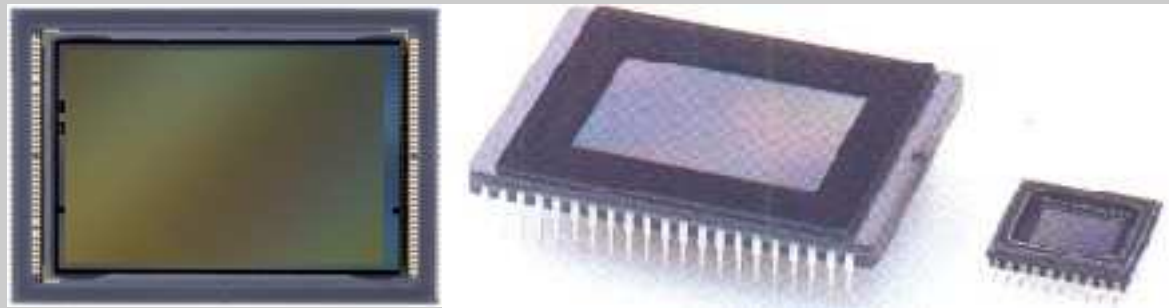
Le capteur CMOS

- Définition

- CMOS : Complementary Metal Oxide Semi-conductor

- Principe

- Mêmes principes physiques que les capteurs CCD.
- Ils utilisent une technologie CMOS standard moins coûteuse que les CCD.



Capteur CMOS

Le capteur CMOS

- Grâce à des transistors MOS placés sur chaque photosite et fonctionnant comme des interrupteurs, la conversion « électron-tension » est effectuée au niveau de chaque photosite.
- Grâce à l'intégration supplémentaire d'une logique d'amplification et d'obturation, l'image acquise est convertie immédiatement en information numérique contrairement au CCD qui doivent convertir l'information analogique pour devoir la convertir par la suite en information numérique.
- L'électronique directement intégrée sur le capteur génère un bruit supplémentaire, diminue la surface photosensible et réduit donc la sensibilité.

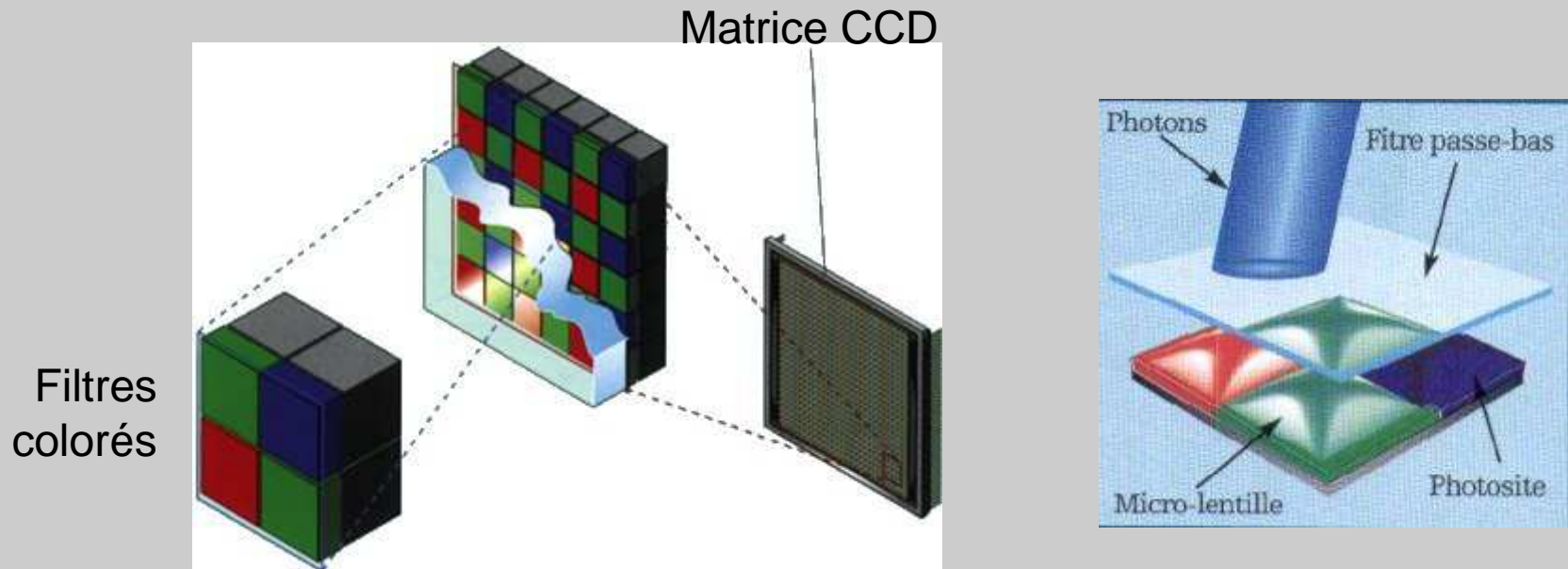
Comparaison CCD / CMOS

	CMOS	CCD
Avantages	<ul style="list-style-type: none">• Possibilité de lire des zones de la matrice (fenêtrage)• Compact• Faible consommation• Coût	<ul style="list-style-type: none">• Qualité d'images élevée• Bruit très faible• Haute sensibilité
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">• Bruit• Peu sensible à faible luminosité	<ul style="list-style-type: none">• Saturation à haute luminosité• Pas de possibilité de fenêtrage

