

Chapitre 01

Introduction à l'image

Dr. Aissa Boulmerka
a.boulmerka@centre-univ-mila.dz
2022-2023

Qu'est ce qu'une image?

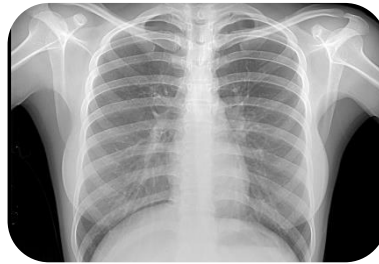
- Une image est avant tout un **signal à deux dimensions**.
- Souvent, cette image représente une **réalité trois dimensions**.
- D'un point de vue **mathématique** :
 - Une image est une matrice de nombres représentant un signal
 - Plusieurs outils permettent de manipuler ce signal
- D'un point de vue **humain** :
 - Une image contient plusieurs informations sémantiques
 - Il faut interpréter le contenu au-delà de la valeur des nombres

Formation d'images

- Il existe plusieurs systèmes de formation d'images.



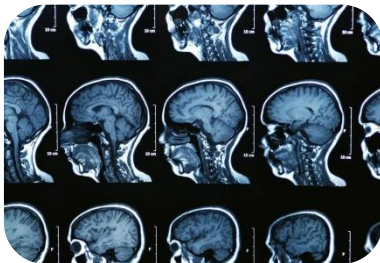
Caméra à lentille (l'œil)



Images à rayon X



Images infrarouges



Images à résonance magnétique (IRM)



Images radar



Images multi-spectrales (satellitaires)

Systeme de vision humain (SVH)

- Le **systeme visuel humain** est l'ensemble des organes participant à la perception visuelle humaine. Son rôle est de **percevoir** et **d'interpréter** les images reçues.
- L'image est analysée au sein de la **rétilne** et le résultat de ce traitement est envoyé au reste du système visuel par le nerf optique.
- Le **cortex visuel** dans le cerveau humain est responsable des **traitements des images**. Il effectue des traitements de bas niveau (**orientation, contours**) mais aussi de haut niveau (**formes, mouvements**).

