

# Traitement d'image

## Acquisition

F. Denis, F. Dupont

Florent.Dupont@liris.cnrs.fr

Support de cours :  
<http://liris.cnrs.fr/florent.dupont/Enseignement/acquisition.pdf>

# L'image

## ■ Reproduction ou représentation d'une chose

→ représentation (le plus souvent  $2D$ ) d'une scène ou d'un objet situé dans un espace à 3 dimensions (+ la dimension temporelle).

## ■ Classification

- images « physiques », avec une réalité matérielle : images de magazine, d'écran... visibles ou non visibles suivant les longueurs d'onde considérées, images stockées en mémoire d'ordinateur, non visibles directement (fichiers images)
  - images "optiques"
  - Images physiques non visibles
- images « mathématiques », de nature immatérielle et non visibles par nature : fonctions de 2 variables, matrices, images calculées par ordinateur (images vectorielles ou géométriques - synthèse d'images). A tout phénomène physique, biologique ou économique, mais de nature bidimensionnelle, on peut associer une image par extension (« images latentes »).

# Cadre du cours

## ■ Images numériques 2D

sous la forme d'un tableau (appelé *bitmap*) de  $n \times m$  pixels (picture element) . Ces images sont encore appelées *raster* ou *raw* par opposition aux images *vectérielles* ou *géométriques*.

- problèmes liés à la numérisation et la restitution (Acquisition des images (éclairage, dispositifs d'acquisition capteurs); échantillonnage, quantification)
- Espaces de représentation des images (NG, couleur), transformée de Fourier

# Types d'images

## ■ Images par réflexion

### • Optiques

#### ➤ photographie & vidéo

applications :

- vision par ordinateur
- vidéosurveillance
- vidéo & multimédia
- imagerie aérienne
- art et documents

...

#### ➤ interférométrie

#### ➤ microscopie optique

# Types d'images

- Radar (ondes radio)
- Acoustiques
  - Sonar
  - échographie
- Télédétection (lumière visible, infrarouge)

# Types d'images

## ■ Images d'émission

- Infrarouge ( $\lambda > 3\mu\text{m}$ )
- Astronomie (étoiles)
- Imagerie par rayons Gamma
- Tomographie par émission de positons (PET)
- Microscopie par fluorescence (ultraviolet)
- Microscopie électronique

# Types d'images

- images par transmission
  - radiographie, angiographie
  - tomographie X
  - tomographie sismique
  - IRM
  - ...

# Domaines d'applications

- Spatial, météorologique
- Médical, biologique
- Contrôle industriel (construction automobile, électronique, agroalimentaire,...)
- Agriculture
- Militaire
- Aide à la conduite automobile
- Robotique ...

→ Des types d'images et de préoccupations très variés

# Les étapes du traitement d'une image

## ■ 3 étapes fondamentales

- Acquisition : scène physique  $\Rightarrow$  représentation numérique
- Traitement : Extraction de l'information pertinente par segmentation  $\Rightarrow$  description structurelle de l'image
- Interprétation : description structurelle  $\Rightarrow$  description sémantique

## Et aussi

- Mémorisation : image volatile  $\Rightarrow$  image permanente
- Visualisation ou restitution  $\Rightarrow$  image analogique le plus souvent

Traitement d'images

# Perception visuelle Notions sur la couleur



F. Denis, F. Dupont

# La lumière

## ■ Onde électromagnétique caractérisée par :

- sa longueur d'onde,  $\lambda$ , trajet parcouru par l'onde pendant une période
- ou sa fréquence,  $\nu$

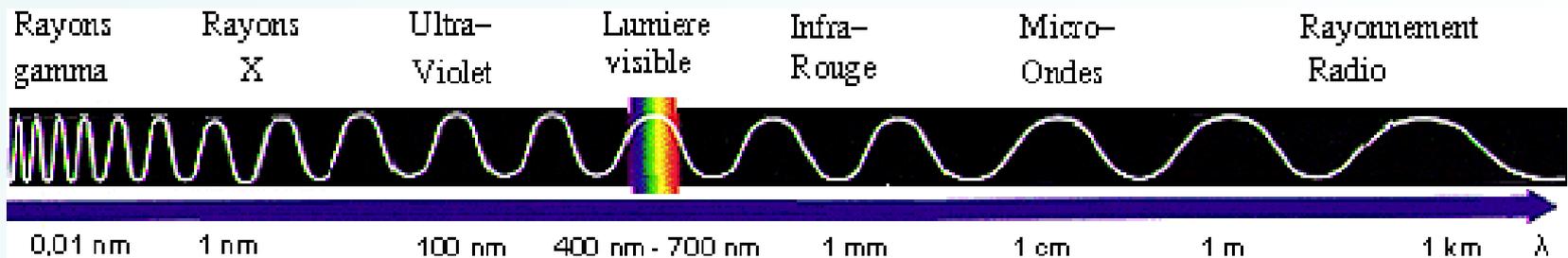
$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

$c$  : célérité des ondes électromagnétiques,

$c = 300\,000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ , ( vitesse de la lumière dans le vide )

## ■ Lumière visible

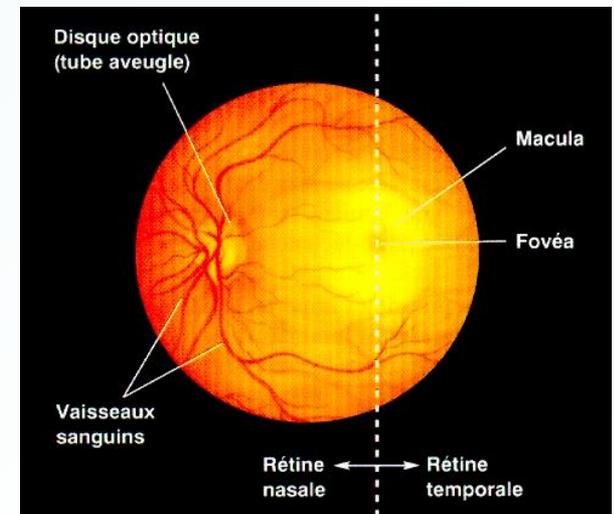
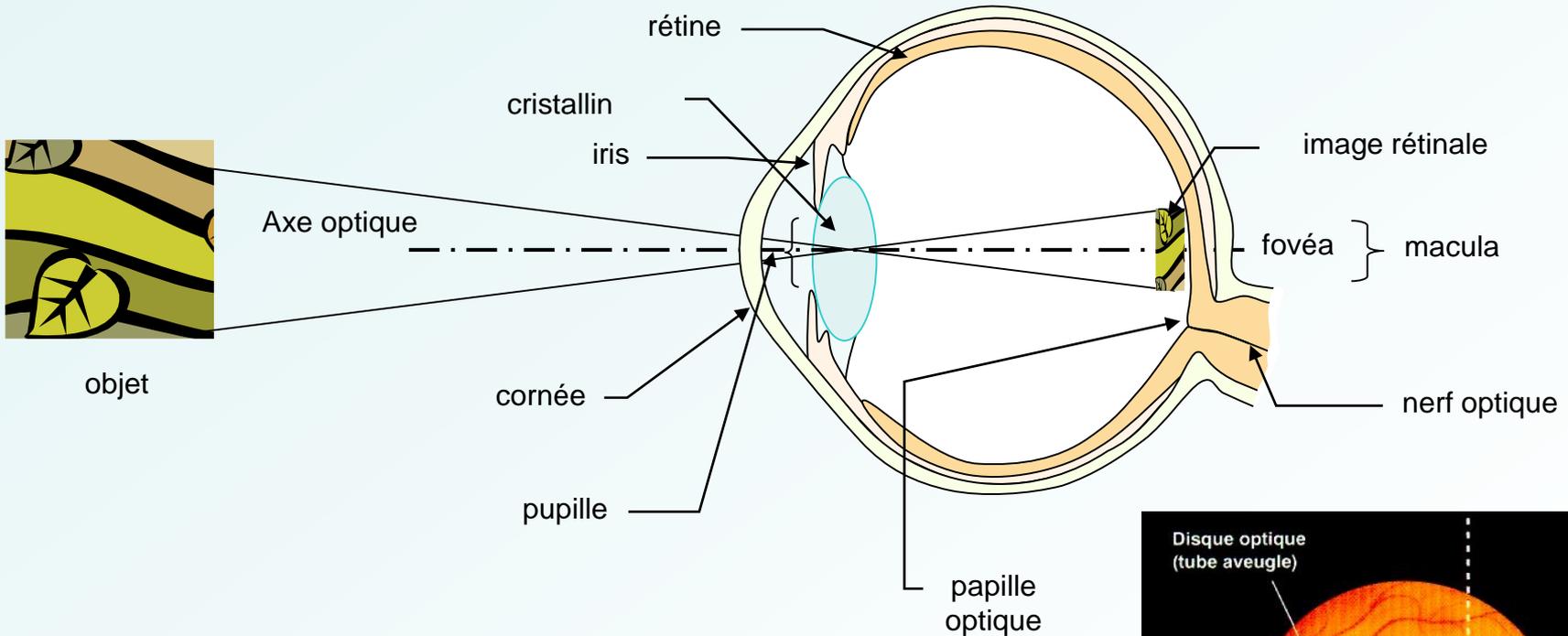
Bande de fréquences étroite :  $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$



*Spectre des ondes électromagnétiques*

# L'œil

## ■ Récepteur des signaux lumineux

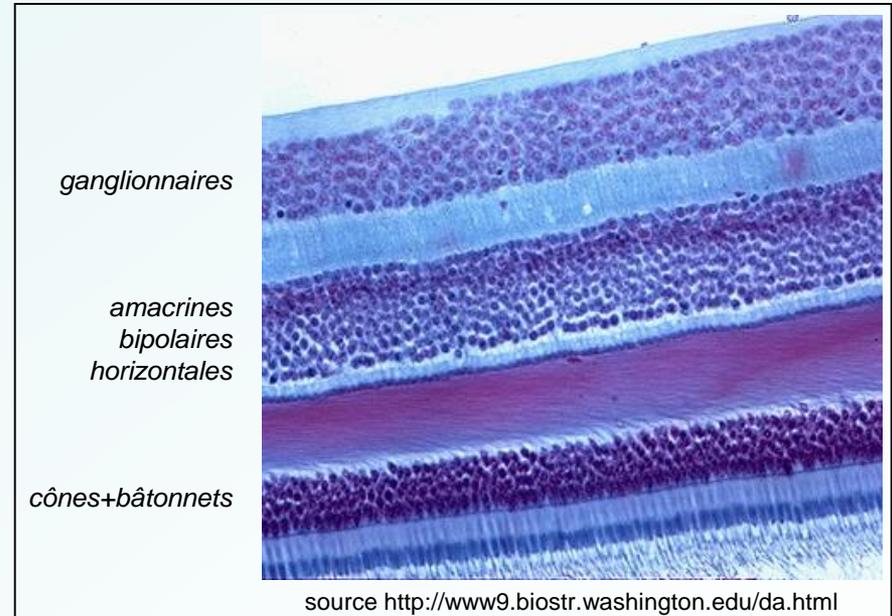
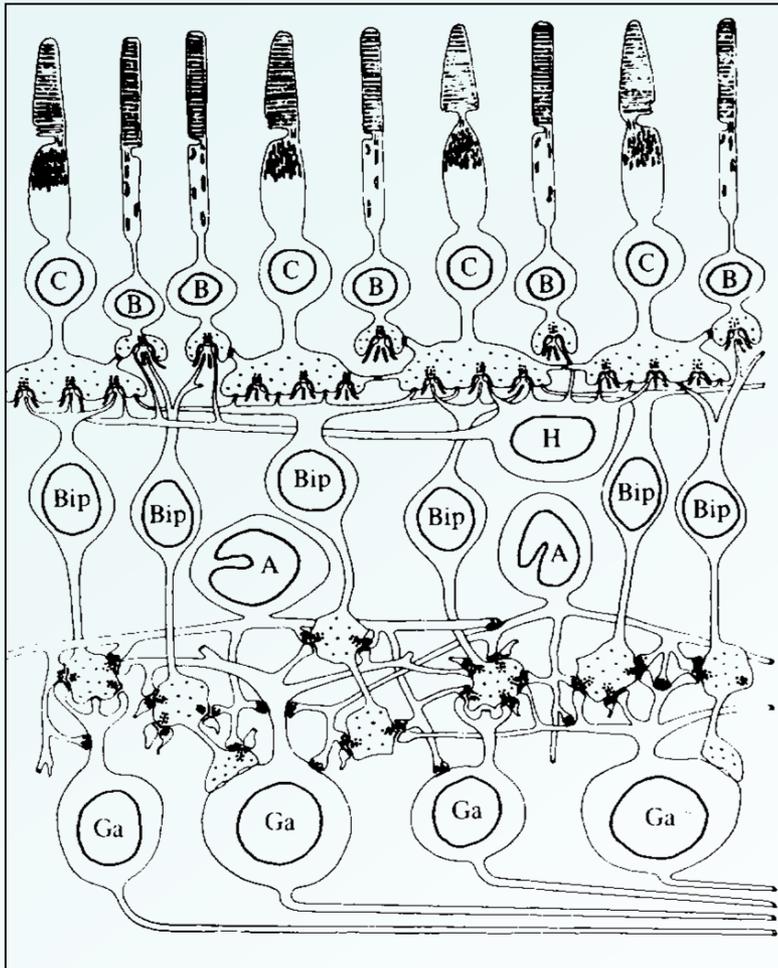


*Image ophtalmoscopique de l'œil*

# L'œil

## ■ La rétine

- Surface : 12.5 cm<sup>2</sup>
- Ordonnée en couches



Cellules de moins en moins nombreuses à chaque niveau  
→ l'information est canalisée

Cellules de la rétine  
C: cônes  
B: bâtonnets  
H: cellules horizontales  
A: cellules amacrines  
Bip: cellules bipolaires  
Ga: cellules ganglionnaires

# L'œil

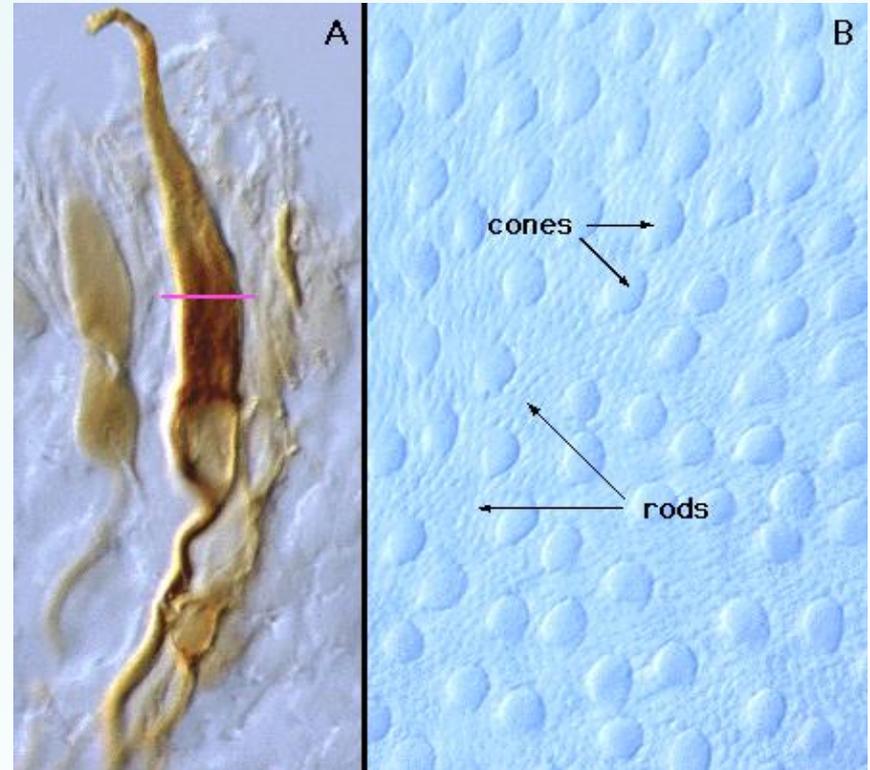
## ■ Les cellules photoréceptrices

### • Les cônes

- 6,5 millions environ
- Sensibles à la couleur et aux détails
- Réaction rapide (20 ms)
- Peu sensibles
  - ne fonctionnent qu'à la lumière du jour (au-delà de  $10^{-3}$  nits)
- vision **photopique** ou **diurne**
- Adaptation au noir : 10 minutes

### • Les bâtonnets

- 130 millions
- Sensibles aux formes
- Réaction lente (100 ms)
- Très sensibles
  - fonctionnent avec de très faibles luminances (de  $10^{-6}$  à 1 nit),
  - saturés en lumière du jour
- vision **scotopique** ou **nocturne**
- Adaptation au noir : 30-35 minutes



A : cône

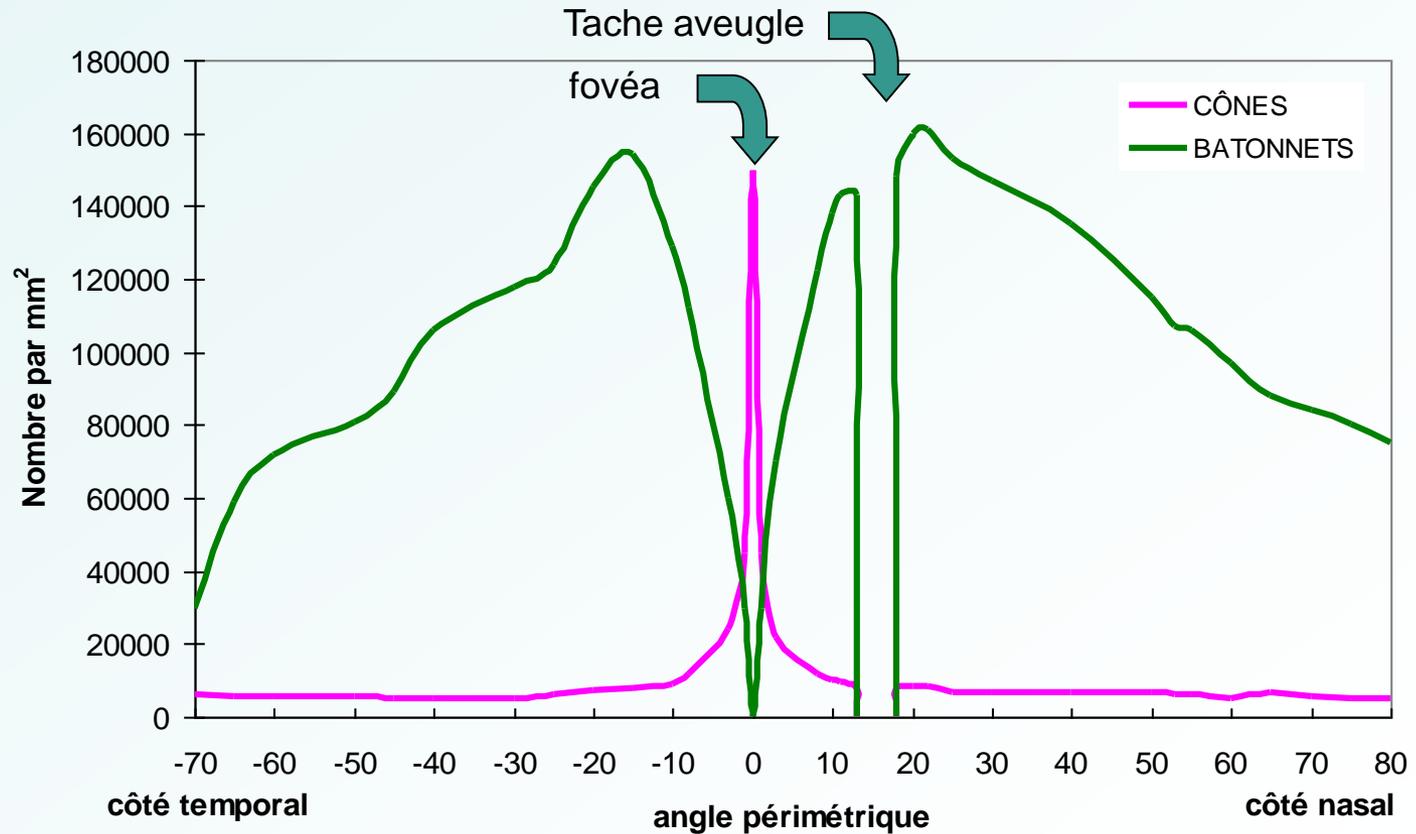
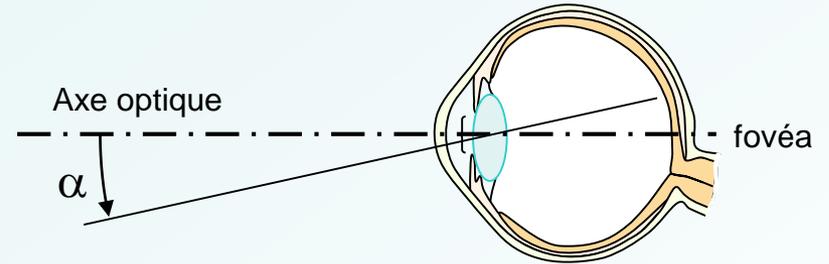
B : mosaïque des cellules photo réceptrices

source <http://www9.biostr.washington.edu/da.html>

# L'œil

## ■ Les cellules photo réceptrices

- Distribution variable avec l'angle périmétrique  $\alpha$



# Perception de la luminance

## ■ Unités photométriques

### • Flux lumineux F

Puissance totale reçue ou émise par une surface S

Exprimé en lumen (lm)

### • Eclairement E

➤ Flux lumineux reçu par unité de surface

➤ Exprimé en lux (lx).

$$F = \int_S E \cdot dS$$

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen /m}^2$$

### • Emittance M

➤ Flux lumineux émis par unité de surface et exprimé en lux (lx).

# Perception de la luminance

## ■ Unités photométriques

### • Intensité lumineuse $I$ (d'une source):

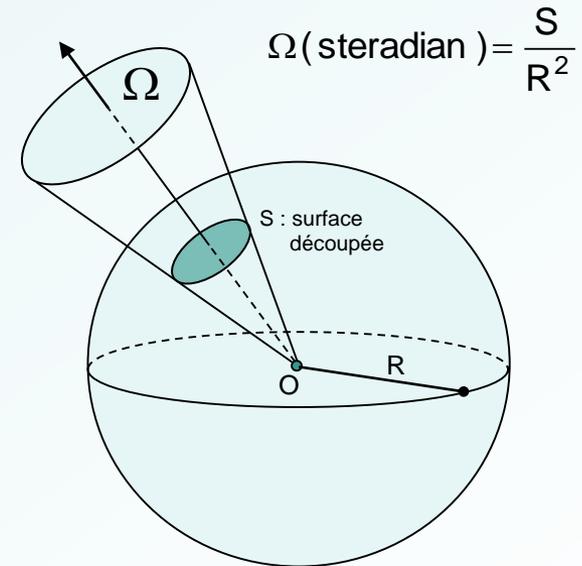
- Flux lumineux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée
- Exprimée en candela (cd)  
1 candela = 1 lumen par steradian

### • Luminance $L$

- Extension à des sources non ponctuelles de la notion d'intensité lumineuse
- Intensité lumineuse par unité de surface perpendiculaire à la direction d'émission
- Exprimée en nit  
1 nit = 1 candela / m<sup>2</sup>

### • Remarque

- $F$ ,  $E$ ,  $M$ ,  $I$ ,  $L$  : valeurs intégrées sur tout le spectre visible
- $F_\lambda$ ,  $E_\lambda$ ,  $M_\lambda$ ,  $I_\lambda$ ,  $L_\lambda$  : valeurs pour une longueur d'onde donnée  $\lambda$ , exprimées par unité de longueur d'onde  
→ densités spectrales.