Les caméras mono-CCD

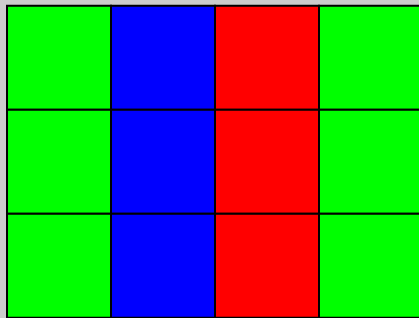
- Principe

- Réseau de filtres colorés entrelacés sur les photosite d'une matrice CCD

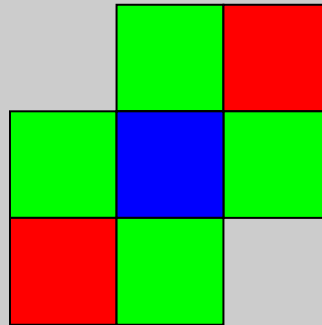


Les caméras mono-CCD

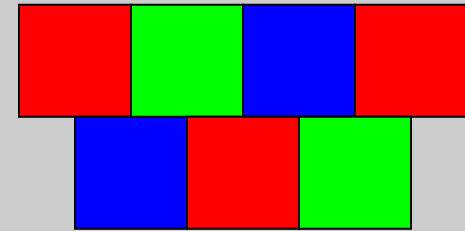
- Différents réseaux de filtres



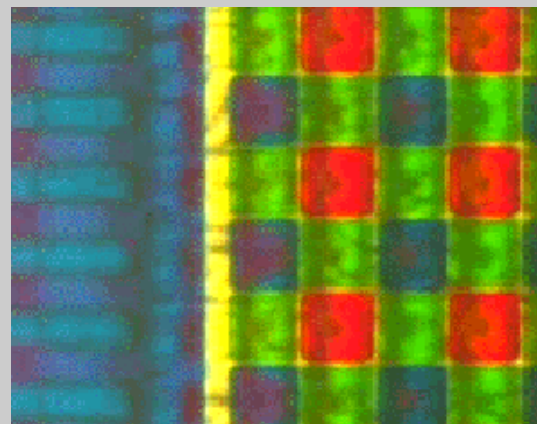
Filtre colonne



Filtre de Bayer



Filtre de Rockwell

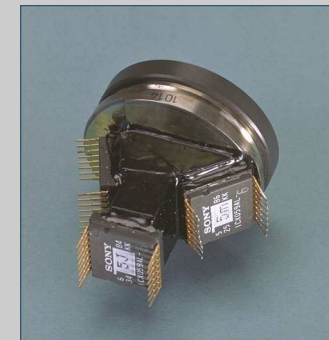
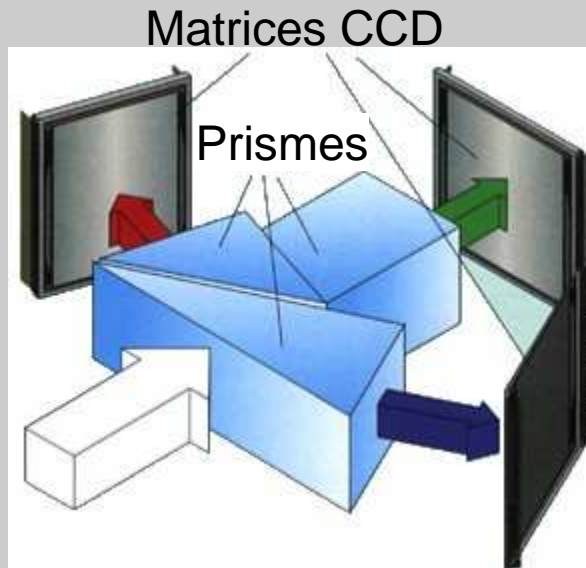


Réseau de filtre de Bayer réel

Les caméras tri-CCD

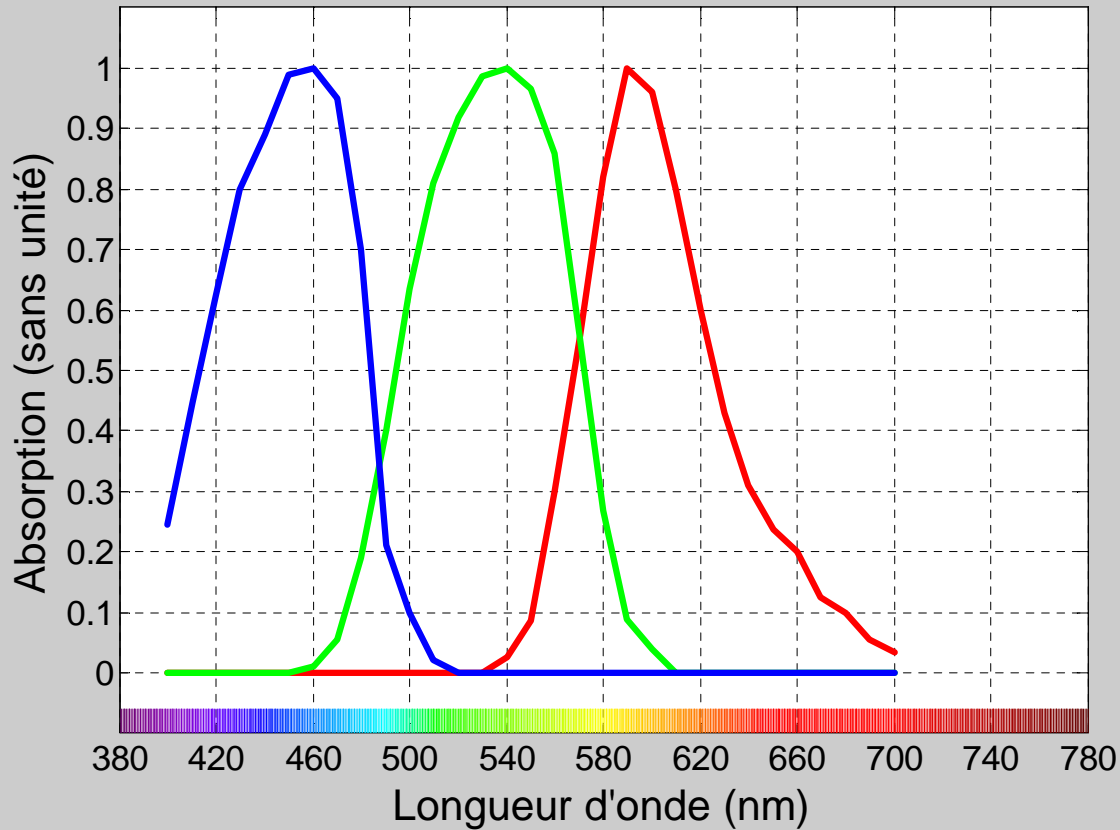
- Principe

- Trois capteurs CCD
- Système à base de prismes et de filtres dichroïques permettant de répartir la lumière selon des longueurs d'ondes courtes, moyennes et grandes