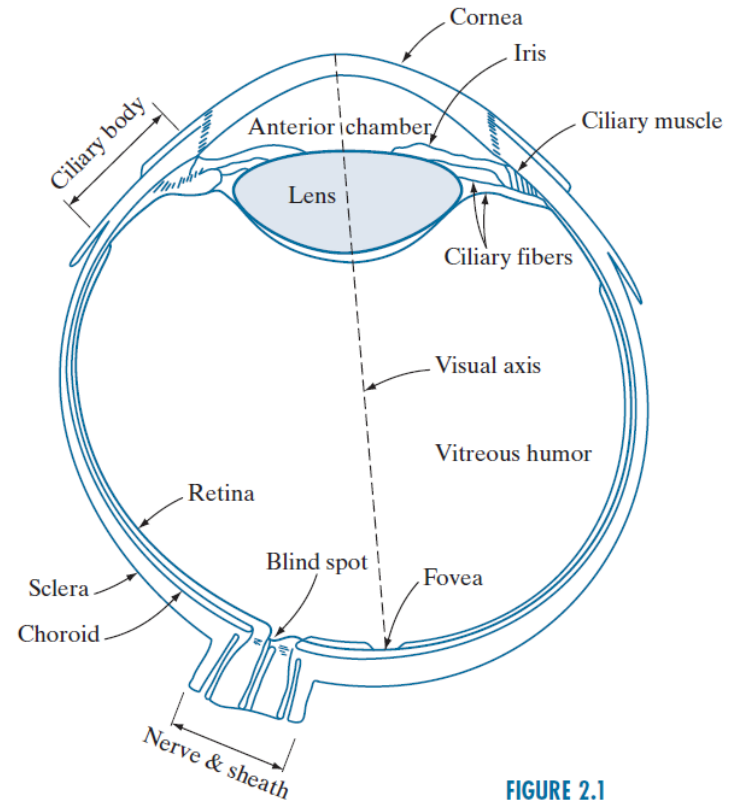
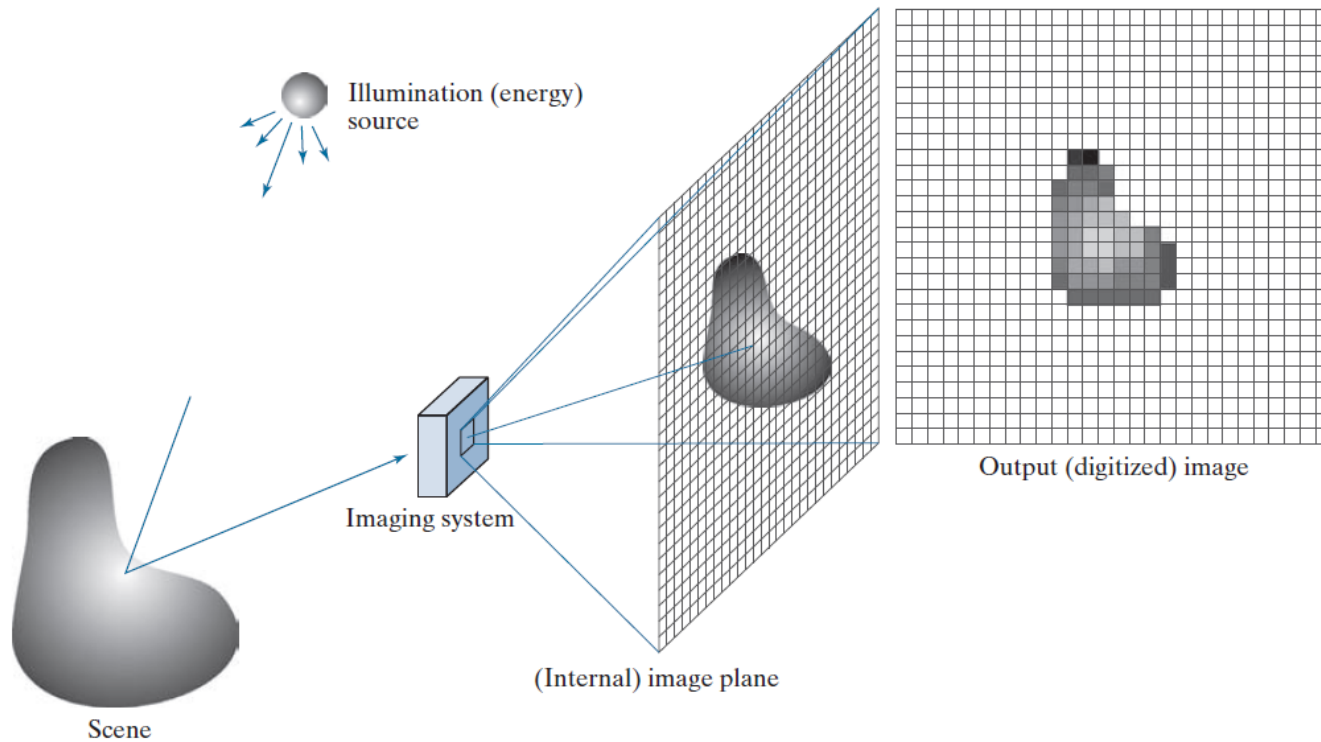


FIGURE 2.1
Simplified diagram of a cross section of the human eye.

