



# Master 1 EEA

## Parcours SIA2 + IM

UE  
Capteurs optiques  
et formation des images



## Plan du cours (12 h C/TD et 18h TP)

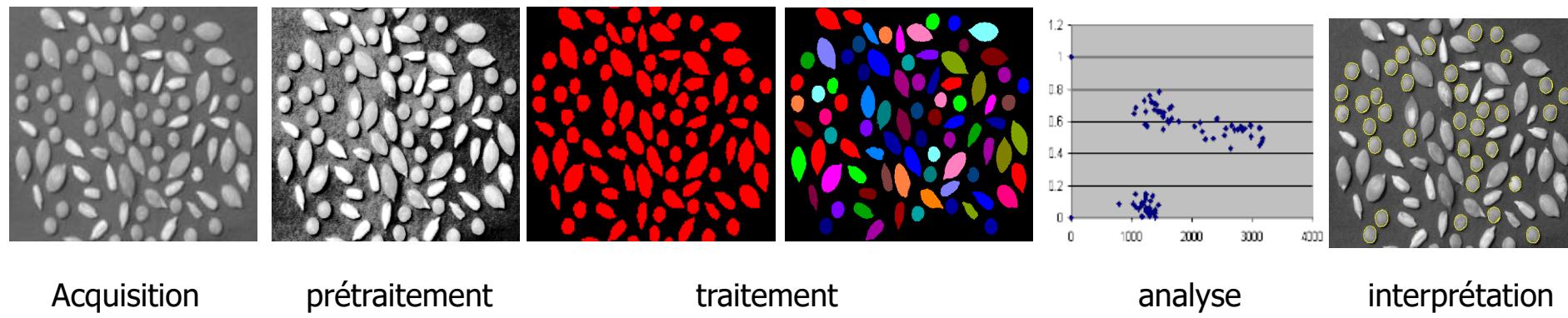
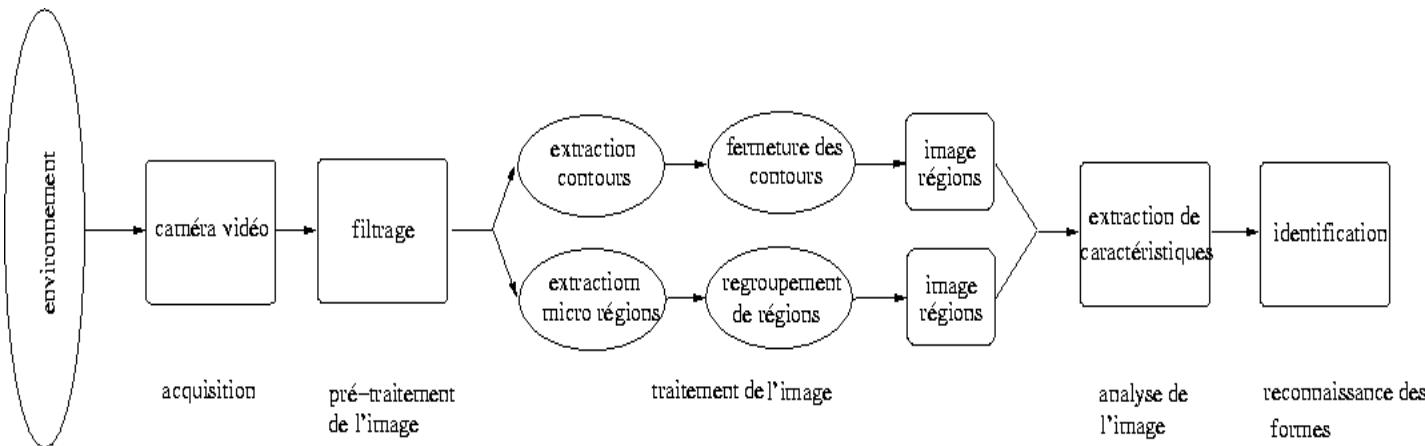
1. Colorimétrie (0.5h)
2. Acquisition des images (3h)
3. Techniques d'éclairage (0.5h)
4. Restauration des images par des exemples (3h)
5. Inspection optique par des exemples (1h)

TP illustratif : 6h TP

Intervention de O.Godet : 4h C/TD, 12h TP



# La chaîne de traitement des images

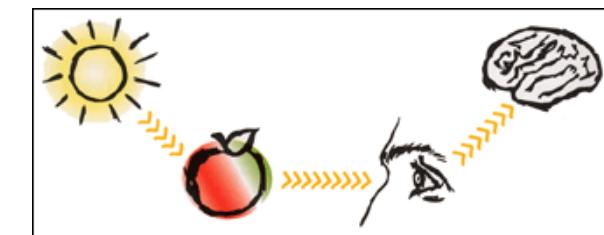
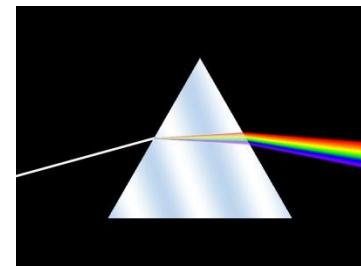
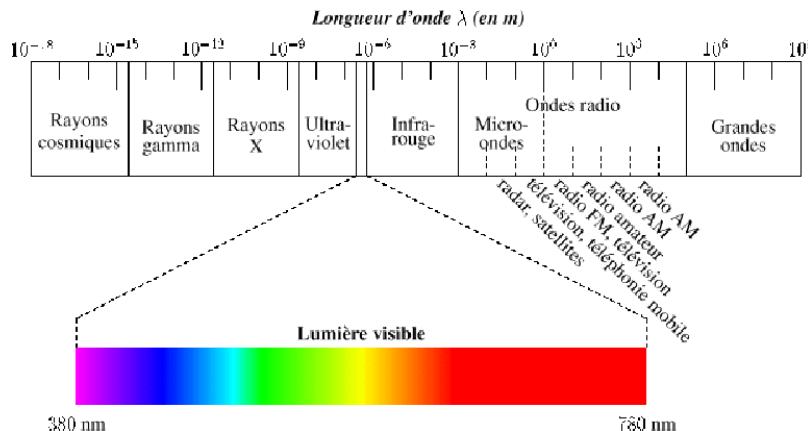




# Colorimétrie

## ■ Composition de la lumière

- Sensation produite par les ondes électromagnétiques dans le spectre du visible

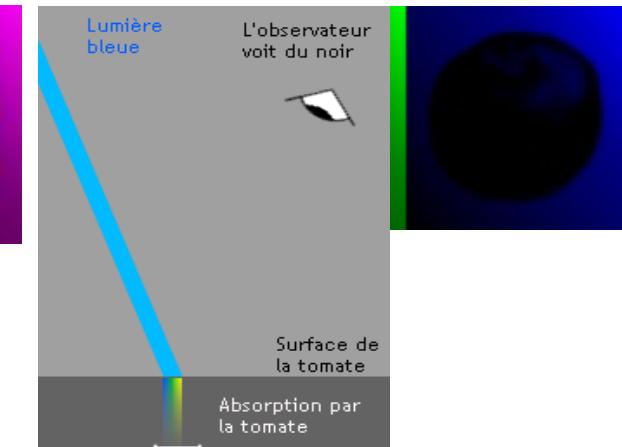
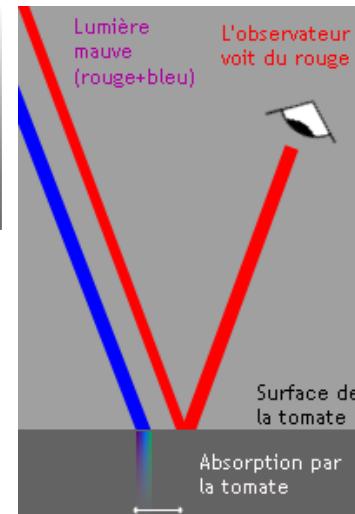
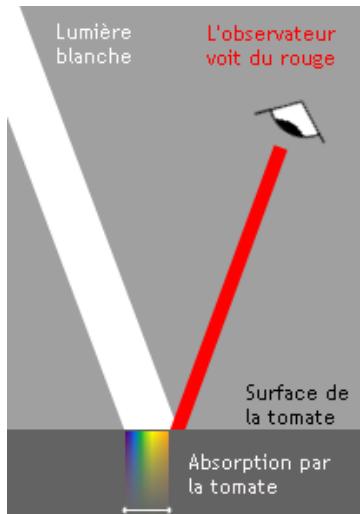


- Lumière blanche = somme de toutes les couleurs du spectre
- Couleur... une grandeur subjective



# Colorimétrie

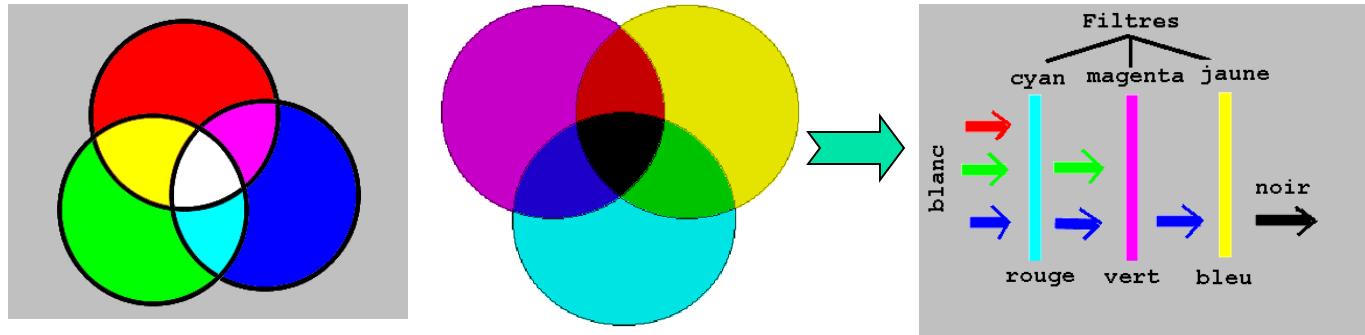
- Couleur d'objet liée à :
  - Absorption sélective de certaines longueurs d'onde et réflexion des autres
  - Constitution de la lumière





# Colorimétrie

- Synthèse additive et soustractive

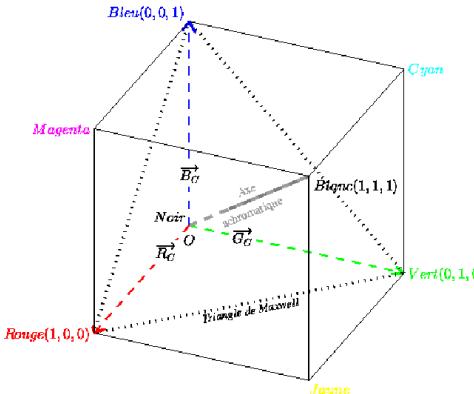


- La couleur, une grandeur vectorielle...
- Nombreux espaces colorimétriques
  - Systèmes de primaires
  - Systèmes luminance-chrominance
  - Systèmes d'axes indépendants



# Colorimétrie

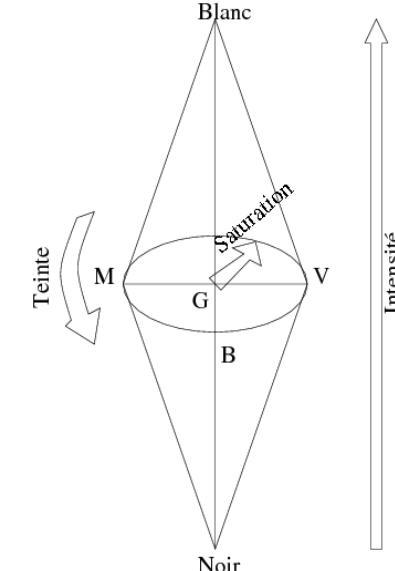
- Systèmes de primaires
  - Exemples : rgb, YUV (PAL), YIQ (NTSC)



$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, b = \frac{B}{R+G+B}$$

- Systèmes luminance-chrominance
  - Exemples : ITS, HSV, etc.

$$I = \frac{R+G+B}{3}, T = \arctan \frac{\sqrt{3}(G-B)}{(2R-G-B)}, S = 1 - 3 \cdot \frac{\min(R, G, B)}{R+G+B}$$





## Segmentation HSV

- On souhaite isoler la fleur jaune?

