

## M2

### Systèmes dédiés pour la réalité virtuelle

Vision et traitement d'images embarqué

Rostom KACHOURI  
rostom.kachouri@esiee.fr  
Département IT (Informatique et TELECOMS) – ESIEE

## Contenu

2 x 2h Cours + 2 x 2h TD :

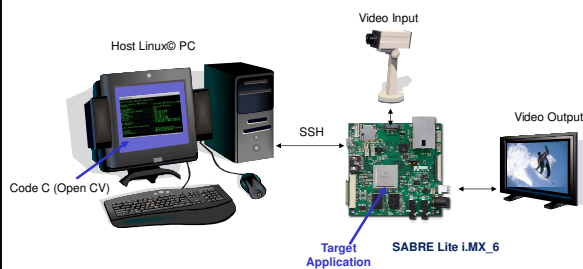
- Indexation & analyse d'images (2h Cours)
- Traitement de flux vidéo en langage C en utilisant la librairie « OpenCV » (2h Cours)

### Projet Sabre :

- Acquisition d'images vidéo et programmation d'opérateurs de traitement d'image en utilisant la carte FreeScale « SABRE Lite i.MX\_6 » à base de microcontrôleur Cortex A9 (4h TD + 2h Pers)

2

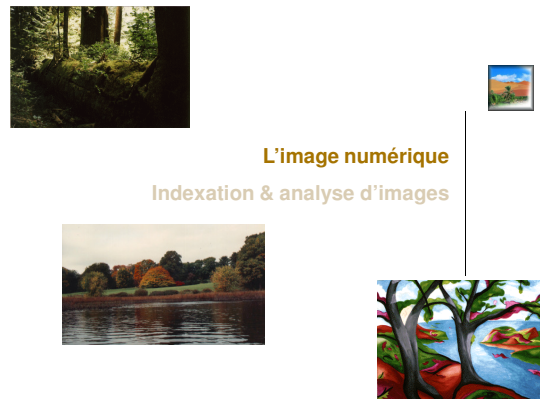
## Projet Vision sur carte SABRE Lite i.MX\_6



3

## L'image numérique

Indexation & analyse d'images



4

## Image numérique

- C'est une matrice de  $X \times Y$  points correspondant à l'échantillonnage et la quantification d'un signal acquis avec une caméra.
- Chaque point est associé à un niveau de gris ou des niveaux de composante couleur codé sur  $N$  bits et qui représentent respectivement le niveau de luminosité ou de couleur de la zone correspondante dans la scène observée.
- Chaque point est localisé par ses coordonnées  $x$  et  $y$  dans l'image.
- Domaines d'application : transmissions numériques, robotique, automatisation des tâches, télédétection, imagerie médicale, assistance à l'opérateur, ...

5

## Afficher sur un écran: le Pixel

### Technologie d'affichage

- L'image s'affiche sur un écran (ou moniteur)
- Chaque point est un élément phosphorescent
- Point dénommé pixel (PICture ELe ment)
  - ✓ Élément minimal adressable par le contrôleur vidéo
  - ✓ Rectangulaire, approximativement carré

### Image = ensemble de pixels

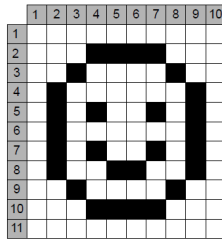
- Tableau 2D de pixels



6

## La Définition

➤ On appelle définition le nombre de points (pixels) constituant une image: c'est le nombre de colonnes de l'image que multiplie son nombre de lignes. Une image possédant 10 colonnes et 11 lignes aura une définition de 10 x 11.)

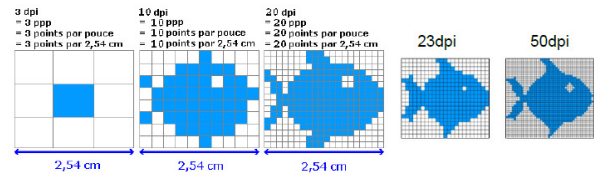


7

## La Résolution

➤ C'est le nombre de points contenu dans une surface précise (en pouce). Elle est exprimée en points par pouce (PPP, en anglais: DPI pour Dots Per Inch). Un pouce mesure 2,54 cm, c'est une unité de mesure britannique.