Capteur tri-CCD

Réponses spectrales

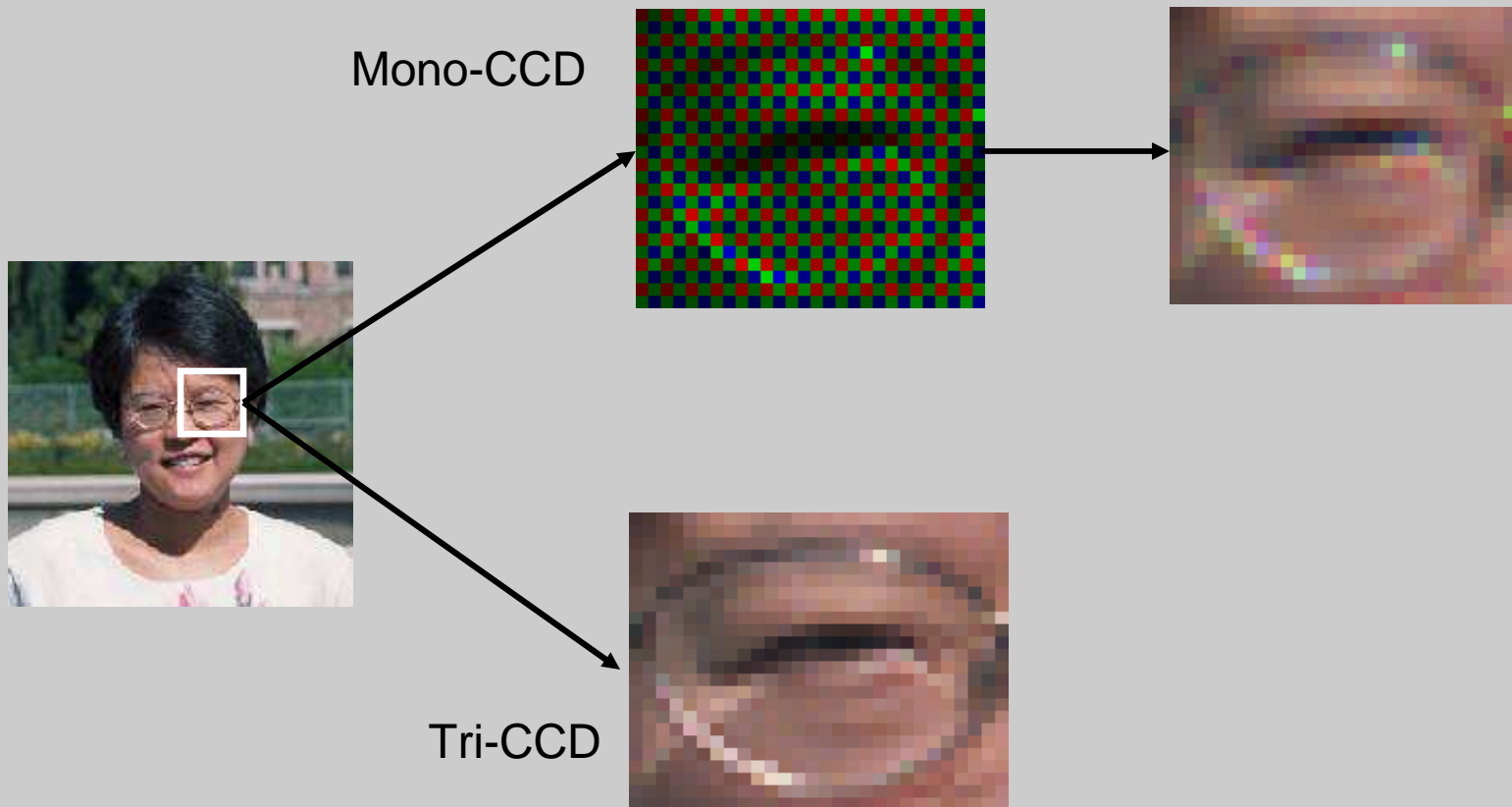


Sensibilité spectrale de la caméra tri-CCD Sony DXC-755P

Comparaison mono-CCD / tri-CCD

	Mono-CCD	Tri-CCD
Avantages	<ul style="list-style-type: none">• Prix• Taille du capteur	<ul style="list-style-type: none">• Pas de perte de résolution• Pas d'aberrations chromatiques
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">• Perte de résolution et technique d'interpolation• Aberrations chromatiques• Gamut	<ul style="list-style-type: none">• Prix élevé• Gamut

Comparaison mono-CCD / tri-CCD



Balance des blancs

- Problématique

- Un objet blanc (ou noir) dans la scène réelle doit donner un objet blanc (ou noir) dans l'image correspondante indépendamment de l'éclairage afin d'obtenir un rendu correct des couleurs.
- Nécessité d'ajuster les composante rouge, verte et bleue les unes par rapport aux autres afin qu'un blanc de référence corresponde aux valeurs maximales des composantes couleur.

Balance des blancs

- Principe

- La **balance des blancs** est l'opération qui permet ce calibrage en agissant indépendamment sur les gains à appliquer sur chaque composante couleur.
- Elle peut être réalisée manuellement ou automatiquement.
- Pour une caméra monochrome, on agit sur le gain et l'offset de la caméra.

Caméra analogique

• Principe

- Elle délivre un signal analogique (monochrome ou couleur).
- Elle nécessite donc d'utiliser une carte d'acquisition afin d'obtenir une image numérique.
- Le signal vidéo répond souvent à différentes normes de télévision analogiques mais peut être également non standard :
 - ◆ 1 canal : signal monochrome ou couleur composite généré par modulation
 - ◆ 2 canaux : luminance et chrominance sont séparées (norme S-VHS)
 - ◆ 3 canaux R, V et B



Une caméra analogique

Caméra analogique

	Norme européenne	Norme américaine
Standard monochrome	CCIR	EIA (RS170)
Fréquence trame	50 Hz	60 Hz
Durée d'un trame	20 ms	16,667 ms
Nombre de lignes	625	525
Durée d'une ligne	64 μ s	63,5 μ s
Fréquence ligne	15,625 kHz	15,750 kHz
Standard couleur	PAL / SECAM	NTSC
Espace couleur	YUV	YIQ

Les standards vidéos analogiques

Caméra numérique

- Principe

- L'image est numérisée par la caméra.
- La carte d'acquisition stocke l'image en mémoire, transfère les signaux et gère des entrées / sorties.
- Le traitement est réalisé par la carte ou le PC.

Caméra intelligente

- Principe

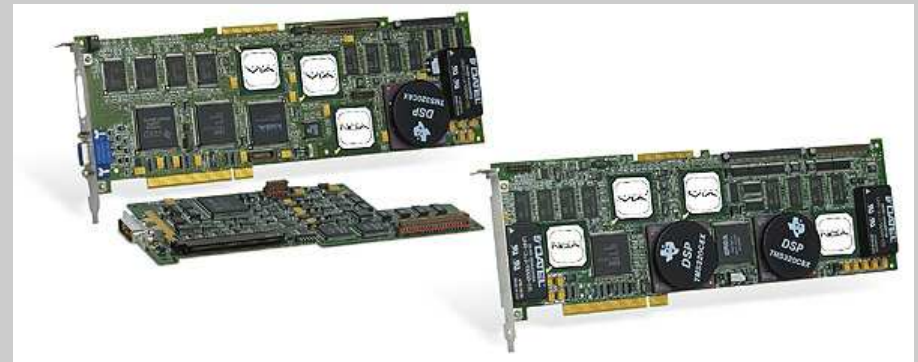
- Le traitement est réalisé par la caméra.
- Il n'y a plus de cartes d'acquisition.



