

# Cours de traitement des images

## M1 INFO

16h de CM (4 + 4) + 1h de CC = 17h

14h de TD (3 + 4)

14h de TP (5 + 2)

C. Roudet - C. Mignot

Celine.Roudet, Cyril.Mignot@u-bourgogne.fr

## Introduction

### Contrôle des connaissances

#### o Évaluations sur table :

- **Contrôle d'1h** (30 min / partie) : 3 avril à 10h15 (**coef ¼**)
  - ✓ QCM / questions courtes → **aucun document autorisé**
  - ✓ revoir tous les CM / TD / TP ayant eu lieu avant
- **Examen** de 2h (1h / partie) : sem. du 15 mai (**coef ½**)
  - ✓ documents papiers autorisés (pas de livres, tél ni ordi portables)

#### o Évaluation des TPs et projet (coef ¼)

- Évaluations en **TP** pour chaque partie (1/3 de la note)
- **Projets par groupe de 4, 5 ou 6** (rapport et soutenance)

Traitement d'images

Céline ROUDET

2

### Analyse vs synthèse d'images

#### • Analyse d'images / vision par ordinateur :

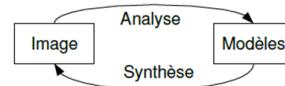
Extraire des modèles à partir d'images

Étapes : acquisition, traitement d'images, reconnaissance de formes

#### • Synthèse d'images :

Créer une image de synthèse à partir de modèles

Ex : **modèles** CSG, B-Rep, maillages, splines, surfaces implicites, ... **rendu** (OpenGL, lancer de rayon, ...)

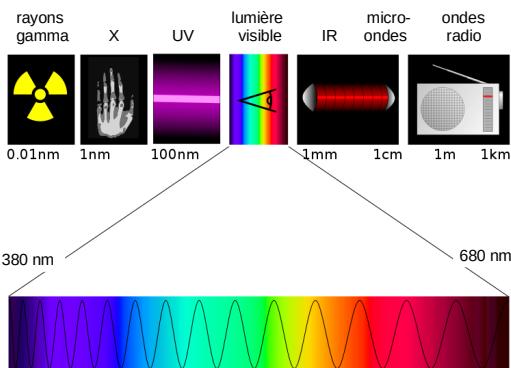


Traitement d'images

Céline ROUDET

4

### Lumière visible : spectre des ondes électromagnétiques



Source : Wikipedia

### Types d'images



**Images d'émission** : les éléments de la scène émettent les rayons électromagnétiques perçus par le capteur  
Ex : image thermique (IR), astronomie, imagerie fonctionnelle (TEP :  $\gamma$ ), microscopie par fluorescence, ...



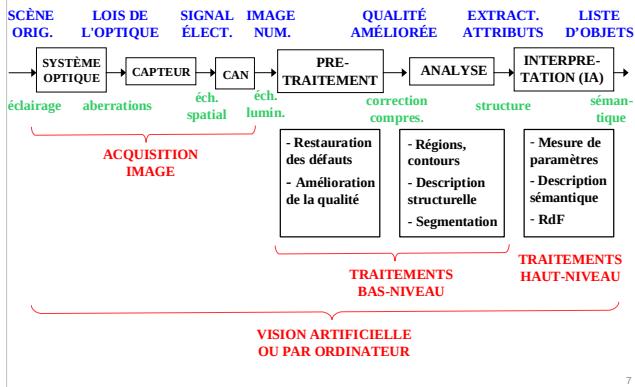
**Images de réflexion** : les rayons de la source sont réfléchis (ou diffusés) par 1 objet, puis atteignent le capteur  
Ex : photo, microscopie optique, microscopie électronique par réflexion, ondes radio, sonar, échographie, ...



**Images d'absorption (ou transmission)** : on s'intéresse aux rayons électromagnétiques absorbés ou transmis.  
Ex : radiographie, scanner, angiographie, tomographie X ou sismique, microscopie électronique à transmission, ...

6

## Vision artificielle ou par ordinateur



## Enjeux de la vision par ordinateur

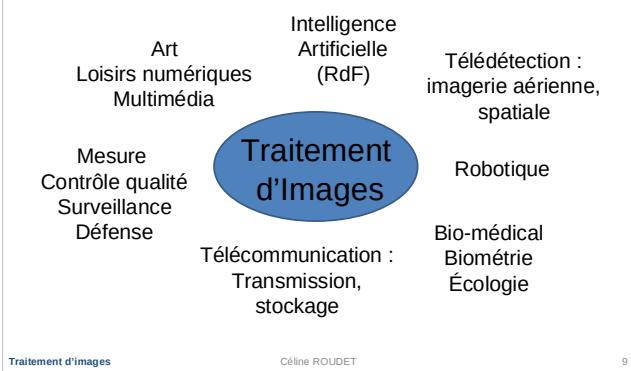
- **Discipline jeune (~ années 60) qui évolue rapidement**
- **En pleine expansion :**
  - ✓ énormes volumes de données stockées, transmises
  - ✓ problèmes mal posés, subjectifs et difficiles à formaliser
  - ✓ multiplication permanente d'applications et d'enjeux industriels
- **Aspect pluridisciplinaire :**
  - ✓ informatique, optique, électronique, traitement du signal, technologie des capteurs, statistiques, probabilités, neurosciences ...
- **Domaines d'application :**
  - ✓ bio-médical, télécommunications, robotique, automobile, défense, météorologie, écologie, loisirs numériques, art ...

Traitement d'images

Céline ROUDET

8

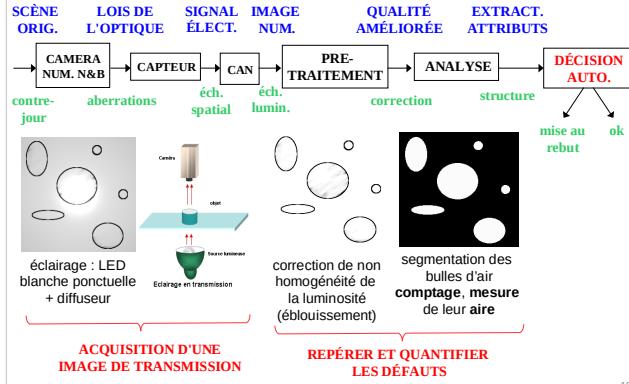
## Traitement d'images : domaines d'application



Traitement d'images

Céline ROUDET

## Ex : mesure de la qualité d'une vitre transparente



10

## Autre ex. traité au TD2 : papillonnage (flicker) dans les vidéos

### Défauts de contraste dus à la fois à :

- dégradation chimique du support du film (crée des zones plus sombres ou plus claires lors du visionnage),
- problèmes de ips d'exposition variables d'une image à l'autre.

### Se rencontre :

- surtout sur les films tournés à l'époque où la pellicule était entraînée manuellement,
- mais aussi dans des films plus récents (vidéos de type vidéo-surveillance ou vidéo-amateur).

### Difficulté principale :

- ne fait pas apparaître de nouvelles structures dans les images (contrairement aux défauts classiques : rayures, poussières, ...),
- transparent, voire quasiment invisible sur une image isolée,
- seul le visionnage des images successives du film permet de se rendre compte de sa présence.



11

## Plan des CM : partie C. Roudet

- **CM1 et 2 (acq./restauration)** : défauts des systèmes d'acquisition, LUT, étirement/égalisation/spécification d'histog.
- **CM2 et 3 (débruitage)** : modèles de bruit et qualité d'une image, amélioration d'image (retrait du bruit par filtrage)
- **CM4 (contours & segm.)** : détection et codage des contours, segmentation basée contours / régions / mixtes

Traitement d'images

Céline ROUDET

12

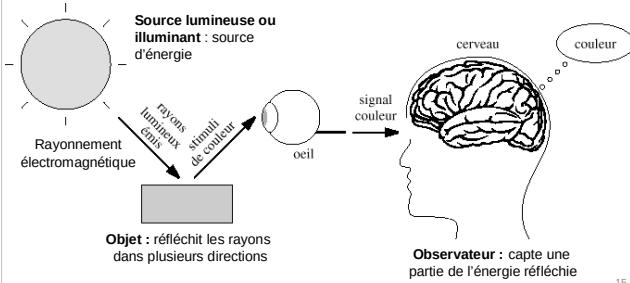
## Plan du CM1

- **Rappels** : perception de la lumière / couleur
- Défauts d'acquisition entraînant du bruit sur l'image :
  - principes et défauts des capteurs numériques
  - défauts des systèmes optiques
- **Rappels** : l'image numérique
- Profil et histogramme d'une image, LUT
- Étirement, égalisation et spécification d'histogramme

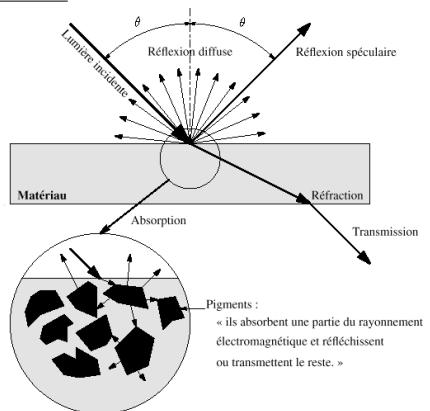
## Rappels : perception de la lumière / couleur et principes d'optique géométrique

### Perception humaine des images et de la couleur

- **Couleur** = phénomène physique interprété par le système visuel
- Bâtonnets et cônes RVB → courant au cerveau, via le nerf optique
- Couleur perçue = combinaison luminance, teinte, saturation (pureté)