Image dont l'on veut segmenter la fleur jaune





# Segmentation HSV

- Isoler les pixels dans un intervalle de valeurs de teinte (Hue)

Pixels pour lesquels  $H > 0.05$  ET  $H < 0.25$





# Segmentation HSV

- Isoler les pixels dans un intervalle de valeurs de saturation (Saturation)

Pixels pour lesquels  $S > 0.75$

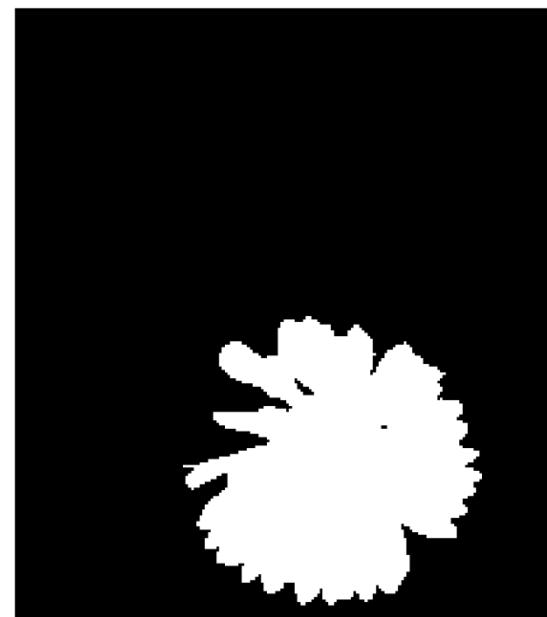




# Segmentation HSV

- Identification des pixels aux deux images précédentes

Pixels pour lesquels  $H>0.05$  ET  $H<0.25$  ET  $S>0.75$

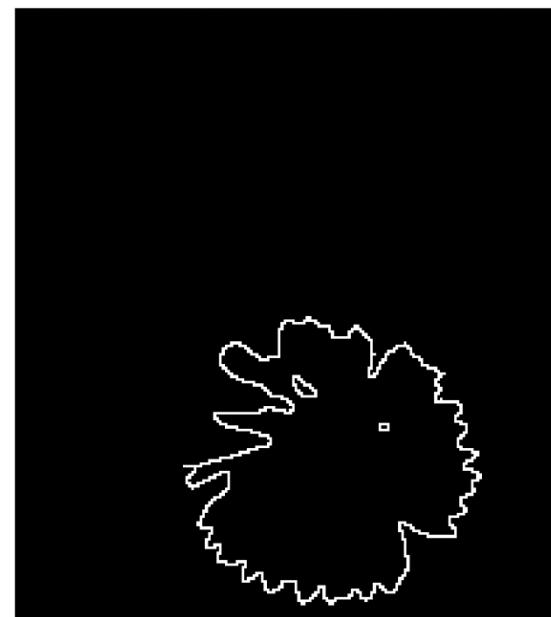




# Segmentation HSV

- Identification du contour de la région isolée précédemment

périm`etre de la fleur jaune





# Segmentation HSV

- Superposition du contour à l'image initiale

Résultat de la segmentation





## Plan du cours (12 h C/TD et 18h TP)

1. Colorimétrie (0.5h)
2. **Acquisition des images (3h)**
3. Techniques d'éclairage (0.5h)
4. Restauration des images par des exemples (3h)
5. Inspection optique par des exemples (1h)



# Optique de caméra



éclairage

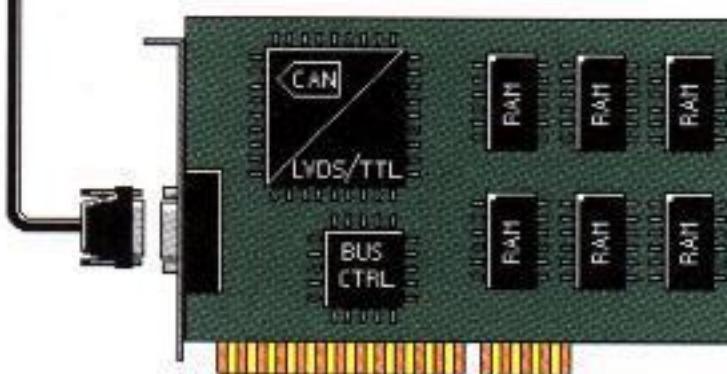
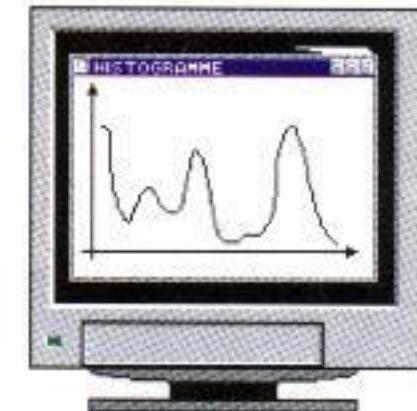
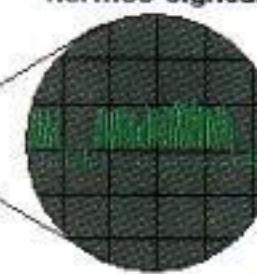


optique

caméra

normes-signaux

transmission

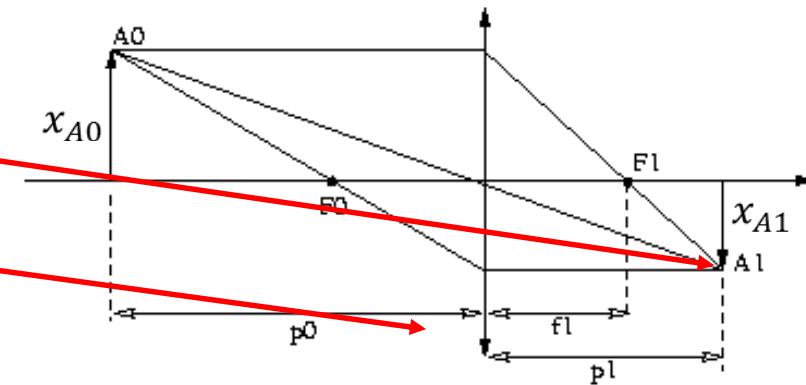
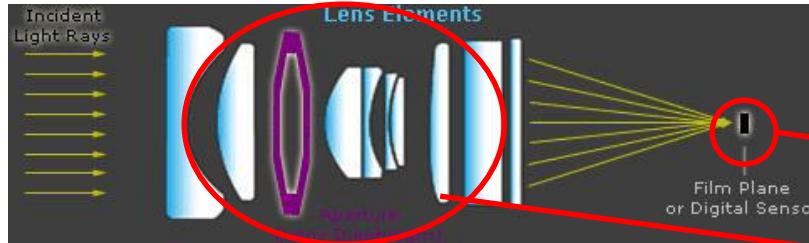
cartes d'acquisition  
numériques ou analogiques

Traitement



# Optique de caméra

## ■ Modèle d'optique mince



## ■ Définitions

- Foyer image *vs.* foyer objet
- Tirage optique
- Grandissement transversal :  $G_t = \frac{x_{A1}}{x_{A0}} = \frac{p_1}{p_0}$
- Distance focale ou focale
- Relation de conjugaison :  $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p_0} + \frac{1}{p_1}$



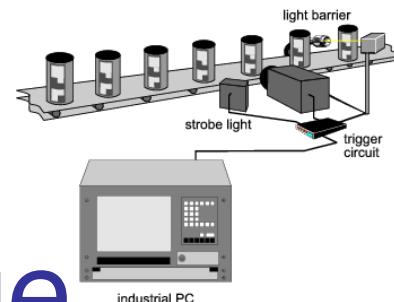
# Paramètres d'une optique

- La focale – zoom = objectif à focale variable
- Le « focus » (mise au point) = régler la netteté sur des objets à différentes distances
- L'iris (« aperture ») = régler la quantité de lumière traversant l'objectif – nombre ouverture (n.o)



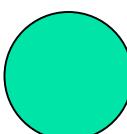
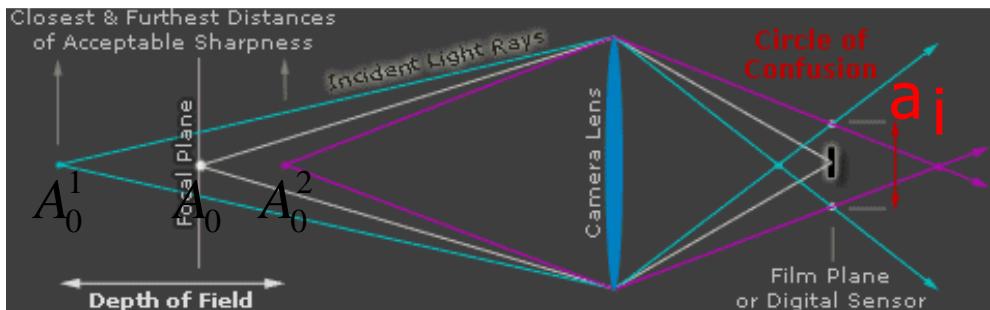
- Le « shutter » ou temps d'exposition





# Paramètres d'une optique

- Compromis ouverture – temps exposition !
- Profondeur de champ
  - Zone de netteté en avant et arrière de la scène
  - Formalisme :  $Pdc = A_0^1 A_0^2 = \frac{2.a_i.n.o}{f^2} P_0^2$



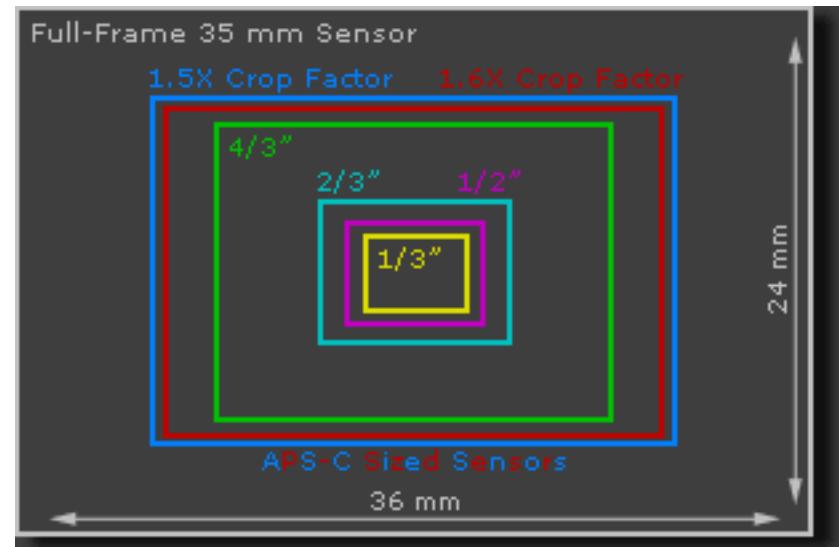


# Paramètres d'une optique

## ■ Angle de champ

- Défini par  $2\theta$  tel que  $\tan(\theta) = \frac{D}{2.f}$  avec D la diagonale de la rétine
- Format usuel de rétine (dans la caméra) :

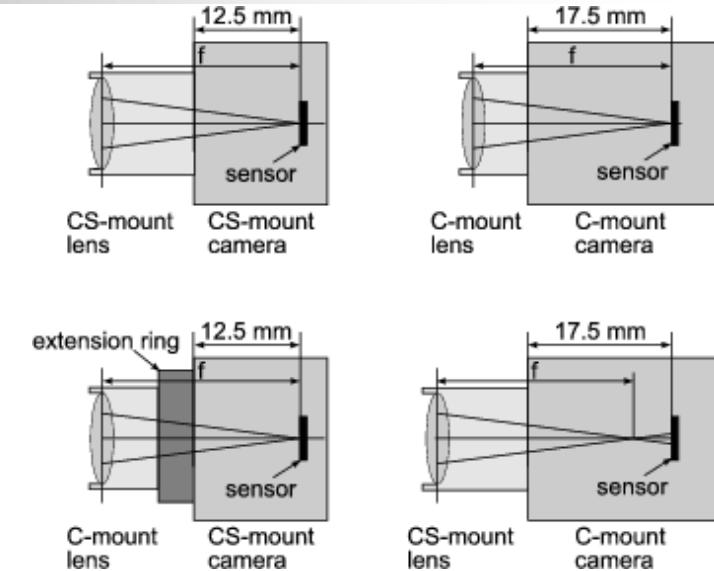
TAILLE NOMINALE DU CAPTEUR	TAILLE STANDARDISÉE	DIAGONALE DE LA MATRICE CCD
1 pouce	12.8 mm x 9.6 mm	16 mm
2/3 pouce	8.8 mm x 6.6 mm	11 mm
1/2 pouce	6.4 mm x 4.8 mm	8 mm
1/3 pouce	4.8 mm x 3.6 mm	6 mm
1/4 pouce	3.2 mm x 2.4 mm	4 mm





# Optique : comment choisir ?

- Dictée par l'application...
  - Focale
  - Ouverture min et max
  - Monture C ou CS
  - Bague allonge /adaptation
- Exercices

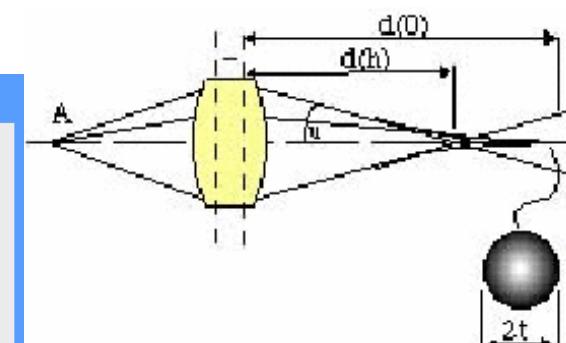
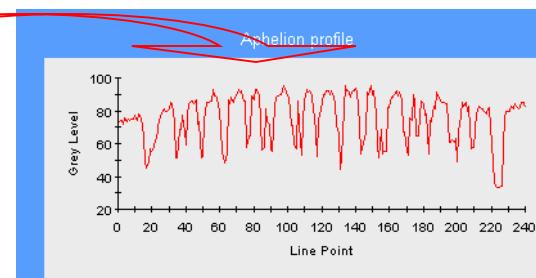
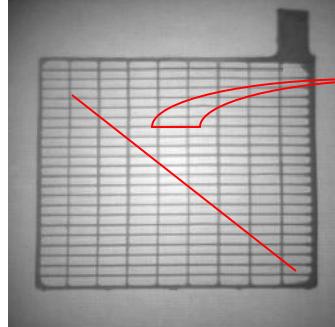
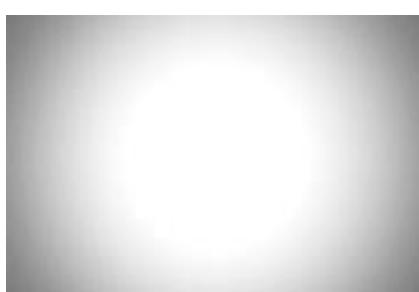