Exemple

$$F = \int_0^{\infty} F_\lambda d\lambda$$

# Perception de la luminance

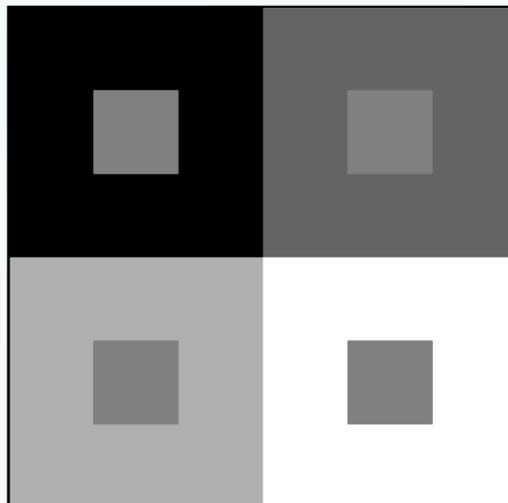
## ■ Adaptation générale de l'œil

- Adaptation par variation de sensibilité des cônes  
→ fonctionnement dans une large gamme d'éclairement

0,0003 lux      < E <      100 000 lux  
ciel nocturne           plein soleil

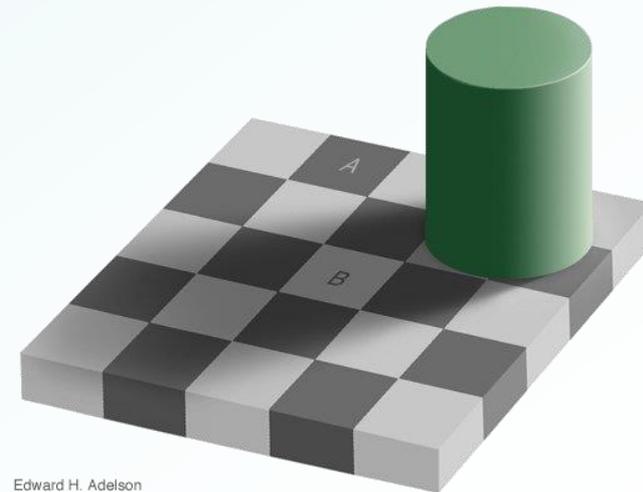
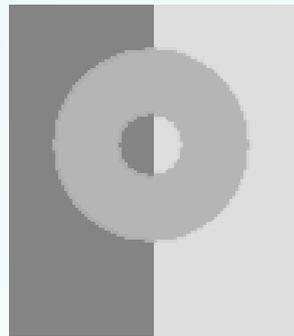
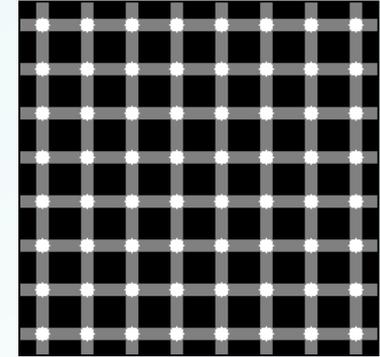
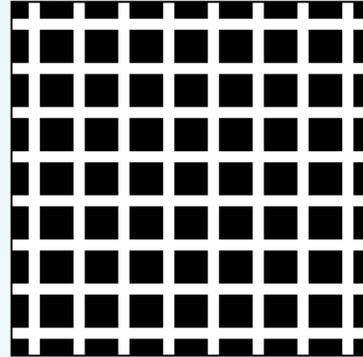
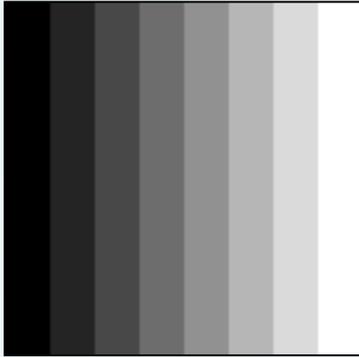
- Adaptation locale

→ Adaptation aux luminances environnantes → inhibition latérale  
exemples



# Perception de la luminance

exemples



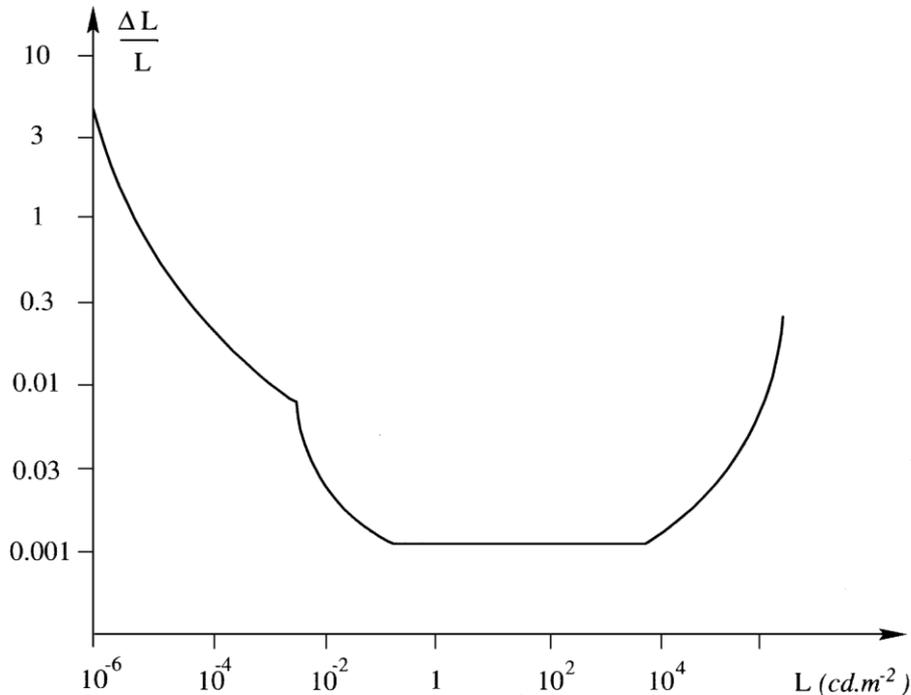
Edward H. Adelson

# Perception de la luminance

→ luminance apparente (luminosité B) : la luminance perçue est fonction de l'adaptation locale et générale

Discontinuité de la perception

→ expérience de Weber-Fechner



$$\frac{\Delta L}{L} = C_w$$

$$0,01 < C_w < 0,02$$

selon les observateurs,  
pour des luminances  
allant de 1 à 1000 nits

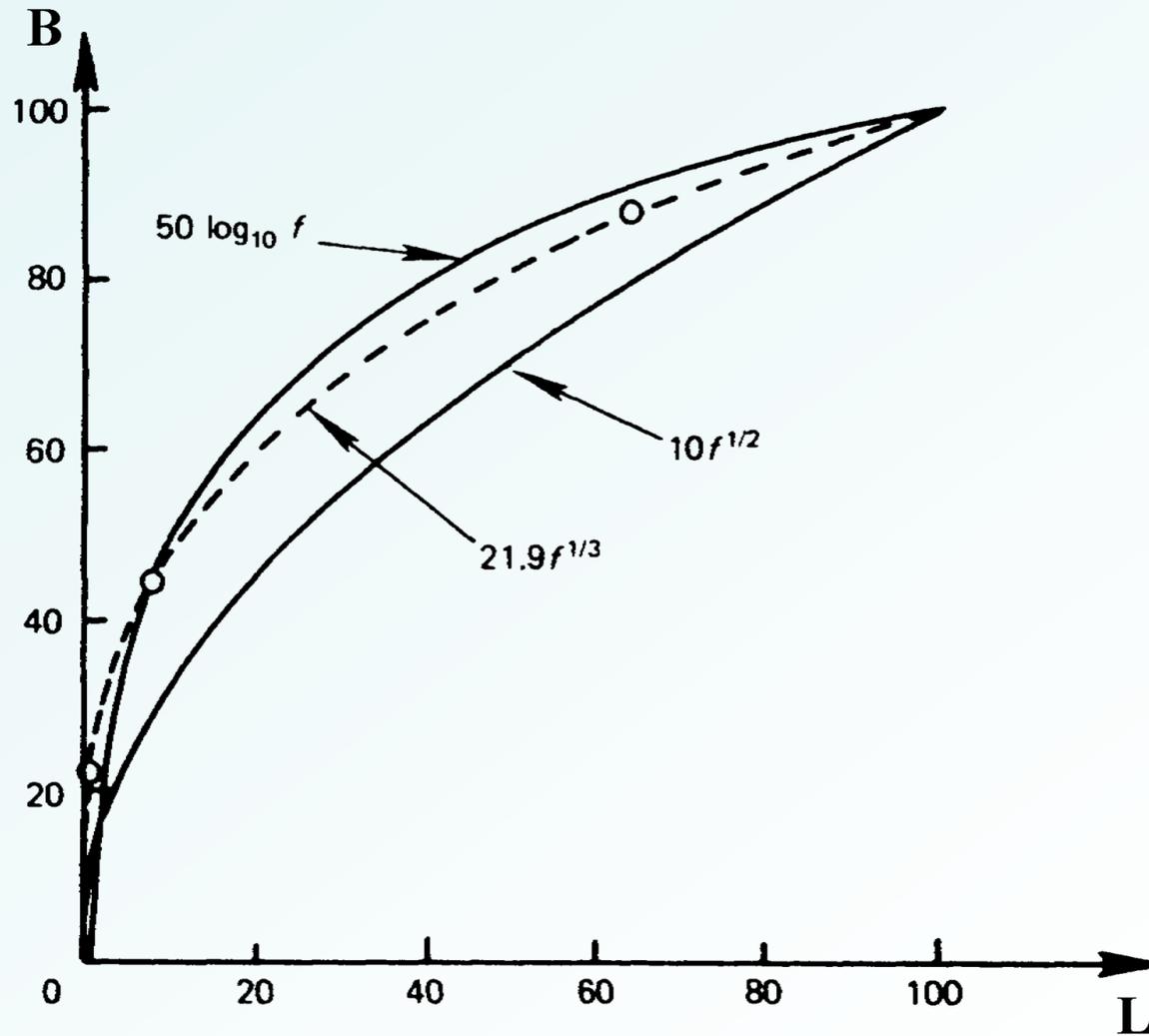
$$c_1 \frac{\Delta L}{L} = \Delta B$$

$$B = c_1 \cdot \log(L) + c_2$$

→ loi approximativement logarithmique

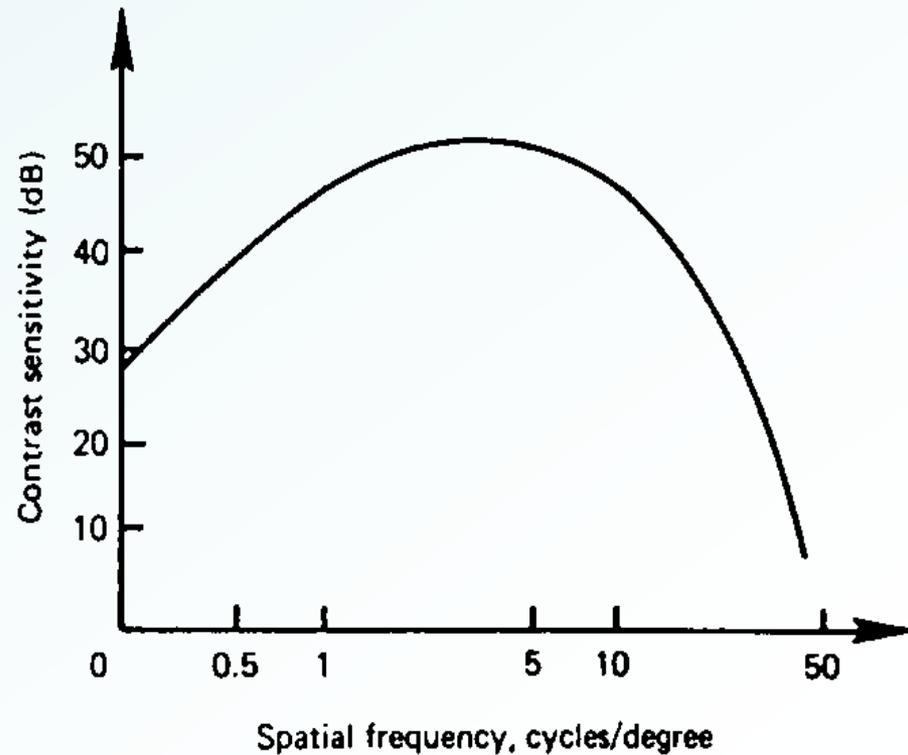
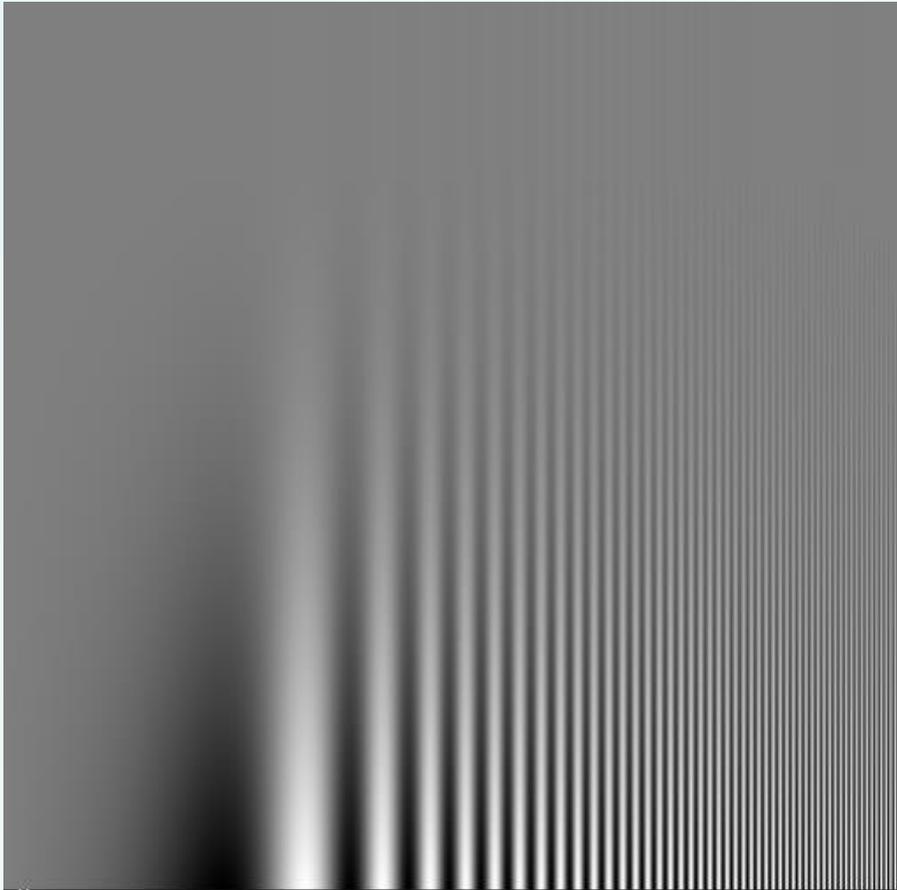
→ une soixantaine de niveaux de  
luminance distincts

# Perception de la luminance



# Réponse en fréquence spatiale

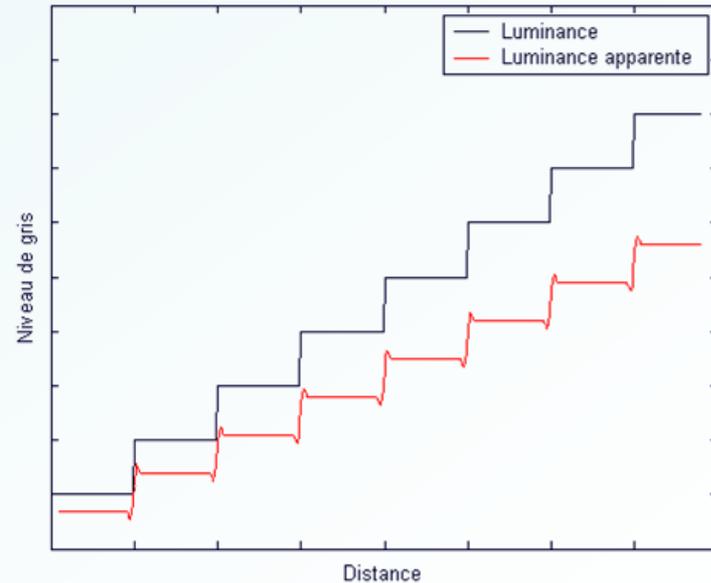
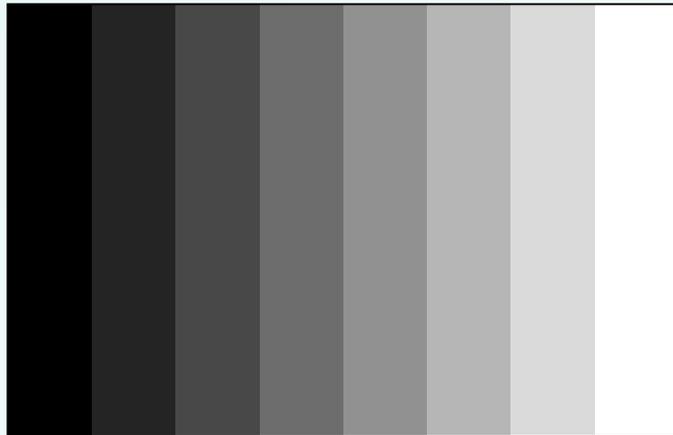
→ réponse de type passe-bas (inhibition latérale)



# Réponse en fréquence spatiale

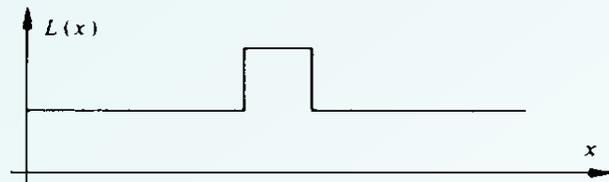
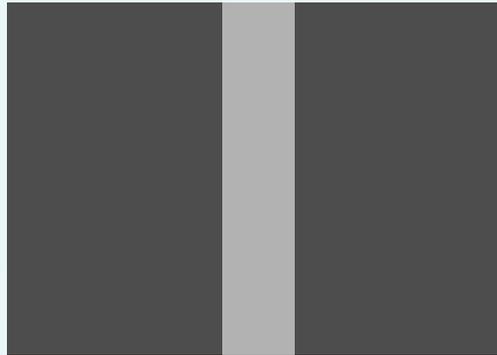
Phénomène de Mach

→ renforcement des contrastes au voisinage des discontinuités dû à l'inhibition latérale

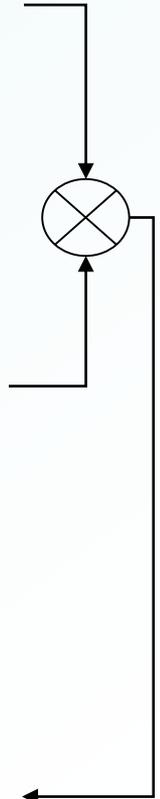
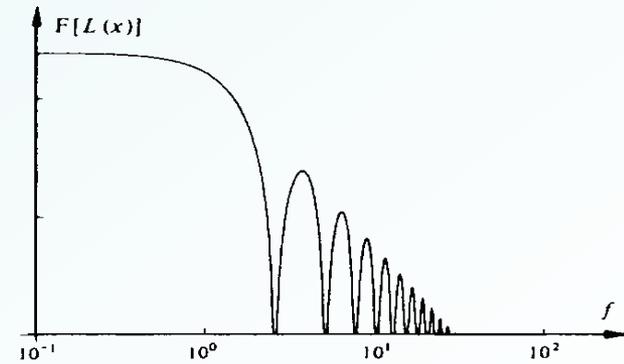
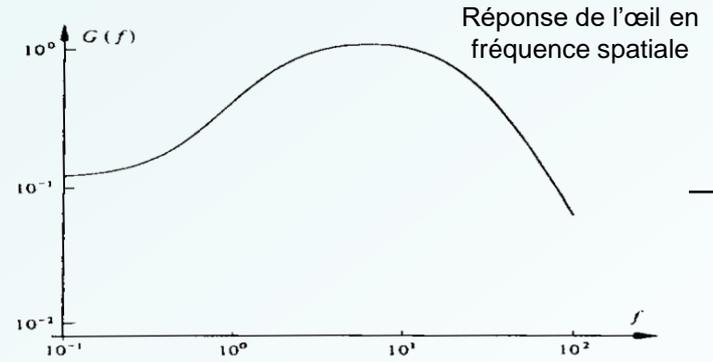


# Réponse en fréquence spatiale

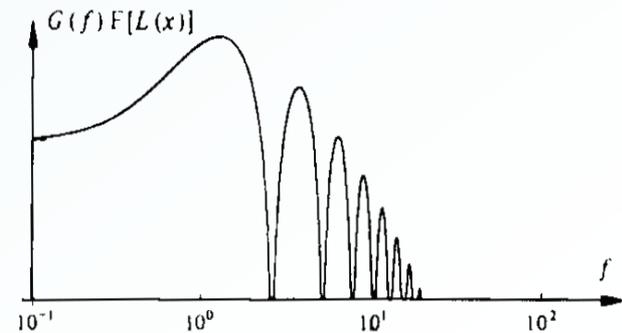
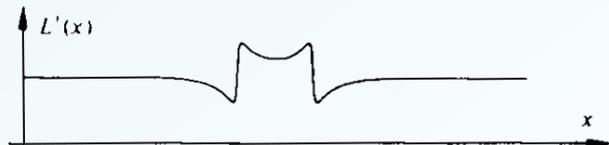
## Phénomène de Mach



Transformée de Fourier



Transformée de Fourier inverse

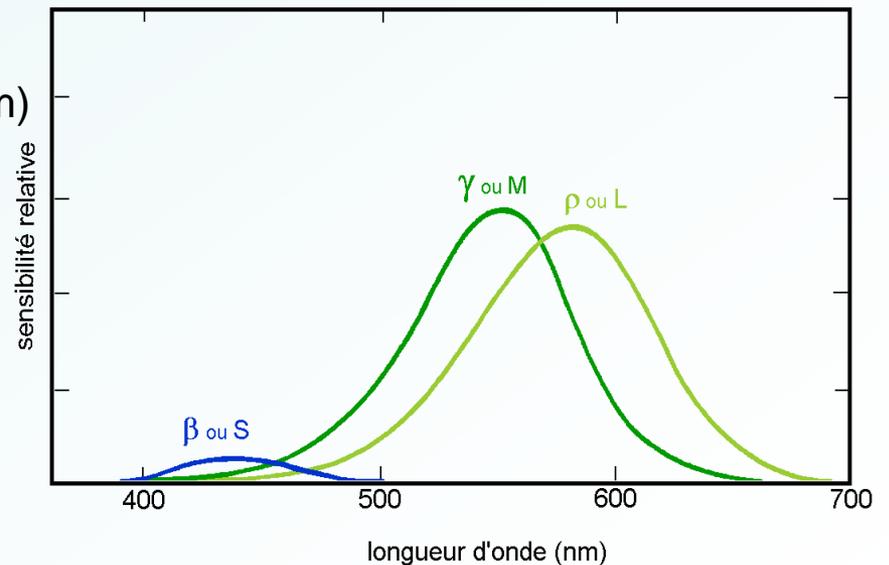
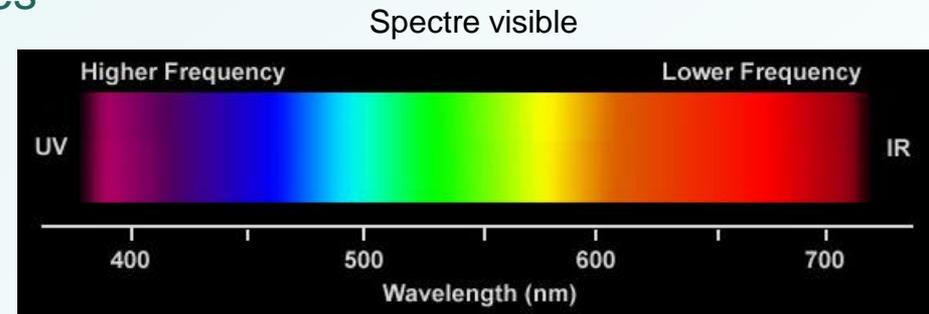


# Perception des couleurs

■ Grâce aux pigments contenus dans les cônes

■ Trois types de cônes

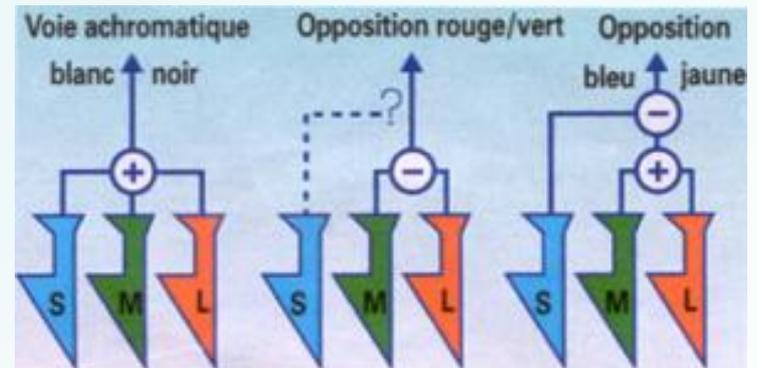
- Cyanolabes, notés  $\beta$  (blue) ou S (Small)
  - sensibles dans le bleu
  - maximum à  $\lambda = 440$  nm
  - Pigment : iodopsine S
- Chlorolabes, notés  $\gamma$  (green) ou M (Medium)
  - sensibles dans le vert
  - maximum à  $\lambda = 545$  nm
  - pigment : iodopsine M
- Erythrolabes, notés  $\rho$  (red) ou L (Large)
  - sensibles dans le jaune-vert
  - maximum à  $\lambda = 580$  nm
  - pigment : iodopsine L



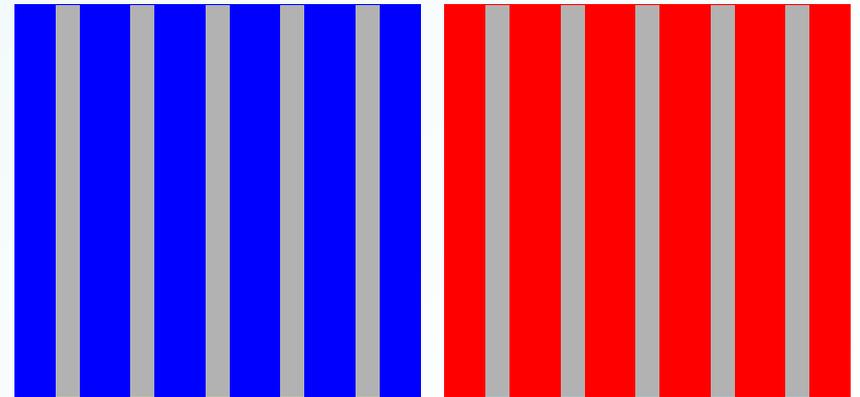
→ comparaisons chromatiques entre les divers types de cônes

# Perception des couleurs

- Mélange → opposition achromatique
- Opposition vert-rouge
- Opposition bleu-jaune