Acquisition d'image



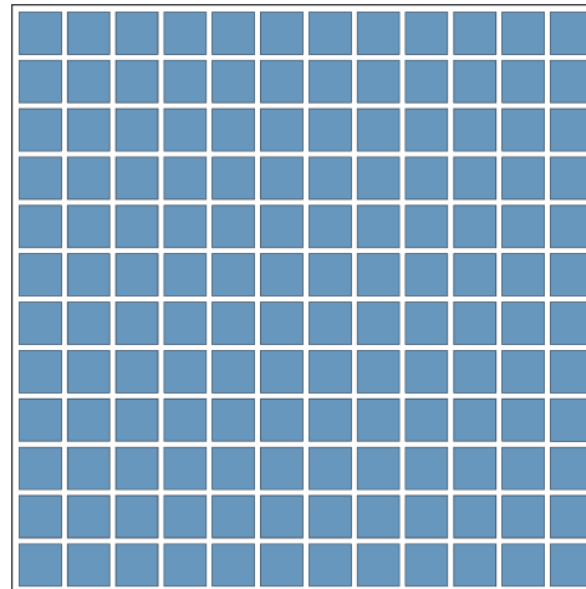
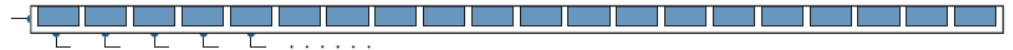
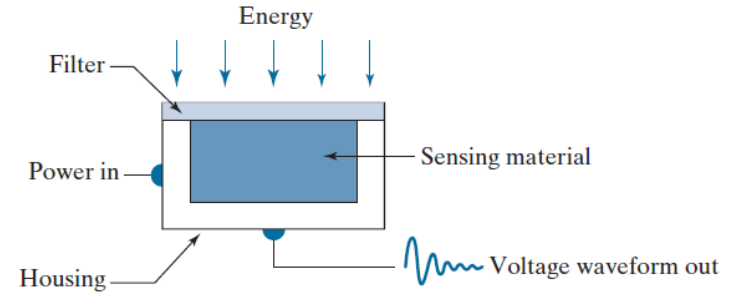
a
b c d e