- Calculer la focale pour le cas suivant : la taille de l'objet visualisé est assimilé à un segment de droite de 40 cm et le capteur est à 1m; On choisit une rétine 2/3 ".
- Calculer la focale pour le cas suivant : angle de vue de 90° et un objet situé à 1m, rétine de 2/3"



# Aberrations optiques

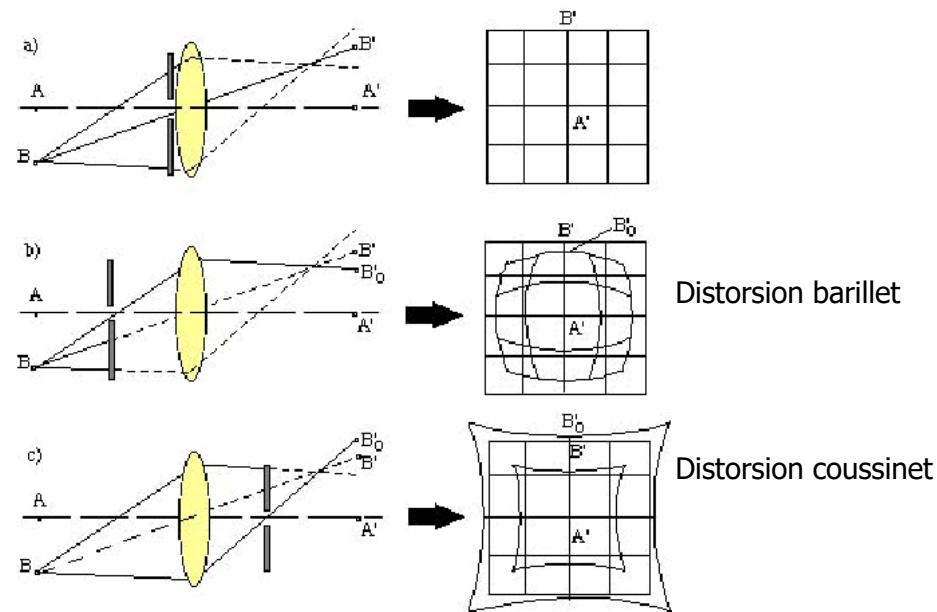
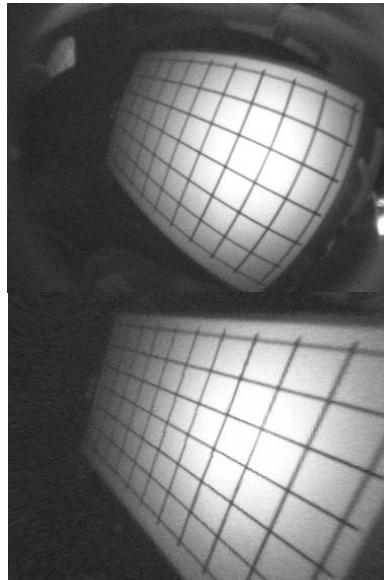
- Aberrations radiométriques
  - Vignettage : éclairage non uniforme dans le plan image – dû à l'occultation des rayons marginaux
- Aberrations géométriques
  - Coma, astigmatisme, courbure de champ, **sphérique**, distorsion
  - Sphérique = défocalisation sur les bords de l'image – convergence différente entre rayons marginaux et paraxiaux





# Aberrations optiques

- Aberrations géométriques
  - Coma, astigmatisme, courbure de champ, sphérique, **distorsion**
  - Distorsion = déformation géométrique – dépend de la position du diaphragme / éléments optiques

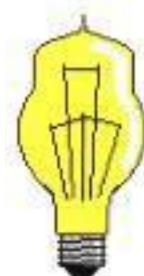


Distortion barillet

Distortion coussinet



# Capteurs vidéo



éclairage

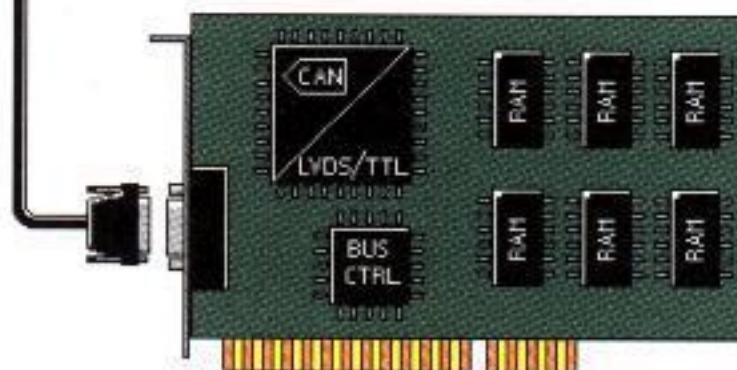
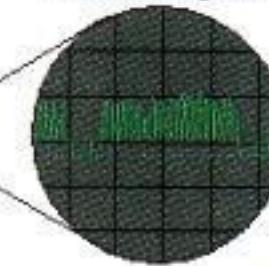
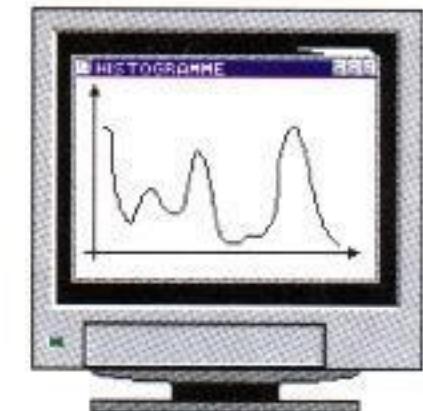


optique



transmission

normes-signaux

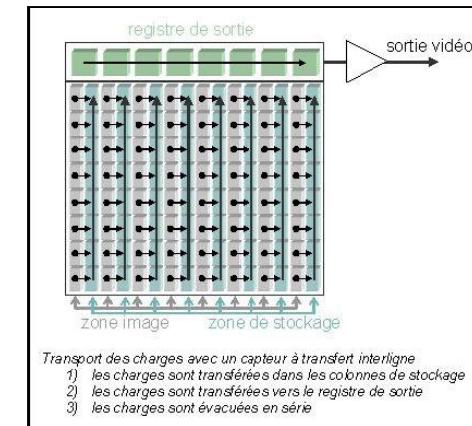
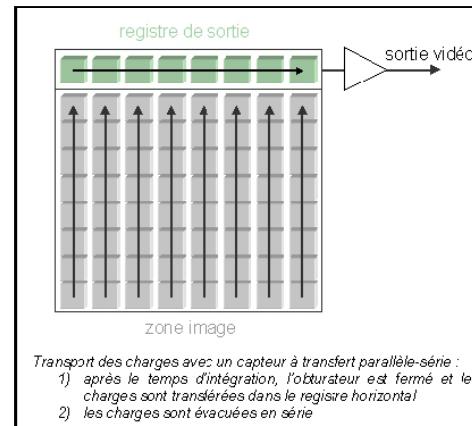
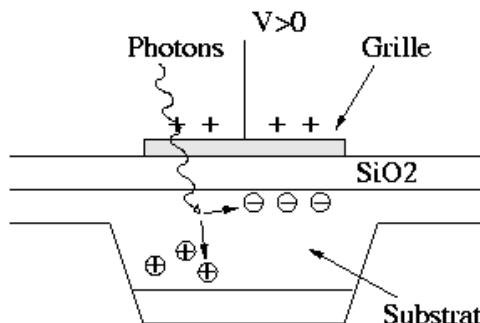
cartes d'acquisition  
numériques ou analogiques

Traitement



# Technologie CCD

- CCD pour « Charge Coupled Device »
- Principe :
  - transduction lumière-charge
  - accumulation puis transfert *via* des registres (avec des variantes) avant conversion





# Capteur CMOS

- Fabrication identique aux chips informatiques
- Principe:
  - Conversion photon-électron (idem CCD)
  - Conversion directe de la charge avant transfert
  - Photo-élément adressable → « rolling shutter » pour accroître la sensibilité

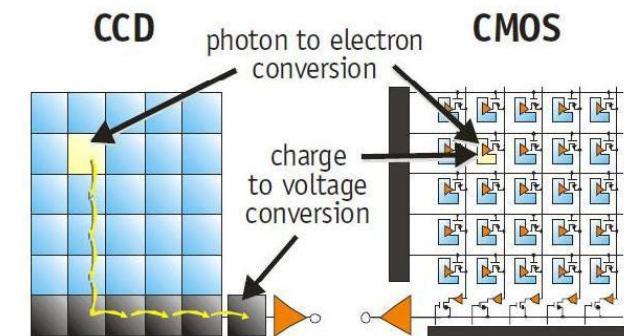
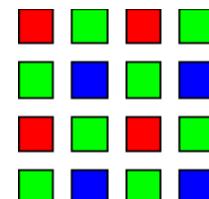


Figure 3. CCDs move photogenerated charge from pixel to pixel and convert it to voltage at an output node; CMOS imagers convert charge to voltage inside each pixel.

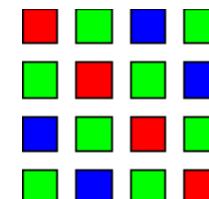


# Caméra couleur

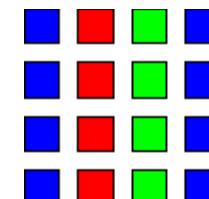
- 2 technologies sur le marché
- Solution #1: un seul capteur et des filtres (mono capteur)
  - Sensibilité des pixels différentes par des mosaïques de filtres
  - « demosaicing » par plus proches voisins, bilinéaire, etc.
  - Très utilisée...



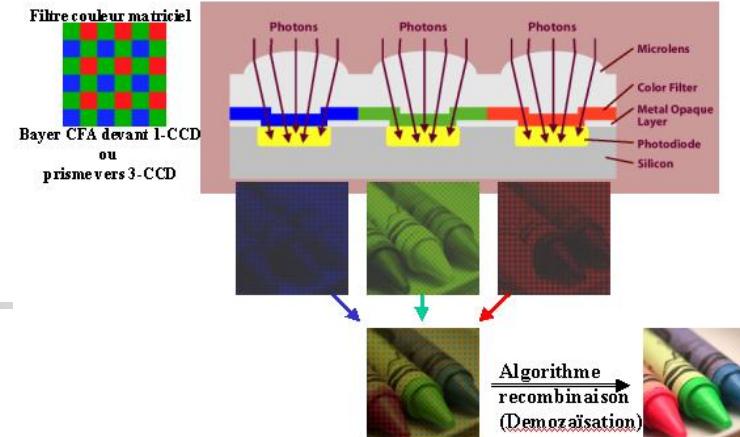
Mosaïque Bayer



Mosaïque en diagonale



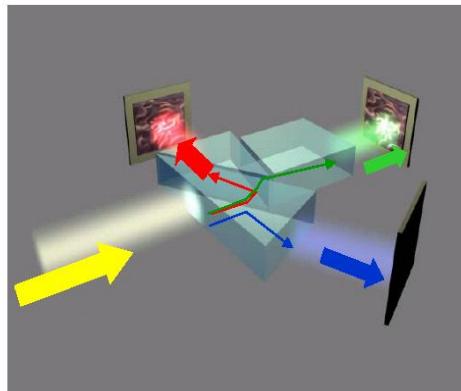
Mosaïque par colonnes



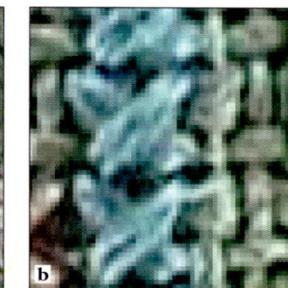


# Caméra couleur

- Solution #2: trois capteurs et un prisme optique (tri capteur)
  - 3 rétines sensibles à une longueur d'onde
  - Coût (alignement des capteurs) ↗ mais qualité ↗



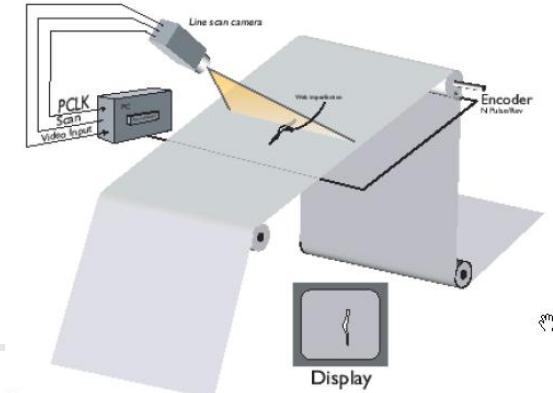
Tri-capteur



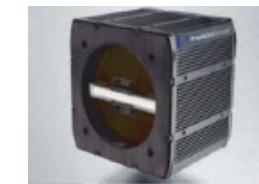
Mono capteur



# Caméra linéaire



- Une seule barrette de photo-éléments

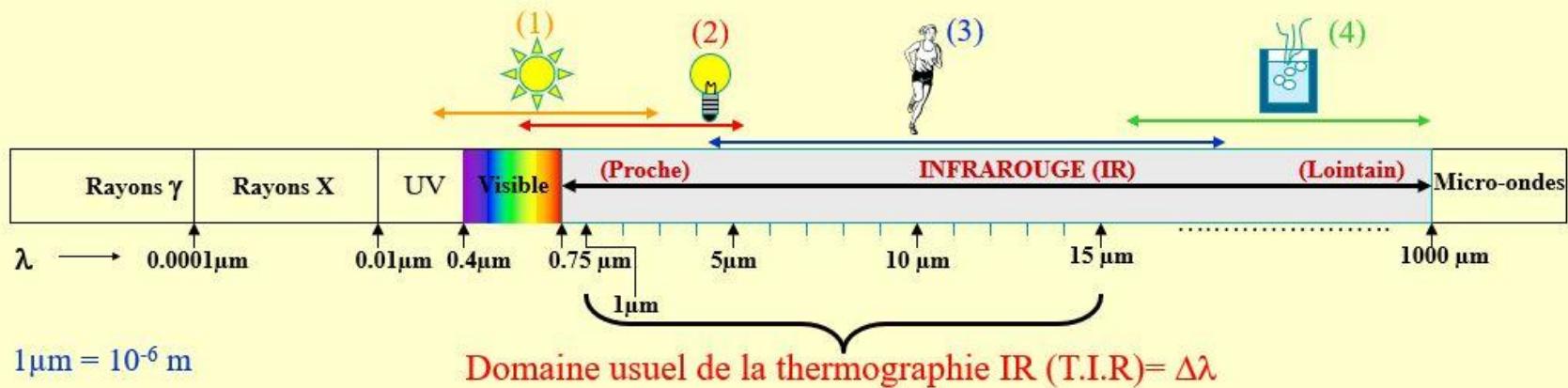


- Acquisition d'images matricielles avec résolution ↗
- 3 modes de traitement :
  - Ligne à ligne : simple présence de matière/trous
  - Groupe de lignes : début acquisition par le trigger et nombre de lignes pré-défini (contrôle sur laminoir)
  - En continu : fonctionnement cyclique (inspection de textile ou tissu)



# Caméra infrarouge (1/5)

Spectre des longueurs d'onde  $\lambda$  : où se trouve l'infrarouge?