➤ La résolution permet ainsi d'établir le rapport entre la définition en pixels d'une image et la dimension réelle de sa représentation sur un support physique (écran, papier...).



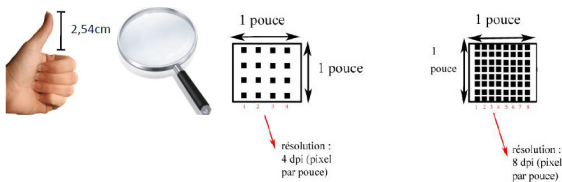
8

## Définition Vs Résolution

### Ecran ou Image

- Définition = nombre de (pixel) constituant l'image
- Résolution = nombre de points par unité de longueur (1 pouce)

Points par Pouce (PPP), en anglais DPI (Dots Per Inch)



9

## Formules

La taille d'une image numérique peut se définir par :

- sa définition en pixels (ex : 640x480 pixels)
- ses dimensions en pouces (ex : 12")
- sa résolution en dpi ou ppp. (ex: 300dpi)

Formules :

- Résolution = Définition / Dimension
- Définition = Résolution x Dimension
- Dimension = Définition / Résolution

10

## Image numérique codé sur 8 bits

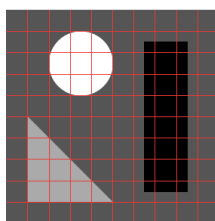
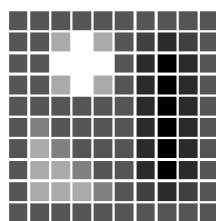


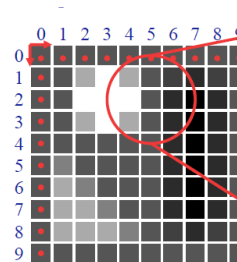
Image I



Pavage carré

11

## Image numérique codé sur 8 bits



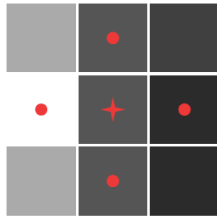
Repère image et maillage

170	85	64
255	85	43
170	85	43

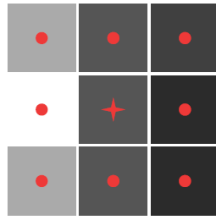
$$I(6,1) = 64$$

12

## Voisinage



*Voisinage 4-connexité*



*Voisinage 8-connexité*

13

## Distance

Distances entre deux pixels P(xp,yp) et Q(xq,yq)

➤ Distance euclidienne

$$d(P,Q) = [(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2]^{1/2}$$

$$d(P,Q) = [(4 - 6)^2 + (1 - 2)^2]^{1/2} = 2,24$$

➤ Distance de Manhattan (city block)

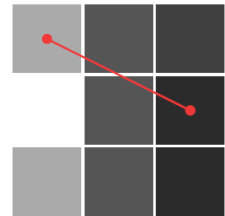
$$d(P,Q) = |x_p - x_q| + |y_p - y_q|$$

$$d(P,Q) = |4 - 6| + |1 - 2| = 3$$

➤ Distance de l'échiquier

$$d(P,Q) = \text{Max}(|x_p - x_q|, |y_p - y_q|)$$

$$d(P,Q) = \text{Max}(|4 - 6|, |1 - 2|) = 2$$



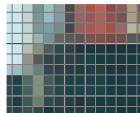
*Distance d*

14

## Les images Matricielles

➤ Les images matricielles (ou image en mode point, en anglais « bitmap » ou « raster ») sont celles que nous utilisons généralement pour restituer des photos numériques.

➤ Elles reposent sur une grille de plusieurs pixels formant une image avec une définition bien précise. Lorsqu'on les agrandi trop, on perd de la qualité (« pixelisation »).



15

## Image en mode point (Bitmap)

➤ Ce sont les niveaux de gris des pixels et leur position dans l'image qui définissent le contenu de celle-ci.

➤ Les formats les plus connus sont RAW, BMP, TIFF (compression), JPEG (compression), GIF (compression) ou PNG (compression).