FIGURE 2.15 An example of digital image acquisition. (a) Illumination (energy) source. (b) A scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

Capteur – Principe général

- **Principe général**
(ex: photodiode)

- L'énergie incidente est convertie en signal électrique
- Sortie est proportionnelle à la lumière
- Filtre pour augmenter la sélectivité



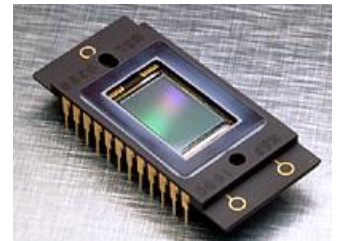
a
b
c

FIGURE 2.12

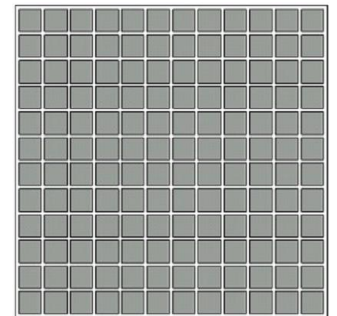
(a) Single sensing element.
(b) Line sensor.
(c) Array sensor.

Capteur CCD (Matrice 2D)

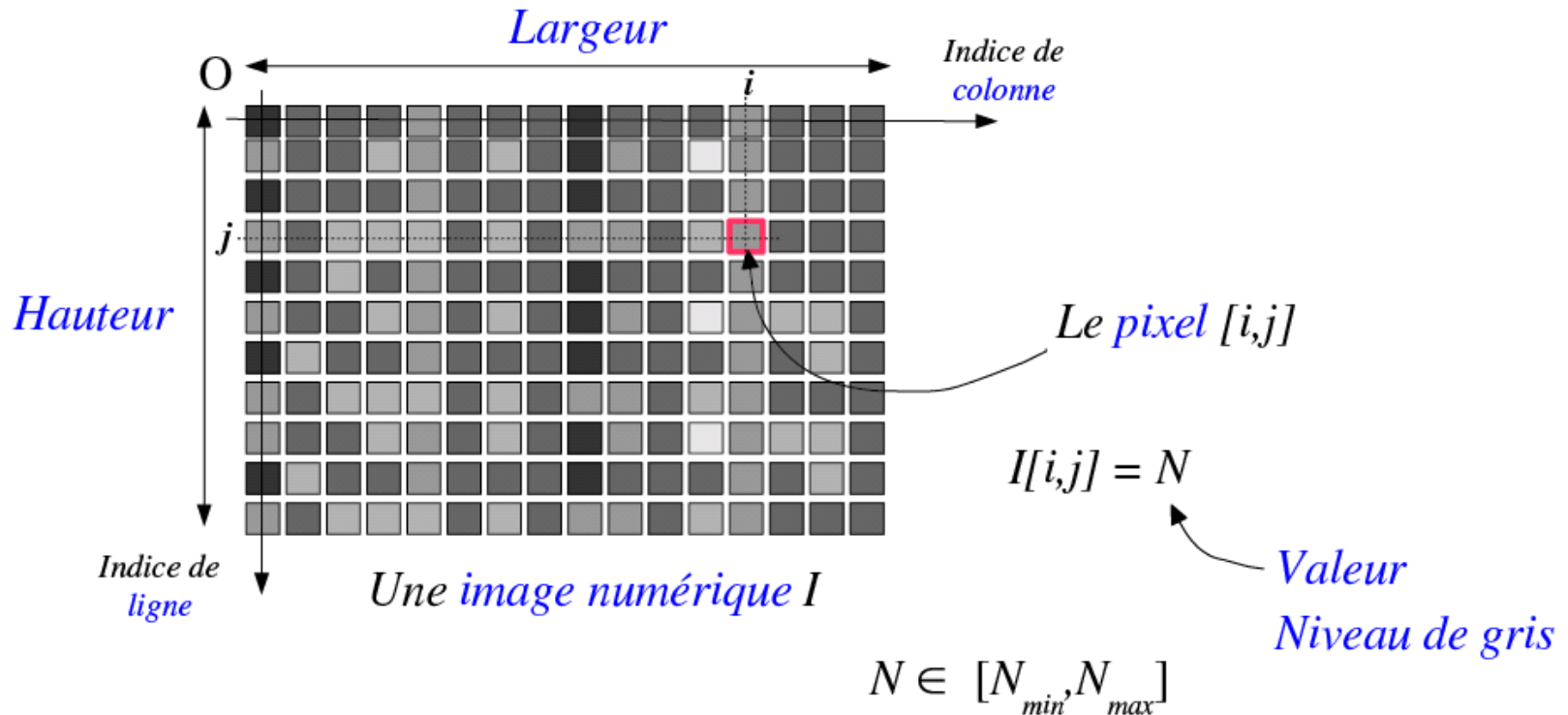
- Caméras numériques CCD
 - Matrice CCD (Charged Coupled Devices).
 - Système d'acquisition numérique 2D le plus utilisé
 - La réponse est proportionnelle à l'intégrale de l'énergie lumineuse qui atteint chaque élément
 - Pour la couleur, on utilise trois capteurs par pixel réagissant à des longueurs d'ondes différentes (rouge, vert et bleu)