- (1) Représente la plage spectrale d'émission du soleil /  $T_{\text{surface}} = 5800\text{ K}$
- (2) Représente la plage spectrale d'émission d'une lampe à filament /  $T_{\text{surface}} = 2800\text{ K}$
- (3) Représente la plage spectrale d'émission du corps humain /  $T_{\text{surface}} = 344\text{ K}$  ( $35^\circ\text{C}$ )
- (4) Représente la plage d'émission de l'azote liquide /  $T_{\text{surface}} = 77\text{ K}$

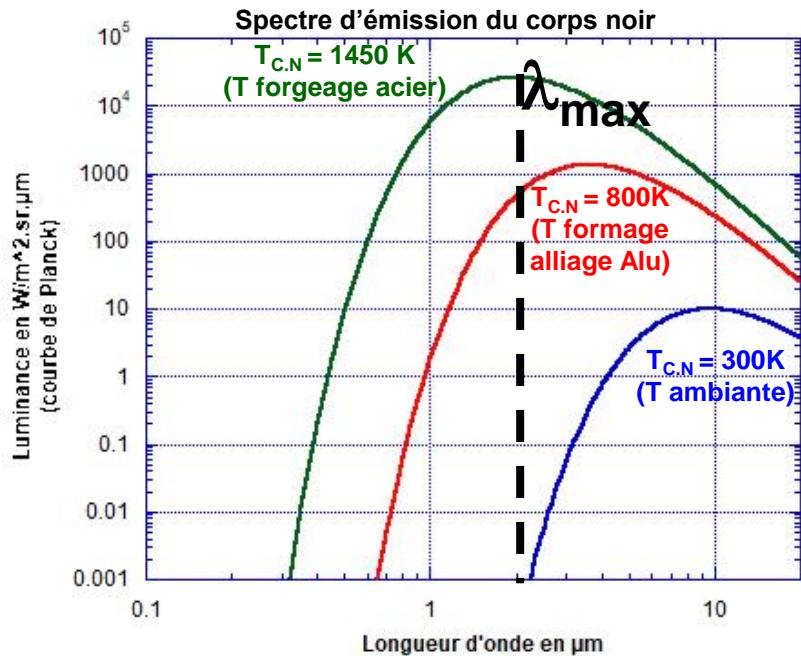
- Caméra classique pour réception NIR [700-1100nm] –  
Application : vidéosurveillance
- Caméra spécifique pour réception IR [2, 15μm] –  
Applications : isolation de bâtiments, militaire, etc.



# Caméra infrarouge (2/5)

Corps noir réel à cavité  
Régul. Therm. entre [50, 550°C]

- Corps Noir = source de rayonnement IR de référence (étalon)



$$I^0(\lambda, T) = \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

$c_1 = 1.19088 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2}$ ,  
 $c_2 = 1.4388 \cdot 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$

(Loi de Planck)

$\lambda_{max} = \frac{2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}}{T_{CN}(\text{kelvin})}$

Longueur d'onde du max D'émission du C.N (Loi de Wien)

96% de l'énergie rayonnée entre :  
**0,5  $\lambda_{max}$  et 5 $\lambda_{max}$**

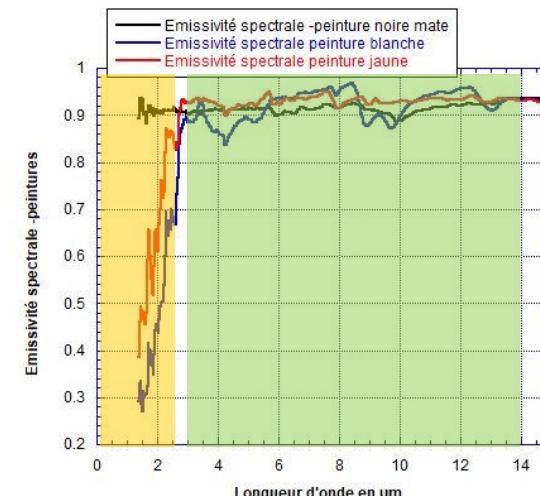
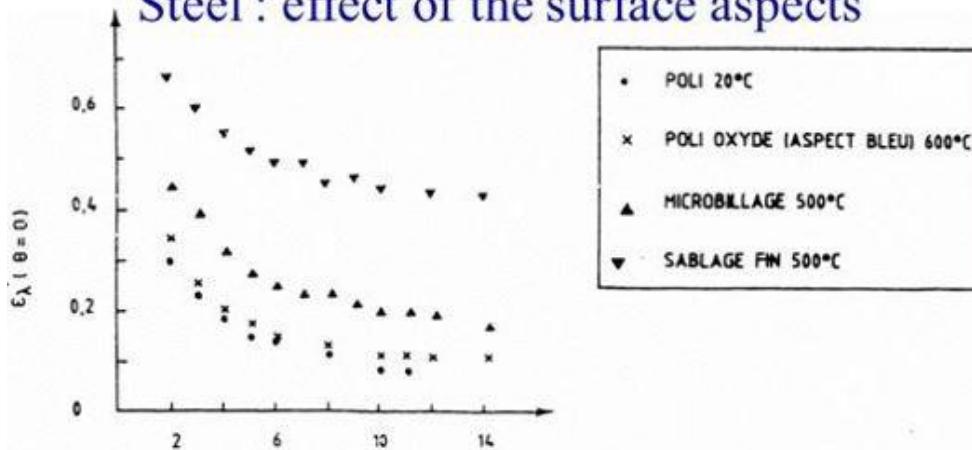
$$M_0(T) = \sigma \cdot T_{CN}^4$$



## Caméra infrarouge (3/5)

- Trois facteurs de choix de gammes spectrales des caméras IR (1/2) :
  - Niveau de  $T^\circ$  des objets ( $E$  émise  $\sim T^4$ , loi de Wien)
  - Emissivité  $\varepsilon(\cdot)$  des objets :  $I(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T) \cdot I^0(\lambda, T)$

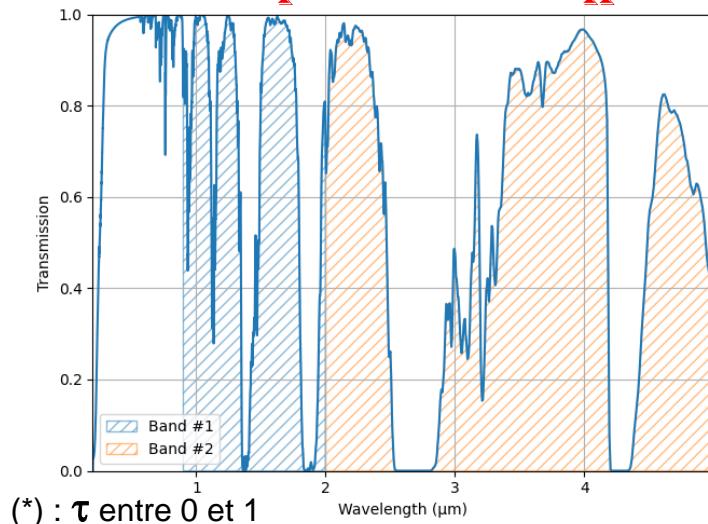
Steel : effect of the surface aspects





# Caméra infrarouge (4/5)

- Trois facteurs de choix de gammes spectrales des caméras IR (2/2) :
  - Transmission atmosphérique : **III**



Epaisseur d'air de **500 m** - Contribution du **CO<sub>2</sub>** et de la **vapeur d'eau**, température ambiante ~**300 K**

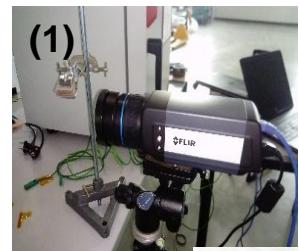


# Caméra infrarouge (5/5)

## ■ Types de caméras IR :

Caméra matriciel à détecteur photonique **InGaAs** / bande spectrale : **0,9 -1,7 μm** (dans la bande « I »),

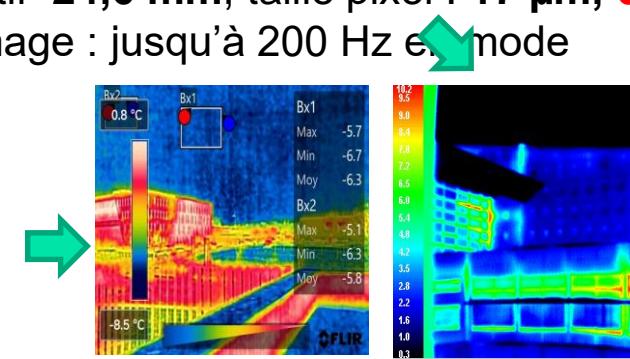
objectif **50 mm**, taille pixel : **30 μm**, **320 x 256 pixels** – refroidie par système Peltier. Dediée à l'imagerie de réflectance proche IR ou à la **thermographie** dans la même bande pour les **hautes températures et plutôt les métaux** (corps opaques)



(1) Caméras matricielles à détecteur  $\mu$ -bolométrique (thermique), bande spectrale : **7,5 -13 μm** (dans la bande « III »), objectif **24,6 mm**, taille pixel : **17 μm**, **640 x480 pixels, non refroidis**. Fréquence image : jusqu'à 200 Hz en mode fenêtré, sinon typique **30 ou 50 Hz**,  
**Résolution thermique : < 30 mK**

(2) Et (3) caméras en Bande III « bas coût », détecteur **160 x120 pixels** – bande spectrale :

**8-14 μm**. (3) taille pixel : **12 μm**, fréquence image ~**9 Hz** – dispose d'une caméra vidéo intégrée de 640 x480 pixels pour la fusion de contour « visible » sur l'image IR (mode MSX) ou incrustation de l'image IR sur l'image Visible. **Résolution thermique (3) ~100 mK.**



Images thermographie bâtiment en **BIII** (températures modérées et basses)

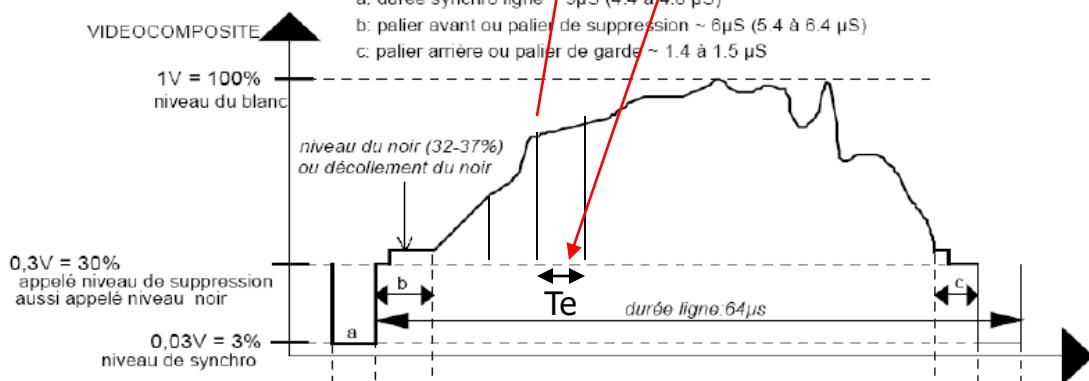


# Numérisation : du signal électrique à l'image numérique

- Les étapes :
  - Echantillonnage ( $T_e$ ) – lié au rapport 4/3
  - Quantification – liée au rapport S/B