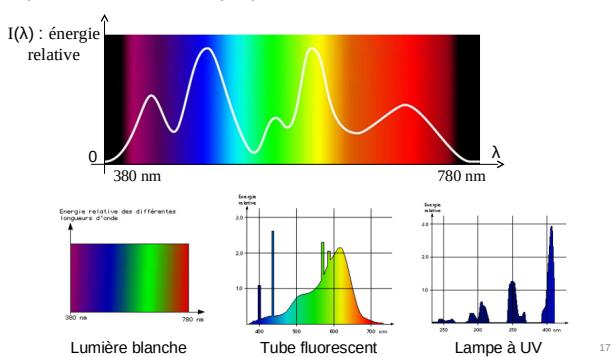


### Réflexion, absorption et transmission



### Caractéristiques d'une source lumineuse

**Lumière** : flux de particules énergétiques propagées sous forme d'onde  
**Spectre de luminance énergétique** : variation de la luminance en fonction de  $\lambda$



### Caractéristiques d'une source lumineuse (2)



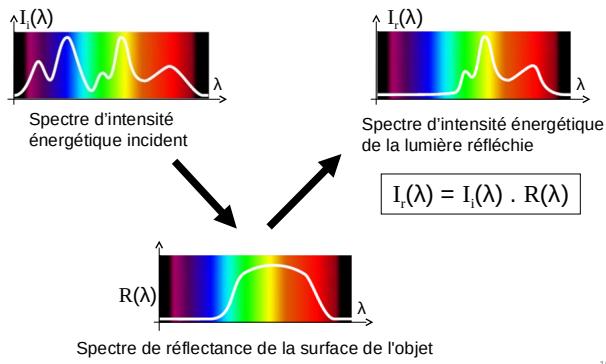
lumière naturelle  
sodium haute pression



sodium basse pression  
mercure haute pression



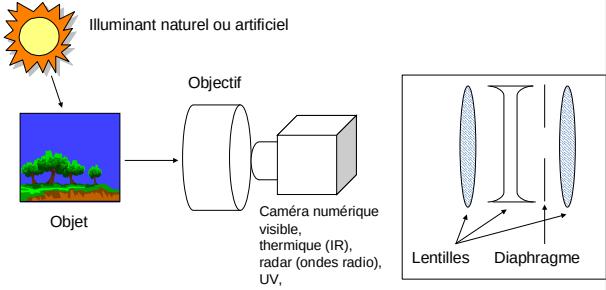
## Interaction source lumineuse / objet



19

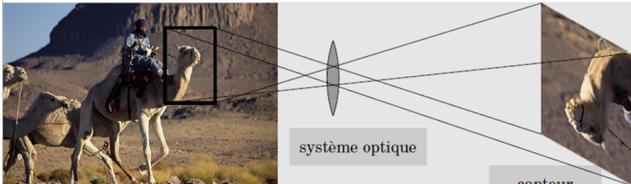
## Éléments d'optique géométrique

Rôle : projeter une scène 3D sur un plan 2D



20

## Système optique à lentilles



### Projection sur un plan

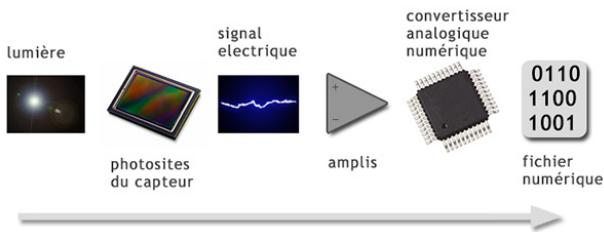
- au travers d'un **système optique**
- **image** = projection d'une partie de l'information lumineuse de la scène **S** sur le **plan image** (composé de **capteurs numériques**)
- observation :  $g * S$  où  $g$  est la **réponse impulsionnelle** du système optique (réponse à une impulsion de Dirac)

Image tirée des cours d'optique de l'Univ. de Lille

21

## Systèmes d'acquisition : principes et défauts des capteurs numériques

## La chaîne d'acquisition (très simplifiée)



Chaque étape → source de **bruit** (perte de **nettete** dans les détails)

23

## Signal utile, parasite et bruit

**Signal utile :** signal représentant fidèlement une scène

**Appareils numériques imparfaits :** 2 défauts à corriger

- **signaux parasites** ou erreurs systématiques (constantes)
- **bruits de mesure** ou erreurs aléatoires

**Qu'est-ce qu'un signal ?**

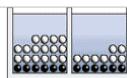
- **déterministe, répétitif, reproduit** (mêmes conditions)
- signaux parasites connus par **calibrage**

**Qu'est-ce qu'un bruit ?**

- **perturbation aléatoire : non reproduit**
- suppression complète impossible, réduction envisageable
- visible dans les zones peu éclairées ou uniformes

24

## Principes d'un capteur numérique

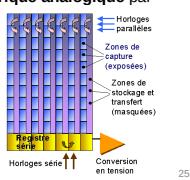


« Matrice » de photosites (capteurs discrets) qui :

- échantillonnent spatialement l'image (axes x et y),
- « transforment » les photons en électrons (effet photo-électrique),
- collectent les électrons dans un puits de potentiel (nombre proportionnel à la quantité de lumière reçue et puis saturé si temps d'intégration important).

## Association cellule photosensible / transfert de charges

- énergie lumineuse (UV / visible / IR) → signal électrique analogique par intégration temporelle
- **Transfert / Balayage** : à la fin du **temps d'intégration**, évacuer les charges produites par la conversion d'énergie
- Signal amplifié (gain) puis numérisé (CAN) pour obtenir l'image numérique

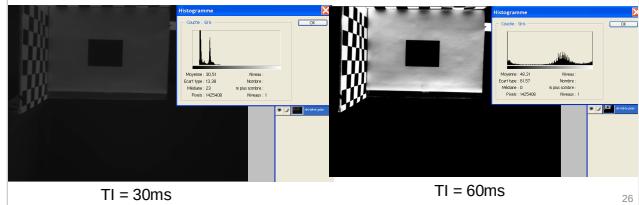


25

## Temps d'intégration (TI) vs bruit

Augmenter le **temps d'intégration (d'exposition)** :

- augmente la **quantité / densité de photons** sur chaque photosite
- augmente la **température** (capteur) et la **dynamique** (image)
- augmente le **bruit thermique** (de lecture / de courant noir)
- mais le **bruit de photons** (principale source de bruit) **diminue**



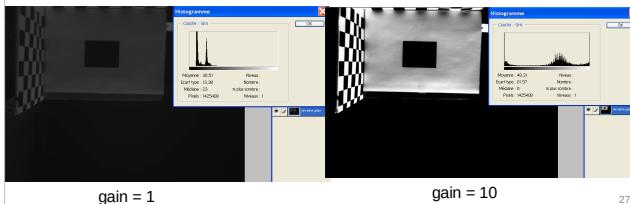
26

## Gain (amplification) vs bruit

Augmenter le gain applique un **coefficient multiplicateur** à l'intensité lumineuse :

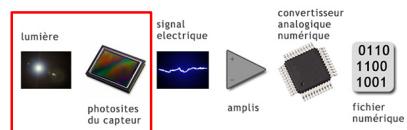
- amplifie le signal et le **bruit**
- augmente la **dynamique**

Attention à la **saturation** (blooming)



27

## Signaux parasites et bruits principaux



0110  
1100  
1001

fichier numérique

Signal parasite dû aux **défauts de l'optique** : cf. partie suivante

Bruit photonique dû aux **propriétés quantiques** de la lumière

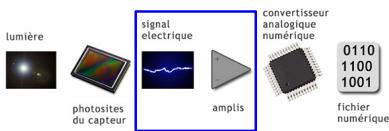
- même si la lumière semble constante, les photons n'arrivent pas au même rythme sur tous les photosites (phénomène probabiliste)
- diminue avec l'intensité lumineuse et le temps d'intégration
- **principale source de bruit d'une photo**

Signal parasite dû aux **défauts du capteur**

- différences de sensibilité, non linéarité des photosites
- poussières sur le capteur (ou défaillance)

28

## Signaux parasites et bruits principaux (2)



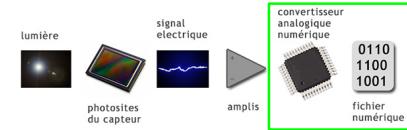
**Bruit thermique / courant d'obscurité** (ou courant noir)

- dû à l'agitation thermique (électrons se perdent ou apparaissent sans raison)
- surtout produit lors du transfert d'une colonne vers un registre de lecture
- même en l'absence de lumière : faible signal électrique généré
- augmente avec la température du capteur

**Bruit d'amplification** : augmente avec le gain

29

## Signaux parasites et bruits principaux (3)



0110  
1100  
1001

fichier numérique

**Bruit de quantification**

- signal électrique transformé en information numérique
- bruit diminue quand le nombre de bits augmente (moins sur 14 bits que sur 8)
- analogie avec la qualité sonore d'un enregistrement sur CD ou MP3

**Bruit dû à la création d'un fichier numérique**

- compression (perte de données) sauf avec le format RAW

30

## Systèmes d'acquisition : défauts des systèmes optiques

### Modèle d'acquisition : la partie « optique »

On observe une scène  $\mathbf{S}' = \mathbf{g} * \mathbf{S}$

où  $\mathbf{g} = \mathbf{g}_{\text{ouv}} + \mathbf{g}_{\text{mp}} + \mathbf{g}_{\text{fil}} + \mathbf{g}_{\text{aber}}$

- $\mathbf{g}_{\text{ouv}}$  : ouverture finie (diffraction)

- $\mathbf{g}_{\text{mp}}$  : défaut de mise au point

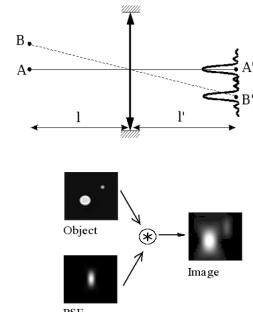
- $\mathbf{g}_{\text{fil}}$  : flou de bougé (ou de filé)