KAF-1600 - Kodak



Acquisition d'une image numérique



$$(N_{max} - N_{min}) = \text{nombre de niveaux de gris}$$

Image numérique

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

- Les valeurs de $f(x,y)$ sont la réponse du capteur au phénomène observé
- Les valeurs de $f(x,y)$ sont des valeurs de «voltage» continu
- Les valeurs de $f(x,y)$ doivent être converties vers le domaine numérique
 - Conversion Analogique/Numérique (A/N)
- Deux procédés sont impliqués pour numériser une image :

Numérisation = Échantillonnage + Quantification

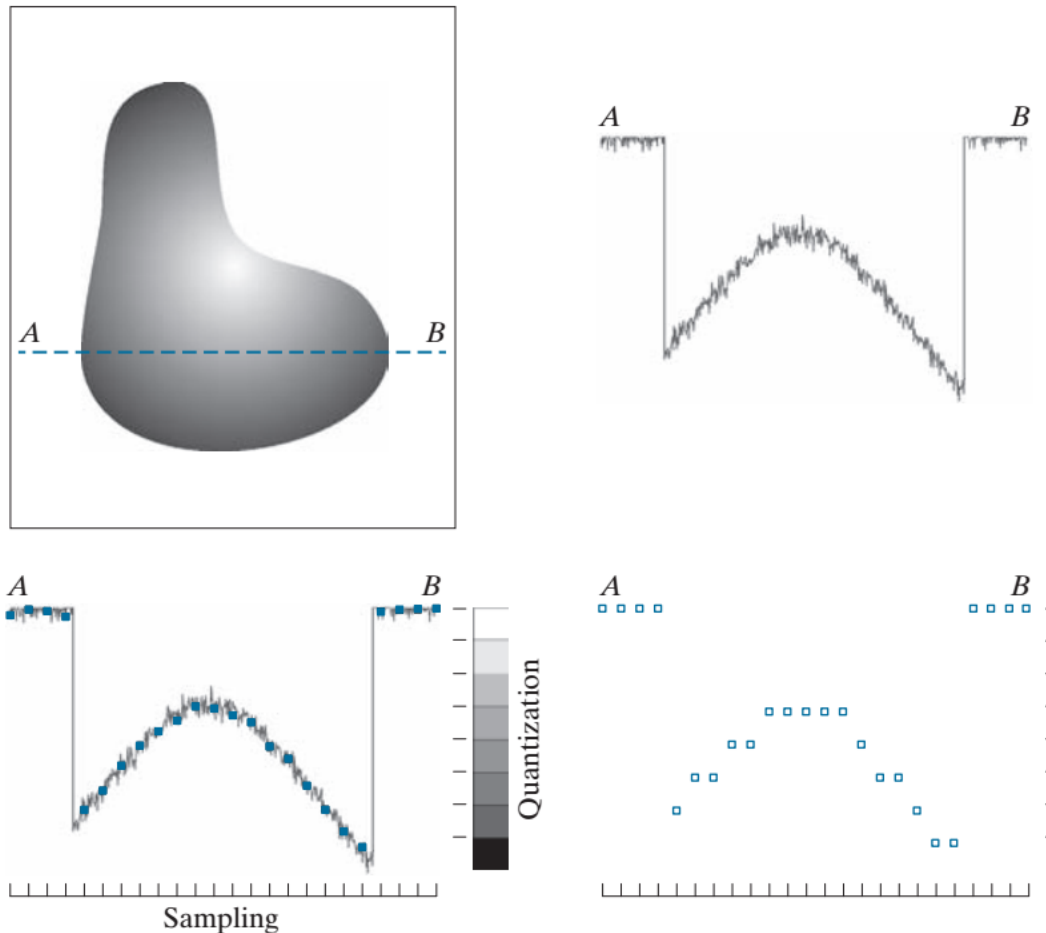
Echantillonnage et quantification

- Avec un exemple d'une fonction à une dimension (1D) :

a b
c d

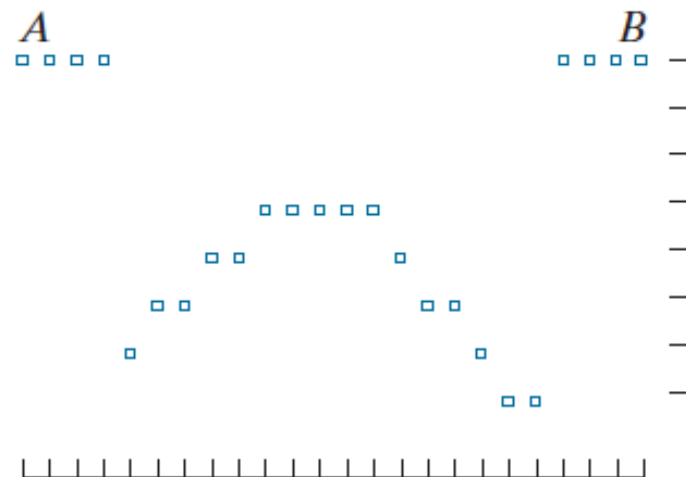
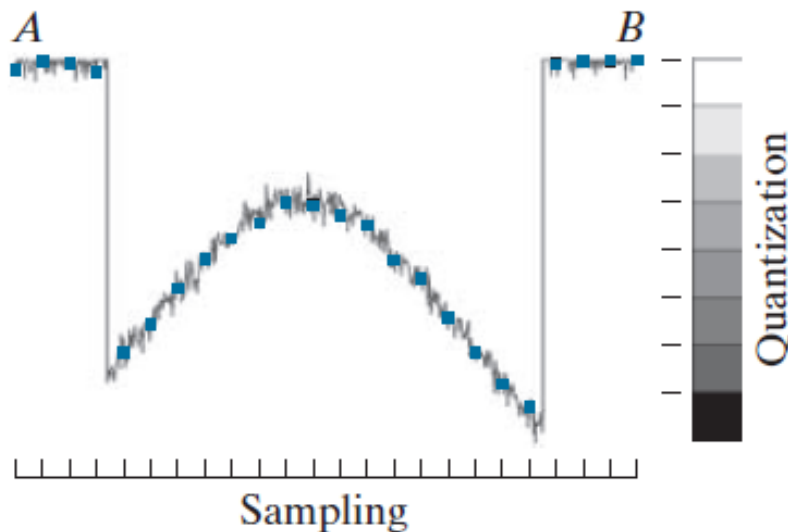
FIGURE 2.16

(a) Continuous image. (b) A scan line showing intensity variations along line AB in the continuous image. (c) Sampling and quantization. (d) Digital scan line. (The black border in (a) is included for clarity. It is not part of the image).