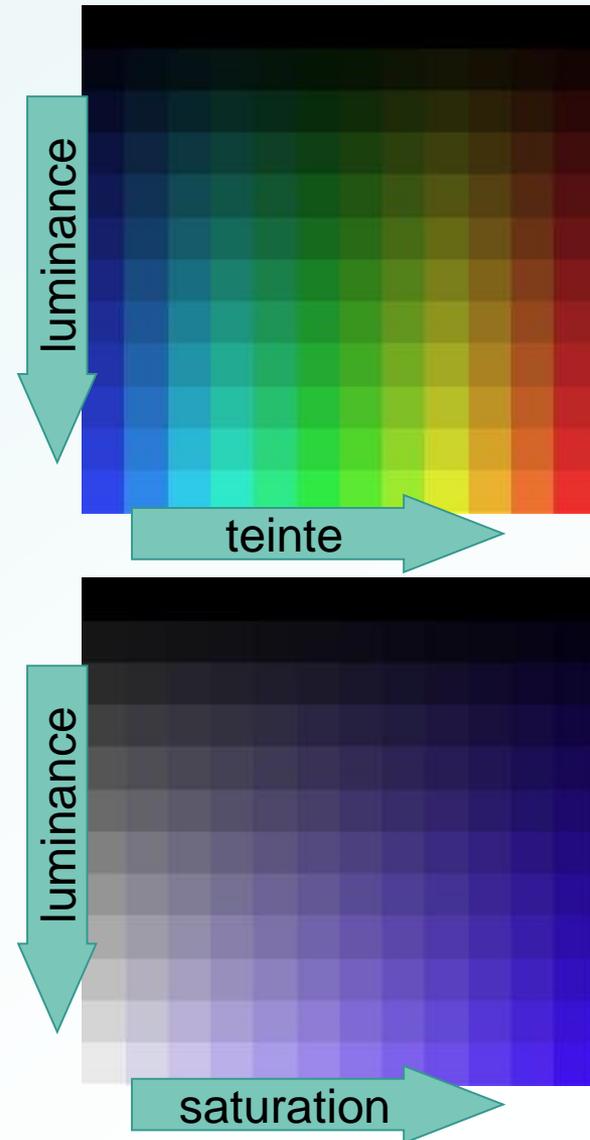
- Contraste de saturation
- Contraste de teinte
- Contraste simultané



# Perception des couleurs

## ■ Attributs perceptuels

- **Luminosité** ou **brillance** ou **intensité** correspondant à la perception de la luminance
- La **teinte** ou **tonalité chromatique** correspondant à la couleur proprement dite.
- La **saturation** représentant la pureté de la couleur

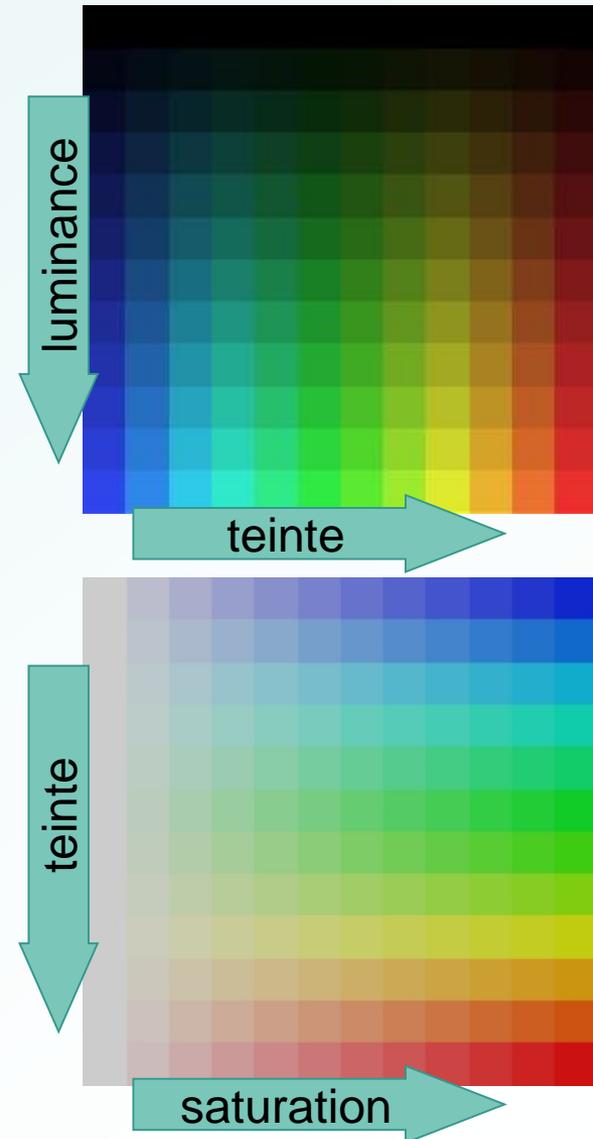


# Perception des couleurs

## ■ Attributs perceptuels

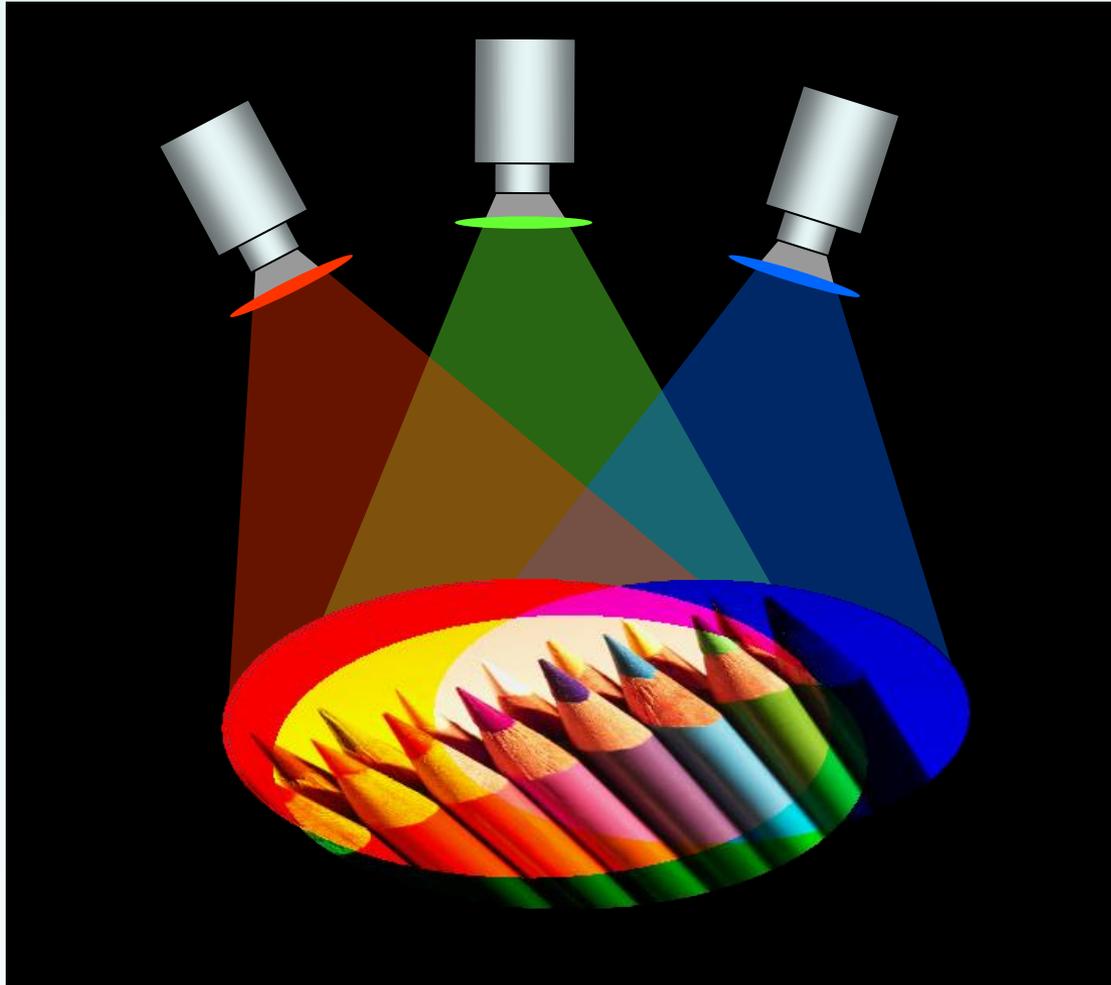
- sensibilité aux changements de teinte (à brillance et saturation constantes)  
2 nm dans le vert-jaune  
10 nm aux extrémités du spectre  
Sensibilité moindre pour des couleurs moins saturées.
- sensibilité aux changements de saturation (à teinte et brillance constantes)  
plus importante aux extrémités du spectre visible : 23 niveaux distincts  
16 niveaux au centre

→ des centaines de milliers de couleurs



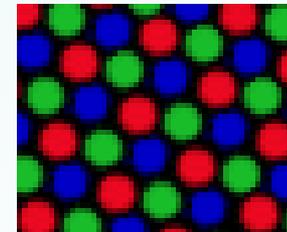
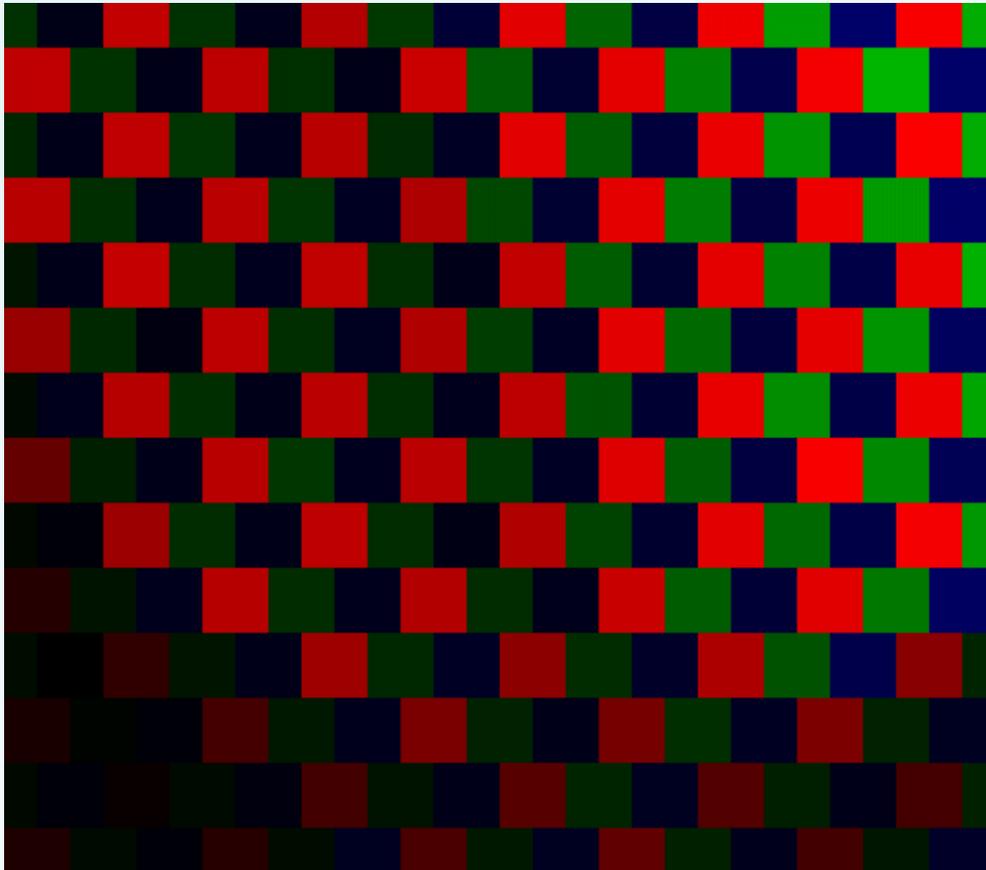
# Reproduction des couleurs

- Mélanges de couleurs
  - mélange additif

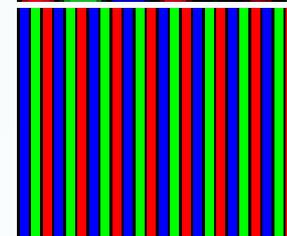


# Reproduction des couleurs

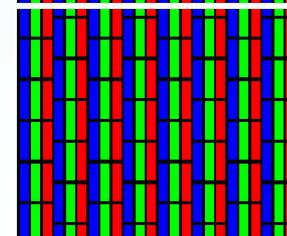
- mélange additif



Tubes FST-Invar  
(masque)



Tubes Trinitron  
(grille à fentes  
verticales)



Tubes Cromaclear  
(grille à alvéoles)

# Reproduction des couleurs

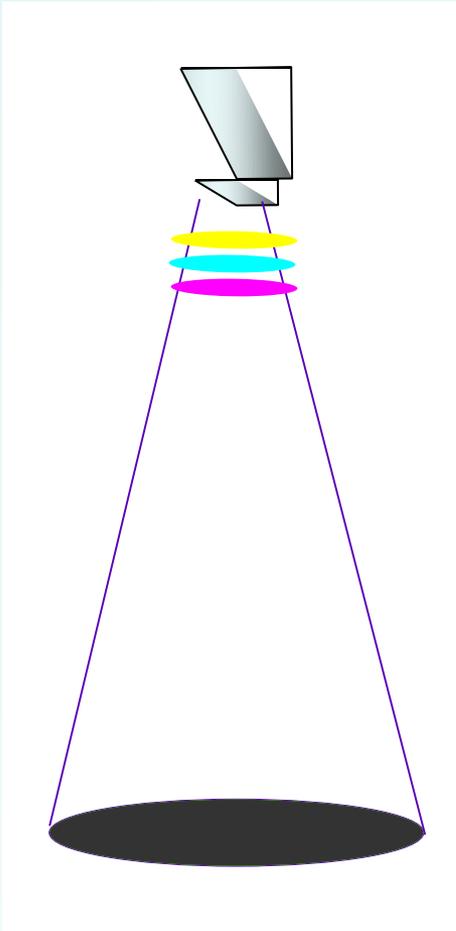
- mélange additif



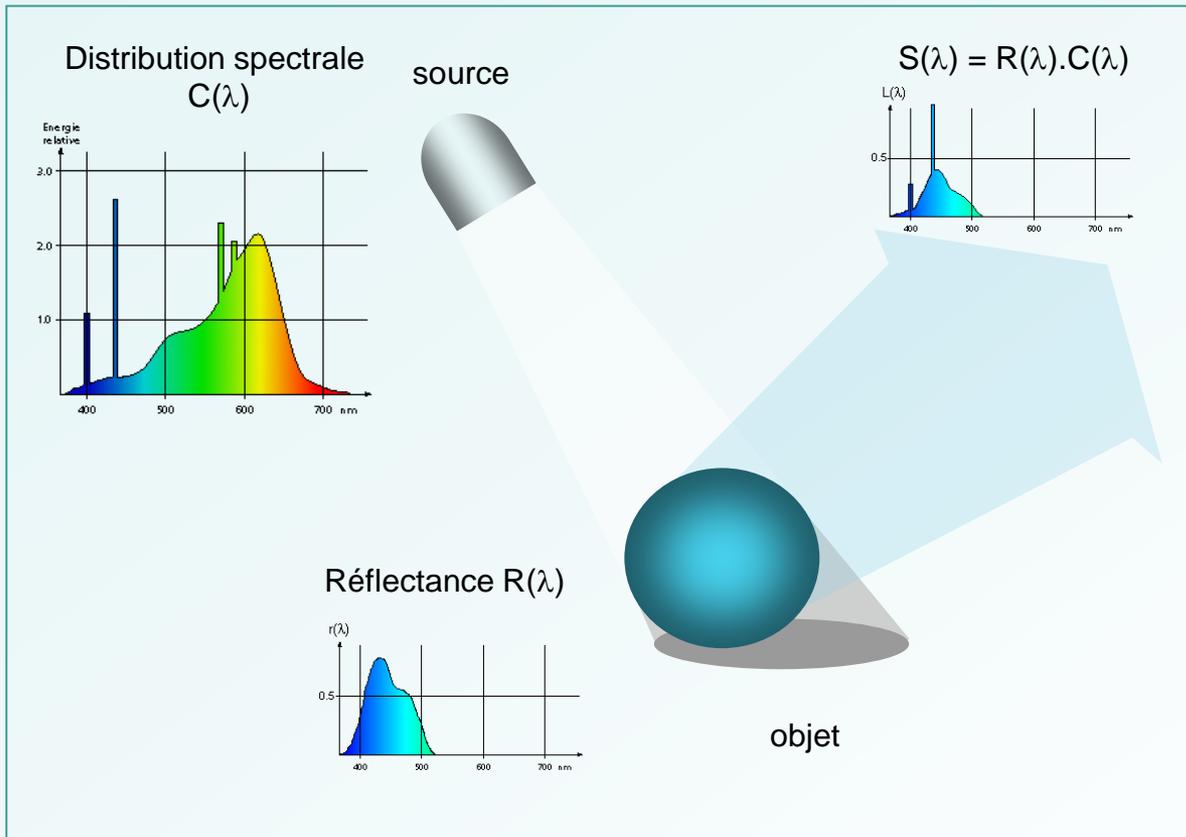
Disque de Newton

# Reproduction des couleurs

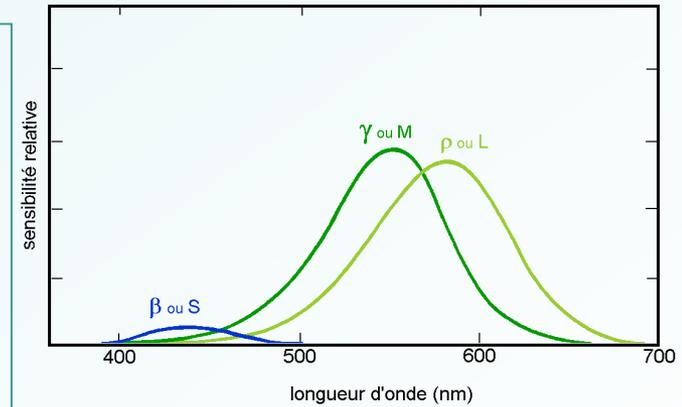
- mélange soustractif



# Reproduction des couleurs



Sensibilité spectrale des cônes :  
 $I(\lambda)$ ,  $m(\lambda)$ ,  $s(\lambda)$



↓  
 Réponses des cônes

$$I(S) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} I(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$m(S) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} m(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$s(S) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} s(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda$$

Si  $S_1$  et  $S_2$  sont deux distributions d'énergie qui produisent les mêmes réponses  $I$ ,  $m$  et  $s$ , alors les deux couleurs seront perçues comme identiques (couleurs métamères)

# Reproduction des couleurs

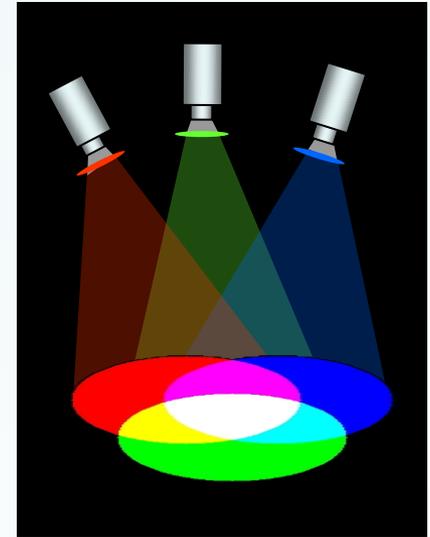
## ■ Problème

- 3 sources linéairement indépendantes de distributions spectrales  $r(\lambda)$ ,  $g(\lambda)$ ,  $b(\lambda)$
- Mélange dans des proportions  $R_S$ ,  $G_S$ ,  $B_S$

$$R_S \cdot r(\lambda) + G_S \cdot g(\lambda) + B_S \cdot b(\lambda) = S(\lambda)$$

Valeurs de  $R$ ,  $G$ ,  $B$  pour obtenir une couleur  $S(\lambda)$  donnée ?

Réponse des cônes aux trois sources



$$I(r) = \int_{\lambda} I(\lambda) \cdot r(\lambda) \cdot d\lambda,$$

$$m(r) = \int_{\lambda} m(\lambda) \cdot r(\lambda) \cdot d\lambda,$$

$$s(r) = \int_{\lambda} s(\lambda) \cdot r(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$I(g) = \int_{\lambda} I(\lambda) \cdot g(\lambda) \cdot d\lambda,$$

$$m(g) = \int_{\lambda} m(\lambda) \cdot g(\lambda) \cdot d\lambda,$$

$$s(g) = \int_{\lambda} s(\lambda) \cdot g(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$I(b) = \int_{\lambda} I(\lambda) \cdot b(\lambda) \cdot d\lambda,$$

$$m(b) = \int_{\lambda} m(\lambda) \cdot b(\lambda) \cdot d\lambda,$$

$$s(b) = \int_{\lambda} s(\lambda) \cdot b(\lambda) \cdot d\lambda$$

# Reproduction des couleurs

Réponse des cônes au mélange

$$l(S) = R_S.l(r) + G_S.l(g) + B_S.l(b)$$

$$m(S) = R_S.m(r) + G_S.m(g) + B_S.m(b)$$

$$s(S) = R_S.s(r) + G_S.s(g) + B_S.s(b)$$

Réponse des cônes à la couleur S

$$l(S) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} l(\lambda).S(\lambda).d\lambda$$

$$m(S) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} m(\lambda).S(\lambda).d\lambda$$

$$s(S) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} s(\lambda).S(\lambda).d\lambda$$



$$R_S.l(r) + G_S.l(g) + B_S.l(b) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} l(\lambda).S(\lambda).d\lambda$$

$$R_S.m(r) + G_S.m(g) + B_S.m(b) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} m(\lambda).S(\lambda).d\lambda$$

$$R_S.s(r) + G_S.s(g) + B_S.s(b) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} s(\lambda).S(\lambda).d\lambda$$

système linéaire de trois équations  
à trois inconnues ( $R_S$ ,  $G_S$ ,  $B_S$ ).