- $\mathbf{g}_{\text{aber}}$  : flou dû aux aberrations

$\mathbf{g}$  = réponse impulsionnelle (PSF : Point Spread Function) du système optique

- phénomène non pris en compte : **flou variable** selon la distance des objets à l'appareil photo

- on néglige les **interférences électromagnétiques**

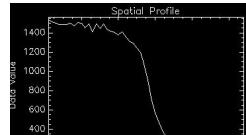
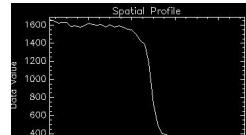
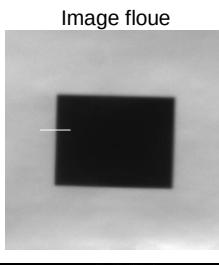
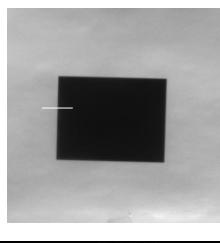


Sources : P. Bonnet

A. Roman

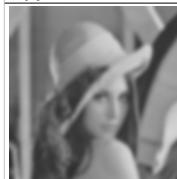
32

### Le flou



33

### Types de flou



Flou de mouvement du sujet

Flou de mouvement du sujet : appareil stable, mais le sujet bouge rapidement par rapport à la vitesse d'obturation



Source : <https://secure.flickr.com/photos/laurenbrella/4720905876/>



Flou de mise au point



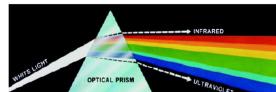
Source : <https://secure.flickr.com/photos/jknutzen/371065844/in/photostream/>

flou de filé : inverse de  
Pour saisir des sujets rapides, notamment en photo de sport (voulu)

### Qualité de la lentille : aberrations

#### 1) Aberration chromatique

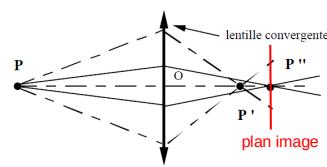
Conséquence : franges colorées



2) Géométriques : caractéristiques d'une lentille qui l'empêche de former l'image d'un point objet en un seul point du plan image

#### Aberration sphérique

Conséquence : Image floue

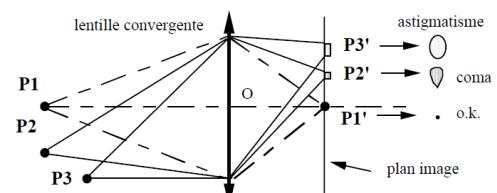


Sources : S. Roy

### Qualité de la lentille : astigmatisme

➤ Image d'un point étalée (ovale ou coma) car trajets optiques différents suivant les axes horizontal et vertical de la lentille

Conséquence : étalement de l'image (flou)



36

## Qualité de la lentille

**> Distorsion géométrique**  
Rapport image/objet non uniforme  
**Conséquence :** image déformée

**Distorsion =  $f / h \times 100\%$**   
Image obtenue avec distorsion (sur grand angle)

**> Vignettage**  
Rayons plus dispersés sur le bord des lentilles qu'à proximité de l'axe optique  
**Conséquence :** image plus claire au centre qu'aux bords

## Qualité de la lentille : résultats

La qualité des lentilles influence la qualité des images obtenues



aberration chromatique



vignettage

aberration géométrique (coussinet)



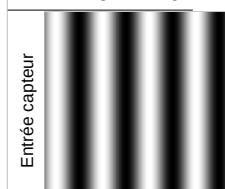
38

## Fonction de transfert de modulation (FTM)

- **Défauts** des systèmes optiques : rendent **floue** l'image
  - Phénomène mesuré quantitativement par la **FTM** :
    - ✓ aptitude de l'objectif à fournir des images riches en **détails**
    - ✓ **perte de contraste** de l'objet : fonction de sa **fréq. spatiale**
    - ✓ se mesure à l'aide d'une **mire de test projetée** :
- $I(x,y) = A_0 \sin(2\pi f_x x)$  : sinusoïde d'amplitude  $A_0$
- ✓ **amplitude résultante A** : mesuré pour **différentes fréq.  $f_x$**
  - ✓ **rapport A(f) / A<sub>0</sub>(f)** représente la **FTM**

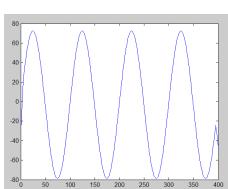
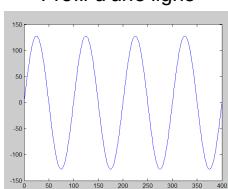
39

## Ex : Mire $F = 0.1$ Hz



Sortie capteur

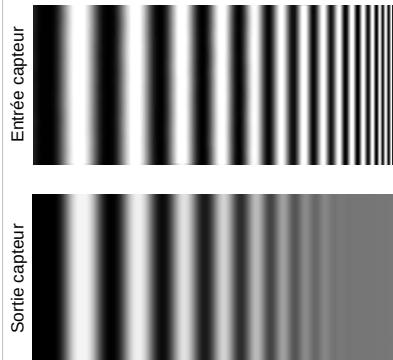
## Profil d'une ligne



$$FTM(0.1) = 75 / 128 = 0.58$$

40

## Fonction de transfert de modulation (FTM)



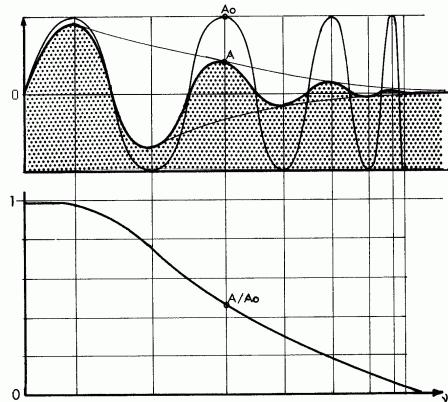
Noir → val. négative  
Blanc → val. positive  
Gris → val. proche de 0

Mire sinusoïdale avec fréquences variables

Source : Wikipedia

41

## Fonction de transfert de modulation (FTM)



Source : Wikipedia

42

## Filtrage de flou

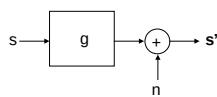
Méthode inverse : filtre de Wiener

$s'$  : image floue et bruitée

$s$  : image nette

$g$  : PSF

$n$  : bruit



$$s' = g^*s + n$$



si le bruit est faible, chercher à estimer au mieux la **PSF  $g$**  (ou la **FTM** = sa **Transformée de Fourier**) pour se rapprocher de  $s$

→ **déconvolution d'image** (division dans Fourier)

43

## QCM et questions simples

1) Laquelle n'est pas une **aberration géométrique** ?

- a) Distorsion
- b) Vignettage
- c) Astigmatisme
- d) Aberration chromatique
- e) Aberration sphérique

3) Lorsqu'on augmente le **temps d'intégration** :

- a) la dynamique de l'image diminue
- b) la dynamique de l'image augmente
- c) la quantité de photons enregistrés sur le capteur augmente
- d) on peut aboutir à une saturation
- e) on diminue la résolution spatiale

2) Qu'est-ce que l'**effet de saturation** pour un capteur numérique ?

- a) effet de courbure des rayons lumineux entraînant un flou sur l'image
- b) effet obtenu à cause d'un trop fort éclairage (forte luminosité)
- c) effet obtenu à cause d'un trop faible éclairage (faible luminosité)
- d) défaut qui produit une image plus claire au centre que sur les bords

4) Le **flou** dans une image :

- a) correspond à un bruit multiplicatif
- b) correspond à un bruit additif
- c) n'apparaît que lorsque le temps d'intégration est trop important
- d) correspond à un bruit convolutif
- e) nécessite pour être retiré de connaître la PSF ou la FTM du système

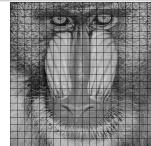
44

## Rappels : l'image numérique

### L'image numérique

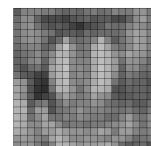
#### • Pavage rectangulaire de l'espace

- ✓ élément du pavage = pixel (coordonnées entières)



#### • Échantillonnage

- ✓ discrétilsation spatiale d'une image
- ✓ **sous-échantillonnage** (image déjà discrétilisée) : diminuer le nb de pixels



#### • Quantification

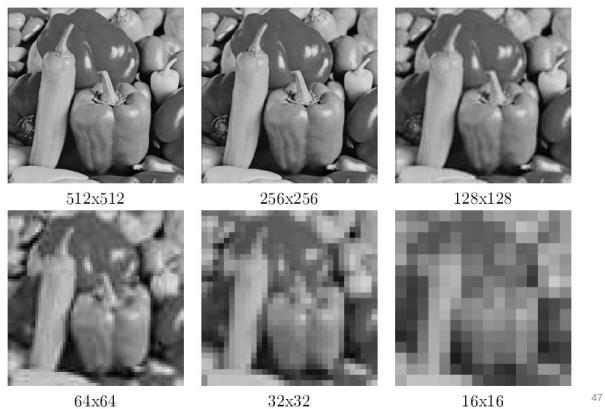
- ✓ **discrétilsation tonale** : limiter le nb de valeurs différentes que peut prendre chaque pixel