*Image bitmap  
grossi 5 fois*



16

## Codage des couleurs (ou profondeur des couleurs)

Profondeur des couleurs (bpp) :

➤ En plus de sa définition, une image numérique utilise plus ou moins de mémoire selon le codage des informations de couleur qu'elle possède. C'est ce que l'on nomme le codage de couleurs ou profondeur des couleurs, exprimé en bit par pixel (bpp): 1, 4, 8, 16 bits...

➤ En connaissant le nombre de pixels d'une image et la mémoire nécessaire à l'affichage d'un pixel, il est possible de définir exactement le poids que va utiliser le fichier image sur le disque dur (ou l'espace mémoire requis en RAM pour réaliser un calcul sur cette image).

Poids d'une image en octet:

➤ Nombre de pixel total \* codage couleurs (octet) = Poids (octet)

17

## Rappel du code binaire

Profondeur des couleurs (bpp) :

- 1bit = 2 états; (0 ou 1) =  $2^1$
- 2bits = 4 états, =  $2^2$
- 4bits = 16 états, =  $2^4$
- 8bits = 256 états, =  $2^8$  etc...

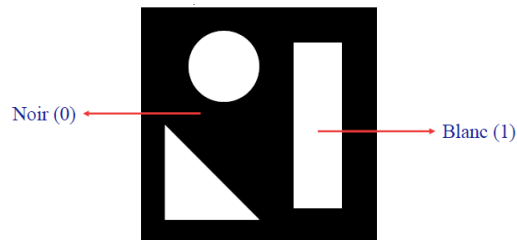
Rappel :

- Un ensemble de 8bit = 1 Octet.
- $2^{10}$  Octets = 1024 Octets forment un kilo-octet (Ko).
- 1024 Kilo-Octets forment un Mega-Octet (Mo)...Giga-Octet...Terra-Octet...

18

## Image binaire

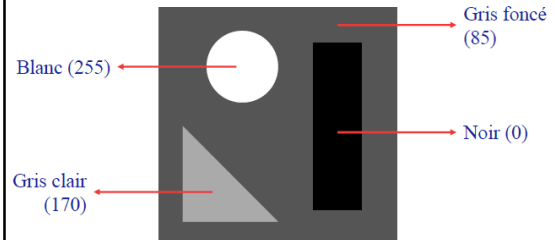
➤ Dans une image binaire, les pixels sont représentés par deux états logiques 0 (noir) et 1 (blanc). C'est un codage de l'image sur 1 bit.



19

## Image à niveaux de gris (intensité ou luminance)

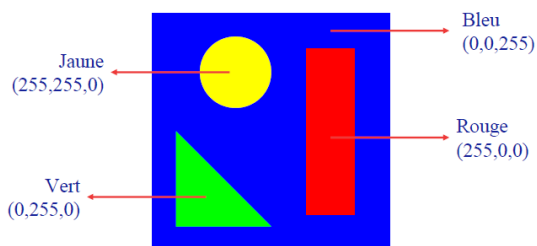
➤ Chaque pixel est codé sur N bits, ce qui lui confère des valeurs entières comprises entre 0 (noir) et  $2^N-1$  (blanc).



20

## Image couleur

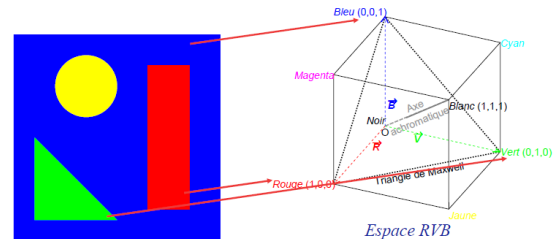
➤ Une image couleur correspond à la synthèse additive de 3 images, rouge, vert et bleu. Chaque pixel est donc codé sur  $3 \times N$  bits.



21

## Image couleur

➤ La couleur d'un pixel est représentée par 3 composantes couleur et donne naissance à un point dans un espace tridimensionnel.