# Reproduction des couleurs

## ■ Système RGB (CIE 1931)

CIE: Commission Internationale de l'Eclairage

Primaires additives : sources monochromatiques

- r : rouge ,  $\lambda = 700$  nm
- g : vert,  $\lambda = 546,1$  nm
- b : bleu,  $\lambda = 535,8$  nm

$$\int_{\lambda} r(\lambda).d\lambda = \int_{\lambda} g(\lambda).d\lambda = \int_{\lambda} b(\lambda).d\lambda$$

calibrées avec une source de référence équi-énergétique (illuminant E)

$$R_E.r(\lambda) + G_E.g(\lambda) + B_E.b(\lambda) = E(\lambda) = 1$$

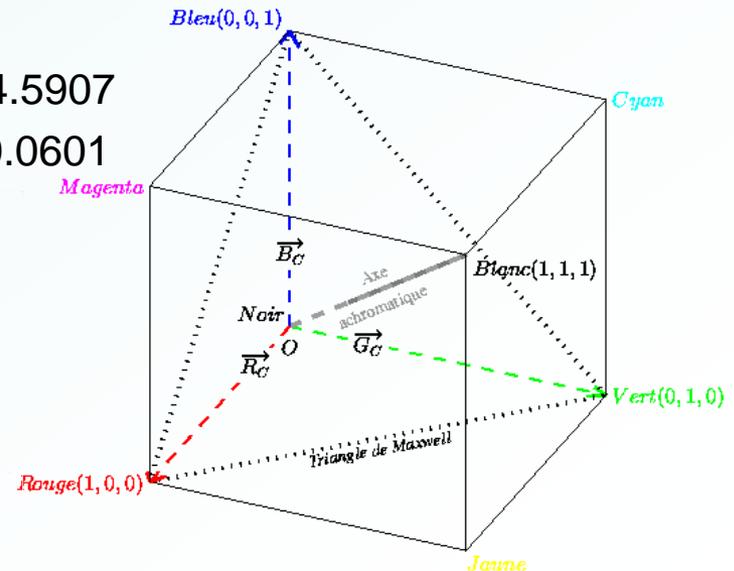
$$R_E = 1$$

$$G_E = 4.5907$$

$$B_E = 0.0601$$

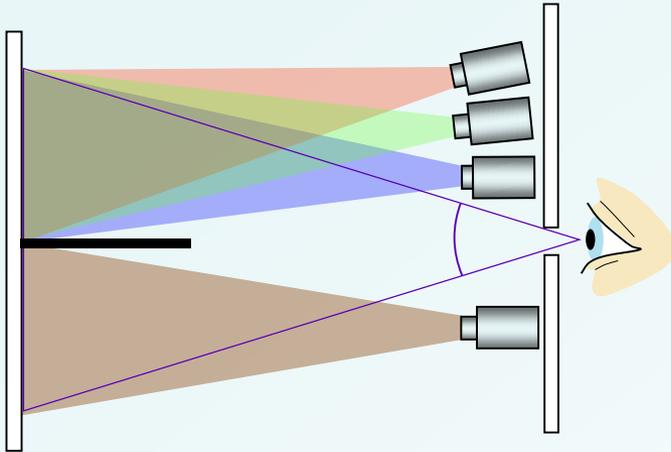
$$\rightarrow \begin{cases} R = \frac{R_S}{R_E} \\ G = \frac{G_S}{G_E} \\ B = \frac{B_S}{B_E} \end{cases}$$

tristimulus pour la couleur S

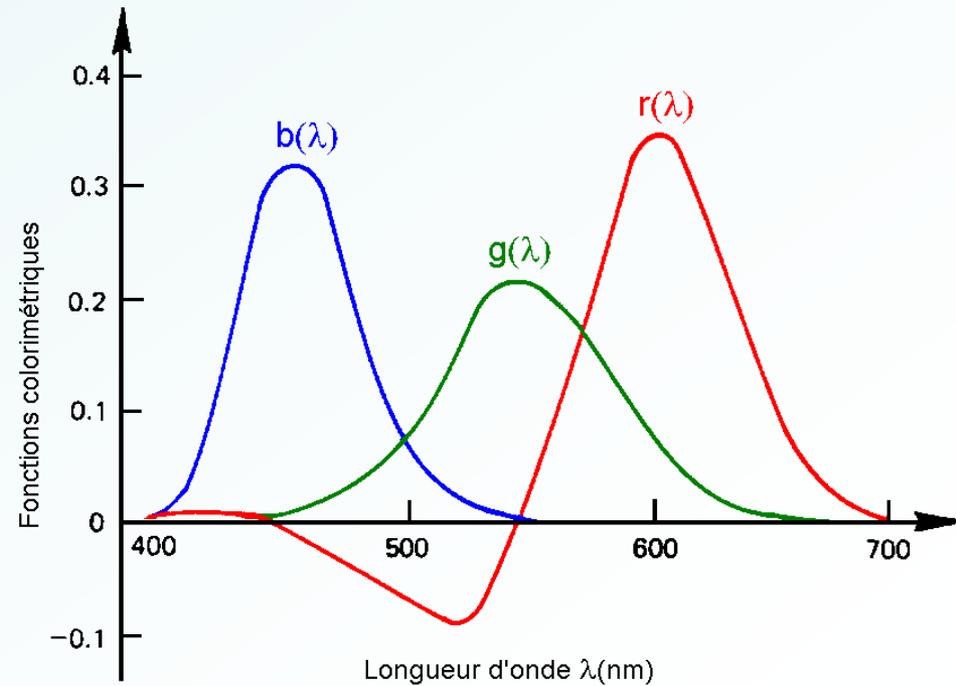


# Reproduction des couleurs

## ■ Expériences d'égalisation



→ Tracé des fonctions colorimétriques pour chacune des longueurs d'ondes  $380 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$



# Représentation des couleurs

## ■ Diagrammes chromatiques (RGB CIE 1931)

→ Représentation des couleurs dans un espace 3D

Normalisation par la luminance

$$r = \frac{R}{R + G + B}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}$$

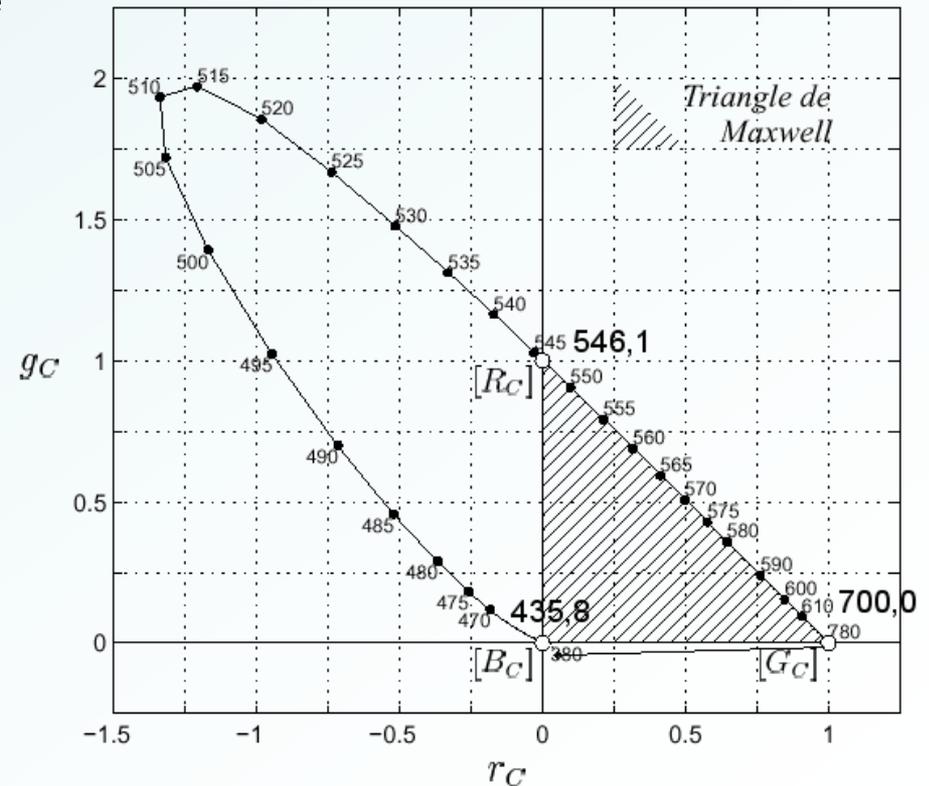
$$b = \frac{B}{R + G + B}$$

$$r + g + b = 1$$

→ deux variables indépendantes

→ projection sur  $r + g + b = 1$  (triangle de Maxwell)

→ deux valeurs de chrominance pour décrire la couleur indépendamment de la luminance



# Représentation des couleurs

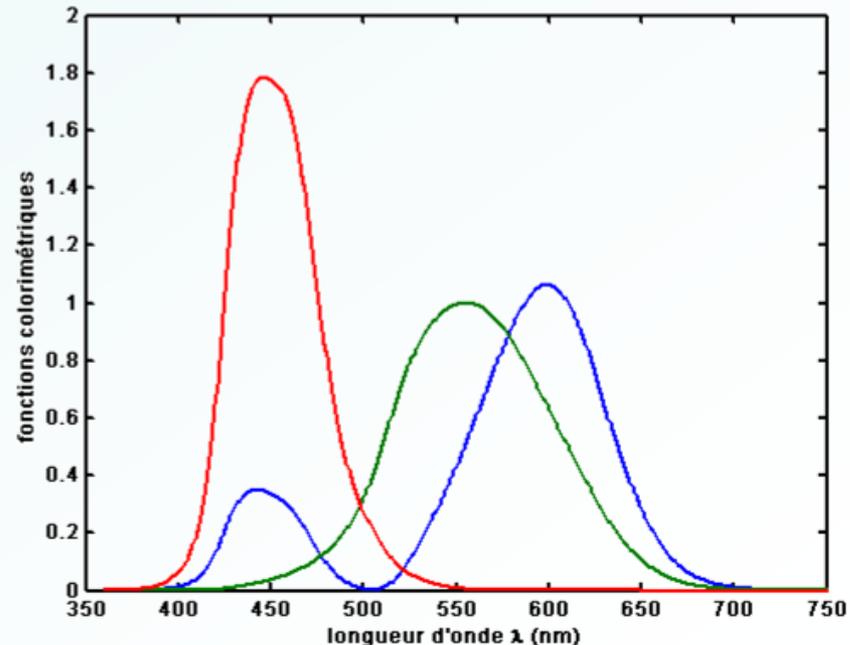
## ■ Diagrammes chromatiques (XYZ CIE 1931)

→ Pour palier les inconvénients du système RGB

→ Trois primaires virtuelles obtenues par changement de repère à partir du système RGB

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7690 & 1.7518 & 1.1300 \\ 1 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

→ Nouvelles fonctions colorimétriques



# Représentation des couleurs

## ■ Diagrammes chromatiques (XYZ CIE 1931)

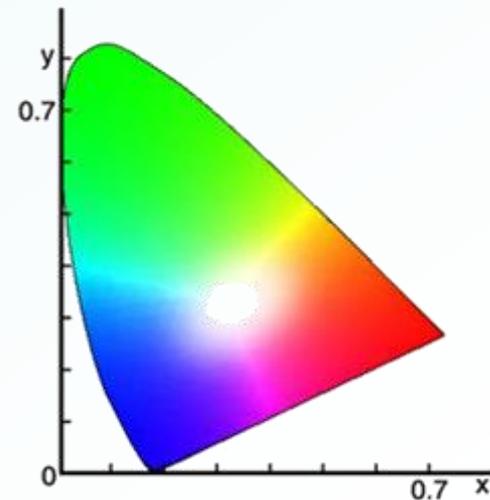
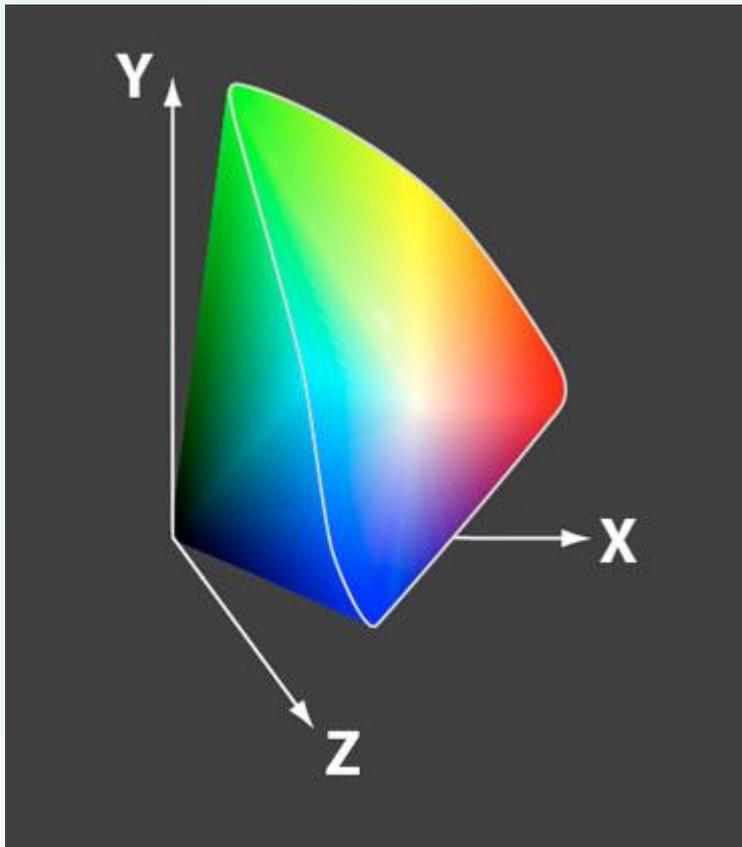
Représentation des couleurs

→ normalisation

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$
$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

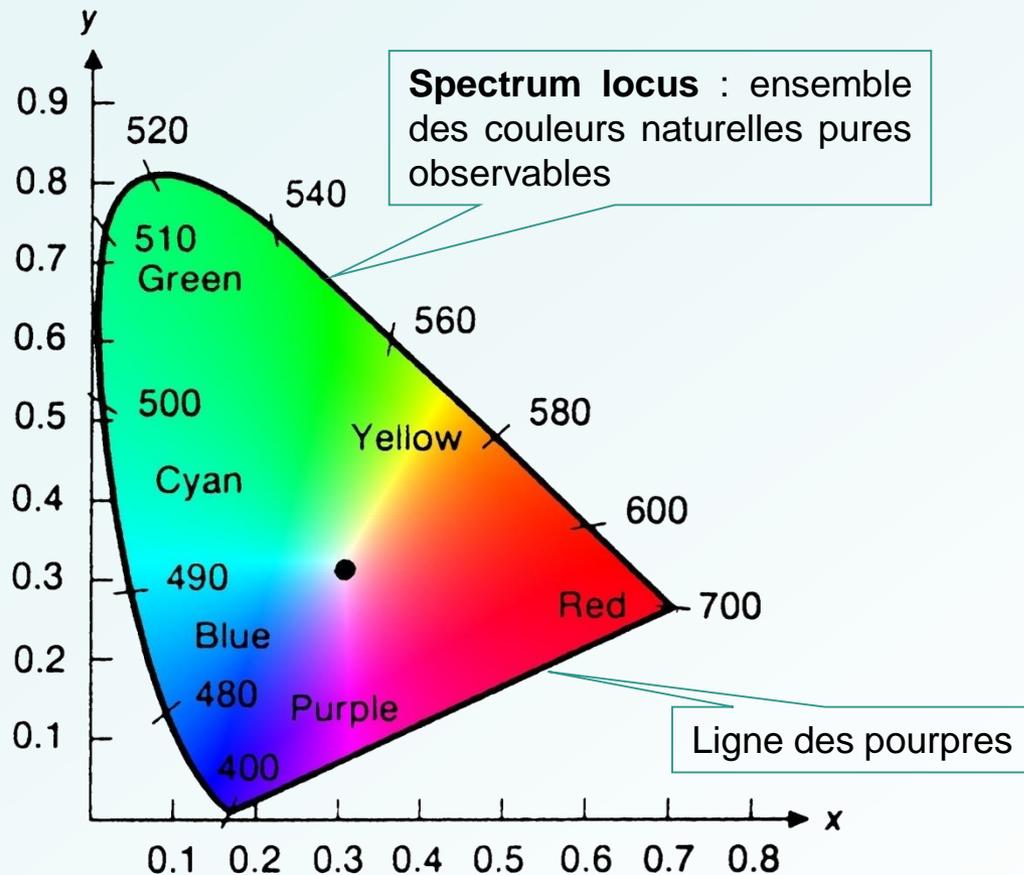
→  $x+y+z=1$

→ projection sur  $x+y+z=1$ , puis sur  $xOy$



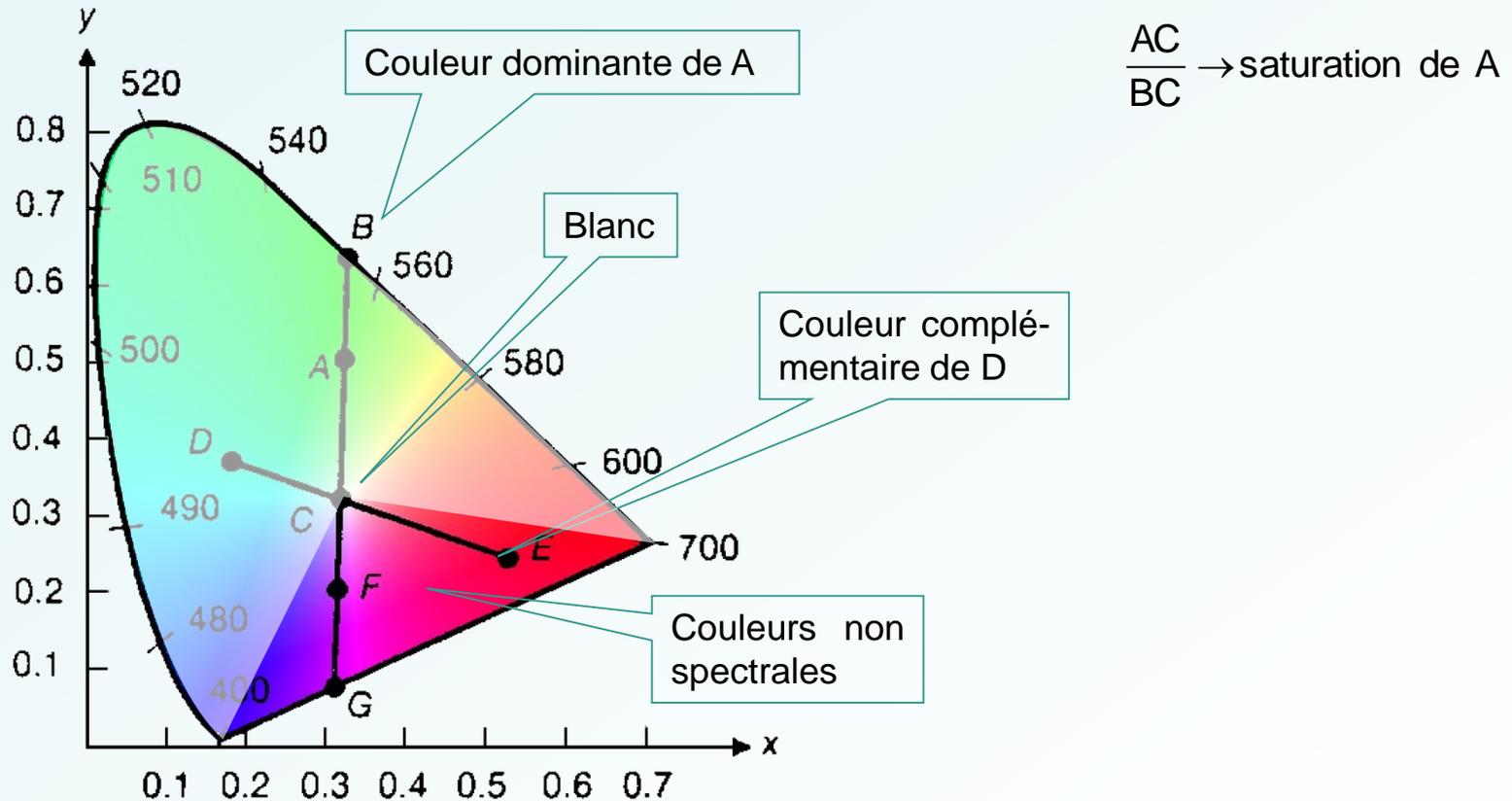
# Représentation des couleurs

## ■ Diagrammes chromatiques: espace xyY



# Représentation des couleurs

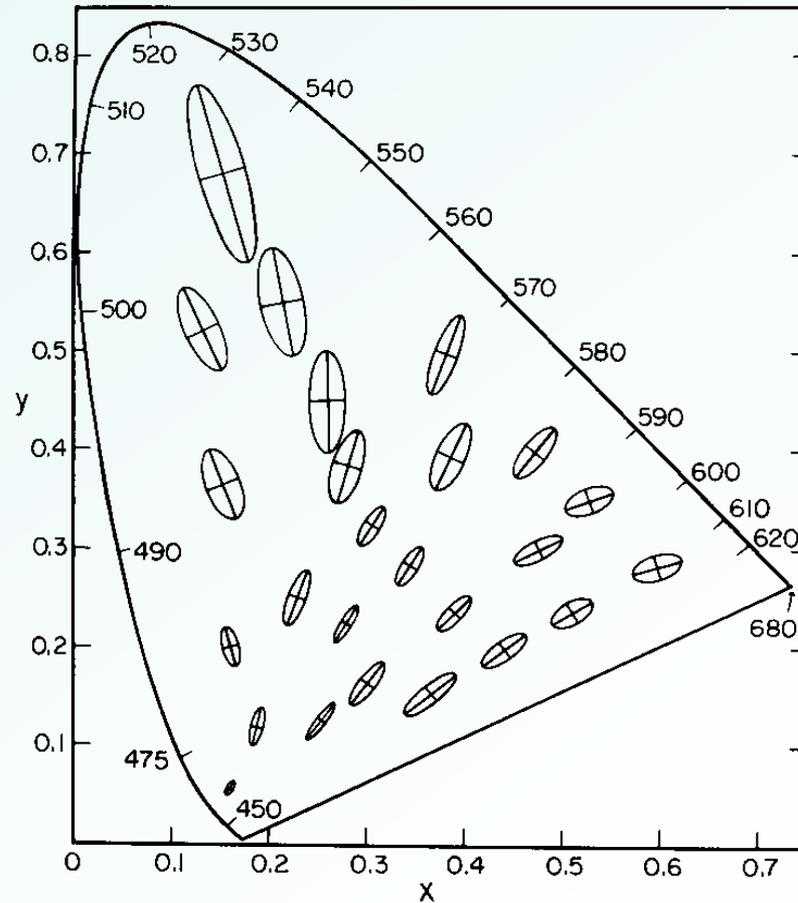
## ■ Diagrammes chromatiques : espace xyY



# Représentation des couleurs

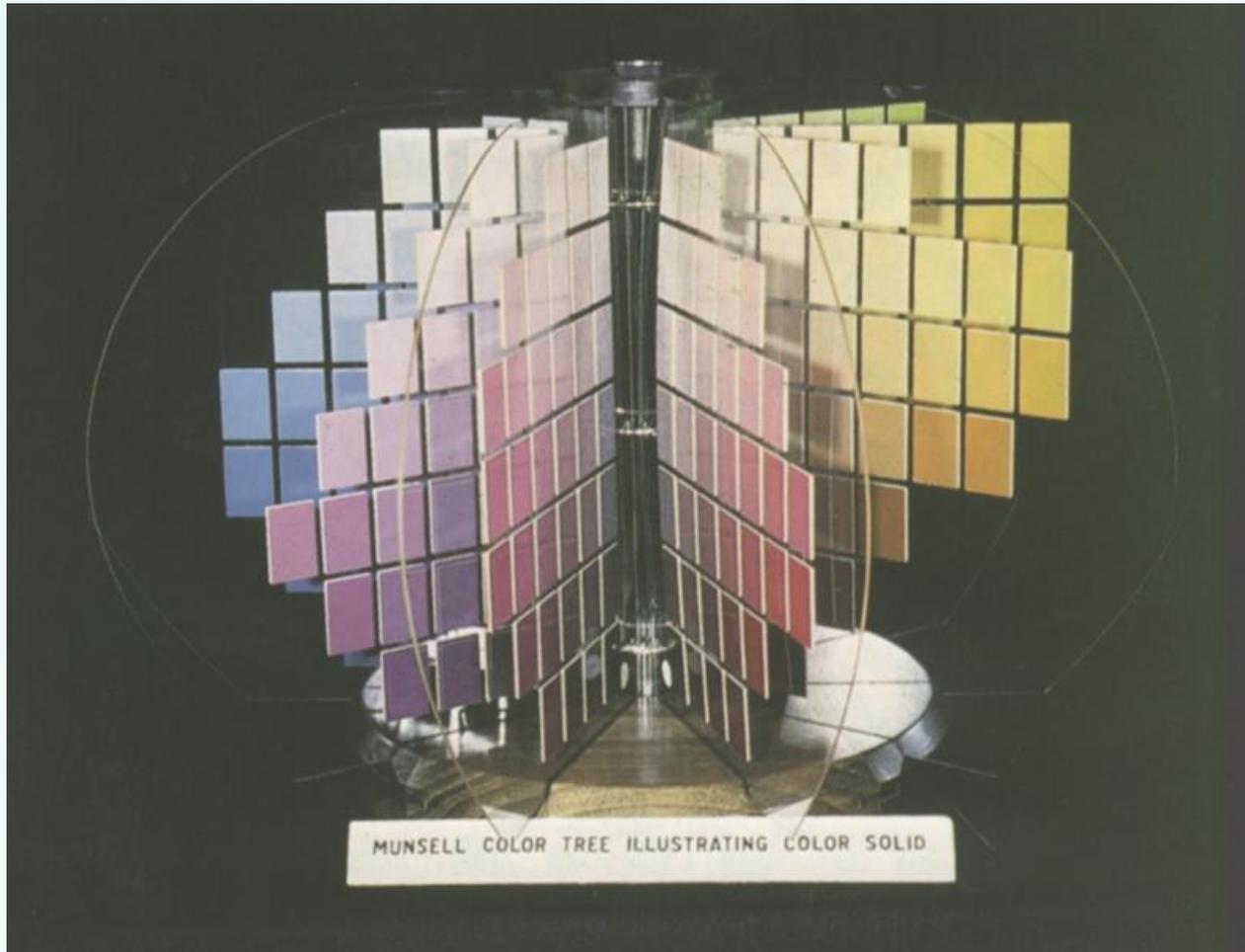
- espace xyY : non-uniformité de la perception

→ Seuils différentiels de Macadam



# Représentation des couleurs

- Uniformisation : Atlas de Munsell



# Représentation des couleurs

- Le système CMY (ou CMJ)

→ Equivalent du RGB pour des primaires soustractives

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

→ Systèmes d'impression

Souvent, une quatrième primaire K (noir) est utilisée (CMYK)

# Représentation des couleurs

## ■ Les systèmes dédiés à la télévision

→ une composante de luminance  $Y$

→ deux composantes de chrominance  $C_1, C_2$

→ compatibilité TV N&B et couleur

$$C_1 = a_1(R - Y) + b_1(B - Y)$$

$$C_2 = a_2(R - Y) + b_2(B - Y)$$

$a_1, a_2, b_1, b_2$  coefficients spécifiques au standard considéré

YIQ : norme NTSC

YUV : norme PAL

$YD_b D_r$  : norme SECAM

$YC_b C_r$  : norme ITU.BT-601 (télévision numérique)

### Exemple :

$$Y = 0.299R^{1/2.2} + 0.587V^{1/2.2} + 0.114B^{1/2.2}$$

$$I = 0,74(R^{1/2.2} - Y) - 0.27(B^{1/2.2} - Y)$$

$$Q = 0.48(R^{1/2.2} - Y) + 0.41(B^{1/2.2} - Y)$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.273 & -0.322 \\ 0.212 & -0.522 & 0.315 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R^{1/2.2} \\ G^{1/2.2} \\ B^{1/2.2} \end{bmatrix}$$

# Représentation des couleurs

- Les systèmes  $AC_1C_2$

→ Basé sur les sensibilités spectrales des cônes

$$A = 22 [0.612 \log(L) + 0.369 \log(M) + 0.019 \log(S)]$$

$$C_1 = 64 [\log(L) - \log(M)]$$

$$C_2 = 10 [\log(L) - \log(S)]$$

A : luminance

$C_1$  : opposition vert-rouge

$C_2$  : opposition jaune-bleu

et

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.15514 & 0.54312 & -0.03286 \\ -0.15514 & 0.45684 & 0.03286 \\ 0 & 0 & 0.00801 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