**Image numérique = image échantillonnée et quantifiée**

45

## Échantillonnage spatial (définition/résolution spatiale)



47

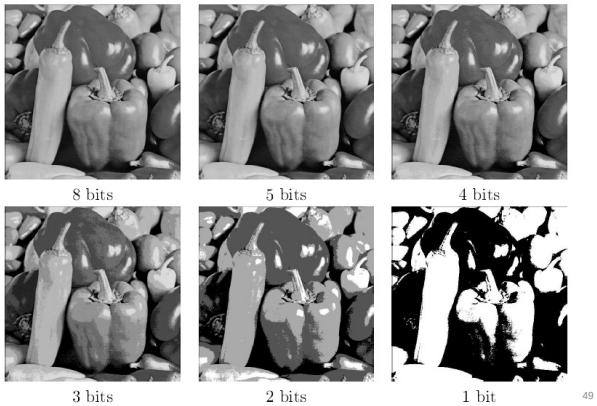
## Sous-échantillonnage (effet de Moiré)



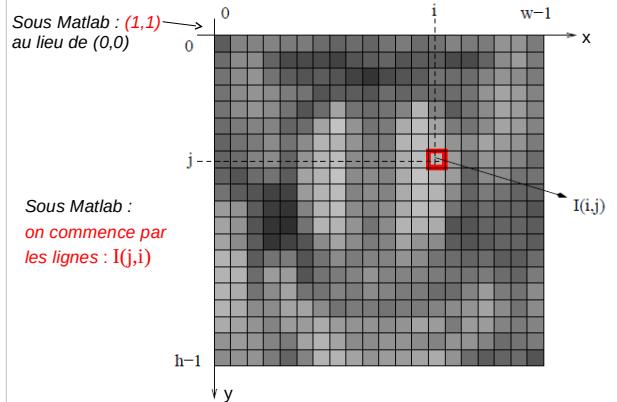
sous-échantillonnage → fait apparaître des fréquences parasites dues au **repliement du spectre (ou aliasing)**

48

## Quantification (résolution tonale ou dynamique)



## Représentation d'une image numérique : matrice



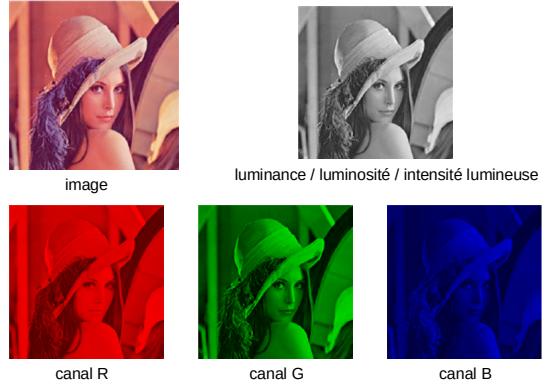
50

## Composantes d'une image

- 1 seule : niveau de gris (ou monochrome)**
  - NG = **luminance** (valeur de l'éclairement énergétique reçu par le capteur image)
- Images couleurs : 3 composantes**
  - composantes standard : **R, G, B**
  - perception des couleurs par l'être humain (cônes)
- Images multi ou hyper-spectrales**
  - chaque composante : éclairement reçu par le capteur dans 1 **gamme de fréquences** du signal électromagnétique



## Composantes d'une image couleur



52

## Quelques éléments simples d'une image



Image tirée du cours de B. Michoud

## Taille des données image

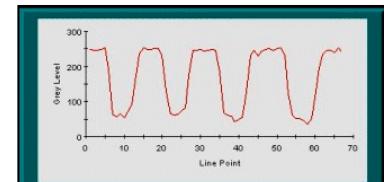
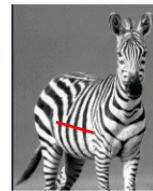
- Dimension** du support : **w** colonnes . **h** lignes
- Nb composantes/canaux** : **n**
- Nb bits de quantification** : **m**
- Taille** (en bits) = **w . h . n . m**
- Exemples :**
  - image **monochrome** (256x256, **binnaire**) :  $256 \times 256 \times 1 \times 1 = 65\,536$  bits = 8 Ko
  - image **4 canaux** (2048x2048, **12 bits/canal**) :  $2048 \times 2048 \times 4 \times 12 = 201\,326\,592$  bits = 24Mo
  - image **en vraies couleurs** (512x512) :  $512 \times 512 \times 3 \times 8 = 6\text{Mb} = 768$  Ko

54

## Profil et histogramme d'une image

### Profil

- **Ensemble des niveaux de gris (NG) le long d'un segment**
  - ✓ appréhender la "structure" des NG avant d'effectuer des traitements dessus
- **Pour une image couleur (RGB)**
  - ✓ 3 profils (un pour chaque composante)



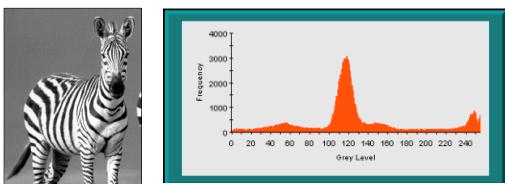
Images tirées du cours d'I. Foucherot

56

## Histogramme d'une image I

### Définit par la fonction $H : N \rightarrow N$ (entiers naturels)

- pour tout NG  $n \in [0, 255]$
- $H[n] = \text{nb apparitions}$  du NG  $n$  dans l'image  $I$
- Indication de la **dynamique** de l'image
- Résumé simple, mais souvent suffisant du **contenu** de l'image
- Peut permettre d'**isoler des objets**



Images tirées du cours d'I. Foucherot

57

## Histogramme d'une image : algorithme

$H$  : tableau de taille égale au nombre  $L$  de NG de l'image  
Pour tout  $n$  de  $1$  à  $L$  : on initialise  $H[n]$  à  $0$

Pour tout pixel  $(i,j)$  de l'image  $I$  :  $H[I(i,j)] = H[I(i,j)] + 1$

1	1	2	2	3	1	4	12	10	1	3
3	2	2	2	4	11	10	9	9	8	3
5	2	2	6	9	0	0	15	1	7	7
9	2	6	1	5	5	11	10	7	7	7
3	3	11	8	9	10	10	5	9	7	7
8	1	1	3	4	8	9	9	8	7	3
8	9	0	0	1	1	0	6	6	7	8
6	8	5	1	3	5	3	6	1	7	9

Le pixel de valeur 2 apparaît 8 fois

Le pixel de valeur 7 apparaît 10 fois

Image tirée du cours de S. Mavromatis

58

## Histogramme d'une image : exemples

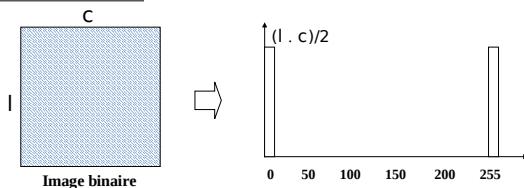
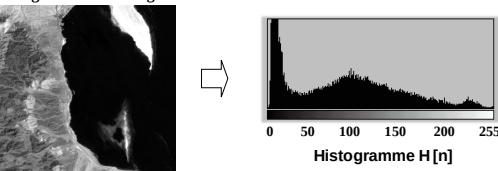


Image binaire



Histogramme  $H[n]$

## Histogramme d'une image : exemples (2)

Image « Claire »



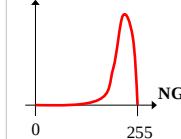
Image « Sombre »



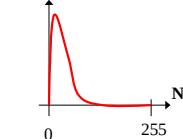
Image « Bi-Modale »



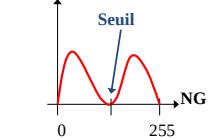
Nb Pixels



Nb Pixels



Nb Pixels



60

## Histogramme d'une image : interprétation

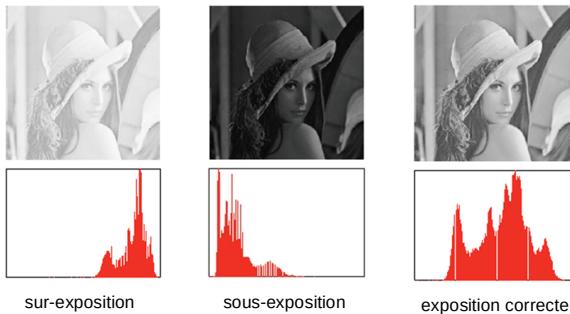


Image tirée du cours de S. Mavromatis

61

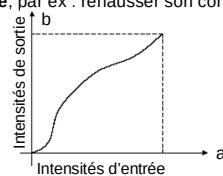
## Transformation ponctuelle de l'intensité d'une image :

### Look Up Table (LUT)

## Traitement ponctuel des images

- Correction de chaque pixel : ne dépend que de sa valeur**
  - à tout pixel d'intensité  $a \rightarrow$  nouvelle intensité  $b$ , telle que  $b = f(a)$
  - $f$  croissante : conserver les **contrastes relatifs** entre régions
- $f$  n'affecte pas la forme des régions**
  - mais modifie l'**apparence visuelle**
  - utilisé pour **améliorer l'image**, par ex : rehausser son contraste

- Représentation de  $f$  :
- graphe discret / table
  - Look Up Table (LUT)

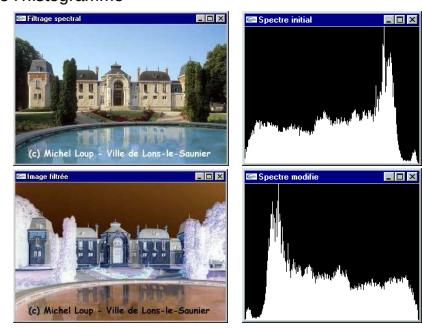


63

## Exemple de LUT

### Traitements souvent calculés au niveau des capteurs

- Modification de l'histogramme



64

## Changement de la luminosité



Rapprocher dans les mêmes proportions, les composantes RGB du **minimum** (resp. du **maximum**) pour **assombrir** (resp. **éclaircir**) l'image