22

## Les Modes colorimétriques RVB / CMJN

### La synthèse additive

➤ C'est le phénomène qui se passe lorsqu'un écran affiche une image par la lumière.  
➤ On part du noir (lumière éteinte) et on va vers le blanc. L'addition du rouge, du vert et du bleu donne le blanc.



### La synthèse soustractive

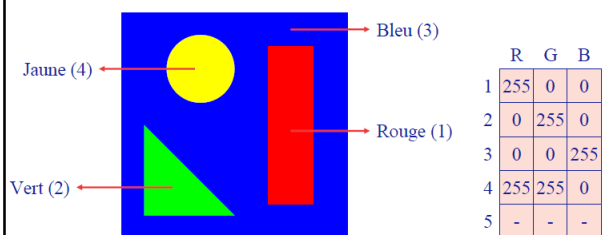
➤ C'est le phénomène qui se passe lorsqu'on mélange des pigments colorés en peinture.  
➤ On part du blanc (support papier) pour aller vers le noir. L'addition du Cyan, du Magenta et du Jaune donne le Noir.



23

## Image indexée

➤ La couleur ou l'intensité des niveaux de gris est déterminé par un index auquel correspond la couleur en question.



24



L'image numérique  
Indexation & analyse d'images



25

## Restauration d'images



Image source



Flou de mise au point

26

## Restauration d'images



Image source



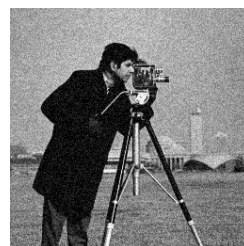
Flou de bougé

27

## Restauration d'images



Image source



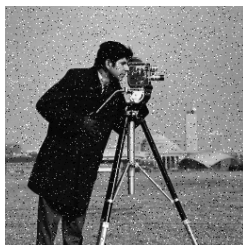
Bruit uniforme (gaussien)

28

## Restauration d'images



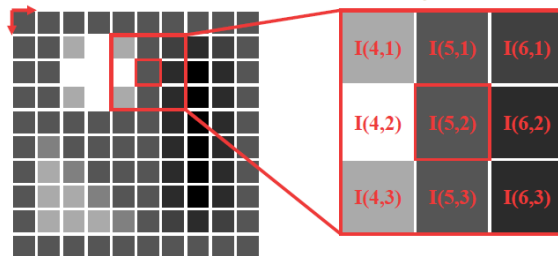
Image source



Bruit aléatoire (impulsionnelle)

29

## Restauration d'images



$$J(p,q) = I(p,q) \otimes K(p,q) = \sum_i \sum_j I(p+i, q+j) \cdot K(i,j)$$

30

## Restauration d'images

### Filtrage

➤ Convolution discrète à 2 dimensions

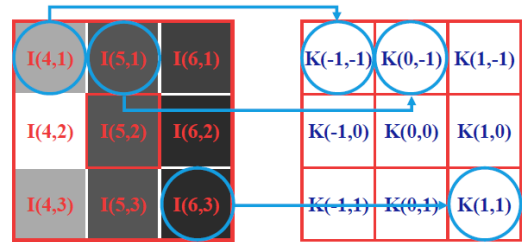
$$g(p,q) = f(p,q) * h(p,q) = \sum_i \sum_j f(p-i, q-j) \cdot h(i,j)$$

$h(-1,-1)$	$h(0,-1)$	$h(1,-1)$
$h(-1,0)$	$h(0,0)$	$h(1,0)$
$h(-1,1)$	$h(0,1)$	$h(1,1)$

Filtre  $h$  de taille  $3 \times 3$

31

## Restauration d'images



$$\begin{aligned} J(5,2) = & I(4,1)K(-1,-1) + I(5,1)K(0,-1) + I(6,1)K(1,-1) \\ & + I(4,2)K(-1,0) + I(5,2)K(0,0) + I(6,2)K(1,0) \\ & + I(4,3)K(-1,1) + I(5,3)K(0,1) + I(6,3)K(1,1) \end{aligned}$$