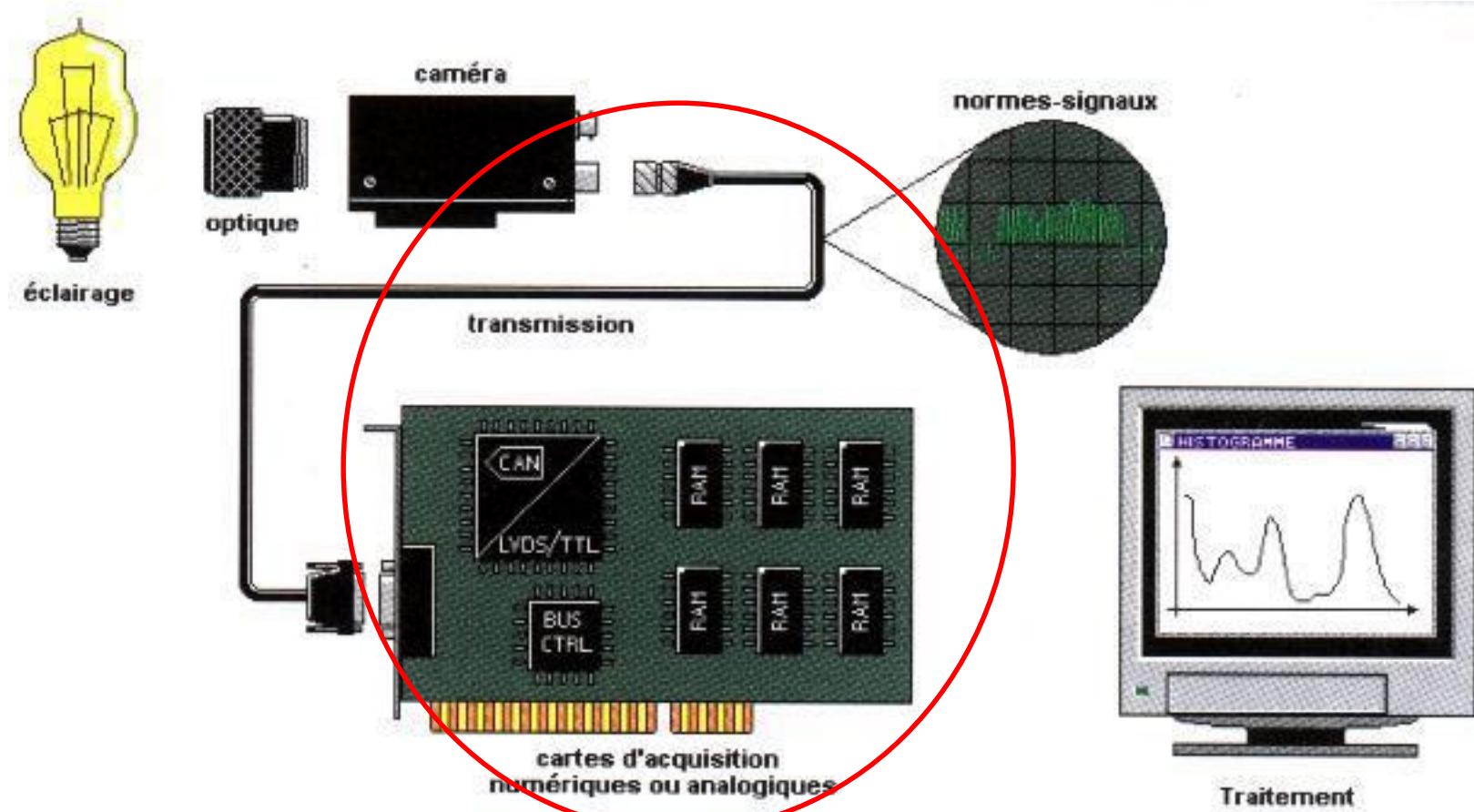
étape 2      étape 1

étape 3





# Transmission de l'image





# Transmission de l'image

## ■ Analogique

- 3 canaux (RGB, YUV), 2 canaux (Y/C), 1 canal (PAL)



## ■ Numérique

- Norme IEEE ou « firewire » : liaison série bidirectionnelle, format d'échantillonnage 4:2:2, diverses normes/débit *e.g.* 1394a (400 Mega bits /sec), besoin de répéteurs si distance.
- Norme USB : liaison série bidirectionnelle, format d'échantillonnage 4:2:2, diverses normes/débit
- Giga-ethernet





# Exercices

- Réalisation d'un système d'inspection : la caméra numérique, placée à 2m au dessus du plan de travail a les caractéristiques suivantes : rétine 2/3", résolution 640x480 pixels.
  - Calculer la focale de l'objectif pour que le pas entre 2 pixels soit de 0.5 mm dans le sens de la longueur.
  - Calculer le pas dans le sens de la largeur. Conclure.
  - Idem mais pour une caméra analogique, résolution 512x512.



# Exercices

- Réalisation d'un système de mesure 3D pour petits objets : la caméra a les caractéristiques suivantes : focale de 25 mm, rétine  $\frac{1}{2}$ ", résolution 640x480 pixels, sensibilité 0.25 lux (F/1.2). L'objet de diamètre 4 mm doit être plein champ lors de l'acquisition.
  - Calculer  $P_0$  et  $P_1$ .
  - Calculer  $a_i$ , en déduire la profondeur de champ minimale. Conclure.
- Caractérisation d'une caméra linéaire
  - Calculer la focale de son objectif sachant que elle comporte 1728 photo-éléments de  $13 \mu\text{m}$  et que :
    - L'objet à inspecter est placé à 10cm.
    - L'objet mesure 350 mm de diamètre.
    - L'objet occupe les 2/3 de la rétine
  - En déduire la résolution du capteur en mm/pixel. Conclure.



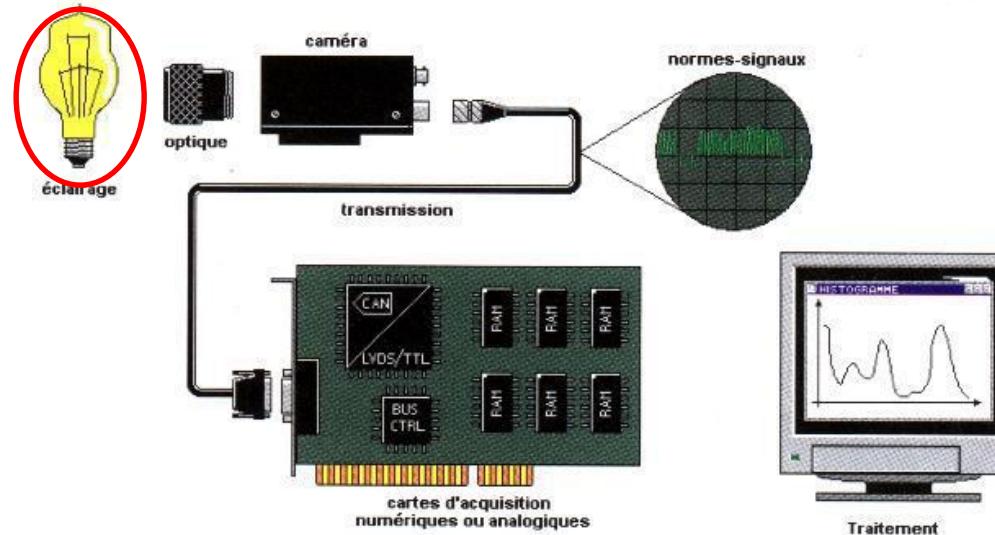
## Plan du cours (12 h C/TD et 18h TP)

1. Colorimétrie (0.5h)
2. Acquisition des images (3h)
3. Techniques d'éclairage (0.5h)
4. Restauration des images par des exemples (3h)
5. Inspection optique par des exemples (1h)



# Eclairage

- Objectifs :
  - Accroître le contraste sur les objets
  - Limiter l'influence de l'éclairage ambiant
  - Accroître la cadence d'acquisition





# Types d'éclairage

- LEDs :flexibilité, allumage synchronisable ou séquentiel, spectre visible / non visible, durée de vie

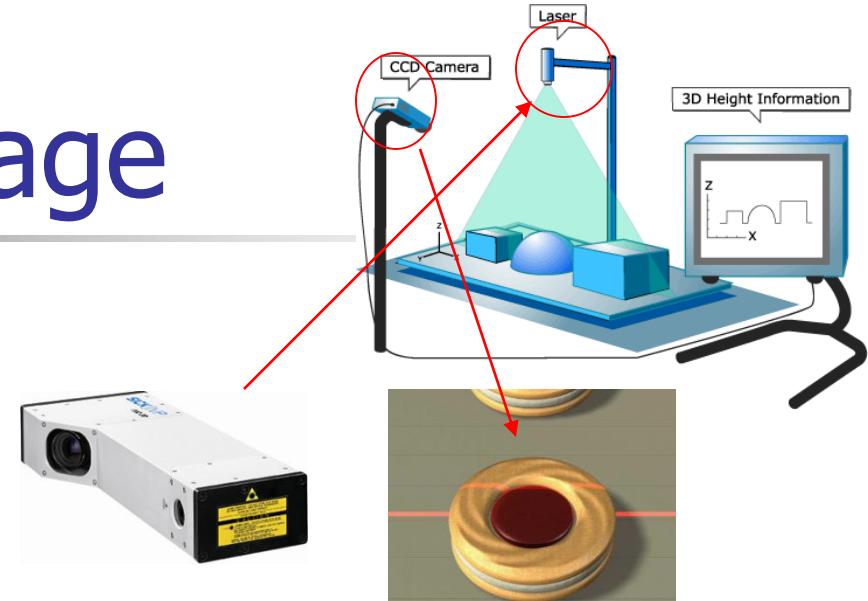




# Types d'éclairage

## ■ Laser

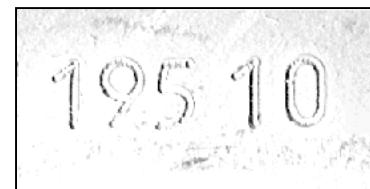
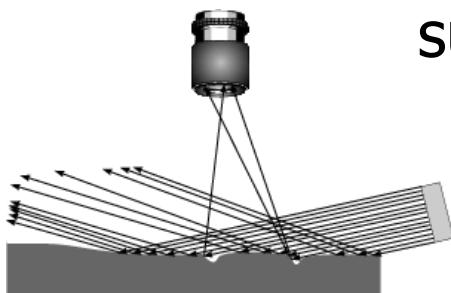
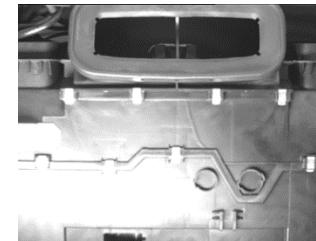
- Peu divergent
- Structuré
- Observation par une caméra déportée
- Appliqué aux surfaces peu texturées





# Stratégies d'éclairage

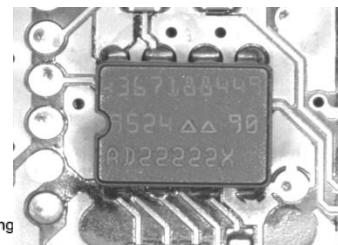
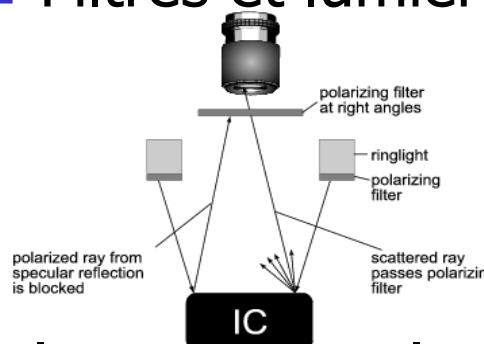
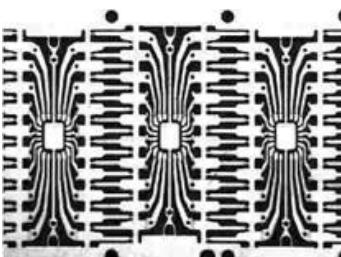
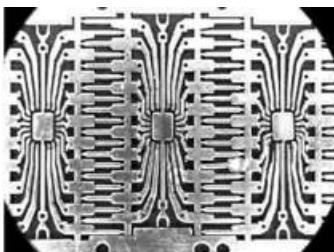
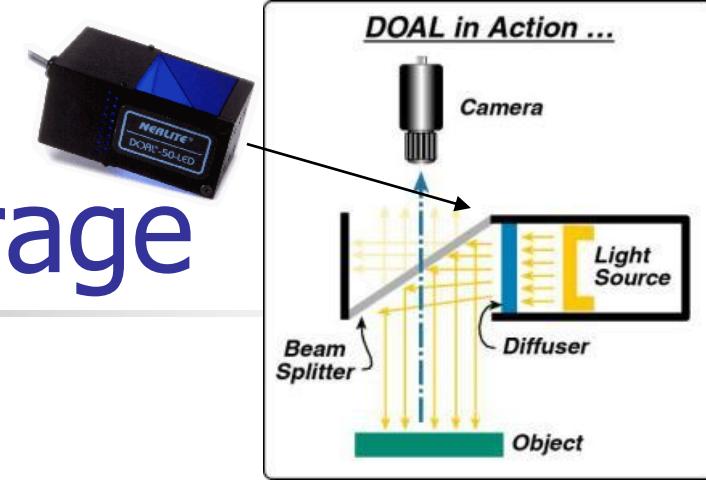
- Episcopie :
  - Eclairage diffus
    - Minimiser les réflexions spéculaires
    - Éclairage indirect ou à travers un réflecteur diffus
  - Eclairage directionnel
    - Angles d'incidence pour éviter les réflexions de surfaces lisses





# Stratégies d'éclairage

- Episcopie :
  - Eclairage polarisant
    - Filtres et lumières polarisants



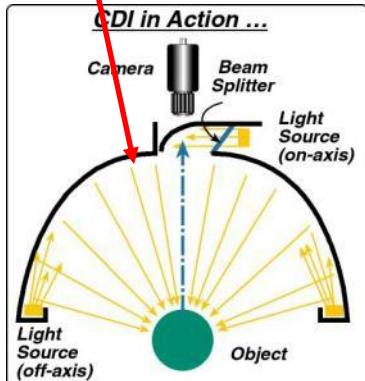
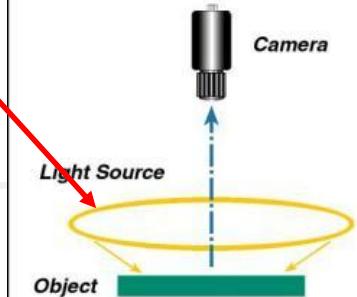
- Eclairage axial ou coaxial
  - Centrer sur l'axe optique – supprimer les ombres sur surfaces spéculaires  $\perp$  axe optique
  - Inspection sur des surfaces réfléchissantes planes



# Stratégies d'éclairage



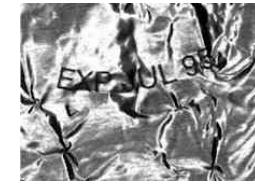
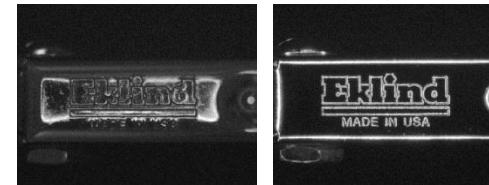
Dark-Field Illuminator  
in Action ...