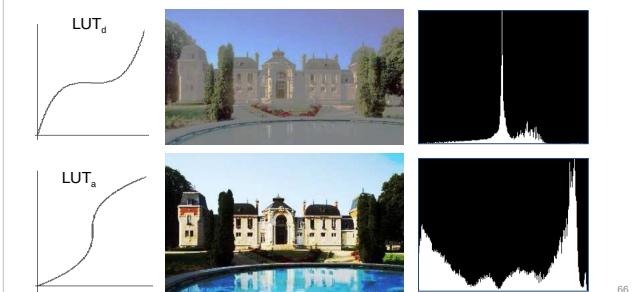
65

## Changement de contraste



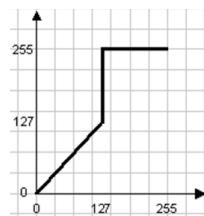
**Diminuer** le contraste : teinte déplacée pour se rapprocher de la **teinte moy.**

**Augmenter** : teinte déplacée pour **rapprocher** du max (resp. min), les composantes de valeur supérieure (resp. inférieure) à la moyenne



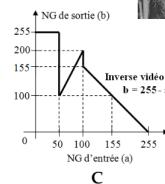
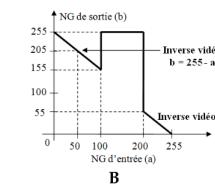
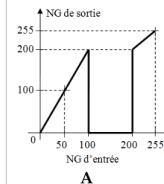
66

## Autre exemple de LUT (continue par morceaux)



67

## Exercice



68

## QCM et questions simples

1) Si on applique une symétrie d'axe vertical à une image (i.e. on prend l'image miroir), quelle sera l'allure de l'histogramme ?

- a) il est identique
- b) c'est l'histogramme symétrique (miroir)
- c) il peut être complètement différent
- d) il est impossible de prédire son allure

3) Sur une courbe LUT, l'axe y (axe des ordonnées) représente :

- a) un nombre de pixels
- b) un niveau de gris
- c) un numéro de ligne dans l'image
- d) un numéro de colonne dans l'image

2) Si la courbe de modification de l'histogramme (LUT) est au-dessus de la diagonale (droite d'équation  $y=x$ ), alors :

- a) tous les pixels sont éclaircis
- b) tous les pixels sont assombris
- c) l'histogramme va être décalé vers la droite
- d) l'histogramme va être décalé vers la gauche

4) Que peut-il se produire lors du sous-éch. spatial d'une image numérique ?

- a) une perte des détails de l'image
- b) une perte de netteté
- c) des effets de Moiré ou d'aliasing
- d) une diminution du contraste de l'image

69

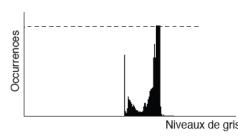
## Transformation ponctuelle de l'intensité d'une image :

### Étirement, égalisation et spécification d'histogramme

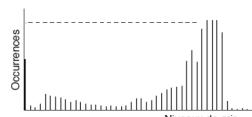
## Étirement d'histogramme (*recadrage, expansion*)

### Transformation affine du niveau de gris des pixels

- si **faible contraste** : certains objets difficilement visibles
- redéployer les NG sur toute la **dynamique**



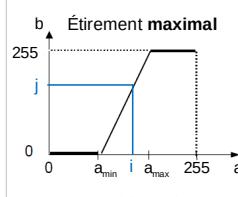
Meilleur  
contraste



Images tirées du cours de S. Mavromatis

71

## Étirement d'histogramme : principe



Application de la **transformation linéaire** :

$$T : [a_{\min}, a_{\max}] \rightarrow [0, 255]$$

$$a \rightarrow b = 255 \cdot (a - a_{\min}) / (a_{\max} - a_{\min})$$

$$b = \beta \cdot a + \alpha \iff y = ax + b$$

$a_{\min}$  = NG min de l'image d'entrée

$a_{\max}$  = NG max de l'image d'entrée

$$\beta = (b_{\max} - b_{\min}) / (a_{\max} - a_{\min}) = 255 / (a_{\max} - a_{\min}) \leftarrow \text{coefficient directeur}$$

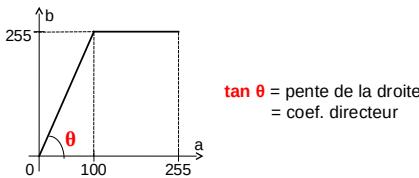
$$b = a \cdot 255 / (a_{\max} - a_{\min}) + \alpha \leftarrow \text{en } b = 0, a = a_{\min} :$$

$$\alpha = -255 \cdot a_{\min} / (a_{\max} - a_{\min}) \leftarrow \text{ordonnée à l'origine}$$

$$b = a \cdot 255 / (a_{\max} - a_{\min}) + (-255) \cdot a_{\min} / (a_{\max} - a_{\min}) = 255 \cdot (a - a_{\min}) / (a_{\max} - a_{\min})$$

72

## Étirement d'histogramme : exemple



les NG de l'image I sont entre 0 et 100 ( $a_{min} = 0$  et  $a_{max} = 100$ )

$$T : [0, 100] \rightarrow [0, 255]$$

$$a \rightarrow b = 255.(a - 0) / (100 - 0) = 255.a / 100$$

$$b = \beta.a + \alpha$$

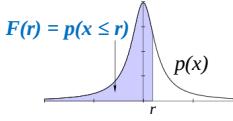
$$\beta = 255/100 = 2,55 \quad \alpha = 0$$

73

## Rappels sur les probabilités

Densité de Probabilité d'une VA X continue:  $p(x)$

Fonction de répartition d'une VA X continue:  $F(r) = \int_{-\infty}^r p(x)dx$



Densité de probabilité d'une VA discrète:  $P(n) = \frac{N_n}{N}$  avec:

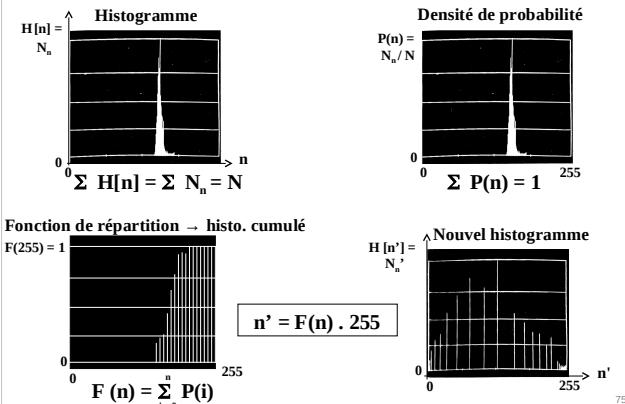
$N_n$  = nb pixels ayant le NG  $n$

$N$  = nb pixels total de l'image

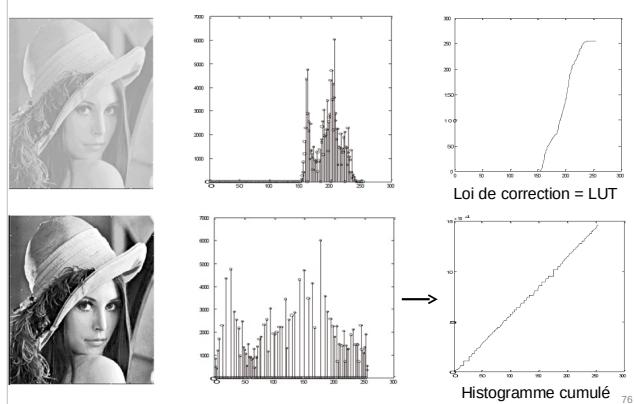
Fonction de répartition d'une VA discrète:  $F(n) = \sum_{i=0}^n P(i)$

74

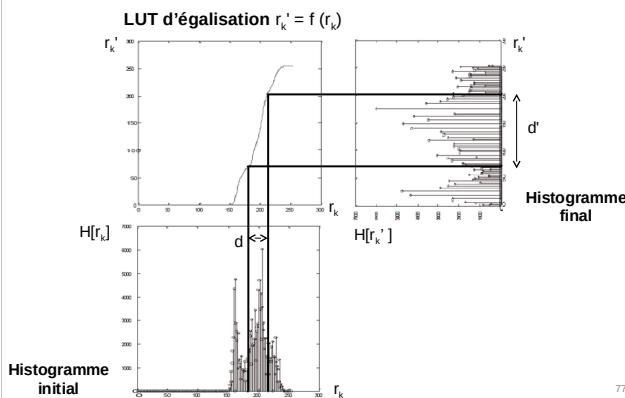
## Égalisation d'histogramme : principe



## Égalisation d'histogramme : exemple1



## Égalisation d'histogramme : exemple1 (2)



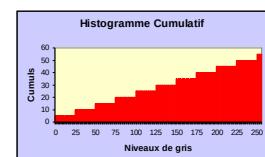
## Histogramme cumulé / cumulé normalisé

### • Histogramme cumulé :

nb pixels de NG  $\leq x$  dans l'image I

fonction HC :  $\mathbf{N} \rightarrow \mathbf{N}$

$$x \rightarrow \sum_{n=0}^x H[n]$$

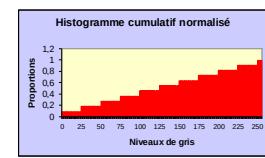


### • Histogramme cumulé normalisé :

fonction HCN :  $\mathbf{N} \rightarrow \mathbf{R}$

$$x \rightarrow HC[x] / N$$

proportion de pixels de NG  $\leq x$  dans I



78

## Égalisation / linéarisation d'histogramme

Équilibrer au mieux la distribution des pixels dans la dynamique

- ✓ **idéalement** : linéarisation exacte → **histogramme plat**
- ✓ linéarisation exacte pratiquement impossible (*données discrètes*)
- ✓ **augmente la clarté / le contraste** de l'image