32

## Restauration d'images

### Quelques filtres usuels

➤ Filtre moyenneur (lissage) : c'est un filtre passe-bas défini par  $h$

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

1/10	1/10	1/10
1/10	2/10	1/10
1/10	1/10	1/10

33

## Restauration d'images



Image source



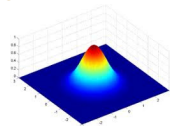
Filtre moyenneur

34

## Restauration d'images

### Quelques filtres usuels

➤ Filtre Gaussien : c'est un filtre passe-bas défini par  $h$



$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

0,011	0,084	0,011
0,084	0,619	0,084
0,011	0,084	0,011

35

## Restauration d'images



Image source



Filtre Gaussien

36

## Restauration d'images

Quelques filtres usuels

➤ Filtre rehausseur: c'est un filtre passe-haut défini par h

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

37

## Restauration d'images



Image source



Filtre rehausseur

38

## Restauration d'images

Quelques filtres usuels

➤ Filtre Laplacien: c'est un filtre passe-haut défini par h

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

39

## Restauration d'images



Image source



Filtre Laplacien

40

## Restauration d'images

Quelques filtres usuels

➤ Filtre séparable:  $h(x,y) = h1(x)*h2(y)$  (exemple du filtre de Prewitt)

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

41

## Restauration d'images



Image source



Filtre Prewitt vertical

42

## Restauration d'images

Quelques filtres usuels

➤ Filtre séparable :  $h(x,y) = h1(x)*h2(y)$  (exemple du filtre de Sobel)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Sobel  
vertical

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Sobel  
horizontal

43

## Restauration d'images



Image source



Filtre Sobel horizontal

44

## L'approche contour

Lissage des approximations de la dérivée première

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

Prewitt  
vertical

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Sobel  
vertical

0	0	0
0	1	0
0	0	-1

Roberts  
vertical

-3	-3	-3
-3	0	-3
5	5	5

Kirsch  
vertical

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Prewitt  
horizontal

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Sobel  
horizontal

0	0	0
0	0	1
0	-1	0

Roberts  
horizontal

-3	-3	5
-3	0	5
-3	-3	5

Kirsch  
horizontal

45

## L'approche contour

Filtre Sobel : Autres directions

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Sobel 0°

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Sobel 90°

-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2

Sobel 45°

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

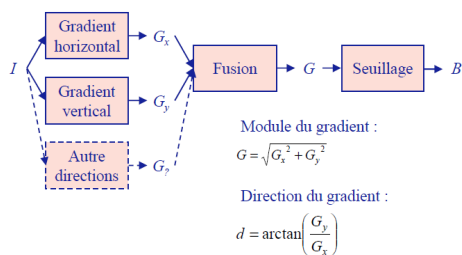
Sobel 135°

46

## L'approche contour

Module et direction du gradient

➤ Cas d'une image à niveau de gris

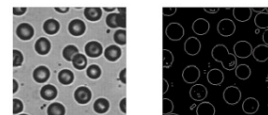


47

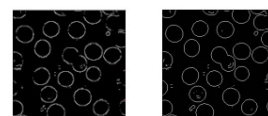
## L'approche contour

Module et direction du gradient

➤ Exemple d'une image à niveau de gris



Prewitt



Roberts

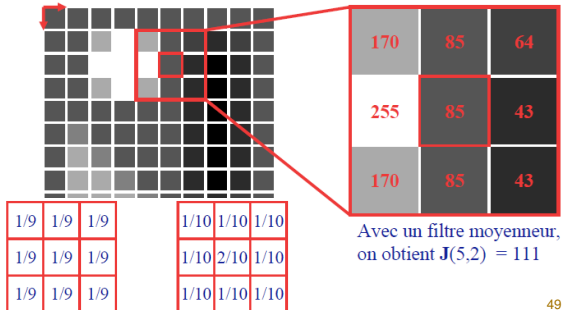
Sobel

48



## Restauration d'images

Filtrage non linéaire



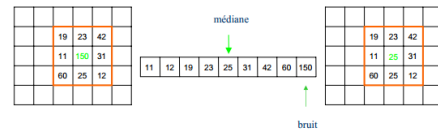
49

## Restauration d'images

Filtrage non linéaire: Filtre médian → Lissage robuste

- Préserve les contours.
- Principe : Remplacer la valeur du pixel central par la valeur médiane de la répartition (luminances triées dans l'ordre croissant) des niveaux de gris des pixels situés à l'intérieur de cette fenêtre.
- Utile pour contrer l'effet d'un bruit Poivre & Sel.