# Représentation des couleurs

## ■ Les systèmes L\*a\*b\* (CIE 1976)

→ Tenant compte de la réponse logarithmique de l'œil

→ Perceptuellement uniforme

$$L^* = \begin{cases} 116 * \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{si } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856 \\ 903.3 * \frac{Y}{Y_0} & \text{si } \frac{Y}{Y_0} \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$a^* = 500 \cdot \left[ f\left(\frac{X}{X_0}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) \right]$$

$$b^* = 200 \cdot \left[ f\left(\frac{X}{X_0}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \right]$$

avec

$$f(x) = \begin{cases} x^{1/3} & \text{si } x > 0.008856 \\ 7.787x + \frac{16}{116} & \text{si } x \leq 0.008856 \end{cases}$$

L\* : opposition noir-blanc  
(luminance)

a\* : opposition vert-rouge  
(chrominance)

b\* : opposition jaune-bleu  
(chrominance)

$X_0, Y_0, Z_0$  : coordonnées XYZ du blanc de référence

# Représentation des couleurs

## ■ Les systèmes L\*u\*v\* (CIE 1976)

→ Similaire à L\*a\*b\*

$$L^* = \begin{cases} 116 * \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{si } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856 \\ 903.3 * \frac{Y}{Y_0} & \text{si } \frac{Y}{Y_0} \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$u^* = 13.L * (u' - u'_0)$$

$$v^* = 13.L * (v' - v'_0)$$

avec

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}, \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

$$u'_0 = \frac{4X_0}{X_0 + 15Y_0 + 3Z_0}, \quad v'_0 = \frac{9Y_0}{X_0 + 15Y_0 + 3Z_0}$$

L\* : opposition noir-blanc  
(luminance)

u\* : opposition vert-rouge  
(chrominance)

v\* : opposition jaune-bleu  
(chrominance)

$X_0, Y_0, Z_0$  : coordonnées XYZ du blanc de référence

# Représentation des couleurs

## ■ Les systèmes L\*C\*h

→ Passage de L\*a\*b\* ou L\*u\*v\* à des coordonnées cylindriques

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$h^*_{ab} = \begin{cases} \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) & \text{si } a^* > 0 \text{ et } b^* > 0 \\ \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) + 180^\circ & \text{si } a^* < 0 \\ \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) + 360^\circ & \text{si } a^* > 0 \text{ et } b^* < 0 \end{cases}$$

$L^* \in [0, 100]$ : luminance  
 $h \in [0, 2\pi]$ : teinte  
 $C^* \in [0, h_{\max}]$ : chroma

$$C^*_{uv} = \sqrt{u^{*2} + v^{*2}}$$

$$h^*_{uv} = \begin{cases} \arctan\left(\frac{v^*}{u^*}\right) & \text{si } u^* > 0 \text{ et } v^* > 0 \\ \arctan\left(\frac{v^*}{u^*}\right) + 180^\circ & \text{si } u^* < 0 \\ \arctan\left(\frac{v^*}{u^*}\right) + 360^\circ & \text{si } u^* > 0 \text{ et } v^* < 0 \end{cases}$$

# Représentation des couleurs

## ■ Le système HSV

→ Système de cône hexagonal

$$V = \max(R, G, B)$$

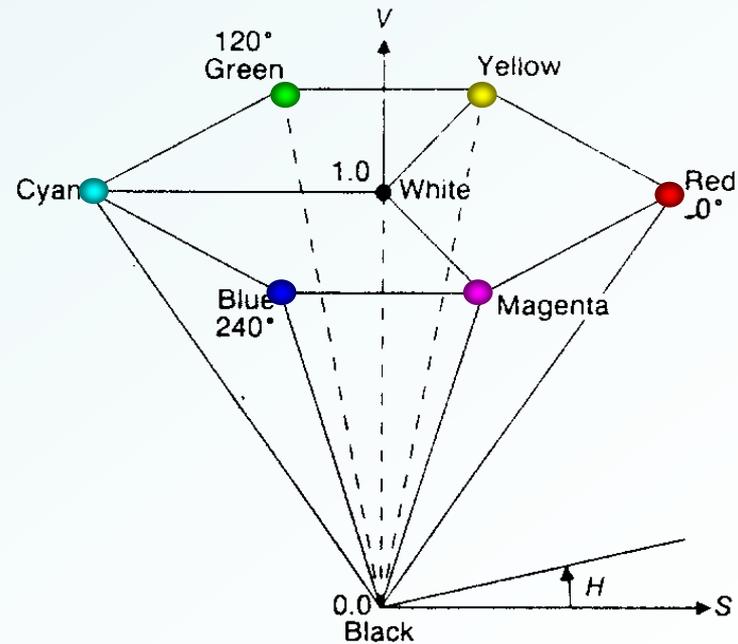
$$S = \frac{V - \min(R, G, B)}{V}$$

$$H = \begin{cases} \frac{G - B}{V - \min(R, G, B)} & \text{si } V = R \\ 2 + \frac{B - R}{V - \min(R, G, B)} & \text{si } V = G \\ 4 + \frac{R - G}{V - \min(R, G, B)} & \text{si } V = B \end{cases}$$

si  $V = R$

si  $V = G$

si  $V = B$



# Traitement d'image

## **Vision industrielle : Acquisition des images**

F. Denis, F. Dupont

# Introduction

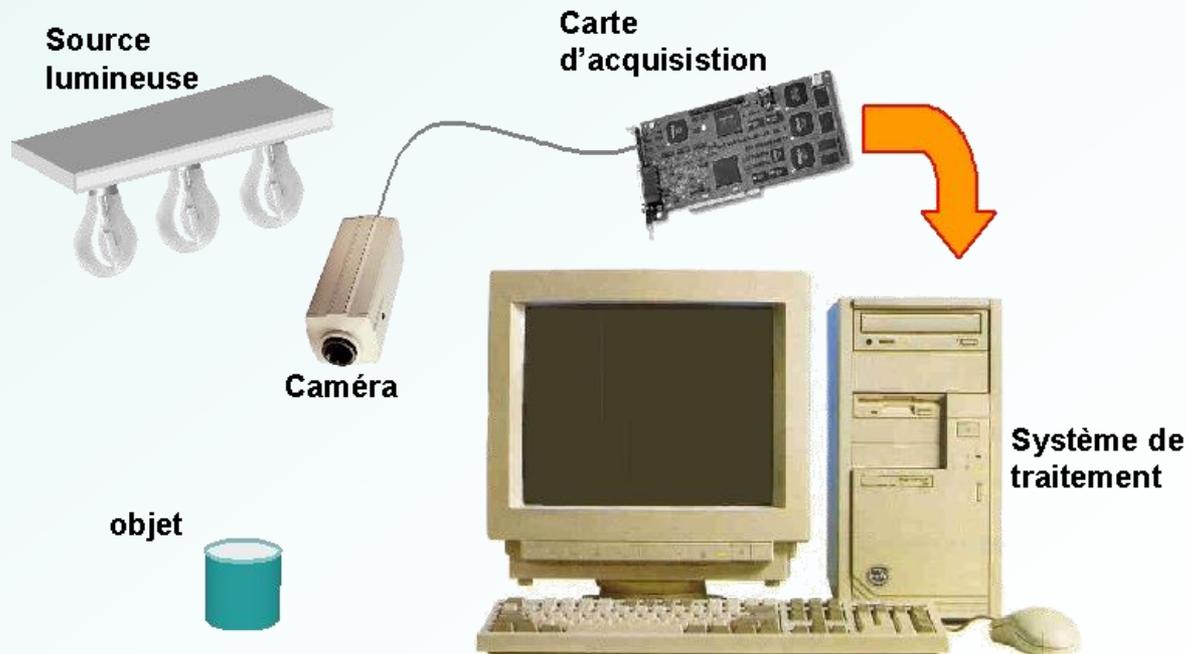
- Etapes dans une application de vision industrielle
  - Acquisition
    - Eclairages, optiques, caméras et cartes d'acquisition
    - Bien réalisée, permet de simplifier les étapes de traitement et d'analyse
  - Traitement
    - ensemble de techniques destinées à améliorer la qualité de l'image
    - Restauration → correction des déformations géométriques, des variations d'éclairage,...
    - Amélioration → réduction de bruit et rehaussement des caractéristiques contenant les informations souhaitées.
  - Analyse
    - Extraction de l'information : segmentation, ...
  - Interprétation
    - décision

# Introduction

## Système de vision

### ■ Système générique

- source lumineuse
- capteur (le plus souvent une caméra CCD)
- interface (carte d'acquisition) → conversion de l'information analogique en information numérique
- système de traitement (ordinateur et logiciels)

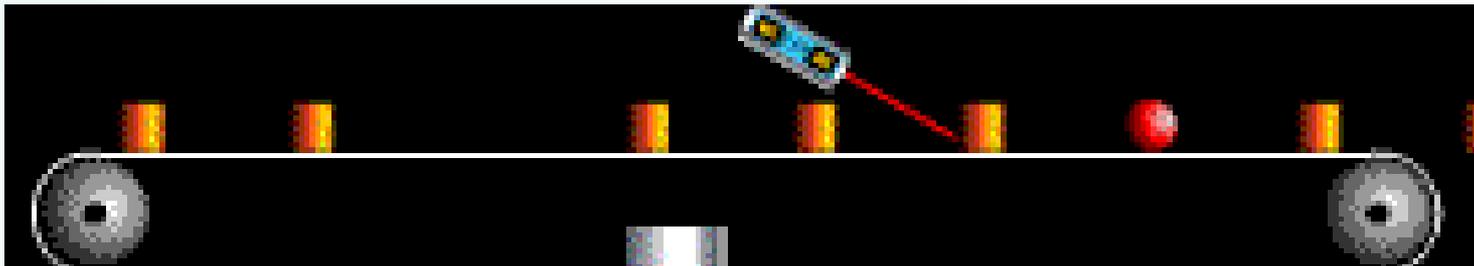


## ■ Système spécifique

- Dispositif spécifique de traitement (carte DSP,...)
- Capteur spécial (capteur linéaire, infrarouge,...)

à choisir selon :

- les caractéristiques de la pièce à étudier,
- le type de tâche à effectuer,
- les contraintes spécifiques :
  - cadence de production,
  - consommation,
  - encombrement,
  - perturbations...



## ■ Intérêts de la vision industrielle

- Contrôle précis
  - Mesures géométriques
  - Comptage, ...
- Mesure répétitive et objective
- Rapidité
- Absence de fatigue
- Adaptation aux environnements difficiles
- Permet des manipulations robotisée (objets fragiles, petits, ...)

## ■ Inconvénients

- Évolution et flexibilité limitée
- Moins de souplesse et d'adaptabilité que l'œil humain
- Sensibilité aux changements des conditions d'environnement

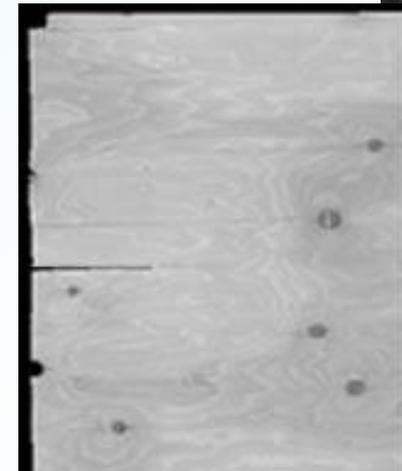
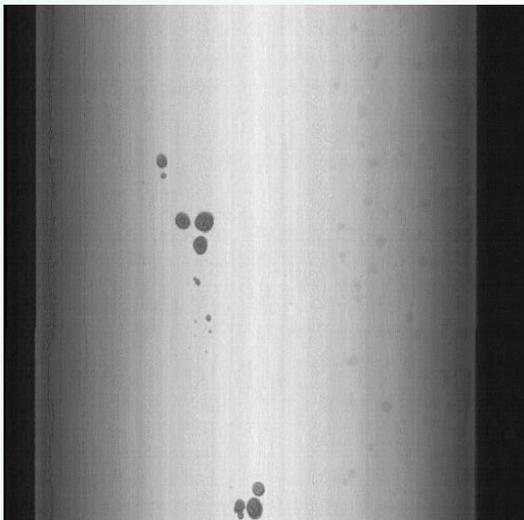
## ■ Domaines d'application

- Lecture optique

- tri postal, chèques, formulaires
- lecture de documents
- archivage,...

- Détection de défauts dans des produits plans

- tôle, verre, papier, textiles, acier, bois, céramique
- taches, rayures, nœuds,...



**CAISSE D'ALLOCATIONS FAMILIALES  
DU SUD-FINISTERE**  
1, Avenue de Ti Dour - 29321 QUIMPER CEDEX 9

**DIVISION PRESTATIONS**      **UNIVERSITÉ DE ROUEN  
FACULTÉ DES SCIENCES**

**MIDI**  
Caisse Régionale de Crédit Agricole Mutuel du Midi  
Avenue du Montpellierais Maurin 34977 Lattes Cedex B.P.F. [redacted]  
HERAULT

Payez contre ce chèque non endossable  
sauf au profit d'une banque ou d'un établissement assimilé

SPECIFIEN  
Somme en toutes lettres

COMPENSABLE A \_\_\_\_\_  
MONTPELLIER  
PAYABLE A \_\_\_\_\_

LE \_\_\_\_\_ 19\_\_

VIAS  
TEL - 0467216639

M OU MME JEAN-LUC ALLEMANN  
NON RESIDENT FRANCS CONVERTIBLES  
UTIN NUMERO 2  
2013 COLOMBIER  
SUISSE

Compte 60431353000  
Chèque 8225614 Série 92  
201097 (77)

8225614 0340435063984 060494353000

COUC, le  
droits,

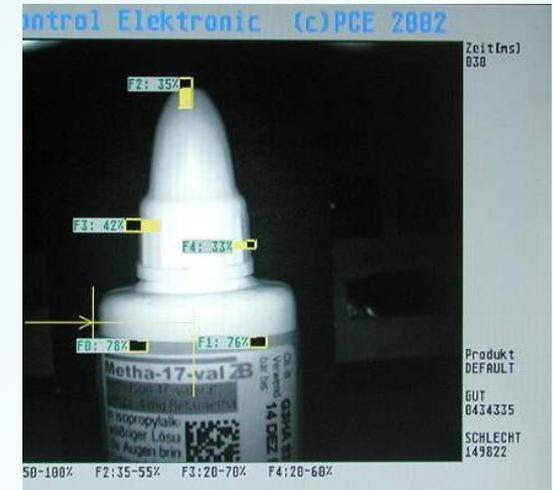
## ■ Domaines d'application

- Manipulation et contrôle d'objets manufacturés
  - roulements à billes, filetages, perçage, ...
  - mesures des dimensions et de l'état de surface
- Inspection de produits alimentaires
  - fruits, biscuits, viande, ...
  - qualité produit, cuisson, ...



## ■ Domaines d'application

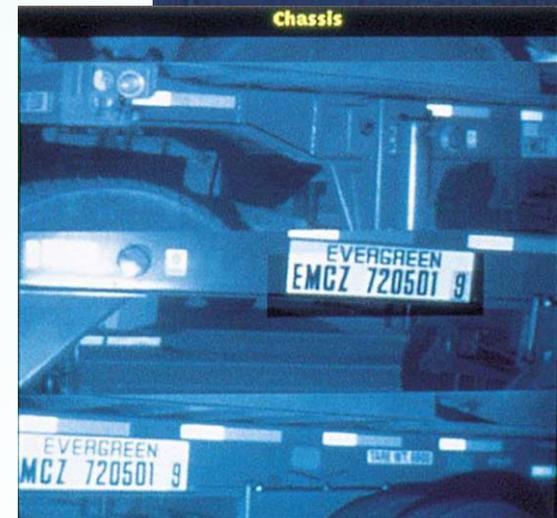
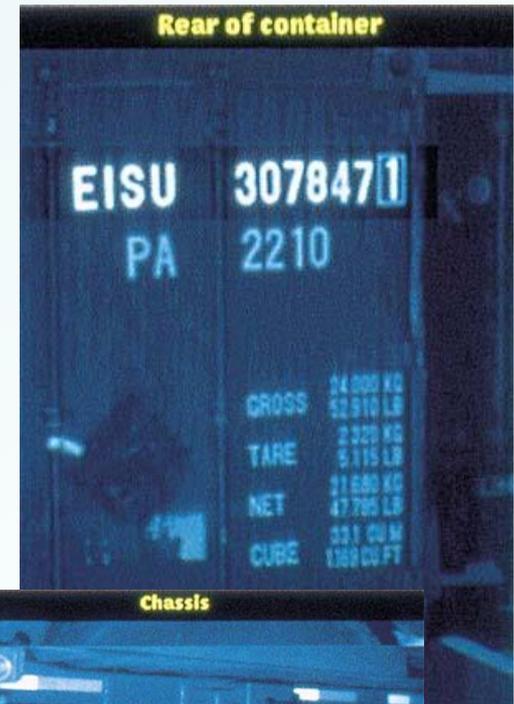
- Conditionnement → contrôle de l'emballage
  - fermeture correcte,
  - dates et codes barres,
  - qualité d'impression des étiquettes,
  - marquages sur blisters,
  - bouchons,
  - remplissage, ...
- Contrôle de montage de composants électroniques
  - composants, circuits, soudures,...
- Monitoring de l'usure des machines
- Biologie → comptage de cellules
- Guidage de robots
- Recyclage des déchets...



## ■ Domaines d'application

### • Trafic routier

- Détection d'incident
- Détection et classification de véhicules
- Mesures de vitesse
- Reconnaissance de plaques minéralogiques
- Contrôle de camions et containers
- ...
- Systèmes de guidage pour automobile
- Surveillance de la vigilance,...



## ■ Domaines d'application

### • Biométrie

- contrôle d'accès
- détection de personnes suspectes dans des foules
- détection de colis suspects dans les lieux publics
- comptage de personnes



=



?



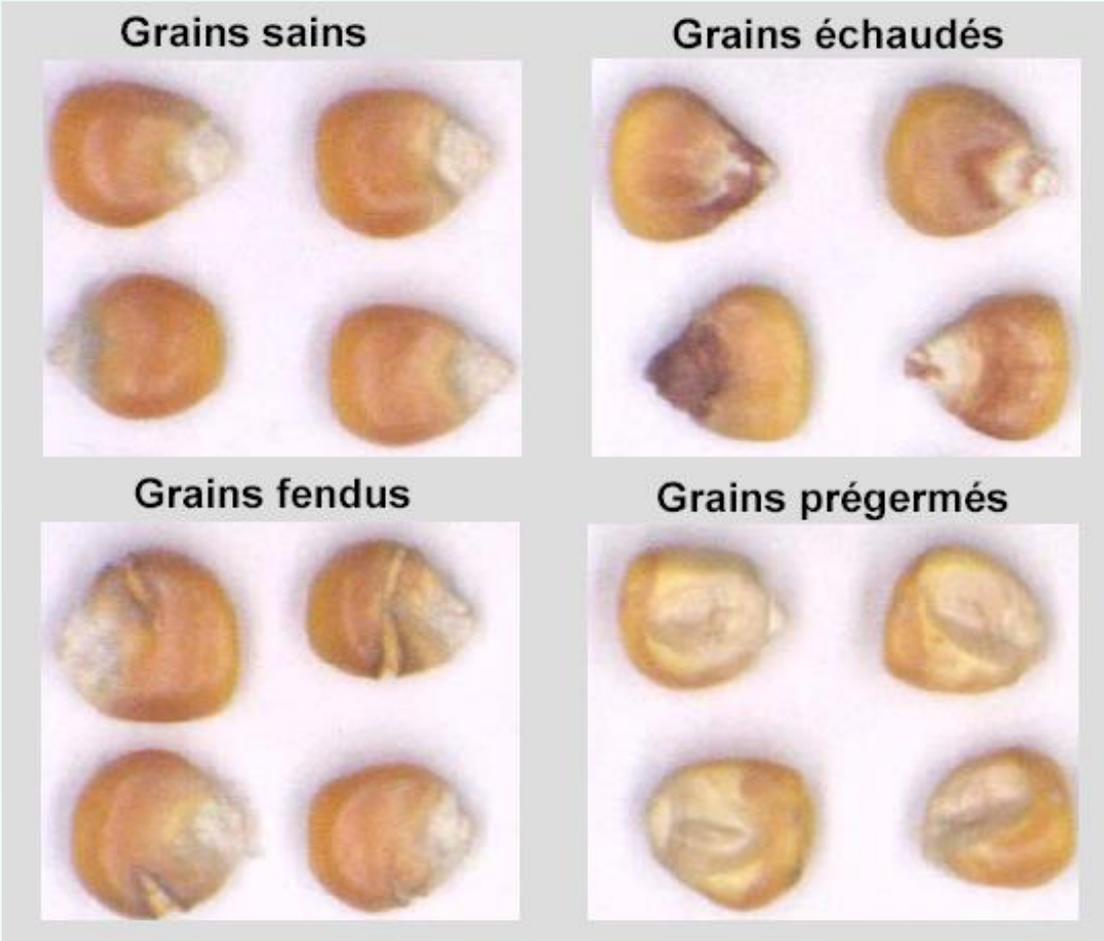
## ■ Tâches à effectuer

- Reconnaissance, localisation, tri → recherche de la position d'un objet dans le champ de vision, puis identification, classification
  - Prise de pièce
  - Calibrage : fruits, graines,...
  - Comptage
- Inspection
  - Contrôle dimensionnel → mesures en des positions précises d'une pièce
  - Contrôle de conformité → vérification de la présence d'un élément à un endroit donné (trou, joint, étiquette,...)
  - contrôle d'aspect → recherche de défauts variés n'importe où sur la pièce
  - Qualification des états de surface
- Guidage (engins, outils,...)

# Exemple : Analyse de défauts sur des bouteilles



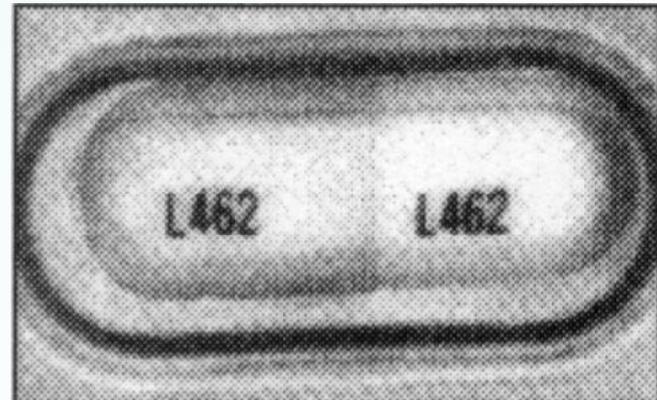
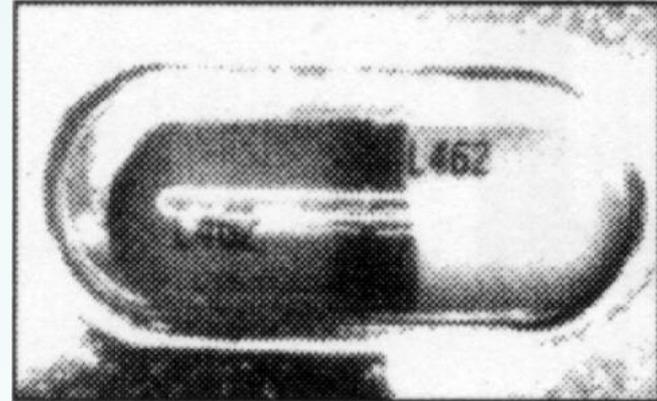
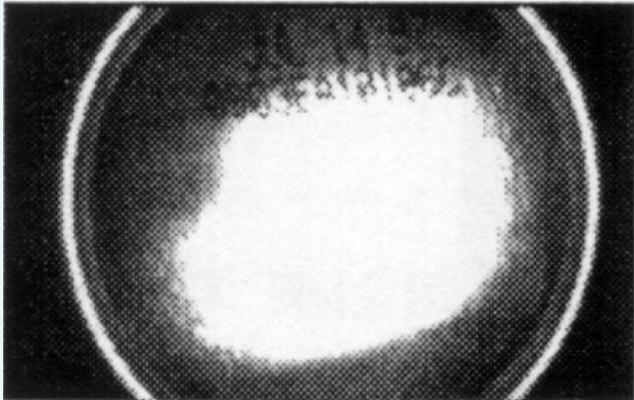
# Exemple : contrôle de qualité des semences



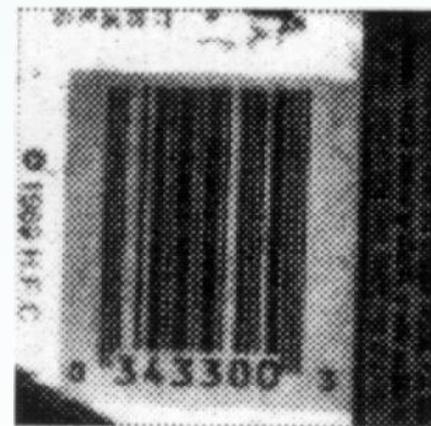
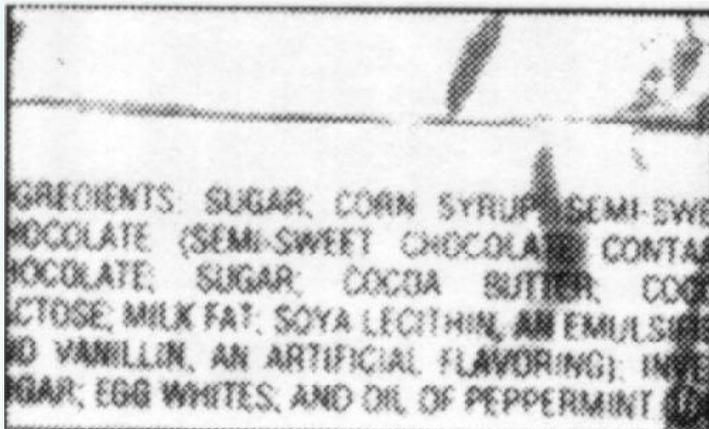
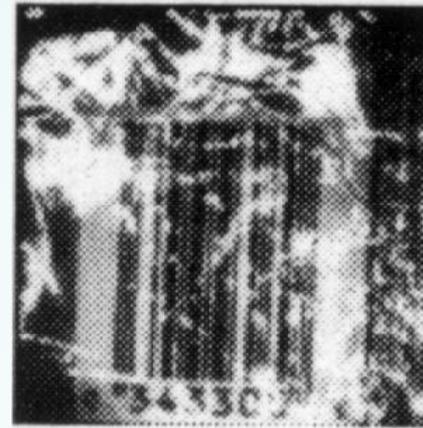
# Éclairage

→ crucial pour la qualité de l'image

## Exemples



# Éclairage



# Éclairage

## ■ Critères

- luminance stable au cours du temps
- chrominance stable au cours du temps
- homogène sur tout le champ de vision

## ■ Types de sources

### • **éclairage incandescent**

- le plus économique.
- Inconvénients : chaleur dégagée et vieillissement. Température de couleur variable avec la tension d'alimentation.