Application de la **transformation** suivante :

$$T : [a_{\min}, a_{\max}] \rightarrow [0, 255]$$

$$a \rightarrow b = (255 - 0) \cdot HCN[a] + 0 = 255 \cdot HCN[a]$$

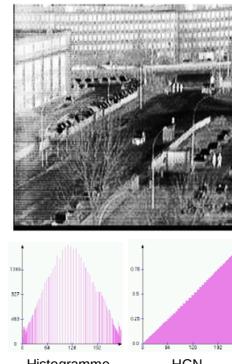
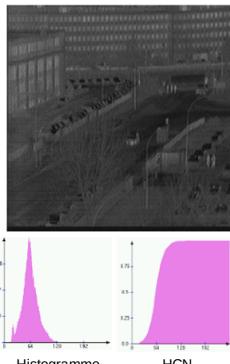
$a_{\min}$  = NG min de l'image

$a_{\max}$  = NG max de l'image

$HCN[x]$  = histogramme cumulé normalisé en x

79

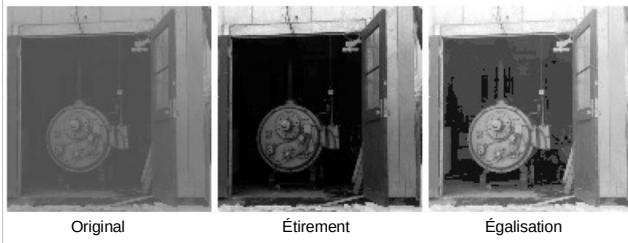
## Égalisation d'histogramme : exemple2



Images tirées du cours d'A. Manzanera

80

## Augmentation du contraste : étirement vs égalisation



Original

Étirement

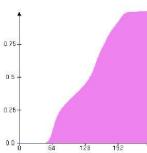
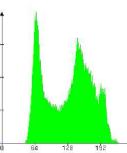
Égalisation

Rehaussement du contraste : **plus marqué avec l'égalisation** (*détection de structures situées dans l'ombre*)

- tout NG **fortement** représenté → étiré
- tout NG **faiblement** représenté → fusionné avec d'autres niveaux proches

81

## Étirement d'histogramme

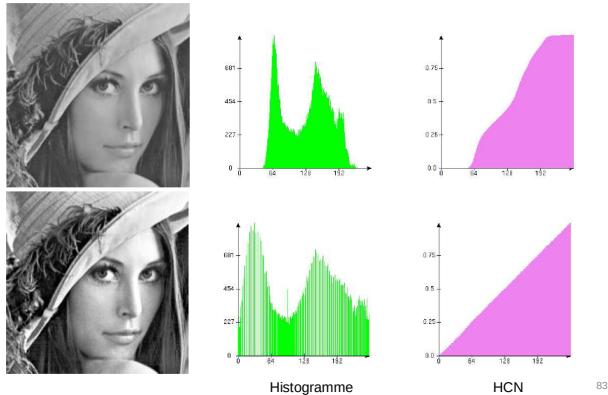


Histogramme

HCN

82

## Égalisation d'histogramme

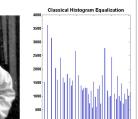
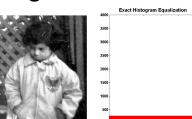
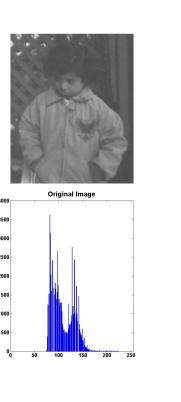


Histogramme

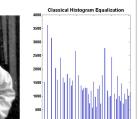
HCN

83

## Spécification d'histogramme

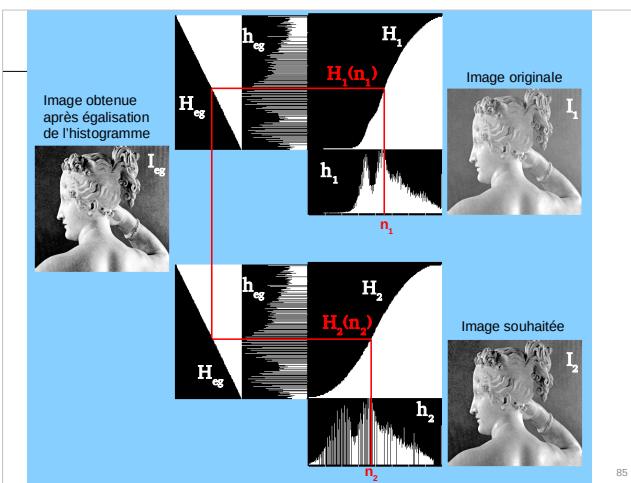


Exact Histogram Specification

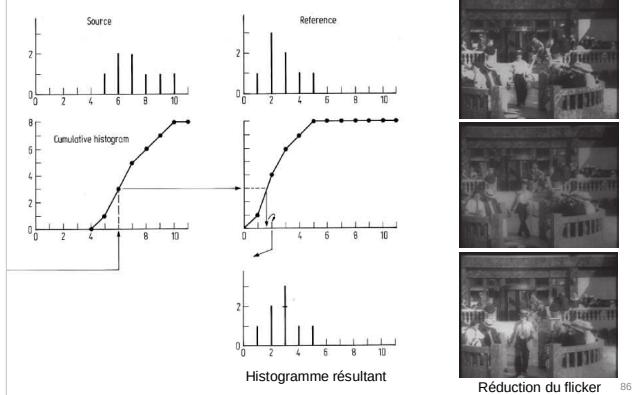


Exact Histogram Specification

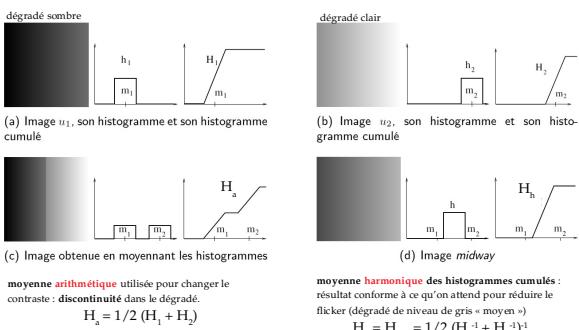
84



## Spécification d'histogramme et application



## Restauration de vieux films (retrait du flicker)



87

## QCM et questions simples

- 1) Pour **rehausser le contraste** d'une image, on peut :
  - a) faire une égalisation d'histogramme
  - b) augmenter l'exposition (le temps d'intégration)
  - c) binariser l'image
  - d) manipuler l'histogramme via une LUT
- 2) Qu'appelle-t-on **image multi-spectrale** ?
  - a) une image en niveaux de gris
  - b) une image monochrome
  - c) une image à plusieurs composantes (canaux)
  - d) l'image du spectre de Fourier
  - e) l'image de luminance
- 3) **L'égalisation d'histogramme** :
  - a) permet d'avoir rigoureusement le même nb de pixels pour chaque NG
  - b) nous oblige à affecter des NG différents à des pixels de même NG
  - c) augmente en général le contraste
  - d) diminue en général le contraste
- 4) **Graphique** associant à chaque NG le % de pixels **au moins** aussi sombres que lui :
  - a) histogramme
  - b) histogramme cumulé
  - c) fonction de répartition
  - d) densité de probabilité
- 5) Calcul pour obtenir la **taille** d'une image en vraies couleurs de définition 512×512 ?
- 6) Expliquer quelles sont les étapes à considérer pour réaliser une **égalisation** de l'histogramme d'une image en niveaux de gris.
- 7) Expliquer la différence entre l'**étirement** et l'**égalisation** d'histogramme (à l'aide d'exemples).

88

## Références

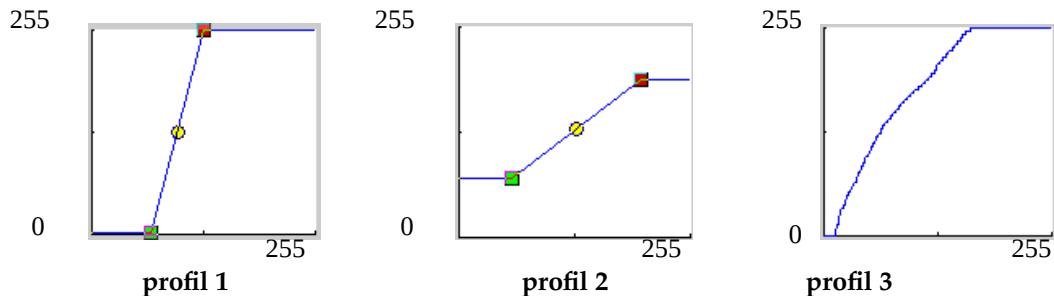
- A. Rosenfeld, A.C. Kak, "Digital picture processing" Academic Press London 1982
- A.K. Jain, "Fundamentals of digital image processing", Prentice Hall, New Jersey, 1989
- J.S. Lim, "Two-dimensional signal and image processing", Prentice Hall, New Jersey, 1990
- M. Kunt, G. Granlund, M. Kocher, "Traitement numérique des signaux", Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1993
- J.P. Cocquerez et S. Philipp, "Analyse d'images : filtrage et segmentation", Masson 1995
- J.R. Parker, "Algorithms for Image Processing and Computer Vision" Wiley & Sons 1997
- I.T. Young, J.J. Gerbrands et L.J. Van Vliet, "Fundamentals of Image Processing", Delft University of Technology 1998
- R.C. Gonzalez et Woods, "Digital Image Processing 2<sup>nd</sup> edition", Addison Wesley 2002
- H. Maître, "Le traitement des images", Hermès Lavoisier IC2 2003
- S. Bres, J.M. Jolion, F. Lebourgeois, "Traitement et analyse des images numériques", Hermès Lavoisier 2003
- A.Trémaud, C. Fernandez-Maloigne, P. Bonton, "Image numérique couleur - De l'acquisition au traitement", Dunod 2004
- D. Lingrand, "Introduction au Traitement d'images", Vuibert 2004
- M. Bergounioux, "Introduction au traitement mathématique des images, méthodes déterministes ", Springer 2015