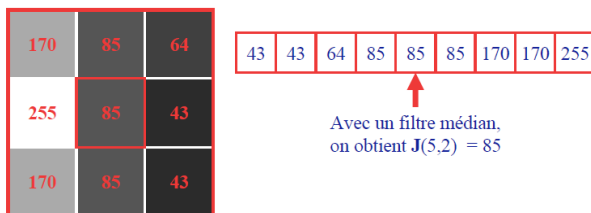
$$g(x, y) = \text{médian} \{f(n, m)\}_{(n, m) \in S}$$



50

## Restauration d'images

Filtrage non linéaire: Filtre médian



51

## Restauration d'images

Filtrage non linéaire: Lissage min/max



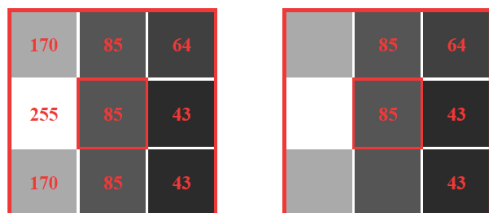
Valeur minimale,  $m = 43$   
 Valeur maximale,  $M = 255$   
 Si  $J(5,2) < (M - m)/2$  alors  $J(5,2) = m$   
 Si  $J(5,2) > (M - m)/2$  alors  $J(5,2) = M$   
 Ici  $(M - m)/2 = 106$ , donc  $J(5,2) = 43$

52

## Restauration d'images

Filtrage non linéaire: Lissage SNN (Symetric Nearest Neighbor)

- Après avoir déterminé la valeur la plus proche de celle du pixel central pour chaque paire de points symétriques par rapport au pixel central, il faut calculer la moyenne sur les valeurs restantes.
- Ici  $J(5,2) = 64$ .

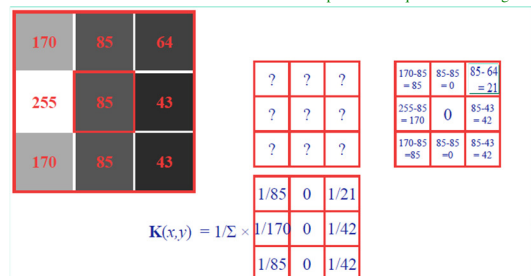


53

## Restauration d'images

Filtrage non linéaire: Lissage adaptatif

- Les coefficients du filtre de convolution s'adaptent automatiquement à l'image

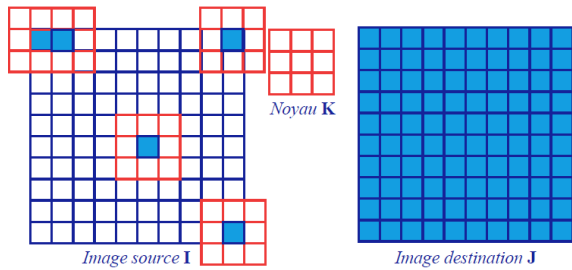


54

## Restauration d'images

### Filtrage

- Parcours d'un noyau de convolution  $K$  sur une image  $I$

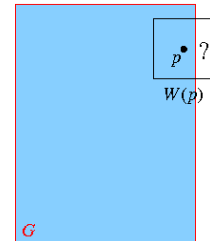


55

## Restauration d'images

### Effet de bord

- Bord non traité (mis à zéro, recopie ou aucun traitement).
- Zero-padding : les valeurs du signal en dehors de l'image sont égales à zéro.
- Symétrie : les valeurs du signal en dehors de l'image sont obtenues par symétrie (effet miroir).