Une caméra intelligente

Cartes d'acquisition

- Rôle des cartes d'acquisition (frame grabber)
 - Le multiplexage des entrées
 - La séparation du signal de synchronisation et du signal d'information (pixel)
 - La numérisation (pour les caméras analogiques)
 - ◆ L'échantillonnage
 - ◆ La quantification
 - Parfois le traitement
 - Le stockage
 - Le transfert
 - L'affichage



Cartes d'acquisition

Cartes d'acquisition

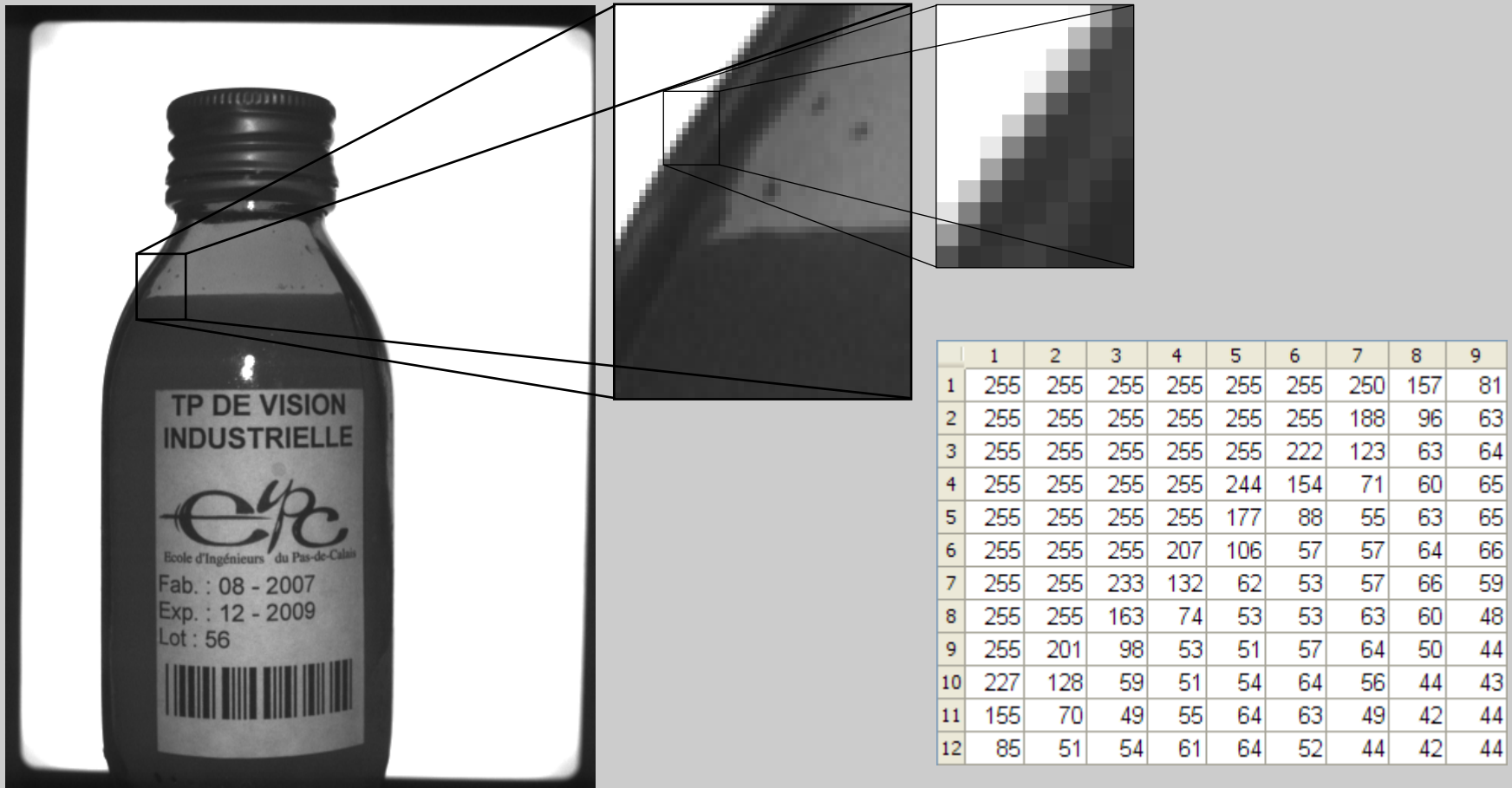
- Autres entrées / sorties
 - Entrées
 - ◆ Triggers
 - ◆ Encodeurs (codeur incrémental)
 - ◆ Entrées utilisateurs TTL ou opto-couplés
 - Sorties
 - ◆ Stroboscope
 - ◆ Sorties utilisateurs TTL ou opto-couplés

L'image numérique

- Définition

- C'est une matrice de points images (Pixels : Picture Element)
- Chaque pixel est caractérisé dans l'image par :
 - ◆ Ses coordonnées,
 - ◆ Son niveau de gris.