89

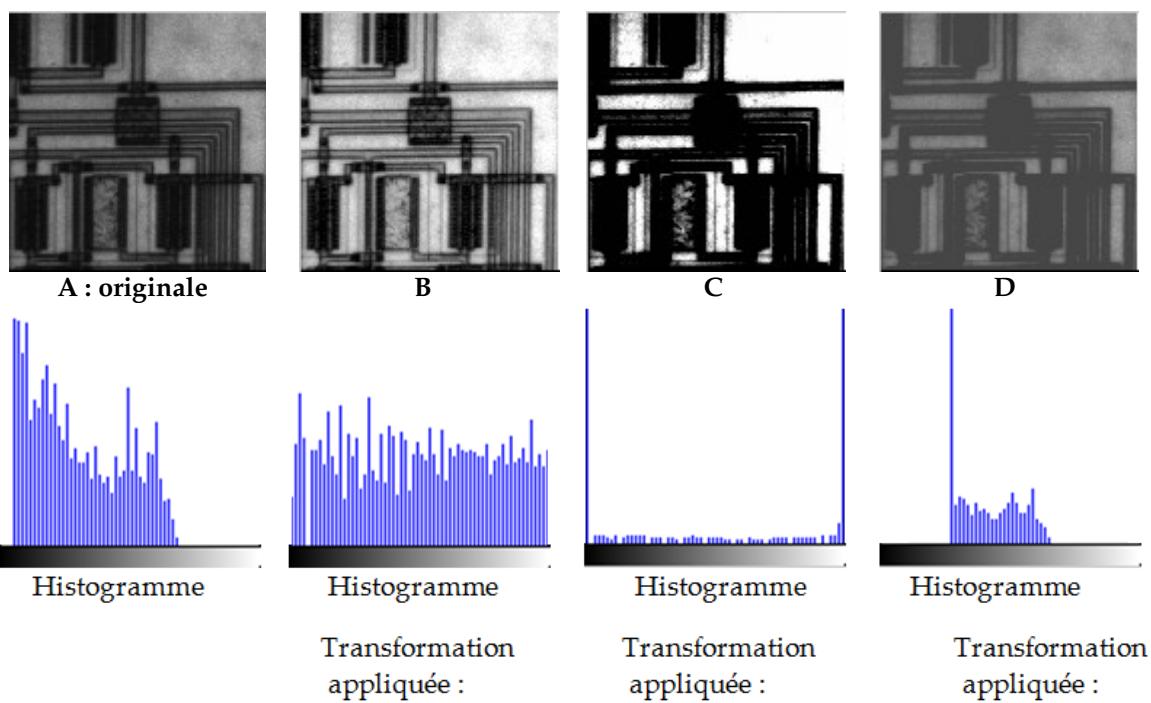
## Questions simples

1. Soient les 3 transformations (LUT) sur des images niveaux de gris suivantes :

- t1 : étirement d'histogramme sur 256 niveaux de gris (**profil 1**)
- t2 : transformation de niveau de gris de **profil 2**
- t3 : égalisation d'histogramme sur 256 niveaux de gris (**profil 3**)

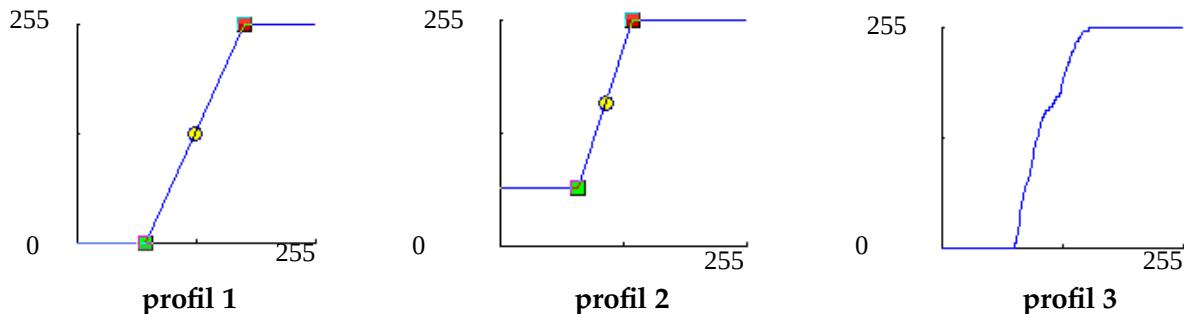


On a appliqué ces 3 transformations sur une image intensité de référence (A).  
Reconnaitre les images transformées par t1, t2 et t3 parmi les 3 autres images B, C et D.



2. Mêmes questions avec les 3 profils et l'image suivants :

- t1 : tirement d'histogramme sur 256 niveaux de gris (**profil 1**)
- t2 : transformation de niveau de gris de **profil 2**
- t3 : galisation d'histogramme sur 256 niveaux de gris (**profil 3**)





A : originale



B



C



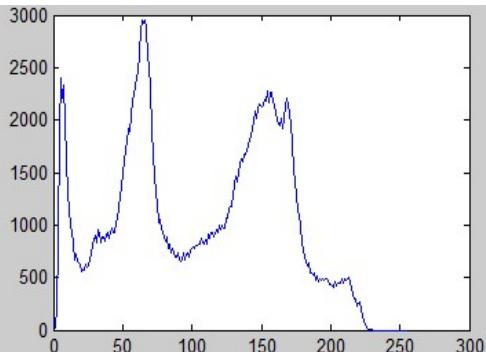
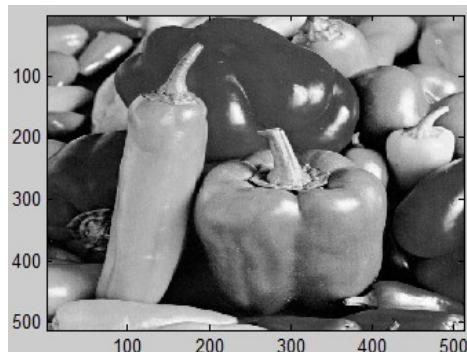
D

Que peut-on dire du  
contraste de cette image ?

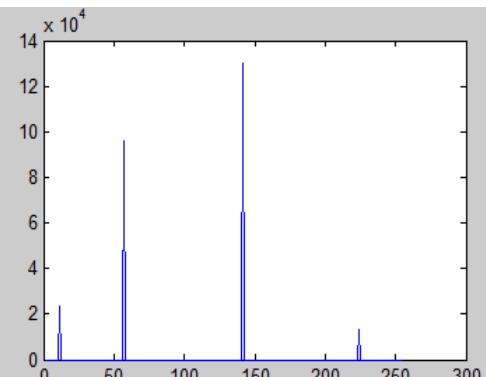
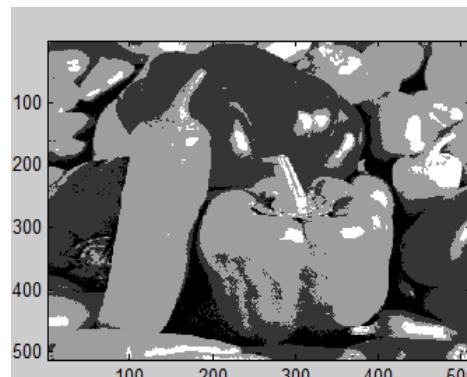
Pourquoi ?

### 3. Que pouvez-vous dire de l'opération qui transforme :

- l'image (en NG) ci-dessous (accompagnée de son histogramme)



- en une autre image (en NG) : ci-dessous (accompagnée aussi de son histogramme)



A quoi sert ce type de traitement (pour quelles applications) ? Justifiez vos réponses.

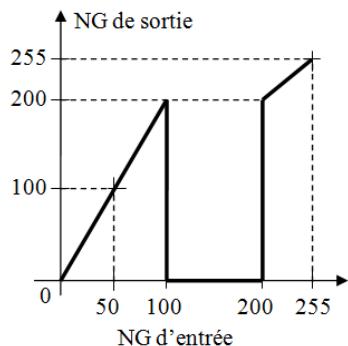
4. Étant données 3 LUTs (A, B et C) qui transforment l'image Lena ci-dessous (en NG) en une autre image en NG (images 1, 2 et 3). Associer à chacune de ces LUTs ci-dessous l'image correspondante.