- Episcopie :

- Eclairage annulaire rasant

- Mise en évidence de surfaces spéculaires non  $\perp$  à axe optique
    - Inspection sur des surfaces réfléchissantes planes



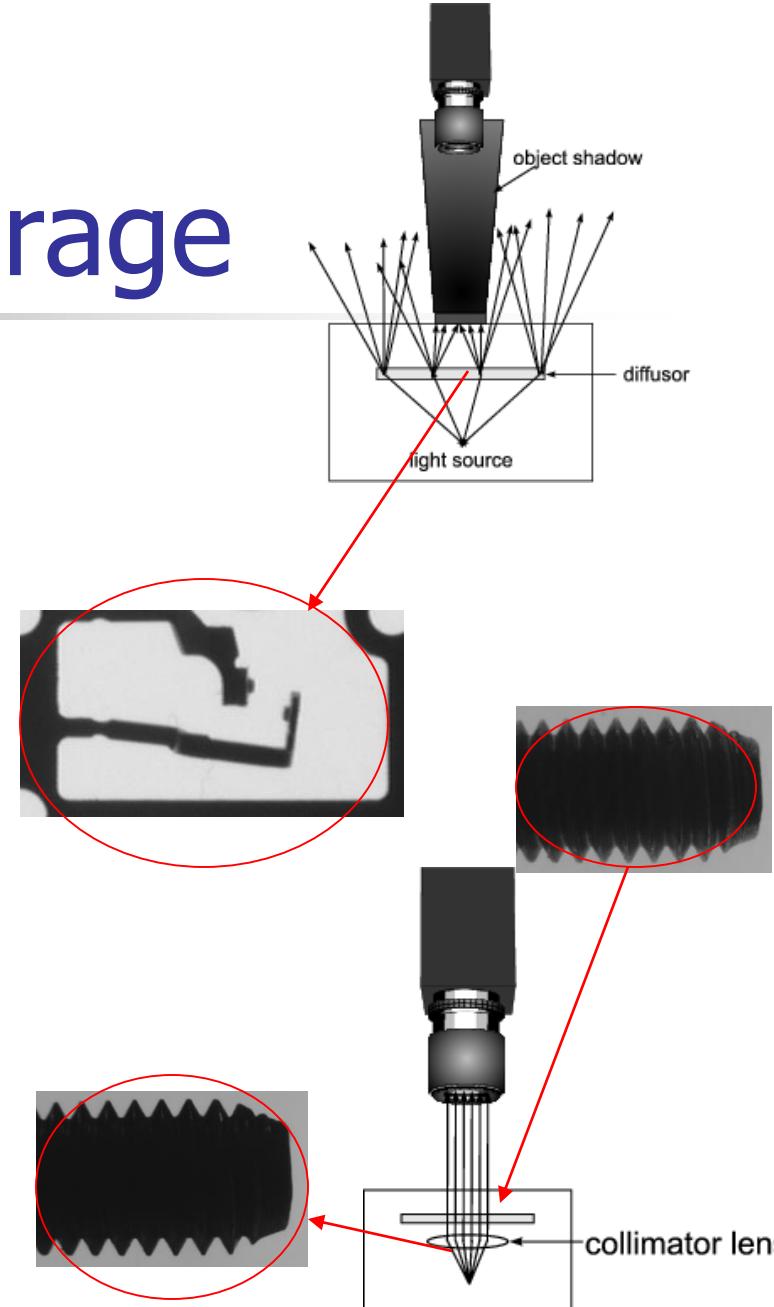
- Eclairage par sphère intégration

- Uniformisation de la réflexion d'un objet
    - Lecture de texte sur surface réfléchissante non plane



# Stratégies d'éclairage

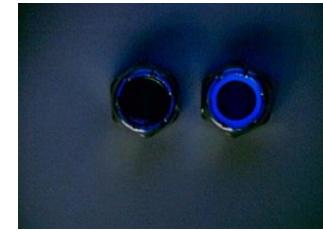
- Diascopie :
  - Ombres chinoises
  - Eclairage diffus
  - Eclairage directionnel
  - Eclairage polarisant





# Stratégies d'éclairage

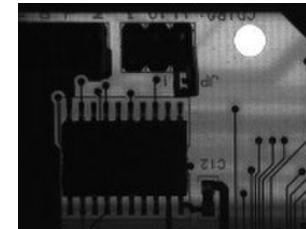
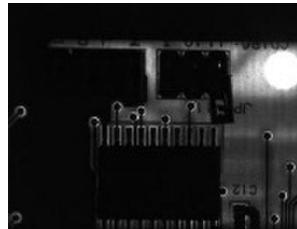
- Eclairage dans le non visible
  - Eclairage par UV



*Mise en évidence  
du nylon dans un  
polymère*

*Eclairage NUV, caméras N&B et couleur*

- Eclairage dans NIR



*Mise en évidence  
d'un composant  
électronique*

*Eclairage rouge et NIR (“back-light”)*



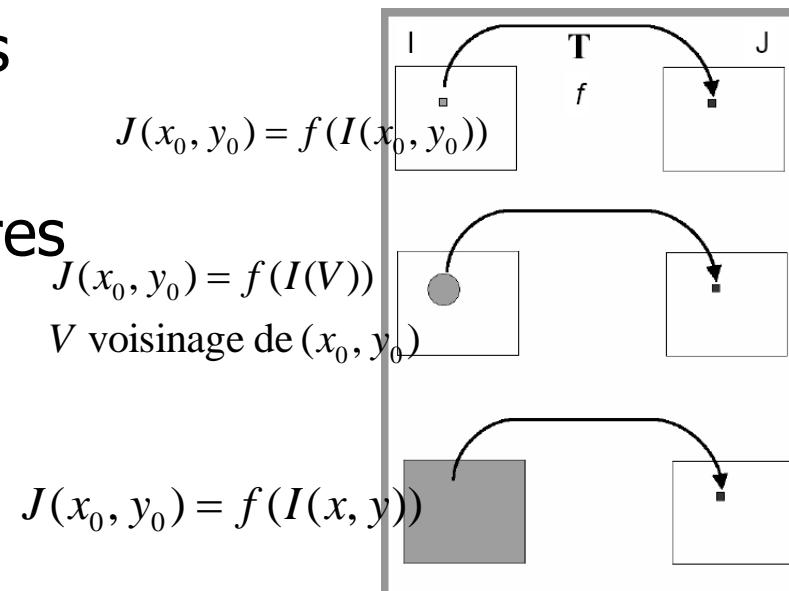
## Plan du cours (12 h C/TD et 18h TP)

1. Colorimétrie (0.5h)
2. Acquisition des images (3h)
3. Techniques d'éclairage (0.5h)
4. Restauration des images par des exemples (3h)
5. Inspection optique par des exemples (1h)



# Restauration des images

- But : réduire, voire éliminer les dégradations introduites par l'acquisition
  - Comment faire ?
    - Opérations entre images
    - Méthodes ponctuelles
    - Méthodes locales ou filtres
    - Méthodes globales
- Transfo. de Fourier

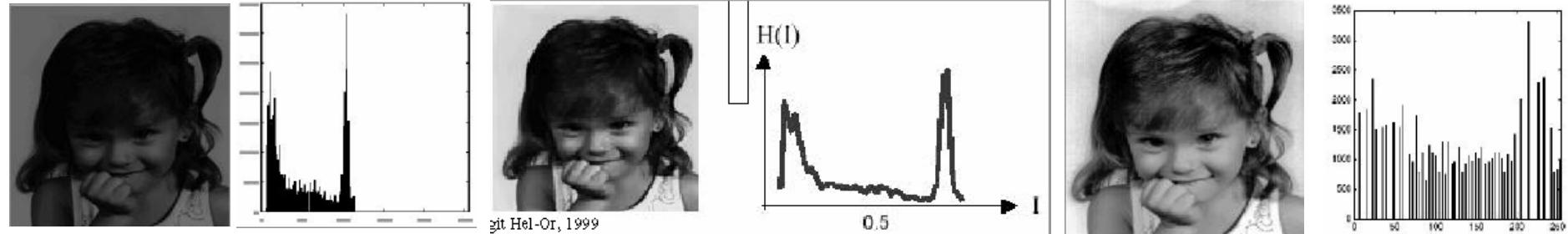




# Méthodes ponctuelles

- Principe : transformation d'un niveau  $I(x,y)$  en  $O(x,y)$  indépendamment du voisinage
- Exemple : étirement de la dynamique

$$\text{si } I(x, y) \in [g_{\min}, g_{\max}], O(x, y) = \frac{255}{g_{\max} - g_{\min}} \cdot (I(x, y) - g_{\min})$$





# Méthodes ponctuelles



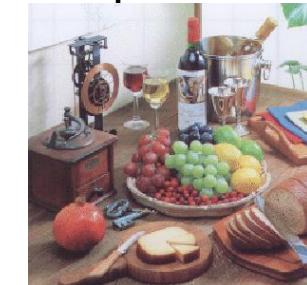
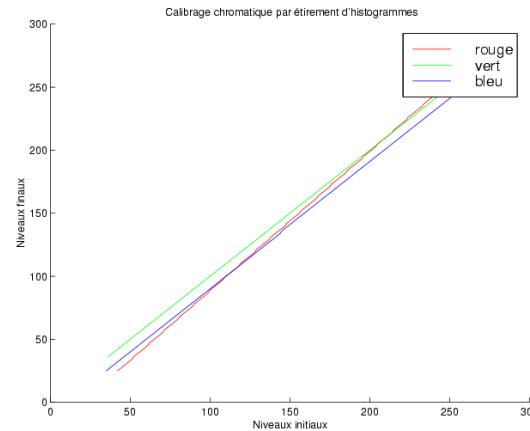
mire Macbeth

- Calibrage chromatique
  - But : corriger les aberrations chromatiques dues à :
    - Nature spectrale de l'illuminant
    - Sensibilité du capteur variable suivant la longueur d'onde
    - Transmissivité des filtres (NIR, polarisant, etc.)
    - Balance des blancs « software »
  - Démarche n° 1 : analyse de zones achromes
    - Quantifier les couleurs à partir de gris de référence (mire de Macbeth)
    - Calculer trois LUTs R,V,B à partir des différences observées sur zones ou pixels achromes



# Méthodes ponctuelles

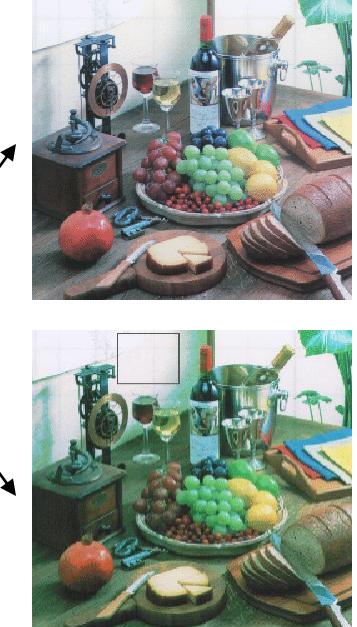
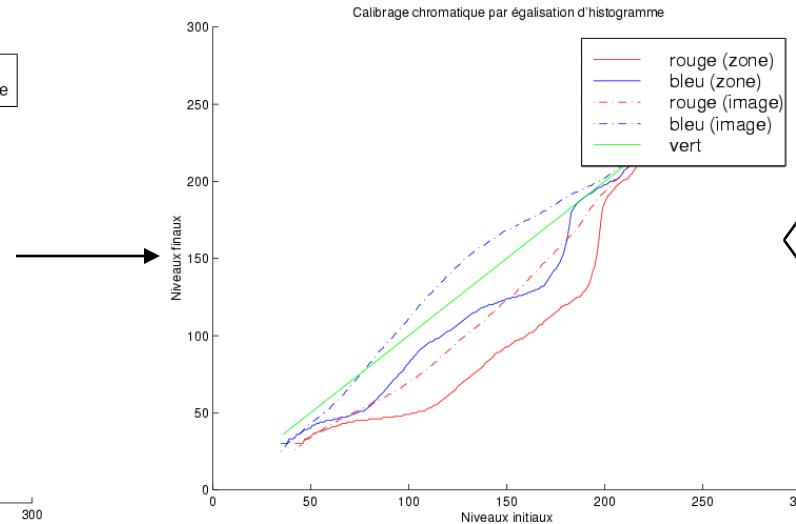
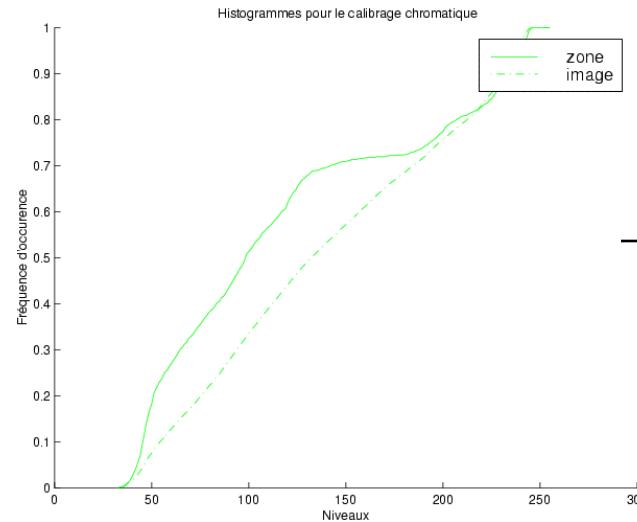
- Calibrage chromatique
  - Démarche n° 2 : étirement d'histogrammes
    - Calcul des trois histogrammes sur l'image ou zones associées
    - Sélection de l'histogramme ayant la plus grande dynamique (référence)
    - Normalisation des histogrammes à partir de cette référence





# Méthodes ponctuelles

- Calibrage chromatique
  - Démarche n° 3 : égalisation d'histogrammes
    - Principe similaire
    - Égalisation des deux composantes à partir de la référence – pas de loi mathématique...