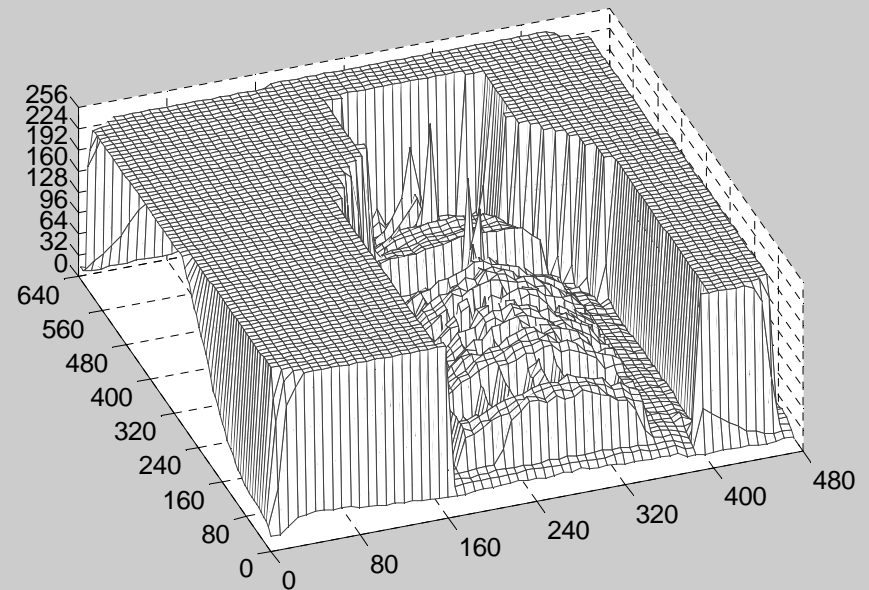
L'image numérique



L'image numérique



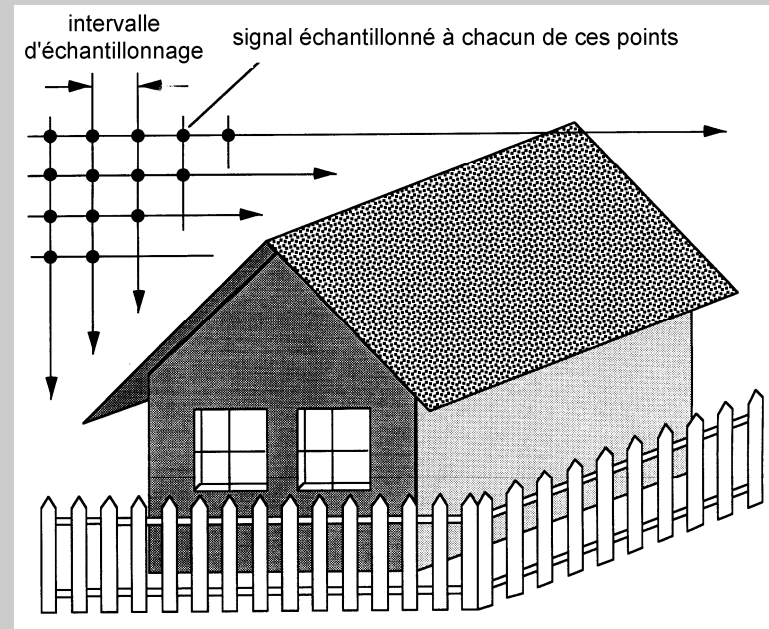
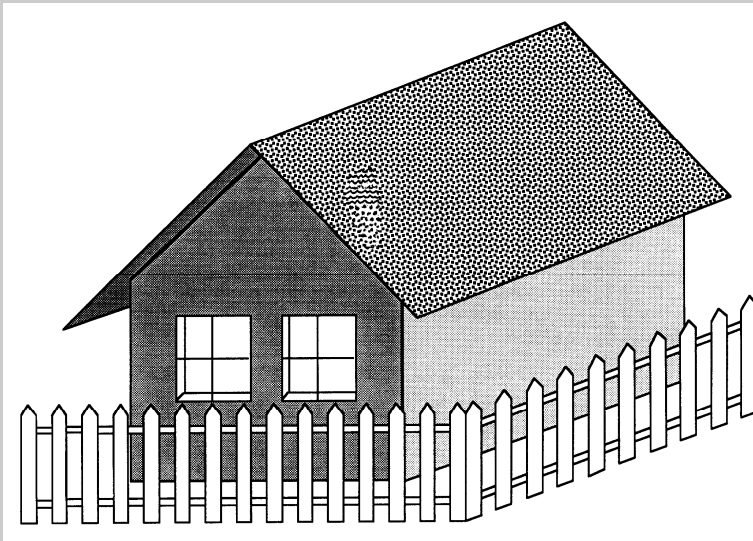
480 × 640



Numérisation

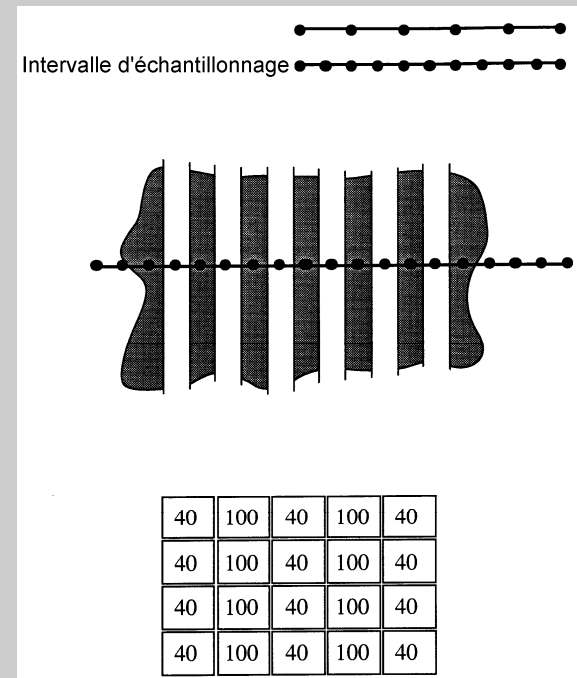
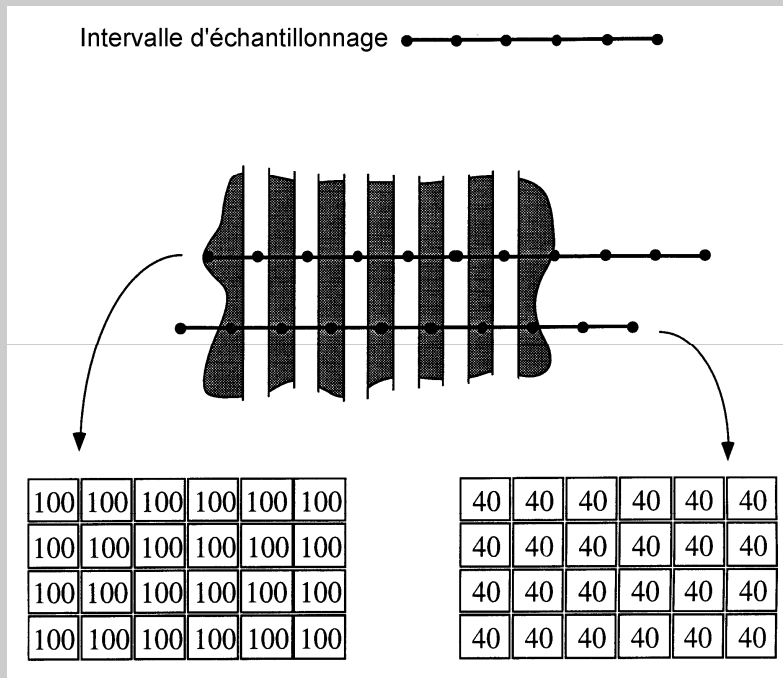
• L'échantillonnage

- C'est l'opération qui permet de revenir à la représentation capteur en prélevant au signal le nombre d'échantillons nécessaires à intervalles réguliers.



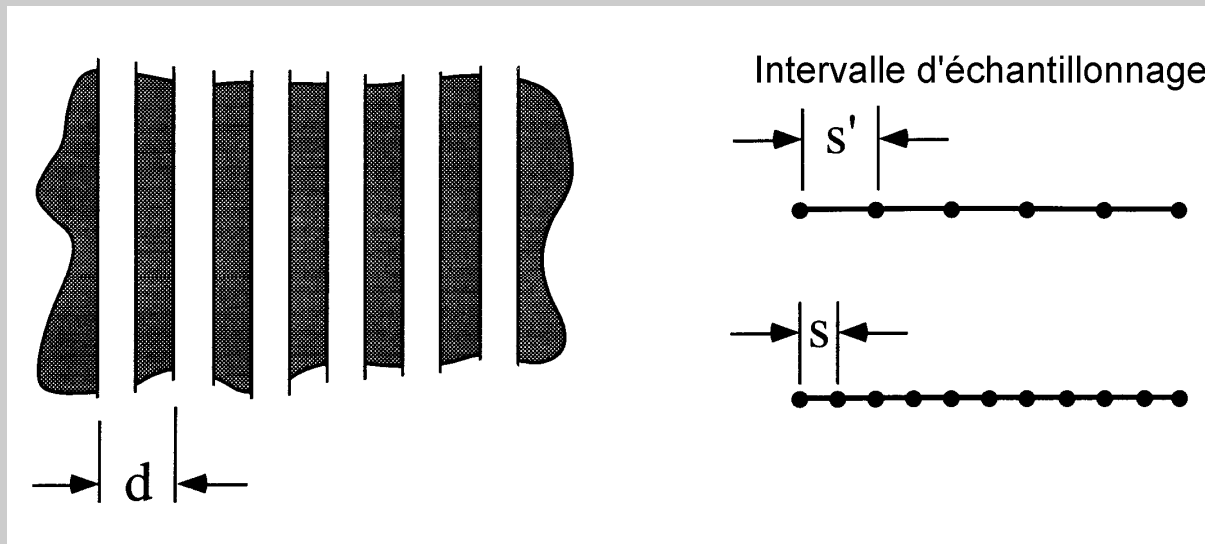
Numérisation

- Repliement du spectre (aliasing, effet de moiré)