# Éclairage

- **éclairage fluorescent**

- facile à mettre en œuvre
- souvent utilisé pour les éclairages diffus.
- génère peu de rayonnement infrarouge, donc peu de chaleur
- disponible pour plusieurs températures de couleur (blanc, lumière du jour,...).
- champ large et homogène.



# Éclairage

- **éclairage halogène**

- intensité lumineuse quasiment constante.
- généralement utilisées comme sources lumineuses pour des fibres optiques.

- **lampes à arc** (Xénon, Mercure)

- disponibles dans plusieurs couleurs.
- éclairages proches de la lumière naturelle

- **lampes à décharge** (vapeur de mercure, sodium...)

- fournissent des lumières composées de quelques radiations monochromatiques.
- densités de radiation très élevées
- luminance constante dans le temps

# Éclairage

- **diodes électroluminescentes :**

- réagissent presque sans inertie pour contrôler l'intensité lumineuse sur une large gamme d'éclairement → éclairages stroboscopiques.
- monochromatiques (→ intérêt en cas d'aberrations chromatiques).
- bon marché,
- fiables
  - de faible encombrement → souvent arrangées en matrices ou en anneaux ou associées à des fibres optiques.



# Éclairage

- **éclairage laser :**

- lumière monochromatique cohérente obtenue le plus souvent à l'aide d'un laser hélium-néon de faible puissance.
- éclairage ponctuel → association avec un système de balayage (prisme tournant, membrane vibrante,...)
- surtout utilisé en contrôle dimensionnel.
- souvent remplacés par des modules utilisant des diodes laser (diode laser associée à un système optique et un système électronique), de petite taille et qui peuvent être utilisés dans de petits espaces.

# Éclairage

- **fibre optique :**

- éclairages très localisés
- ajustement précis de la distribution angulaire de l'intensité lumineuse
- éclairage de zones d'accès difficile.
- inconvénient : perte d'environ 40% de l'intensité par des effets de diffusion et de réflexion.



# Éclairage

- **éclairage stroboscopique :**

- scènes à mouvements rapides
- énergie lumineuse importante pendant un temps très bref (5 à 500  $\mu\text{s}$ ) avec un large spectre.

- **éclairage par flash**

- semblable à l'éclairage stroboscopique avec des puissances plus élevées
- permettent d'obtenir une profondeur de champ importante
- inconvénient : temps nécessaire pour les recharger

# Éclairage

## ■ Choix du mode d'éclairage

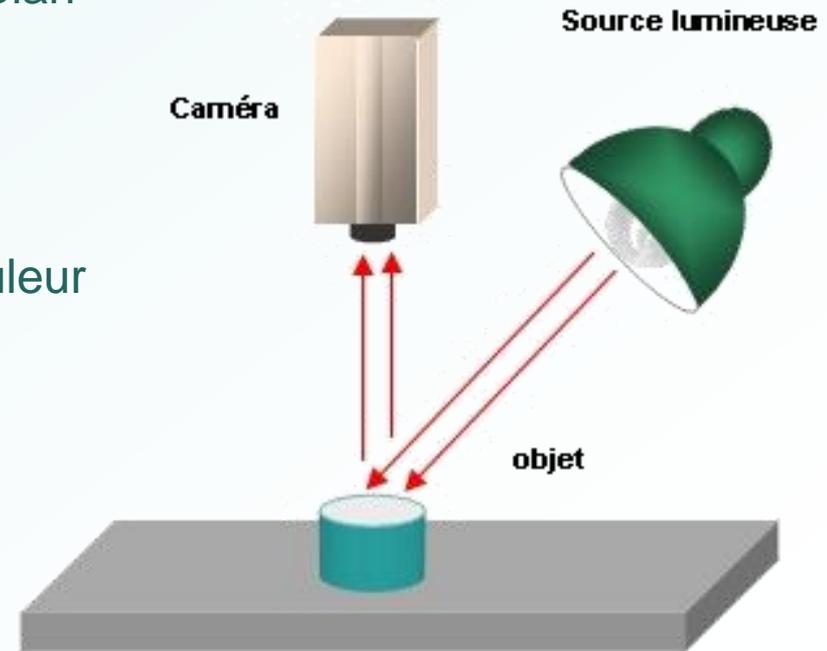
Selon

- le champ de vision;
- le niveau de réflectivité de l'objet;
- la géométrie de la surface en arrière plan

Solutions

### • éclairage direct

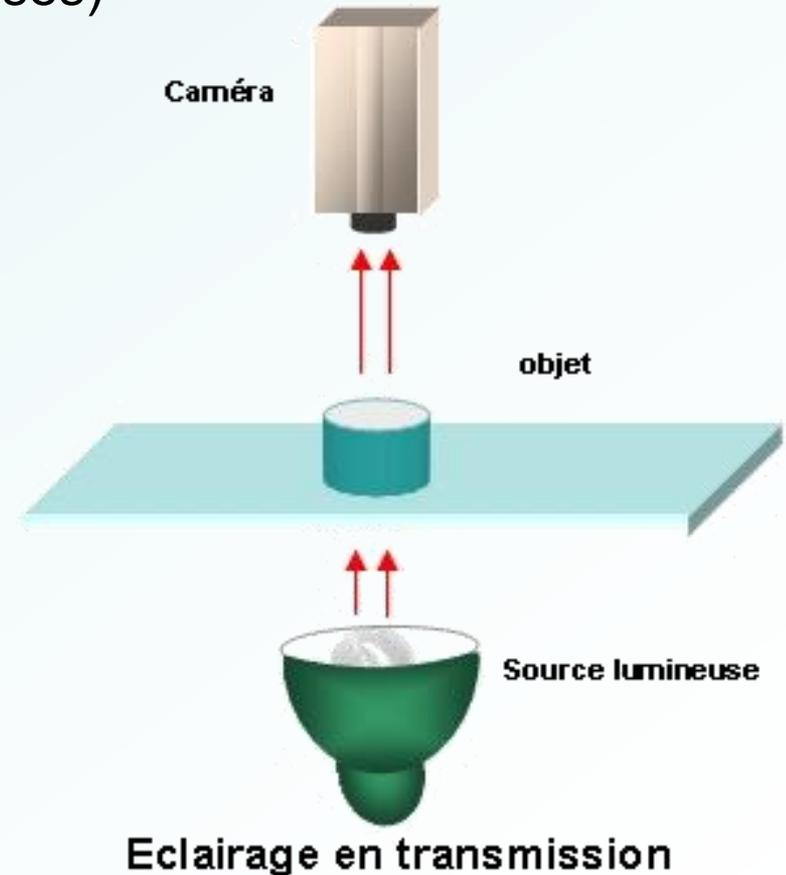
- analyse de la surface de la pièce (couleur texture, présence d'étiquette...)



Eclairage direct

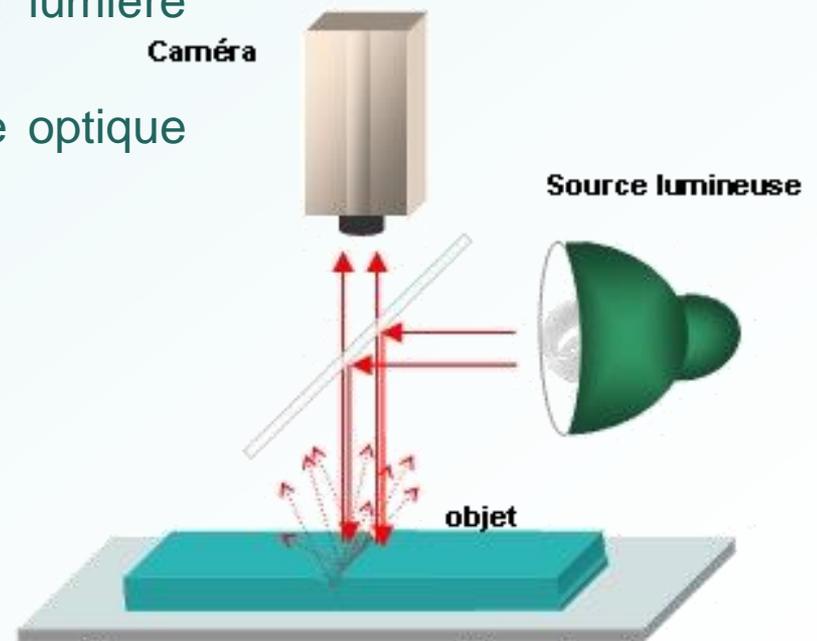
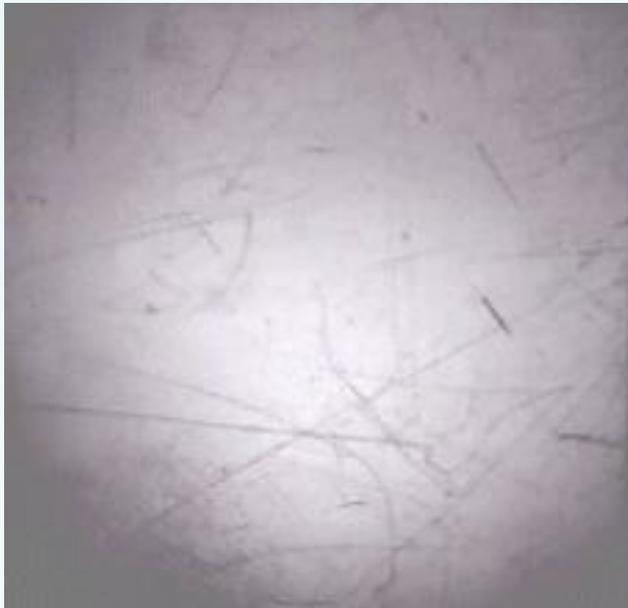
# Éclairage

- éclairage par l'arrière (ombres chinoises)
  - meilleurs contrastes pour les produits translucides
  - mesures sur la silhouette de la pièce



# Éclairage

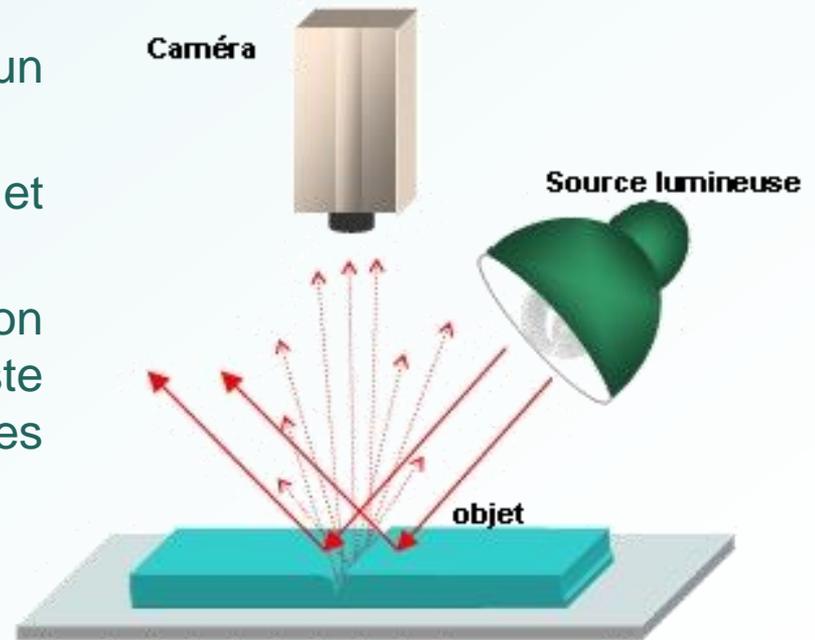
- incidence normale (champ clair) :
  - éclairage indirect réalisé à l'aide d'un miroir semi-transparent.
  - image formée par la fraction de la lumière réfléchiée directement vers la caméra.
  - les surfaces perpendiculaires à l'axe optique sont claires, les autres sombres



Incidence normale (champ clair)

# Éclairage

- incidence oblique ou rasante (champ sombre)
  - image formée par la lumière diffusée vers la caméra
  - les objets apparaissent clairs sur un fond sombre.
  - inconvénient : présence de reflets et d'ombres.
  - visualisation de rayures ou observation d'objets translucides → contraste important pour les structures internes et les reliefs de surface.



**Incidence oblique (champ sombre)**

# Éclairage

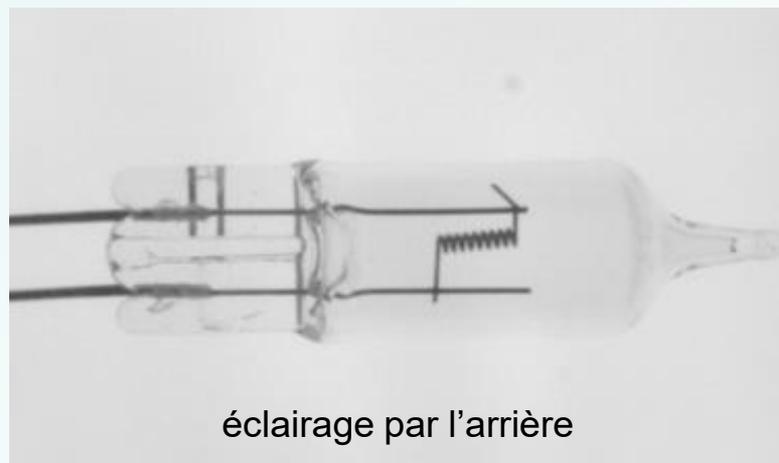
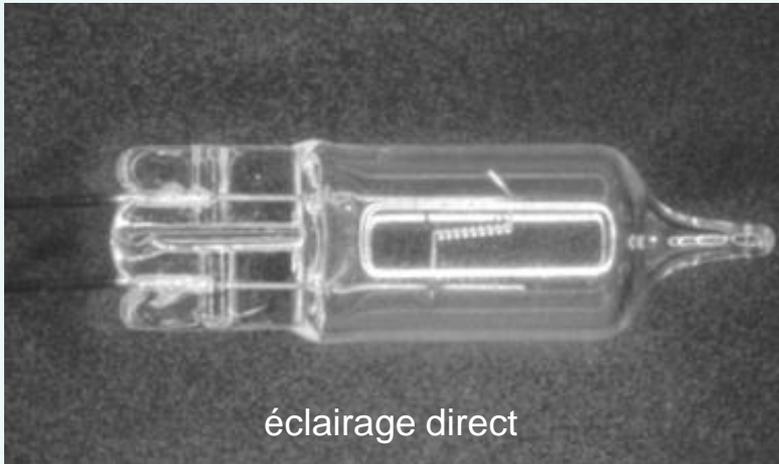
- utilisables en association avec d'autres systèmes
  - sources étendues,
  - surfaces diffusantes,
  - anneaux lumineux montés directement sur l'optique,
  - sources axiales diffuses,
  - lumières structurées associées à des mires...
  - filtres (IR, ....)



# Éclairage

## ■ Exemples

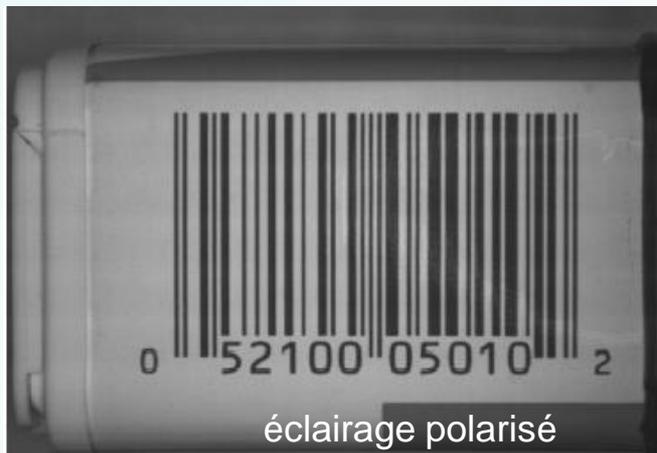
(<http://www.graftek.com>)



# Éclairage

## ■ Exemples

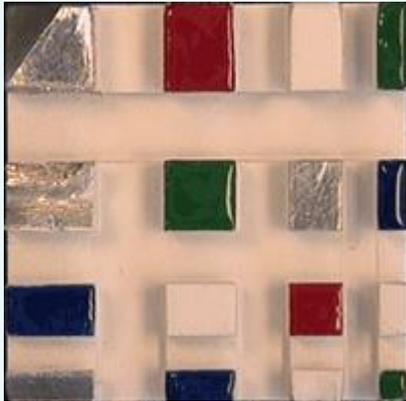
(<http://www.graftek.com>)



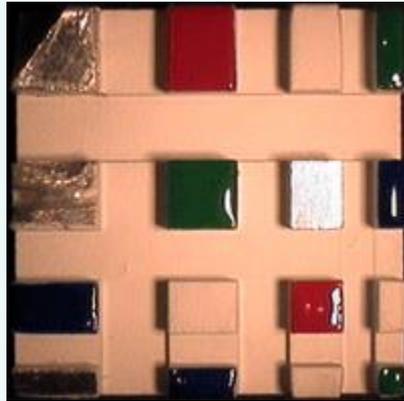
# Éclairage

## ■ Exemples

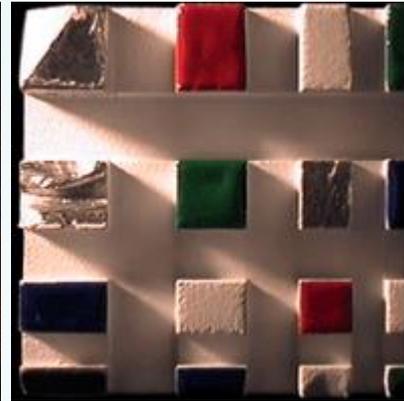
([www.edmundoptics.com](http://www.edmundoptics.com))



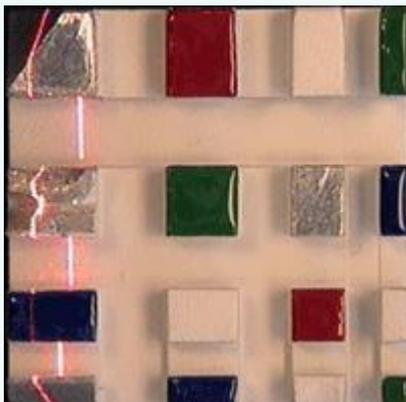
éclairage diffus



éclairage oblique



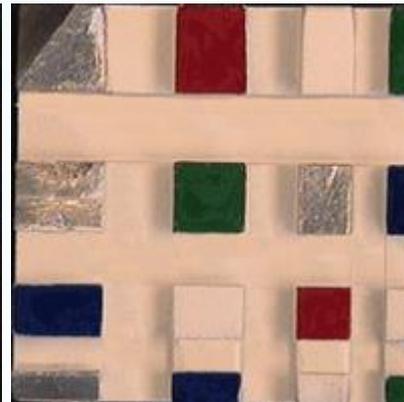
éclairage rasant



éclairage structuré  
rasant



éclairage axial  
annulaire



éclairage  
polarisé

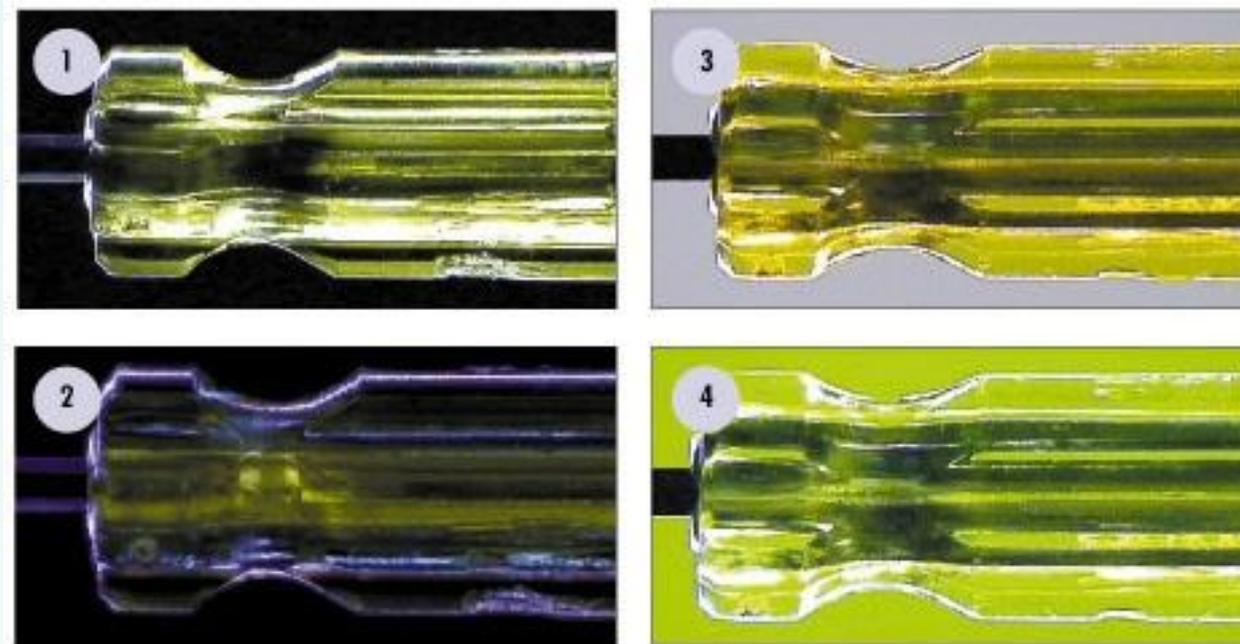


éclairage  
axial diffus

# Éclairage

## ■ Exemples

([www.edmundoptics.com](http://www.edmundoptics.com))

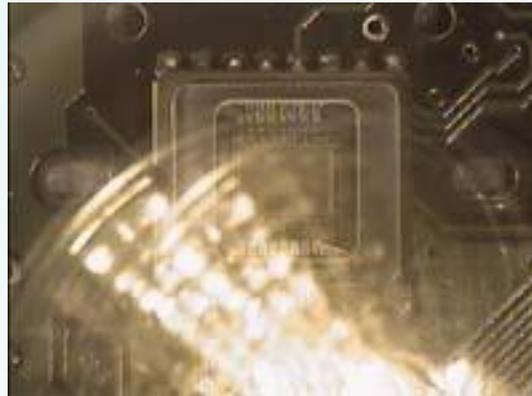


- 1 – champ sombre
- 2 – champ sombre + filtre bleu
- 3 – champ sombre + éclairage par l'arrière
- 4 - champ sombre + éclairage par l'arrière avec filtre jaune

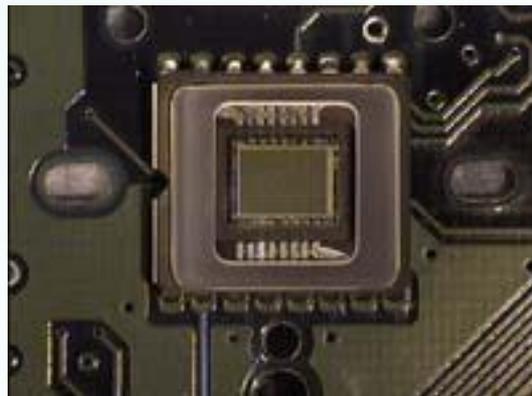
# Éclairage

## ■ Exemples

([www.edmundoptics.com](http://www.edmundoptics.com))



sans polariseur



avec polariseur sur la source et/ou la caméra

# Optique

## ■ Objectif

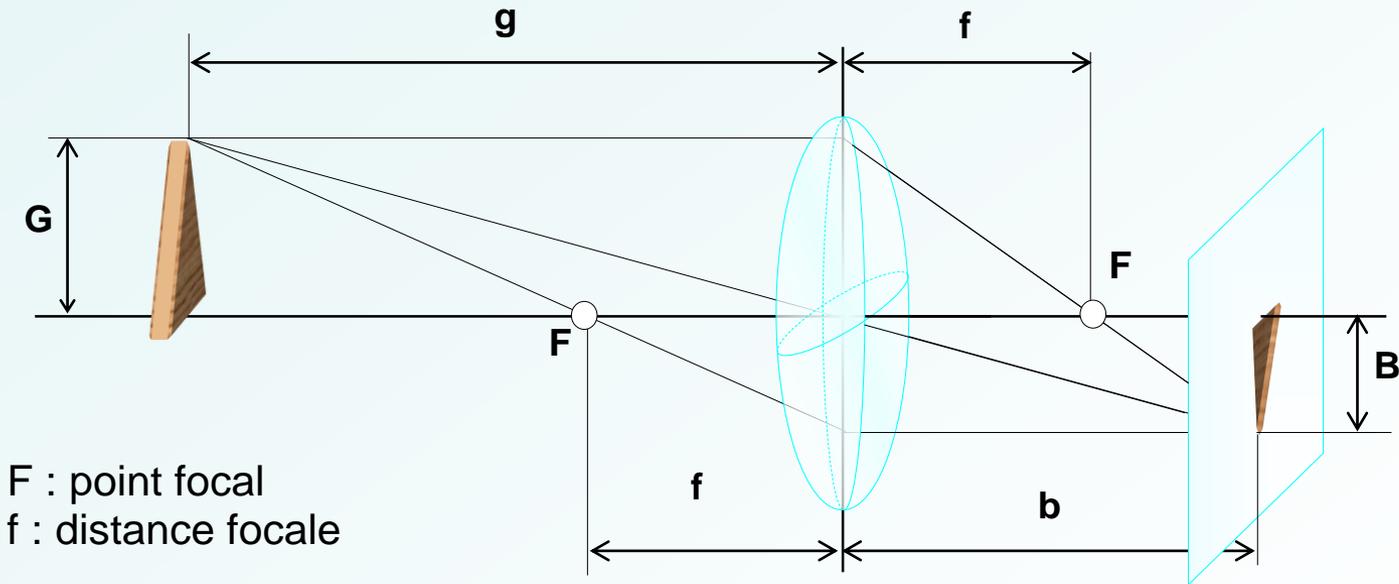
- système de lentille
- un ou plusieurs diaphragmes → contrôle de la quantité de lumière et de la profondeur de champ