Dominante verte...

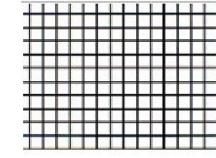
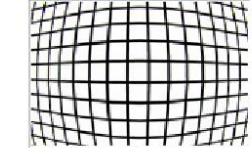
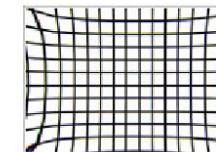


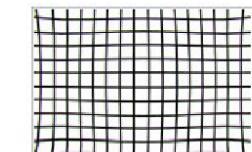
image originale



distorsion en bâillet



distorsion en coussinet



distorsion complexe

# Méthodes ponctuelles

## ■ Correction géométrique

- But : modéliser puis corriger les distorsions optiques – Deux étapes :
  - Appariements et identification de la transfo. géométrique entre image originale et image dégradée  $\begin{cases} x' = r(x, y) \\ y' = s(x, y) \end{cases}$
  - Reconstruction de l'image originale par interpolation des niveaux
- Appariements entre points de contrôle des images déformée / originale  $[(x, y)_i \Rightarrow (x', y')_i]$
- Estimation des paramètres du modèle :

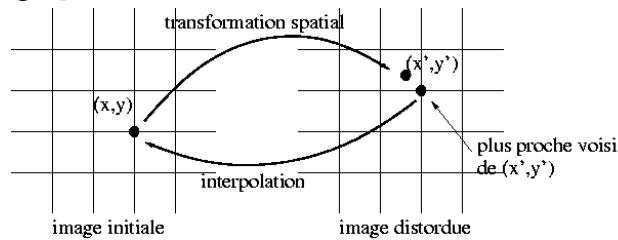
$$\begin{cases} r(x, y) = a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3 \cdot xy + a_4 \\ s(x, y) = b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3 \cdot xy + b_4 \end{cases} \quad E = \sum_{i=1}^n \left[ (x'_i - r(x_i, y_i))^2 + (y'_i - s(x_i, y_i))^2 \right]$$



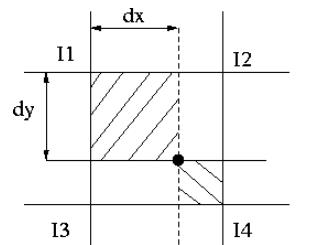
# Méthodes ponctuelles

## ■ Interpolation des niveaux (coordonnées non entières)

### ■ Ordre 0 :



### ■ Bilinéaire :



$$I = I_1 \cdot (1-dx) \cdot (1-dy) + I_2 \cdot dx \cdot (1-dy) + I_3 \cdot (1-dx) \cdot dy + I_4 \cdot dx \cdot dy$$

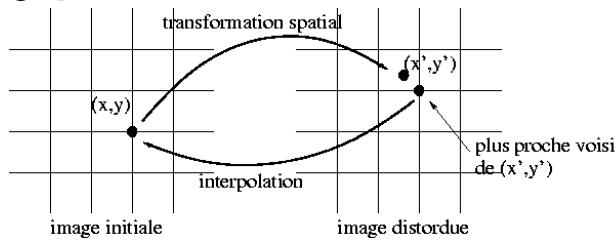




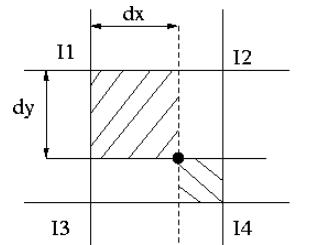
# Méthodes ponctuelles

## ■ Interpolation des niveaux (coordonnées non entières)

### ■ Ordre 0 :



### ■ Bilinéaire :



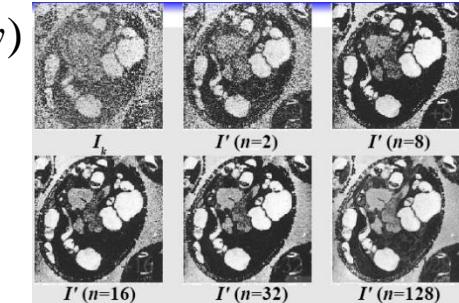
$$I = I1 \cdot (1-dx) \cdot (1-dy) + I2 \cdot dx \cdot (1-dy) + I3 \cdot (1-dx) \cdot dy + I4 \cdot dx \cdot dy$$



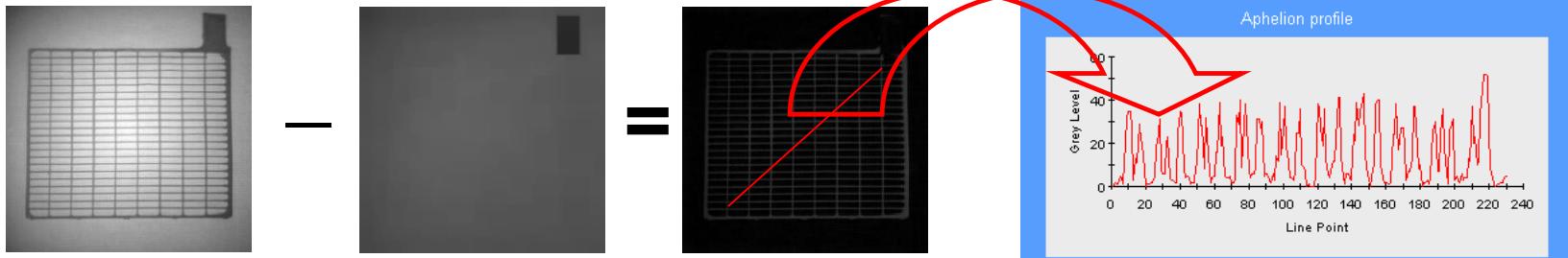


# Opérations arithmétiques entre images

- Combinaison d'images :  $O(x, y) = f(I_1(x, y), \dots, I_n(x, y))$
- Addition d'images :  $O(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i(x, y)$



- Soustraction d'images pour correction de vignettage



# Méthodes globales

## ■ Formalisme :

si  $b$  négligeable et  $\hat{f}$  estimée de  $f$  :

$$g(x,y) = h * f(x,y) + n(x,y)$$

sous forme matricielle :  $\hat{F} = \underline{H}^{-1} \cdot \underline{G}$  ( $\underline{H}$  matrice carrée)

$$\hat{F} = (\underline{H}^T \cdot \underline{H})^{-1} \cdot \underline{H}^T \cdot \underline{G} \quad (\underline{H} \text{ matrice non carré})$$

Par Fourier :  $\hat{F}(u,v) = \frac{G(u,v)}{H(u,v)}$ ,  $F(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-j \cdot 2\pi(u \cdot x + v \cdot y)] f(x,y) dx dy$

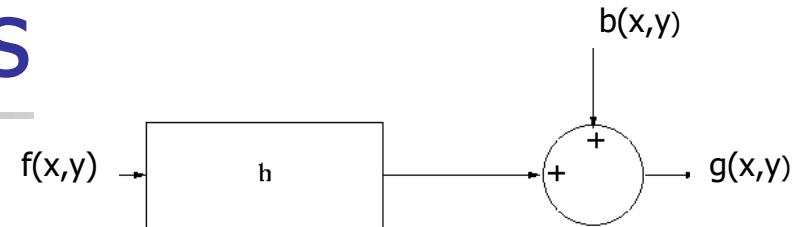
si  $b$  pris en compte :

$$G(u,v) = H(u,v) \cdot F(u,v) + B(u,v)$$

## ■ Application à la correction d'un bougé :

- Image dégradée  $g(x,y)$  formalisée par  $\int_0^T f(x - v_x \cdot t, y - v_y \cdot t) dt$
- Calcul de TF de  $g(x,y)$  :  $G(u,v) = F(u,v) \cdot \int e^{-2j\pi(u \cdot v_x t + v \cdot v_y t)} dt$
- Caractérisation de la dégradation  $H$  :

$$H(u,v) = T \cdot e^{-j\pi \cdot u \cdot d} \cdot \frac{\sin \pi \cdot u \cdot d}{\pi \cdot u \cdot d}$$





# Méthodes globales

- Application à la corrigé d'un bougé :

- Allure de  $H(u,v)$  :

- Démarche :

- ① évaluer  $G(u,v)$

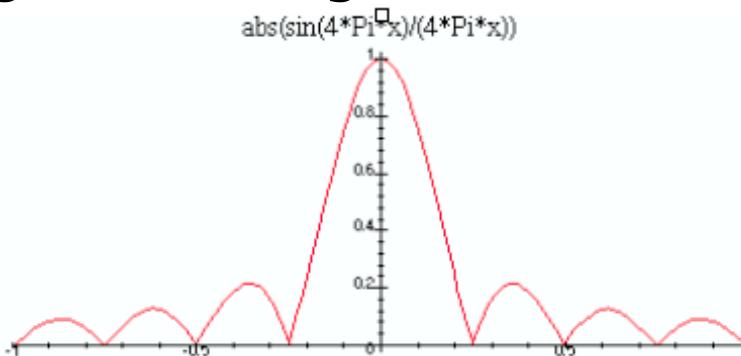
- ② mesurer la distance  $d$  (entre deux zéros de  $G(u,v)$ )

- ③ évaluer  $H(u,v)$

- ④ calculer  $\hat{F}(u,v) = \frac{G(u,v)}{H(u,v)}$

- ⑤ calculer

$$\hat{f}(x, y) = TF^{-1}(\hat{F}(u, v))$$





# Méthodes globales

## ■ Restauration interactive

- But : tirer partie de l'intuition humaine et de la souplesse des ordinateurs - contrôle interactif du processus de restauration
- Exemple de correction d'une interférence 2D sinusoïdale :

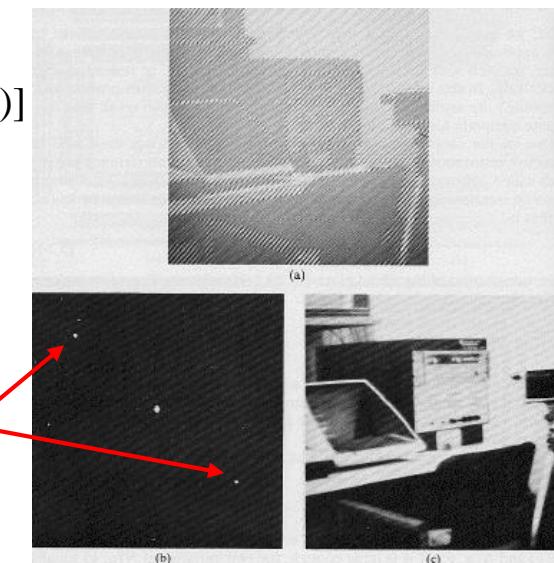
$$B(x, y) = A \cdot \sin(u_0 \cdot x + v_0 \cdot y)$$

- Calcul de la TF de l'onde :

$$B(u, v) = -\frac{j \cdot A}{2} [\delta(u - \frac{u_0}{2\pi}, v - \frac{v_0}{2\pi}) - \delta(u + \frac{u_0}{2\pi}, v + \frac{v_0}{2\pi})]$$

$$G(u, v) = F(u, v) + B(u, v)$$

- Filtre passe-bande pour supprimer les impulsions associées





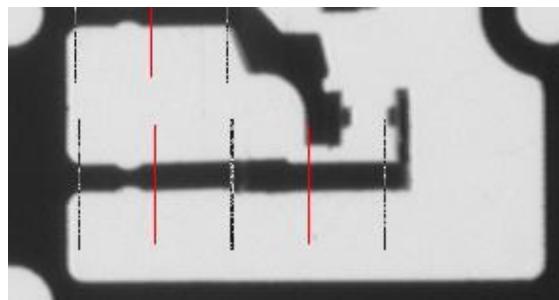
## Plan du cours (12 h C/TD et 18h TP)

1. Colorimétrie (0.5h)
2. Acquisition des images (3h)
3. Techniques d'éclairages (0.5)
4. Restauration des images par des exemples (3h)
5. **Inspection optique par des exemples (1h)**



# Métrologie

- But : Inspection d'une pièce métallique découpée – pré-requis : position approximative de la pièce
- Solution :
  - Eclairage diascopique, extraction des contours par lignes de recherche