Numérisation

- Théorème de Shannon

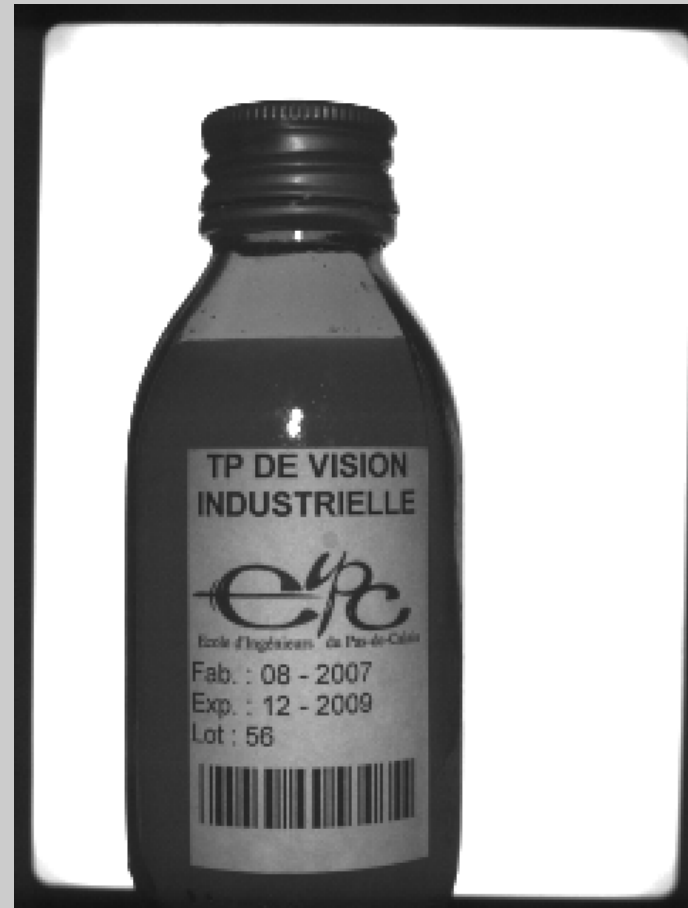


$$s \leq \frac{d}{2}$$

Numérisation



480 × 640



240 × 320

Numérisation



120 × 160



60 × 80

Numérisation



30 × 40



15 × 20

Numérisation

- La quantification
 - C'est l'opération qui consiste à coder sous forme binaire les valeurs prélevées lors de l'échantillonnage. Le signal ainsi quantifié est une suite de valeurs numériques manipulables par le processeur.

Numérisation

- La quantification consiste à spécifier le nombre de bits nécessaires (en général 8 bits) pour représenter le signal
 - ◆ 1 bit => 2 niveaux : 0 (noir), 1 (blanc) (image binaire)
 - ◆ 2 bits => 4 niveaux : $(0)_{10} = (00)_2$ (noir), $(1)_{10} = (01)_2$ (gris foncé), $(2)_{10} = (10)_2$ (gris clair), $(3)_{10} = (11)_2$ (blanc)
 - ◆ 8 bits => 256 niveaux : 0 (noir), ..., 255 (blanc)
 - ◆ 12, 16, 32 bits...
 - ◆ N bits => 2^N niveaux : 0 (noir), ..., $2^N - 1$ (blanc)