## critères de choix

- distance focale (liée au grossissement)
- angle de champ
- ouverture, qui caractérise la luminosité de l'objectif
- qualité (aberrations géométriques et chromatiques)

# Optique

- Distance focale et distance de mise au point
  - approximation des lentilles minces



F : point focal  
f : distance focale

## loi de Descartes

$$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

et

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g} = m$$

B : hauteur de l'image  
G : hauteur de l'objet  
m : grandissement

- mise au point



# Optique

## ■ Mise au point

→ modification de la distance lentille-capteur

distance optique/capteur  
maximale (limite mécanique)  distance minimale  
de l'objet (DMO).

$$b = b_{\max} \text{ et } g = \text{DMO} \text{ donc } \text{DMO} = \frac{f \cdot b_{\max}}{b_{\max} - f}$$

modifiable par l'utilisation d'une bague allonge → augmentation de la distance optique/capteur

## ■ Distance focale

$$f = \frac{b}{1 + m}$$

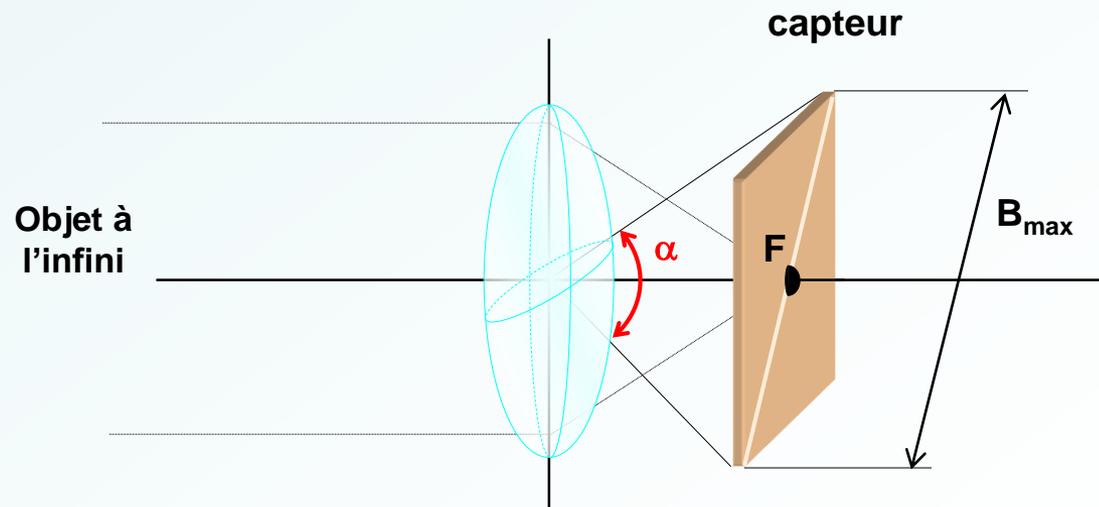
# Optique

## ■ Angle de champ

→ angle entre les rayons les plus inclinés arrivant sur le capteur

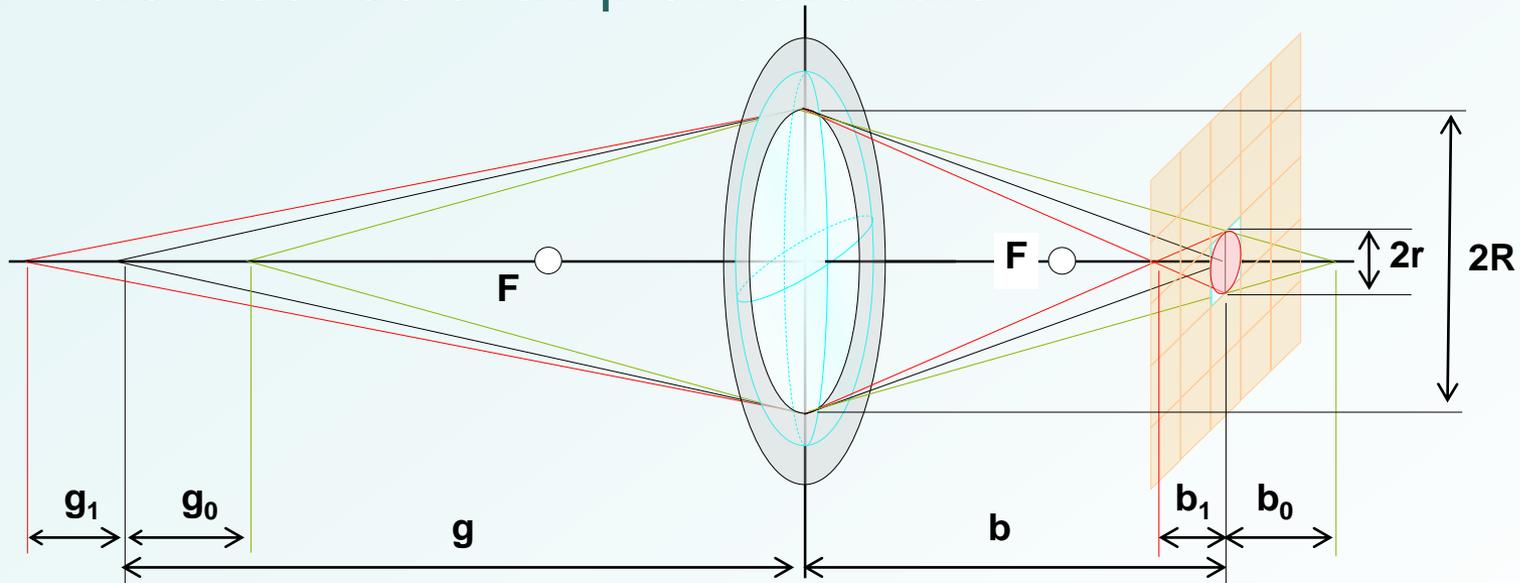
$$\frac{B_{\max}}{2f} = \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$B_{\max}$  : diagonale du capteur pour un capteur 2D ou longueur du capteur pour une caméra linéaire



# Optique

## ■ Profondeur de champ et ouverture



ouverture ( $2R$ ) : caractérisée par  $k = \frac{f}{2R}$

profondeur de champ  $g_0 + g_1 = \frac{4f^2 r k g(g-f)}{f^4 - 4r^2 k^2 (g-f)^2}$

→ d'autant plus grande que l'ouverture ( $R$ ) est petite ( $k$  grand)

# Optique

## ■ Types d'objectifs

Format du capteur		standard photo 25x36 mm	1"	2/3"	1/2"	1/3"	1/4"
Diagonale $B_{max}$		43.3	15.9	11	8	6	4
distance focale	24 mm	84°	37°	26°	19°	14°	10°
	35 mm	63°	26°	18°	13°	10°	7°
	50 mm	47°	18°	13°	9°	7°	5°
	135 mm	18°	7°	5°	3°	3°	2°
		angle de champ en degrés					

vidéo → capteurs de petite taille → angles de champ faibles

# Optique

- objectifs macro

- pour des objets très proches de la caméra et des grossissements entre 0.1 et 10
- applications de métrologie



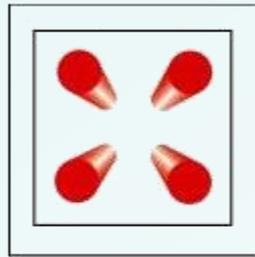
# Optique

- Objectifs télécentriques

- Correction des distorsions de perspective (objets épais)
- second diaphragme de très petit diamètre dans le plan focal, du côté opposé au capteur
- sélectionne les rayons parallèles à l'axe optique,
- grandissement constant en fonction de la distance dans un intervalle donné.



## Conventional Lens

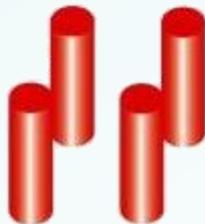


### Advantages:

- Lower Cost
- Greater General Availability
- Greater Flexibility

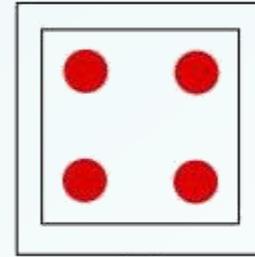
### Disadvantages:

- Change of Magnification with Change in Distance
- Perspective Error



Conventional Lens

## Telecentric Lens



### Advantages:

- Constant Magnification with Change in Distance
- No Perspective Error

### Disadvantages:

- Higher Cost
- Larger Lens Diameters
- Larger Weight

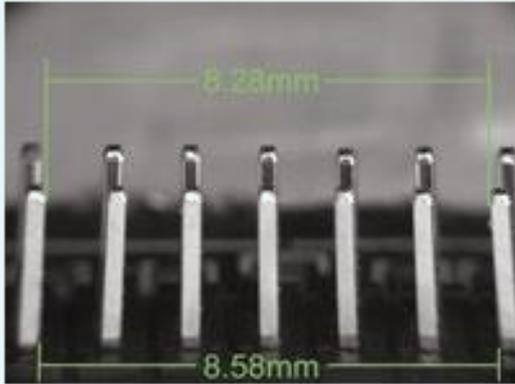
### Applications:

- Metrology
- CCD Based Measurement
- Microlithography

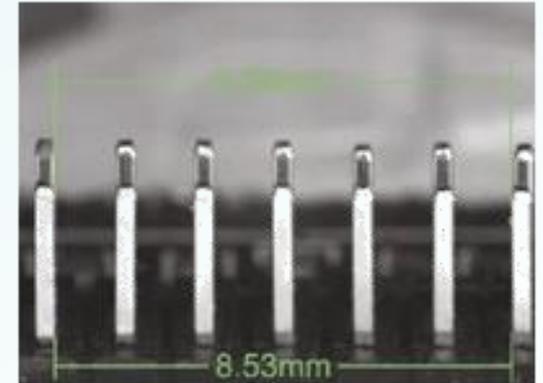
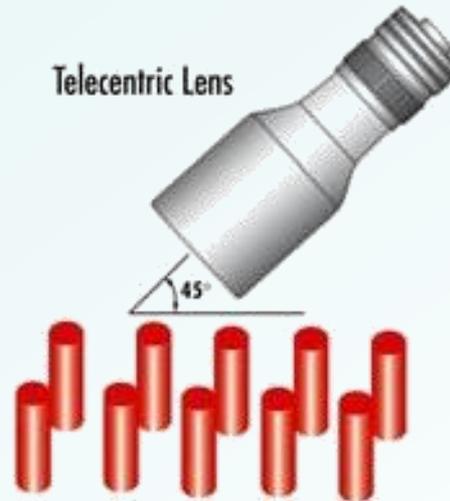


Telecentric Lens

# Optique

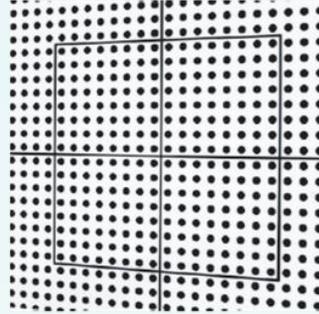
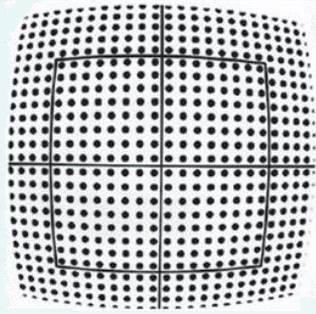
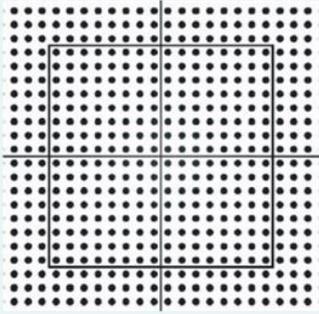


**Image A: Conventional Lens**

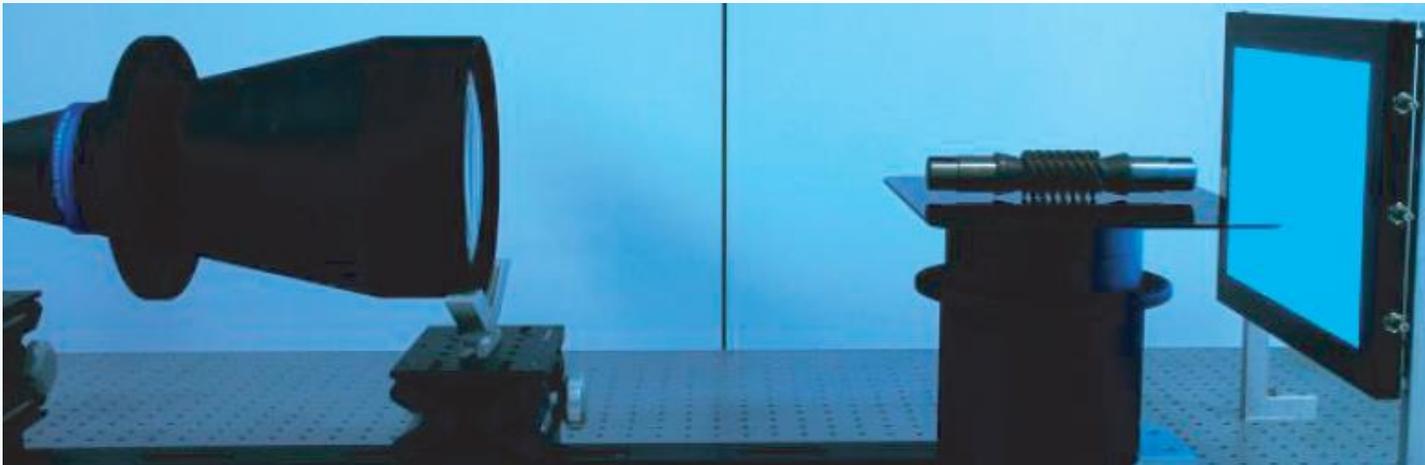
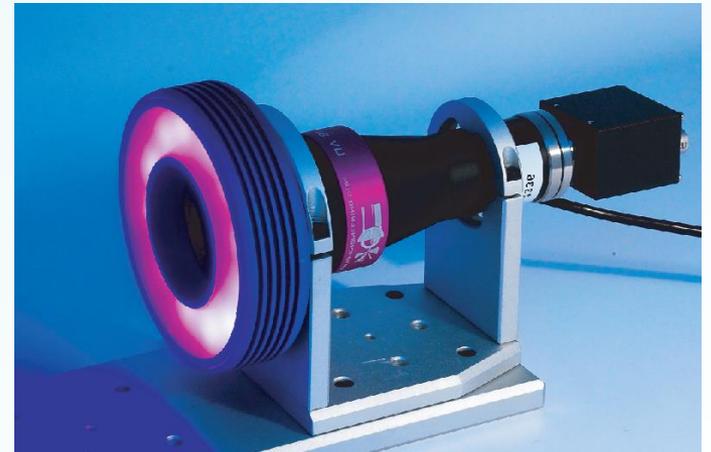


**Image B: Telecentric Lens**

- montures C et CS
  - distance pas de vis de l'objectif /plan focal
    - monture CS :12.5 mm
    - monture C : 17.5 mm



On the left an image of a distortion pattern taken with a telecentric lens, where no radial or trapezoidal distortion is present. In the middle the image of a lens showing strong radial distortion. On the right an example of trapezoidal distortion.



# Capteurs

- récepteur des signaux lumineux provenant de la scène à analyser
- surface sensible recueillant les informations lumineuses

## Critères de choix

### contraintes de l'application

- rapidité
- qualité image
- résolution
- capteur 1D ou 2D...
- gamme spectrale
- dynamique

### les plus fréquents en vision industrielle : les capteurs à état solide

- circuits à transfert de charges CCD,
- circuits à injection de charges CID,
- barrettes de photodiodes...

# Capteurs

## ■ Cellules photosensibles

→ conversion de l'énergie lumineuse en charges électriques

### ● photodiodes :

capteur = réseau de photodiodes couplées chacune à une capacité (intégration des charges créées au niveau de la jonction) et circuit de multiplexage.

### ● cellules MOS (Metal-Oxyde Semiconductor) :

capteur = réseau de condensateurs en technologie MOS.

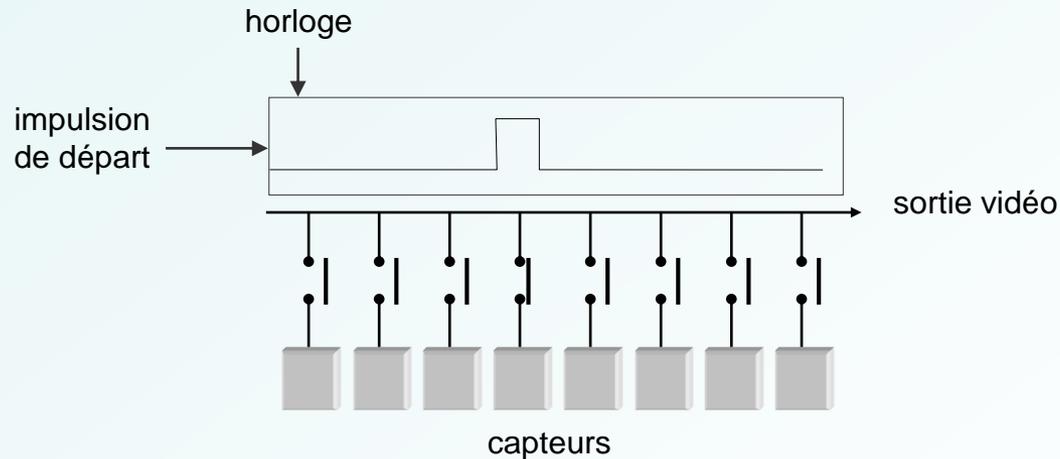
Charges évacuées au travers des différentes cellules de proche en proche.

# Capteurs

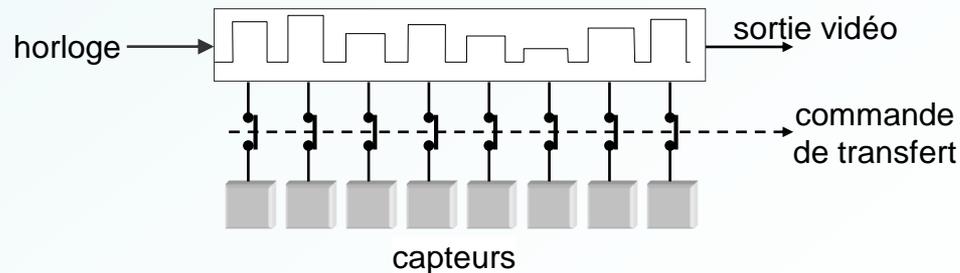
## ■ Transfert de charges

→ évacuation des charges produites par la conversion d'énergie électrique

- registre à décalage numérique



- registre à décalage analogique



# Capteurs

## ■ Capteurs linéaires

- analyse de scènes en mouvement contrôlé (objets en défilement)
- mesure d'une dimension particulière ou d'un niveau
- nombre d'éléments photosensibles variable depuis 256 jusqu'à plus de 12 000
- capteurs n'étant pas au standard vidéo → nécessitent des dispositifs spécifiques de synchronisation et d'acquisition



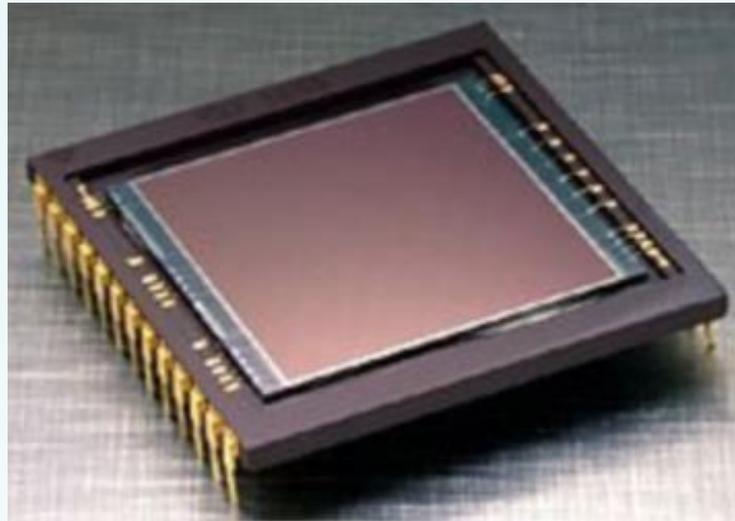
# Capteurs

- SSPD (Self Scanned Photodiode Device)
  - combinaison d'une photodiode et d'un registre à décalage numérique
  
- CCD(Charge Coupled Device)
  - combinaison d'un élément MOS et d'un registre à décalage analogique

# Capteurs

## ■ Capteurs matriciels

- de 500x500 à 4096x4096 photo éléments



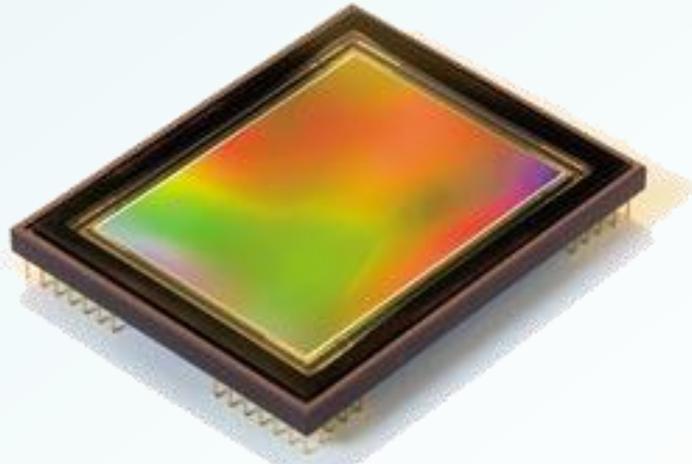
- CID (Charge Injection Device: Circuit à Injection de Charges)
  - transistor MOS + registre à décalage numérique.
  - transfert de charges direct, chaque pixel étant adressé par sa ligne et sa colonne

# Capteurs

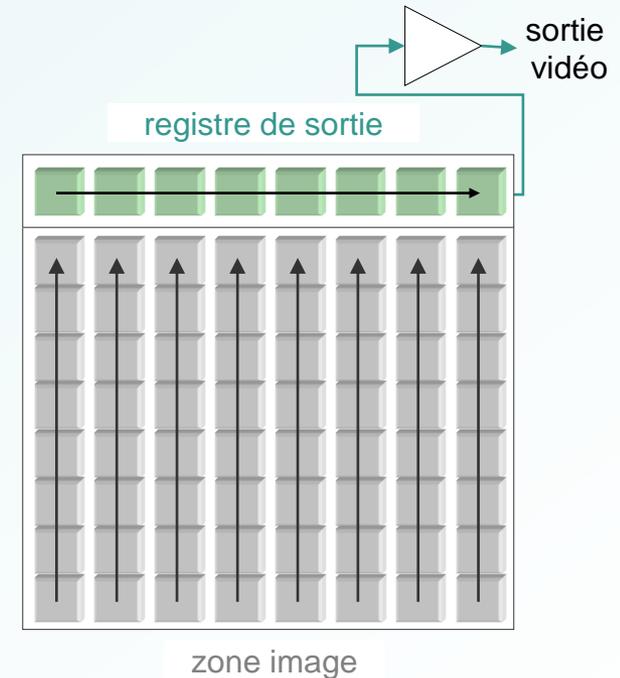
- CCD(Charge Coupled Device)
  - éléments MOS + registres à décalage analogique
  - trois types de transfert de charge