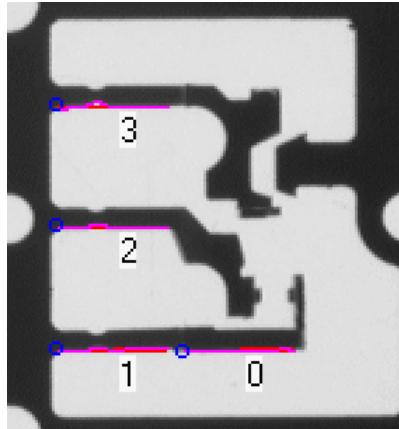
# Métrologie

## ■ Solution :

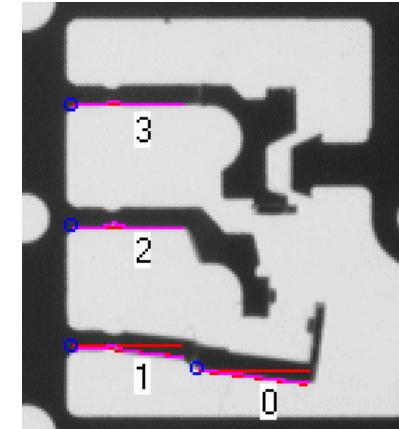
### ■ Extraction des segments associés

$$D = \sum_{i=1}^n (y_i - a \cdot x_i - b)^2, b = \bar{y} - a \cdot \bar{x}, a = \frac{\sum x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2}$$

### ■ Mesure angulaire (coeff. directeur)



Ident no.	Text	Measurement	Nom.
✓ 0	Bottom right	1.10	0.00
✓ 1	Bottom left	0.99	0.00
✓ 2	Center	-0.08	0.00
✓ 3	Top	0.52	0.00

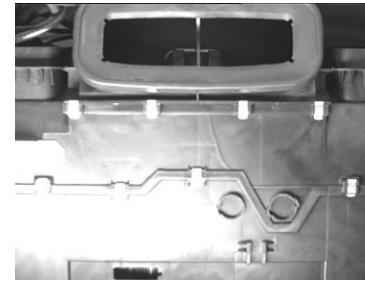


Ident no.	Text	Measurement	Nom.
✗ 0	Bottom right	-7.25	0.00
✗ 1	Bottom left	-4.89	0.00
✓ 2	Center	-0.14	0.00
✓ 3	Top	0.05	0.00



# Vérification de présence

- But : vérifier la présence de clips sur un climatiseur de voiture – pré-requis : position grossière de la pièce



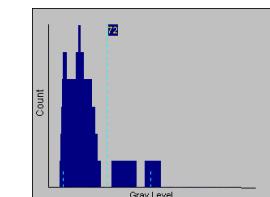
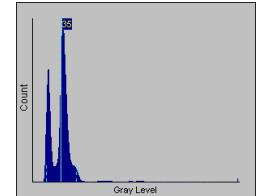
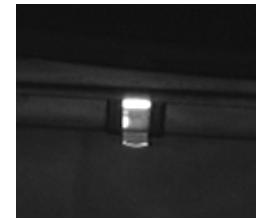
- Solution :
  - plusieurs caméras avec éclairage épiscopique diffus (indirect ou diffuseur)



# Vérification de présence

## ■ Solution :

- Ajustement grossier de la position à partir d'une région caractéristique
- Segmentation des clips
  - Positionnement de ROIs
  - Lissage puis calcul de seuils locaux
- Décision basée sur des mesures (aire, ratio de dimension, etc.)





# Identification de marqueurs

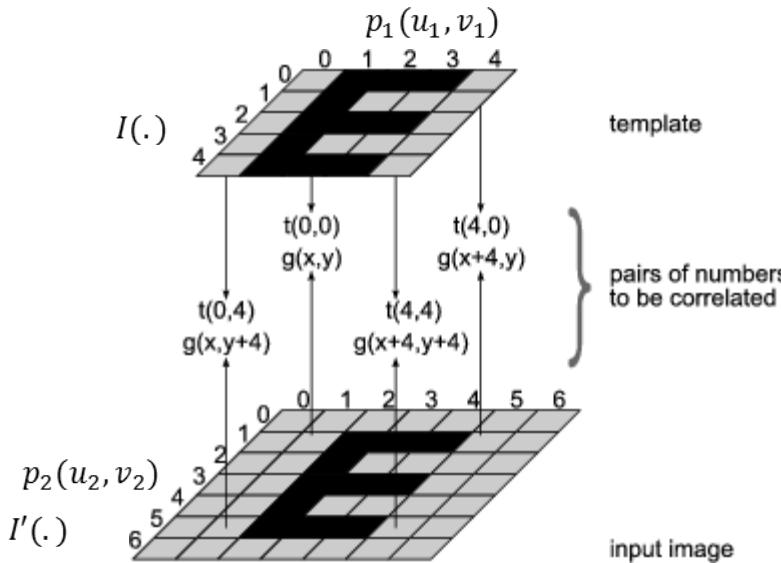
- But : qualité d'impression sur une jauge à essence
- Solution :
  - Différence d'images – requiert un positionnement précis...
  - Recalage grossier par « template « matching » sur le trou
  - Recalage fin de chaque région par « template matching »





## « Bloc matching »

- But : détecter la présence d'une forme *a priori* - Approche non ascendante...
- Mesure de similarité :



$$\begin{aligned}
 SSD(p_1, p_2) &= \sum_{x=-M}^{+M} \sum_{y=-M}^{+M} [I(u_1 - x, v_1 - y) - I'(u_2 - x, v_2 - y)]^2 \\
 CC(p_1, p_2) &= \sum_{x=-M}^{+M} \sum_{y=-M}^{+M} I(u_1 - x, v_1 - y) \cdot I'(u_2 - x, v_2 - y) \\
 ZNCC(p_1, p_2) &= \frac{\sum_{x,y} [I(u_1 - x, v_1 - y) - \bar{I}] [I'(u_2 - x, v_2 - y) - \bar{I}']}{\sqrt{\sum_{x,y} [I(u_1 - x, v_1 - y) - \bar{I}]^2 \sum_{x,y} [I'(u_2 - x, v_2 - y) - \bar{I}']^2}}
 \end{aligned}$$

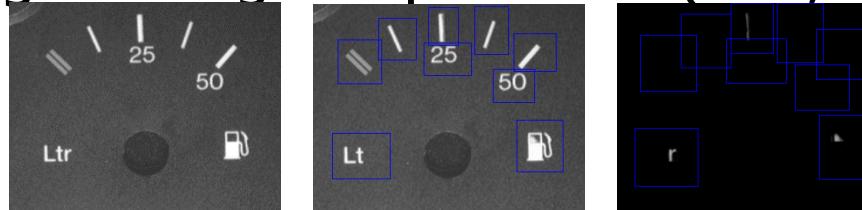
$p_1 = (u_1, v_1)^T$  apparié avec  $p_2 = (u_2, v_2)^T$ ,  $I(u, v)$  niveau en  $(u, v)$



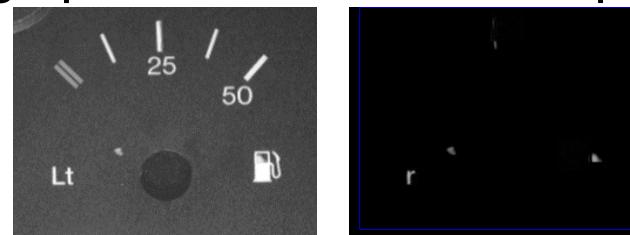
# Identification de marqueurs

- Solution :

- Différence d'images – segmentation région – filtreage de régions parasites (aire, ratio)



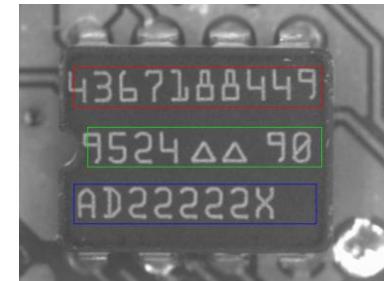
- Traiter l'image entière pour les défauts hors ROIs
  - Division de l'image en sous régions ( $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$ , etc.) à chaque itération
  - Recalage par corrélation de chaque région





# Identification de marqueurs

- But : reconnaissance de caractères sur circuit intégré (CI) – pré-requis : position grossière du CI
- Solution :
  - Eclairage rasant
  - Positionnement de ROIs pour accélérer la recherche
  - Segmentation des caractères par seuillage
  - Extraction des imagettes associées

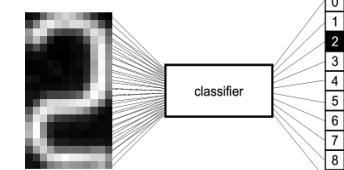
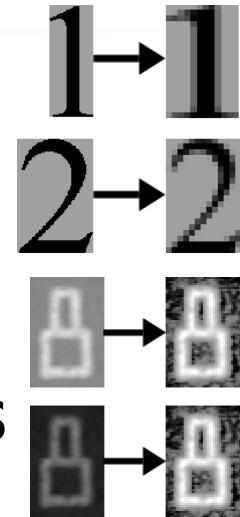




# Identification de marqueurs

## ■ Solution :

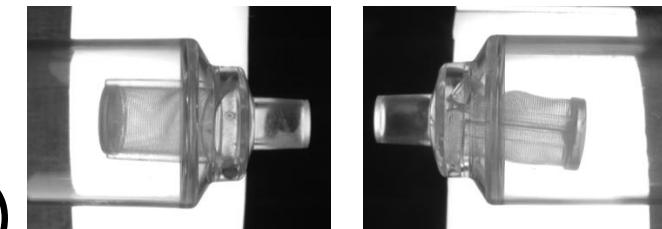
- Normalisation des imagettes (taille, contraste)
- Classification par réseau de neurones
- Ajustement en position
  - Détection des arêtes verticales puis horizontales
  - Par « *template matching* » sur les 2 triangles puis localisation relative





# Contrôles de conformité multiples

- But : inspection du filtre d'une chambre à goutte – 3 tâches :
  - longueur du filtre (T1)
  - centrage / récipient (T2)
  - diamètre du filtre à son extrémité sup. (T3)
- Solution :
  - Éclairage par l'arrière

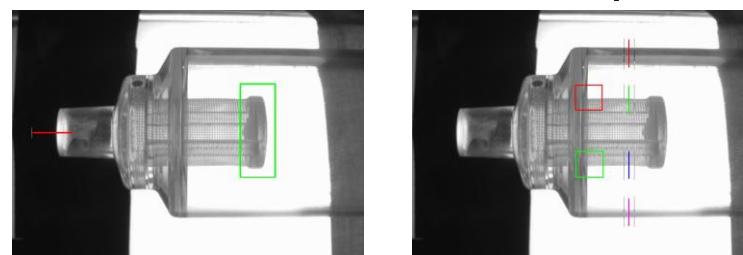
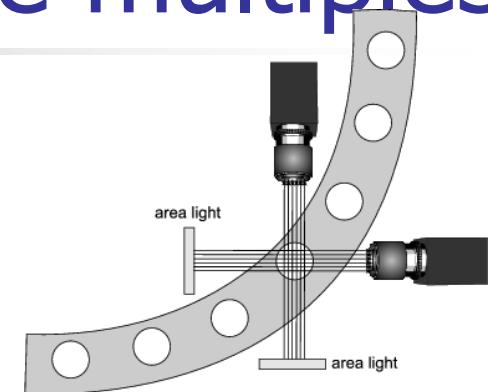




# Contrôles de conformité multiples

## ■ Solution :

- Système multi-caméras
- T1 (longueur du filtre) :
  - Ligne de recherche pour extraction extrémité sup. du goulot
  - Segmentation région pour extraction extraction inf. du goulot
- T2 (centrage) :
  - 4 lignes de recherche dédiées pour calcul de contours

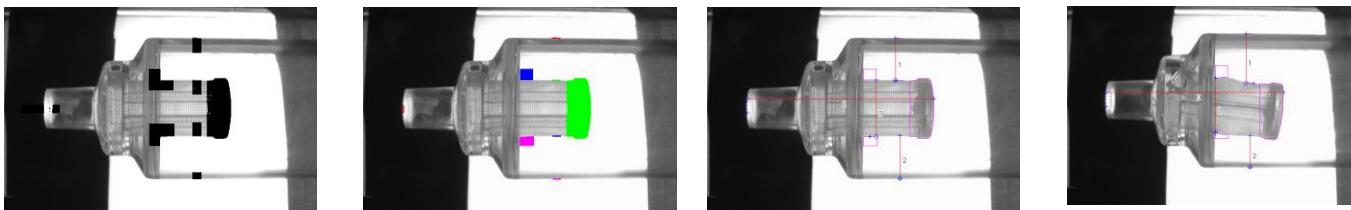




# Contrôles de conformité multiples

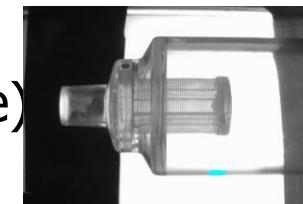
## ■ Solution :

- T3 (diamètre) :
  - Segmentation de régions par positionnement de ROIs
  - Simultanéité des tâches



## ■ Ajustement de la position :

- Pièces non rigoureusement verticales sur le convoyeur – comment positionner les ROIs ?
- Recalage / paroi inférieure (ligne de recherche)





# Bibliographie

- Les secrets de l'image vidéo. P.Bellaïche.  
Edition EYROLLES
- « Industrial image processing ». C.Demandt,  
B.Streicher-Abel, P.Waszkewitz. Edition  
SPRINGER
- « Handbook of machine vision ».  
A.Hornberg. Edition WILEY
- « Digital image processing ». R.C.Gonzalez  
et R.E.Woods. Edition Addison Wesley

**EXAMEN ECRIT : FEUILLE A4 RECTO VERSO**