Numérisation



256 niveaux

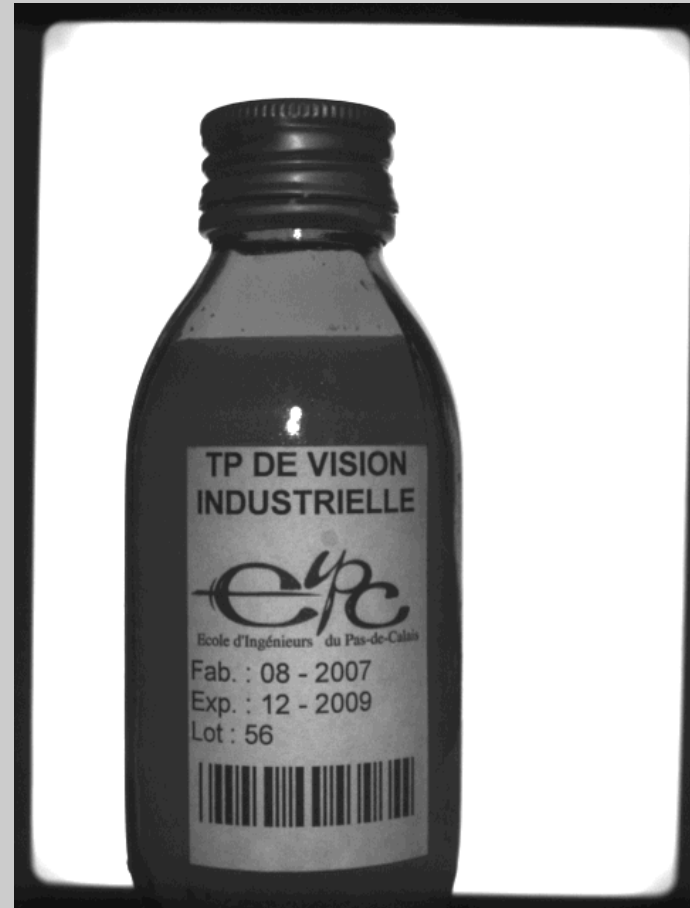


128 niveaux

Numérisation



64 niveaux

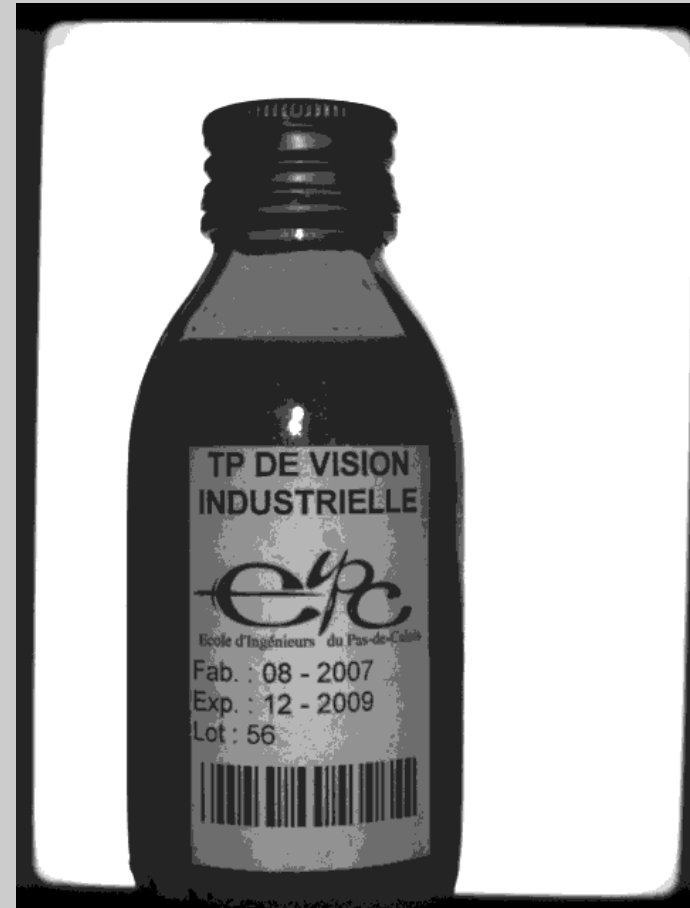


32 niveaux

Numérisation



16 niveaux

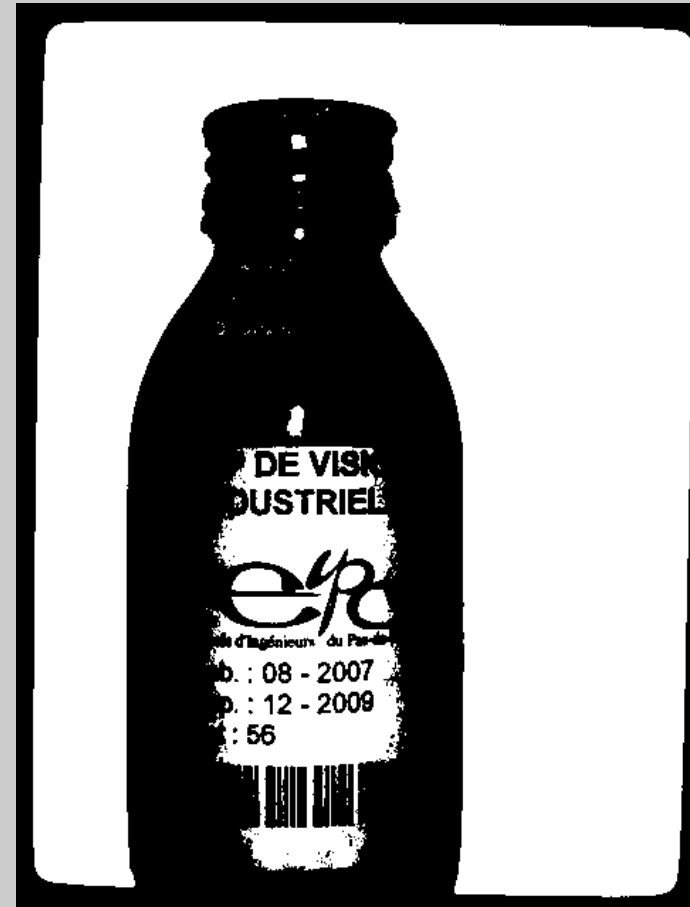


8 niveaux

Numérisation



4 niveaux



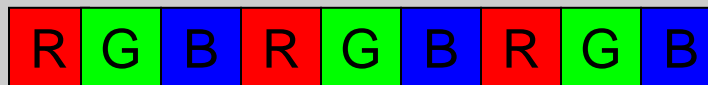
2 niveaux

Numérisation

- Codage couleur : les pixels d'une image couleur sont caractérisés par :
 - ◆ leurs coordonnées,
 - ◆ leurs niveaux de rouge (R), de vert (V) et de bleu (B).



Organisation en couleur



Organisation en pixel

Numérisation

• Tailles de images

■ C'est le nombre de bits nécessaires à son codage

- ◆ Image noir et blanc 256×256 codée sur 8 bits \Rightarrow 65 536 octets = 64 ko
- ◆ Image noir et blanc 512×512 codée sur 8 bits \Rightarrow 256 ko
- ◆ Image noir et blanc 512×512 codée sur 12 bits \Rightarrow 384 ko
- ◆ Image couleur 512×512 codée sur 8 bits \Rightarrow 768 ko
- ◆ Taille d'une image **en octet**, avec :

- N_{pixel} , nombre de pixels
- N_{codage} , niveau de quantification
- $N_{couleur}$:
1 si image monochrome
3 si image couleur

$$Taille = \frac{N_{pixel} \times N_{codage} \times N_{couleur}}{8}$$

Traitement

- Prétraitements

- Avant de transférer les données dans la mémoire image, certaines cartes offrent la possibilité de les modifier par l'intermédiaire d'une table de transformation (LUT : Look Up Tables) qui est stockée dans des mémoires additionnelles. La valeur du pixel est alors prise comme un indice d'entrée de la table et la valeur correspondante est alors transférée dans la mémoire image.

Traitement

- Traitements
 - Quelques opérations élémentaires plus complexes peuvent également être programmées sur la carte (correction d'éclairage, décalage spatiale, ...).
- Autres
 - Les traitements très complexes sont réalisés par le processeur et la mémoire du PC.

Traitement



Image numérisée

0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
127	0
128	255
254	255
255	255



Image stockée

Interfaces numériques

- Le transfert

- Certaines images ont déjà un format numérique car elles proviennent d'un **capteur numérique** ou ont déjà été pré-traitées par le système de capture. Pour ces images, les cartes possèdent une interface numérique parallèle et série qui shunte le convertisseur.
- Standards numériques
 - ◆ Numérique – parallèle : LVDS, RS-422
 - ◆ USB
 - ◆ IEEE 1394 (FireWire)
 - ◆ CameraLink
 - ◆ Gigabit Ethernet et GigE Vision

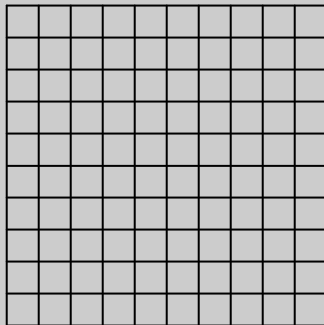
Interfaces numériques

Format	Débit (Gbits/s)	Distance (m)	Nombre caméra
USB 2.0	0,48	5	127
IEEE 1394 (Firewire)	0,4 (1394a) 0,8 (1394b)	4,5 (1394a) 100 (1394b)	63
Camera Link	2,38 (Base) 4,76 (Medium) 7,14 (Full)	10	1
GigE Vision	1	100	illimité