## 1. transfert parallèle-série (capteur pleine trame)

→ pour des temps de pose importants



**FTF4052M DALSA**  
4008(H) x 5344(V), 21418752 pixels



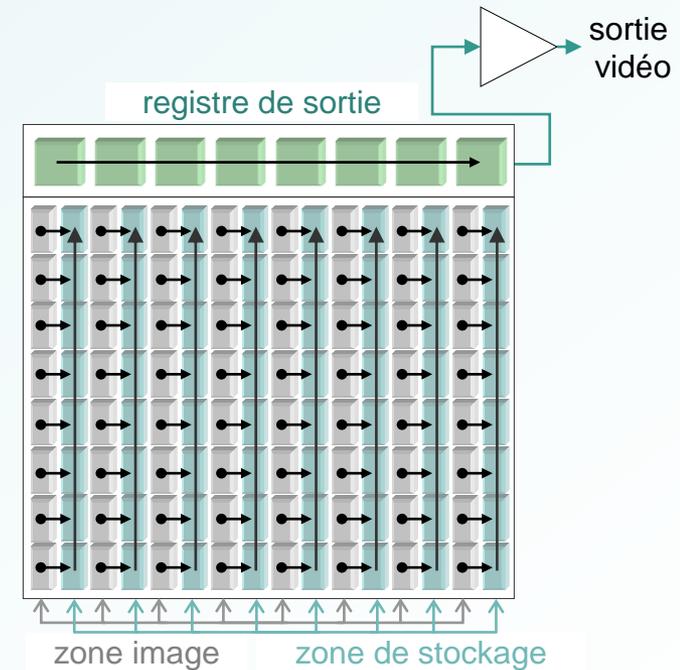
Transport des charges avec un capteur à transfert parallèle-série :

- 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

# Capteurs

## 2. transfert interligne

- utilisé dans les caméras standard
- réduction de la surface active du capteur (effets de Moiré)
- amélioration par des microlentilles



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

# Capteurs

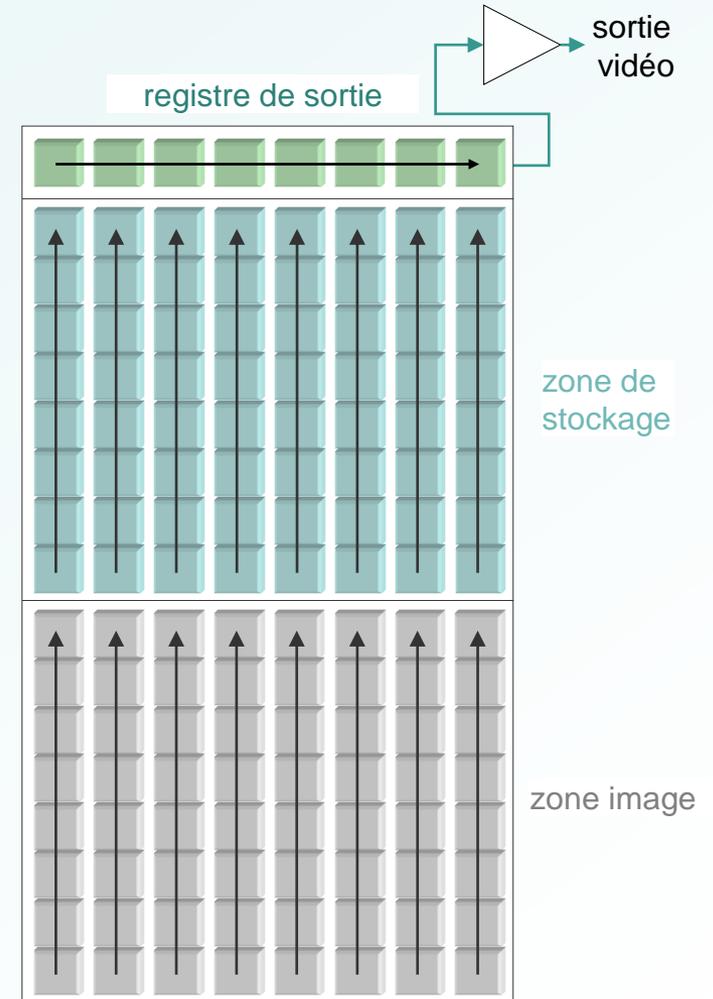
## 3. transfert de trame

- dynamiques élevées
- effets de traînage vertical
- capteurs plus gros, plus chers



**FTT1010M DALSA**

1024(H) x 1024(V), 1048576 pixels



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

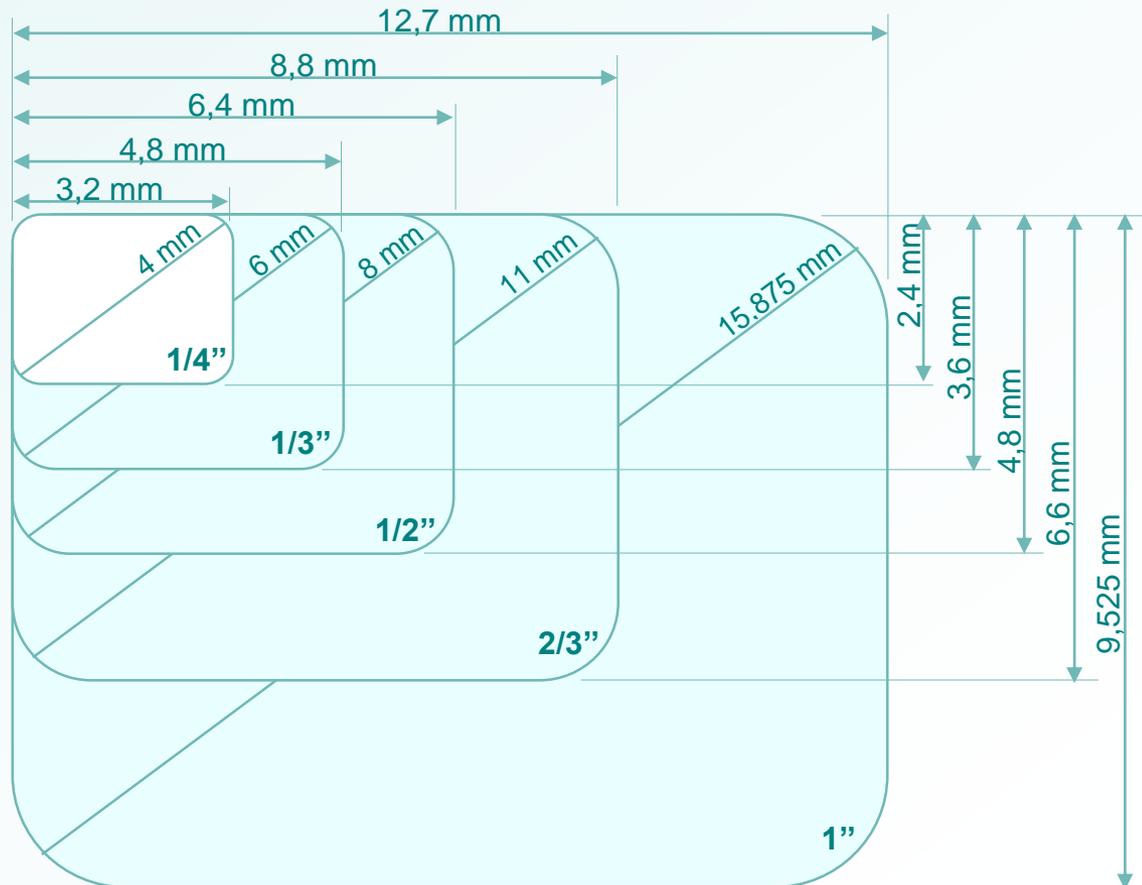
# Capteurs

- CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
  - même principe physique que les capteurs CCD
  - technologie CMOS standard moins coûteuse que les CCD
  - association avec l'élément photosensible de composants actifs pour l'amplification et l'adressage.
  - adressage individuel ou par blocs des cellules
  - faible consommation.
  - possibilité d'intégrer des traitements au niveau du capteur (réduction de bruit par exemple)
  - inconvénient : bruit de motif fixe

# Capteurs

## ■ Formats de capteurs CCD

- originaires des formats des caméras à tube dont les diamètres typiques étaient 1", 2/3" et 1/2"
- 1/6", 1/4", 1/3", 1/2" et 2/3"
- tailles des pixels : de 4  $\mu\text{m}$  x 4  $\mu\text{m}$  à 16  $\mu\text{m}$  x 16  $\mu\text{m}$
- nombre de pixels: 500x500 à 5000x5000
- rapport hauteur:largeur: presque toujours 4:3



# Capteurs

## ■ Caractéristiques des capteurs à état solide

### • Réponse

→ Intensité du signal électrique en fonction de l'intensité lumineuse reçue.

dépendant de :

- la sensibilité liée à la surface photosensible (taille, type)
- la conversion charge-tension dépendant de la valeur de la capacité de conversion et du gain d'amplification

### • Résolution spatiale

→ aptitude du capteur à détecter des petits détails.

liée à :

- la taille du capteur
- l'optique

limitée par :

- l'effet d'intégration spatiale avec moyennage sur la surface des cellules
- la diaphotie, phénomène qui résulte de la création de paires électron-trou dans les couches profondes de la cellule

# Capteurs

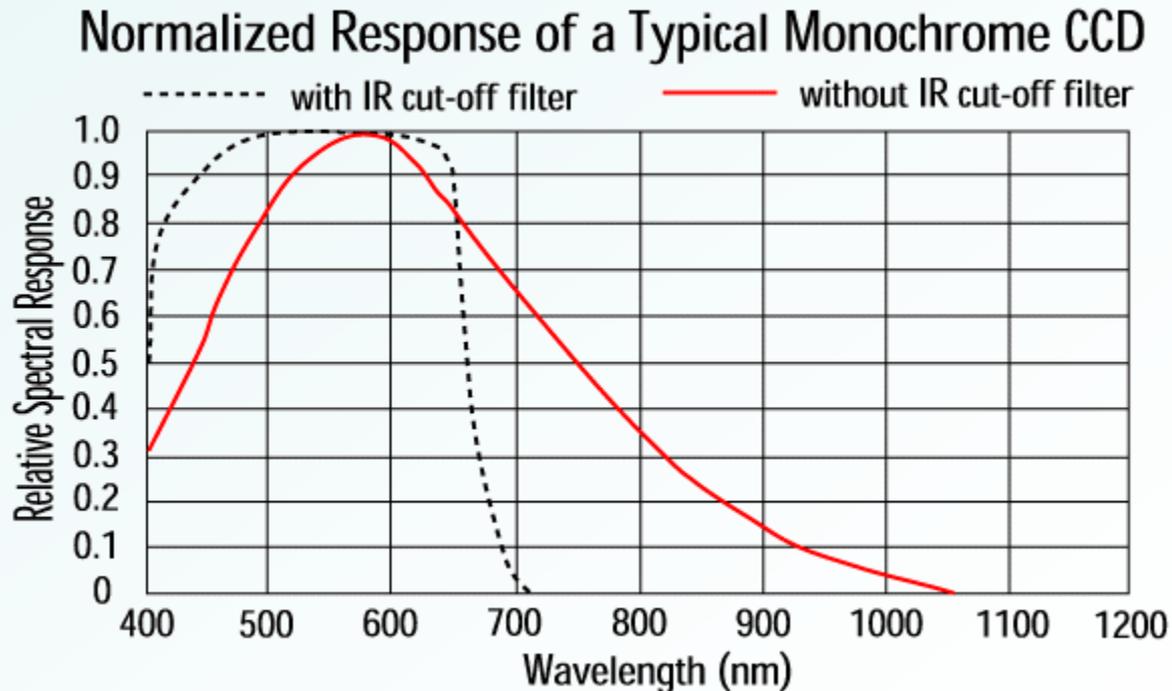
- Sensibilité spectrale

→ intensité du signal de sortie en fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente.

fonction du type de photo élément et du substrat utilisé.

$400 \text{ nm} < \lambda < 1100 \text{ nm}$

Pour rester dans le domaine visible → filtres infrarouges



# Capteurs

- Facteur de remplissage  
→ rapport entre la surface utile du capteur et sa surface totale
- Sensibilité spectrale  
→ intensité du signal de sortie en fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente.  
fonction du type de photo élément et du substrat utilisé.  
  
400 nm <  $\lambda$  < 1100 nm  
  
Pour rester dans le domaine visible → filtres infrarouges
- Non-uniformité du capteur  
→ disparités entre les différentes cellules sensibles

# Capteurs

- Linéarité

→ réponses pratiquement linéaires, sauf au voisinage de la saturation ainsi qu'aux faibles éclaircissements

- Bruit

→ fluctuation de la tension délivrée par un photo élément donné dans le noir.

Dû à l'agitation thermique (les charges excédentaires peuvent être mesurées grâce à des photo-éléments de référence recouverts d'un écran opaque et le signal de sortie peut être corrigé)

- Éblouissement

Au delà d'un seuil de saturation, une cellule trop illuminée envoie ses charges excédentaires vers les cellules voisines

Peut être supprimé par un dispositif spécifique (évacuation des charges en excès par une diode située à côté du photo élément ou dans le substrat) → réduction de la sensibilité du capteur d'environ 30% (perte d'une partie de la surface active)

# Capteurs

- Rémanence ( photodiodes)  
→ l'information persiste pendant 2 ou trois cycles de lecture
- Traînage vertical (smearing)  
traînées verticales apparaissant au moment du transfert de charges
- Taux de transfert

# Capteurs

## ■ Signal vidéo

fréquence des images : est lié à la fréquence du secteur

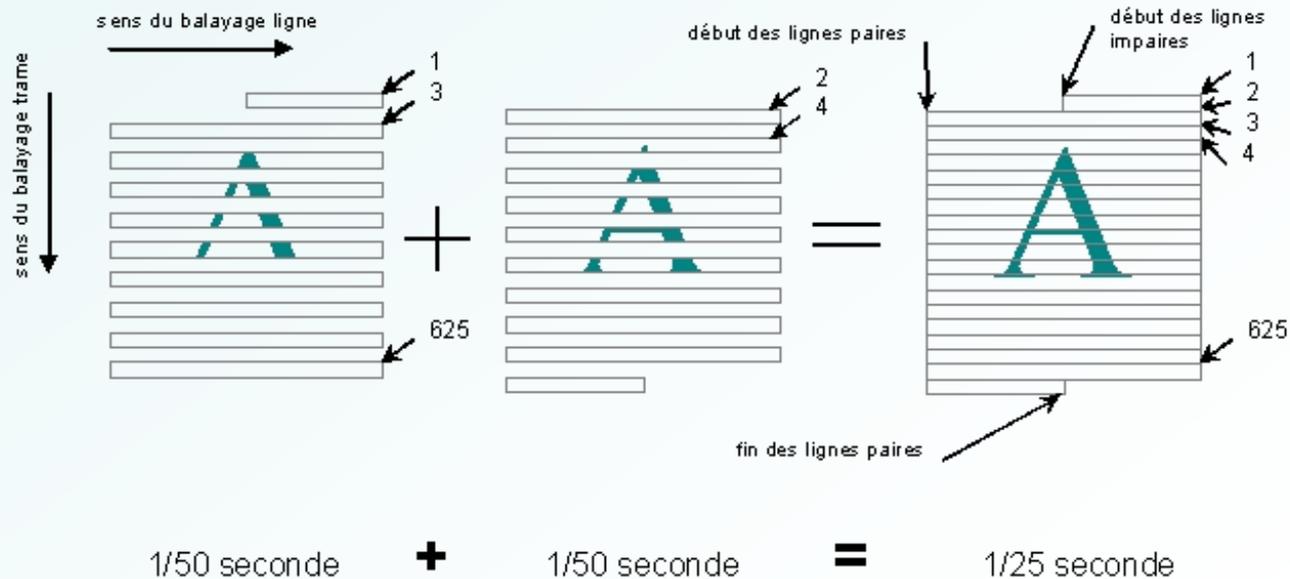
- Europe : 50 Hz → 50 trames par seconde
- USA : 60 Hz → 60 trames par seconde

1 trame =  $\frac{1}{2}$  image →

1ère trame: lignes impaires

2ème trame: lignes paires

balayage entrelacé



principe du balayage entrelacé

# Capteurs

- signal vidéo composite

→ signal de luminance + signaux de synchronisation

➤ Norme européenne CCIR (Comité Consultatif International des radiocom-munications)

image de 625 lignes

aspect : 4/3

fréquence de trames : 50 Hz

fréquence des lignes :  $25 \times 625 = 15625$  Hz

durée d'une ligne :  $1/15625 = 64 \mu\text{s}$

– top de synchronisation

– palier de suppression

– signal vidéo utile  $52 \mu\text{s}$

– palier de garde.

– entre les trames, signaux de synchronisation de trame (positionnement du spot au début de la première ligne à afficher)

# Capteurs

## ➤ standard RS170

standard américain défini par l'EIA (Electronics Industries Association)

image de 525 lignes

aspect : 4/3

fréquence des trames : 60 Hz

fréquence des lignes : 15750 Hz

## ➤ standard RS343

standard américain qui englobe la haute définition

nombre de lignes : 675, 729, 875, 945 ou 1023

aspect de l'image variable

fréquence des trames : 60 Hz.

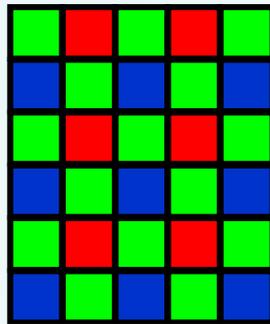
# Capteurs couleur

## ■ Capteurs mono-CCD et CMOS

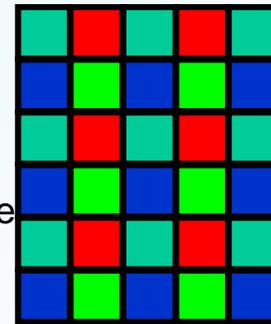
→ capteur CCD + mosaïque de filtres colorés rouges,verts, bleus

→ calcul de l'image couleur

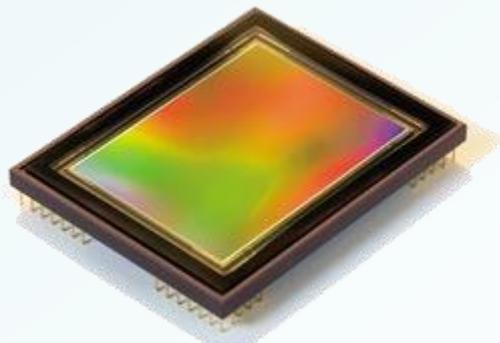
Filtre Bayer



Filtre Sony  
RGBE  
E=Émeraude



→ perte de résolution



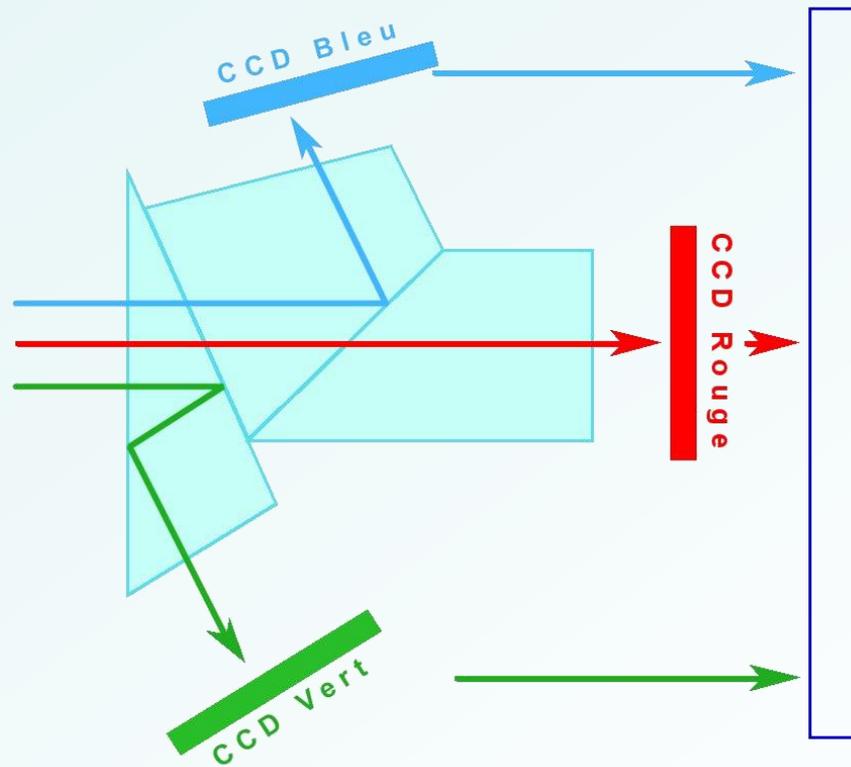
**FTF4052C DALSA**

4008(H) x 5344(V) = 21418752 pixels

# Capteurs couleur

## ■ Capteurs tri-CCD

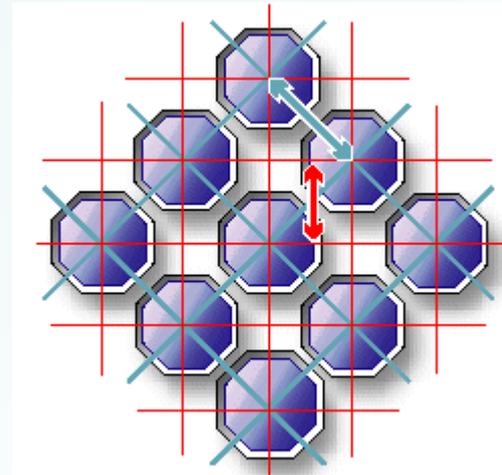
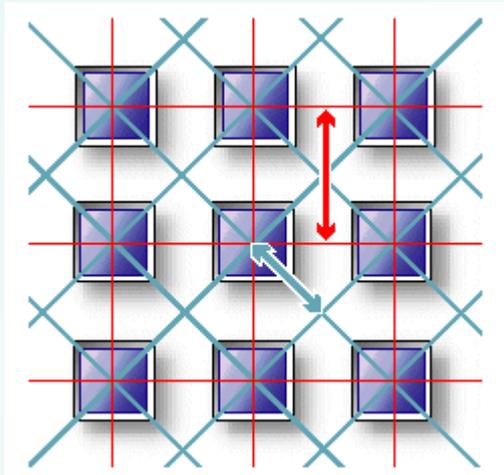
→ 3 capteurs CCD + prismes



# Capteurs couleur

## ■ super CCD

- photodiodes octogonales
- surface plus importante
- meilleure sensibilité

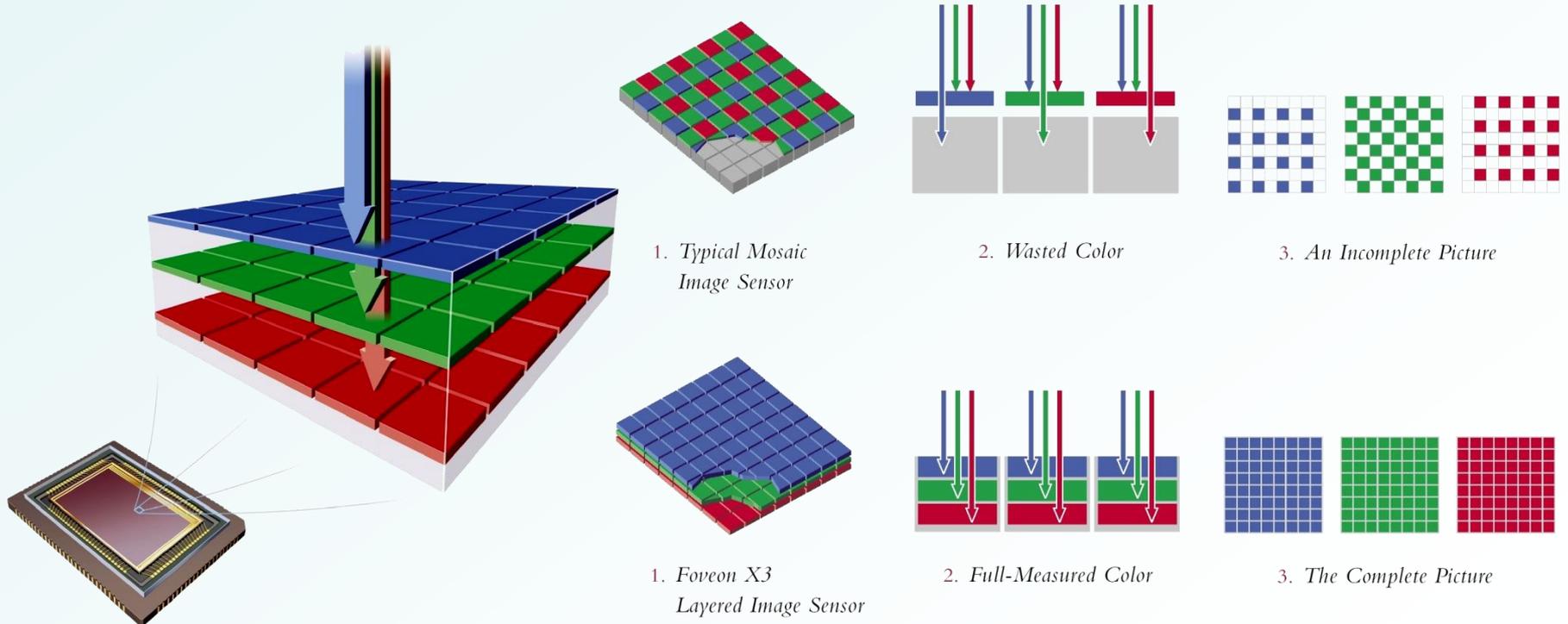


# Capteurs couleur

## ■ Foveon X3

→ 3 couches de photoéléments pour le rouge, le vert, le bleu

→ meilleure résolution



# Capteurs couleur



**Mosaic Sensor**



**Foveon X3**