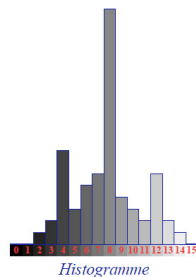
56

## Amélioration d'images

### Histogramme



Image monochrome  
codée sur 4 bits

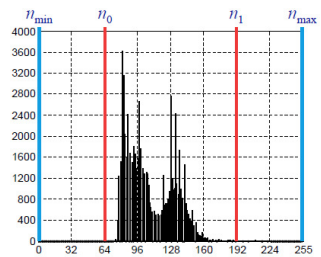


Histogramme

57

## Amélioration d'images

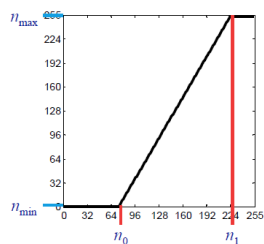
### Histogramme



58

## Amélioration d'images

### Recadrage dynamique



$$n' = a \cdot n + b$$

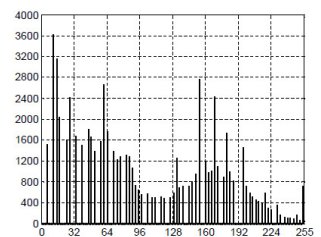
$$a = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_1 - n_0}$$

$$b = \frac{n_{\min} \cdot n_1 - n_{\max} \cdot n_0}{n_1 - n_0}$$

59

## Amélioration d'images

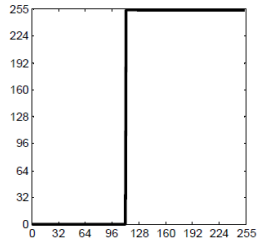
### Recadrage dynamique



60

## Amélioration d'images

### Binarisation

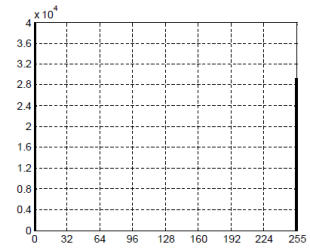


Si  $n < \text{seuil}$  alors  $n' = 0$   
sinon  $n' = 1$

61

## Amélioration d'images

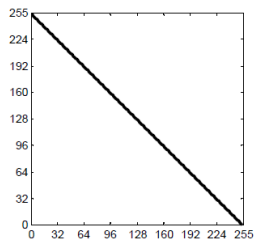
### Binarisation



62

## Amélioration d'images

### Inversion : Image Négatif

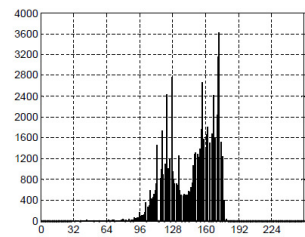


$n' = n_{\max} - n$   
 $n' = n \oplus 1$   
 $n' = \sim n$

63

## Amélioration d'images

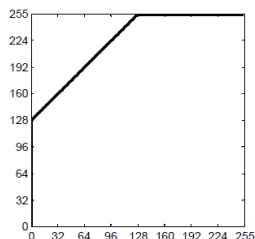
### Inversion : Image Négatif



64

## Amélioration d'images

### Offset ou décalage (addition : ajout d'une constante)

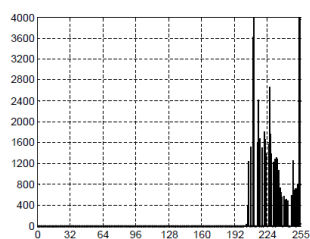


$n' = n + \text{offset}$

65

## Amélioration d'images

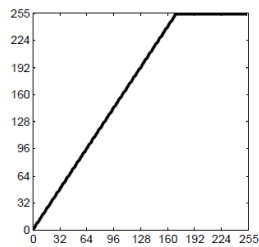
### Offset ou décalage (addition : ajout d'une constante)



66

## Amélioration d'images

Gain (Multiplication : produit par une constante)

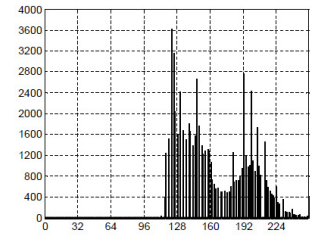


$$n' = n \times \text{gain}$$

67

## Amélioration d'images

Gain (Multiplication : produit par une constante)



68

## Références

- Graphisme 2D et Images Numériques, Présentation: Stéphane Lavirotte,
- Traitement d'images, Nicolas Vandenbrouck.

69