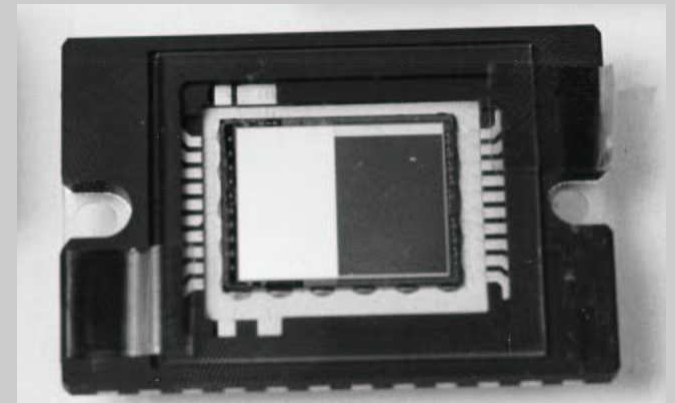
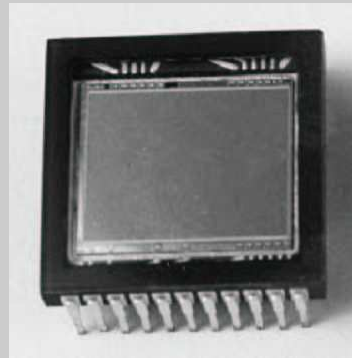
Les interfaces numériques

Les caméras matricielles

- Area-scan camera
 - Les éléments photosensibles sont organisés en matrice



Matrice



Capteurs matriciels

Les caméras matricielles

- Modes d'acquisition

- Synchrone (Live Video)

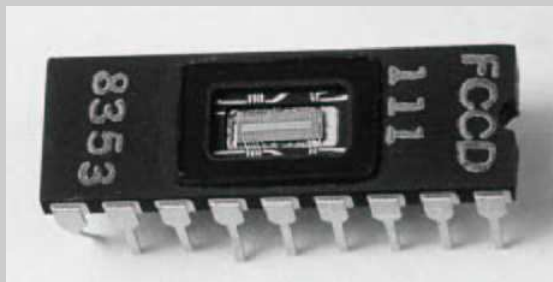
- ◆ Les images sont acquises en séquence au rythme de la fréquence image.

- Asynchrone (Snapshot)

- ◆ L'acquisition des images est déclenchée par un signal externe (**trigger**) relié à la carte d'acquisition ou directement à la caméra.

Les caméras linéaires

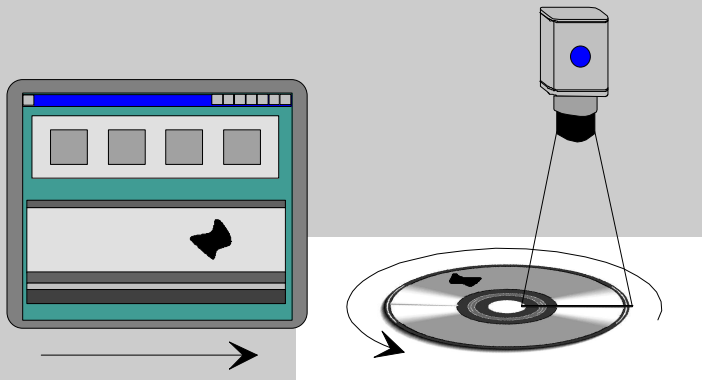
- Line-scan camera
 - Correspond à une seule ligne d'un capteur matriciel
 - Utilise le principe du scanner, photocopieur ou fax
 - Permet une haute résolution (de 2000 à 12000 pixels)
 - Permet des fréquences d'acquisition très élevées (fréquence pixel de 1 à 40 Mhz sur plusieurs voies)



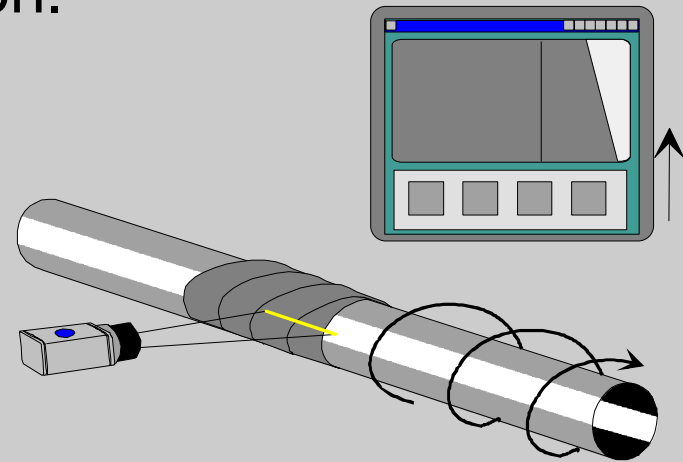
Capteurs linéaires

Les caméras linéaires

- Type d'application
 - Produit en défilement continu (tôle, verre plat, textile, papier, bois,...),
 - Produit de forme circulaire ou cylindrique,
 - Produit de grande dimension.

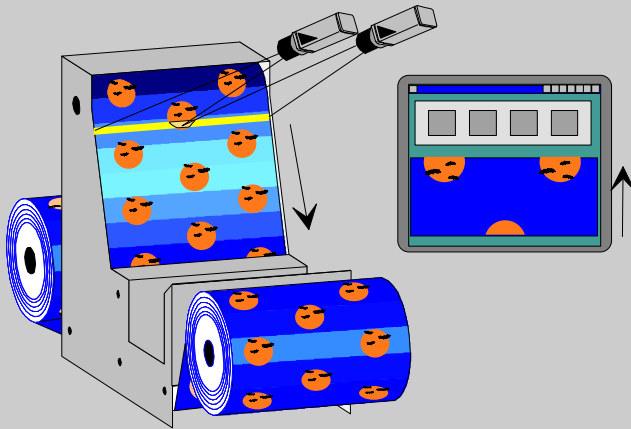


Développé d'un disque

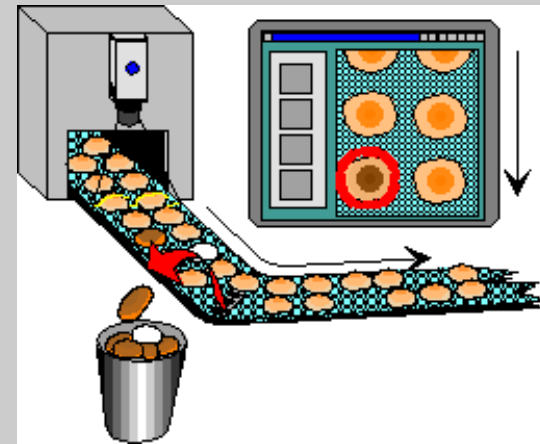


Développé d'un cylindre

Les caméras linéaires



Contrôle de produit en défilement continu



Contrôle d'objets en continu

Les caméras linéaires

- Modes d'acquisition

- Synchrone (Web)

- ◆ Les images-lignes sont acquises successivement et stockées dans la mémoire de la carte d'acquisition en nombre fini.

- Asynchrone

- ◆ L'acquisition des images-lignes est déclenchée et éventuellement stoppée par un signal externe (trigger). Les images-lignes successivement acquises sont stockées dans la mémoire de la carte d'acquisition.

Les caméras linéaires

- Caméra linéaire couleur
 - Caméra tri-CCD
 - Caméra mono-CCD et réseau de filtres couleur entrelacés
 - Caméra tri-linéaire