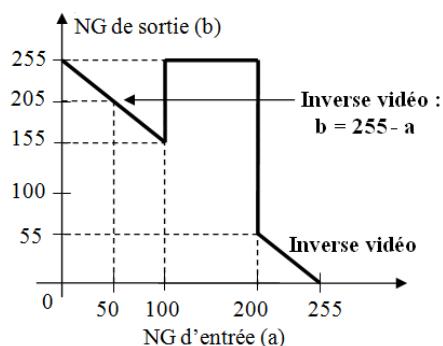
Réponses : A –

B –

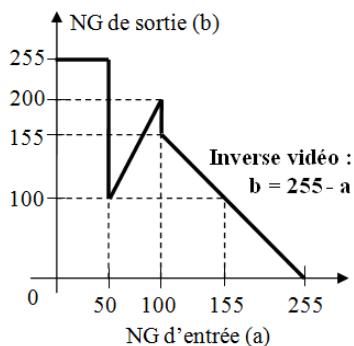
C –



**A**



**B**



**C**



**1**

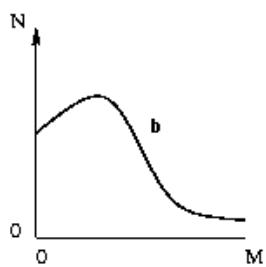


**2**

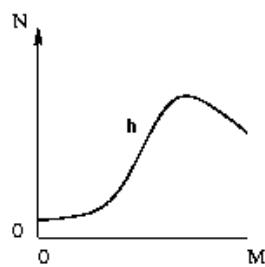


**3**

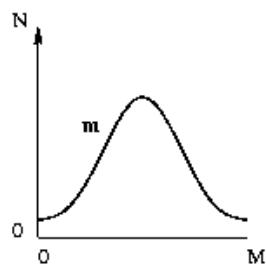
5. Lister les défauts de contraste des images présentant les histogrammes suivants (où  $M = 255$ ) :



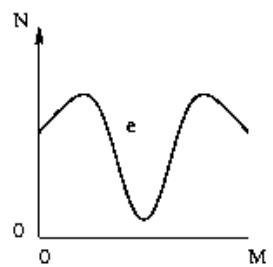
Défaut :



Défaut :



Défaut :

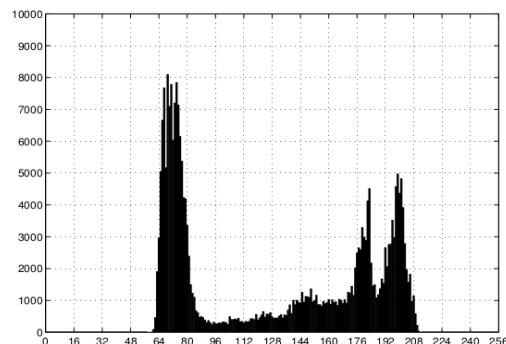


Défaut :

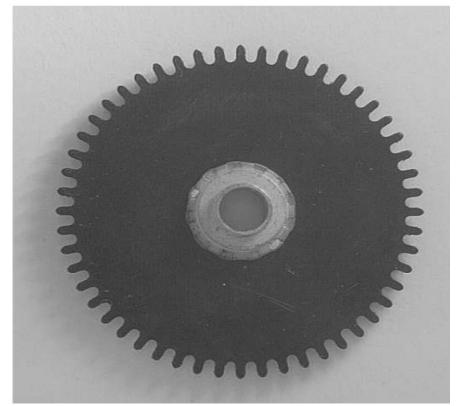
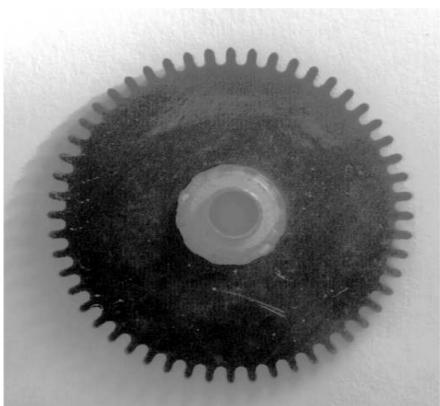
**6. Étant donnés l'image I et son histogramme H (illustrés ci-dessous à la fig. 1), vous trouverez ci-après :**

- une liste d'images (appelées **I2**, ..., **I9**) obtenues après application de différents traitements sur **I**,
- une liste d'histogrammes (appelés **H2**, ..., **H9**).

Pour chacune des images **I2**, ..., **I9** trouver son histogramme associé, parmi la liste **H2**, ..., **H9** en justifiant votre choix par une description aussi précise que possible du traitement correspondant.



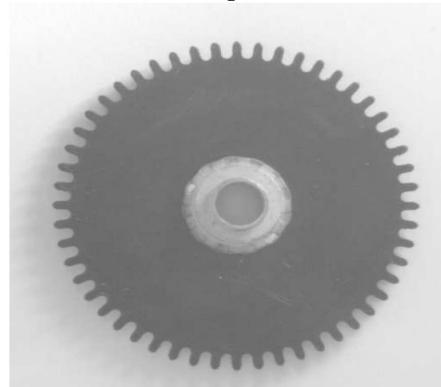
**fig.1 : Image I et son histogramme H**



**Image I2**

**Image I3**

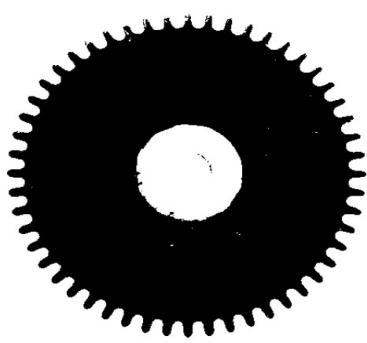
**Image I4**



**Image I5**

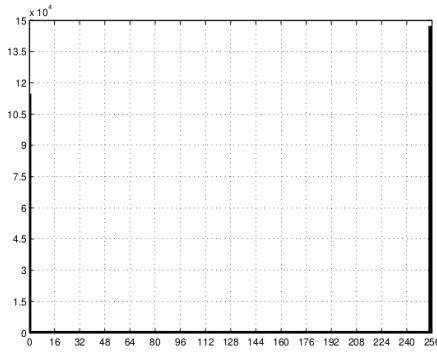
**Image I6**

**Image I7**

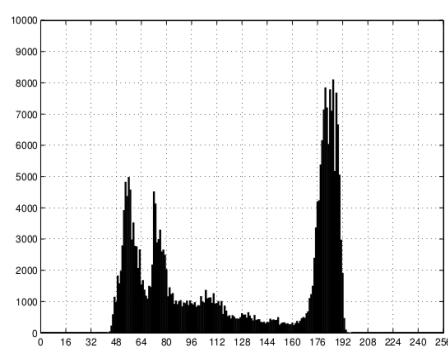


**Image I8**

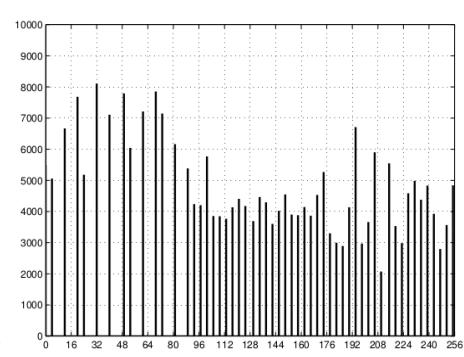
**Image I9**



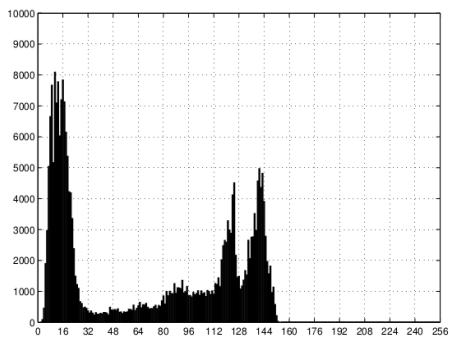
histogramme H2



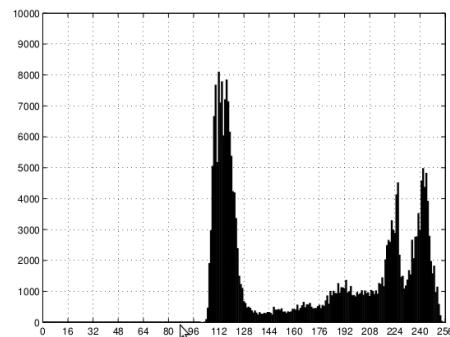
histogramme H3



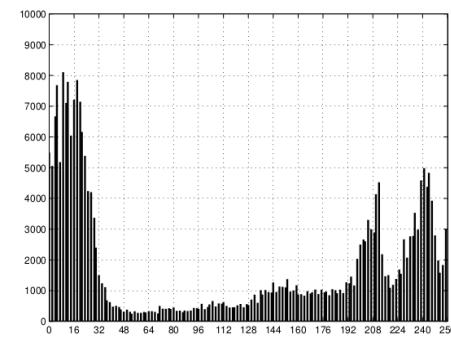
histogramme H4



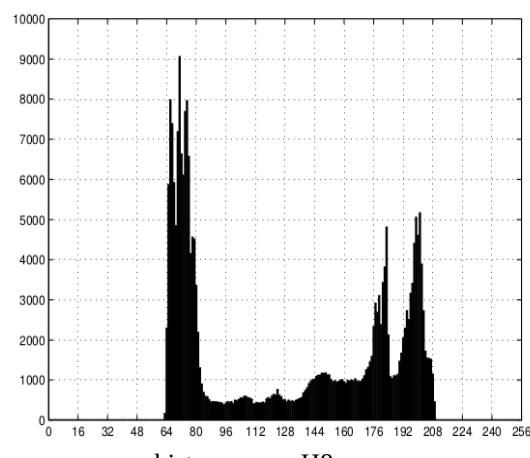
histogramme H5



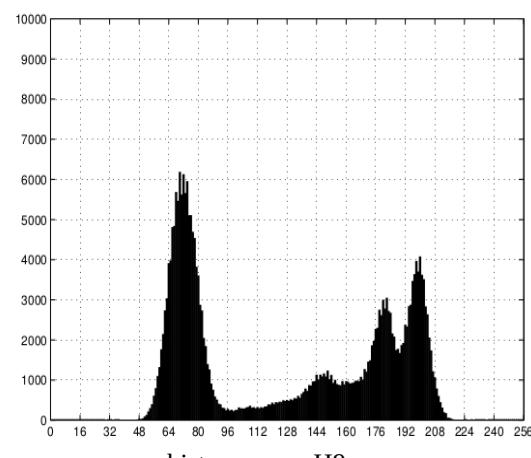
histogramme H6



histogramme H7



histogramme H8



histogramme H9