Echantillonnage et quantification

- **L'échantillonnage** est limité par la capacité du capteur, donc le nombre de pixels disponible (ou autre limite imposée)
- **La quantification** est limitée par la quantité de tons (de gris) définie dans l'intervalle



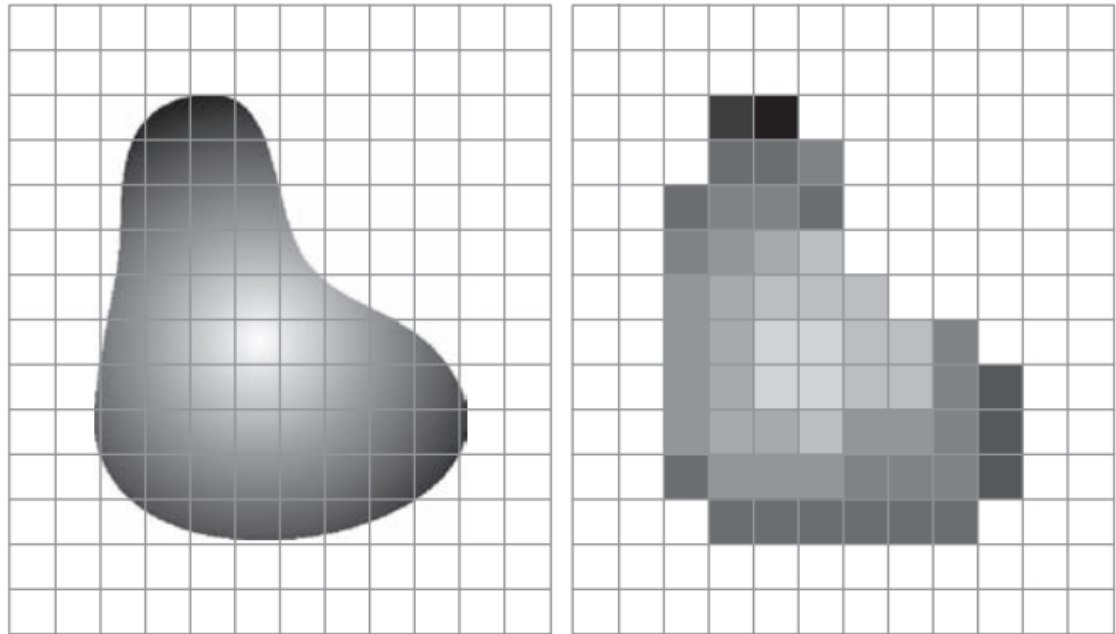
Echantillonnage et quantification

- Avec un capteur à matrice à deux dimensions (2D) :

a b

FIGURE 2.17

(a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.



Représentation des images

- Matrice de dimension **M X N**
- Chaque élément à une valeur entière dans l'intervalle **[L_{min}, L_{max}]**.
- Le nombre de « bits » requis pour représenter les niveaux de gris dans l'intervalle «L» est «K»
- La relation entre «K» et «L» est :

$$L = 2^K$$

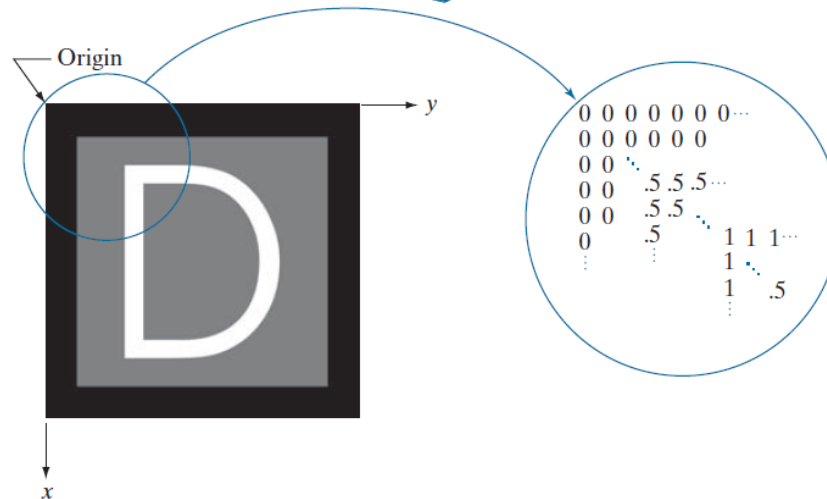
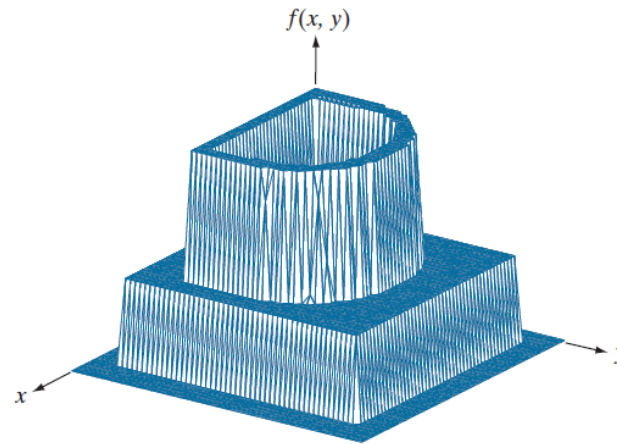
- Le nombre de bit pour enregistrer une image est donc:

$$b = M \times N \times K$$

Représentation des images

a
b c

FIGURE 2.18
(a) Image plotted as a surface.
(b) Image displayed as a visual intensity array. (c) Image shown as a 2-D numerical array. (The numbers 0, .5, and 1 represent black, gray, and white, respectively.)



Résolution des images

- **Résolution spatiale**
 - Le plus petit détail discernable.
- **Résolution tonale (de tons de gris)**
 - Le plus petit changement discernable.
- Une image a donc une résolution spatiale de **M X N** pixel et une résolution de tons de gris de **K** bits ou de **L** niveaux ou tons.

Résolution spatiale et tonale

Résolution spatiale: échantillonnage



256×256



128×128

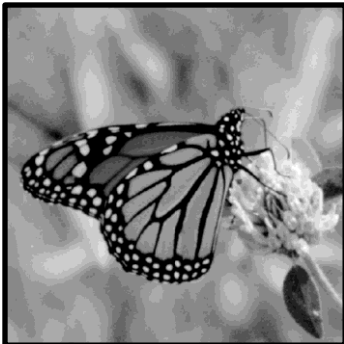


64×64

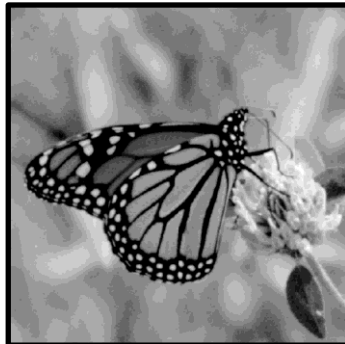


32×32

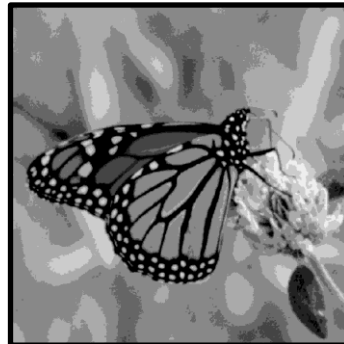
Résolution tonale: quantification



5 bits



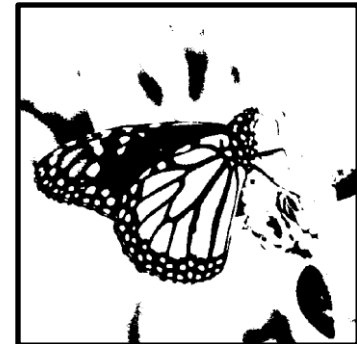
4 bits



3 bits



2 bits



1 bits
30/09/2022

Images naturelles et artificielles

- **Image naturelle** – Plusieurs moyens d'acquisition
 - caméra, microscope, tomographie, infrarouge, satellite, ...
- **Image artificielle** – Plusieurs outils de représentation
 - synthèse d'images, réalité virtuelle, visualisation scientifique, ...



Image naturelle



Image artificielle

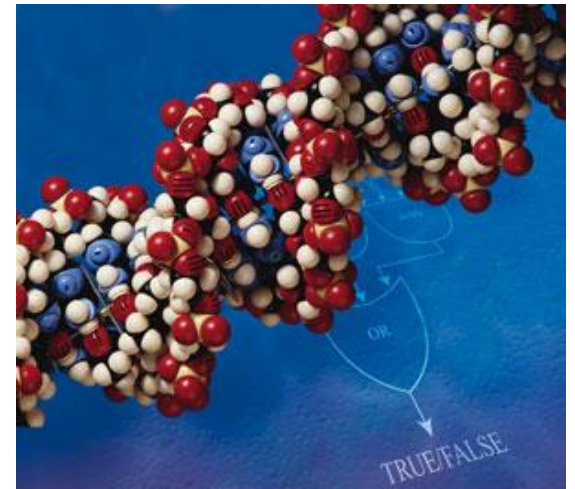
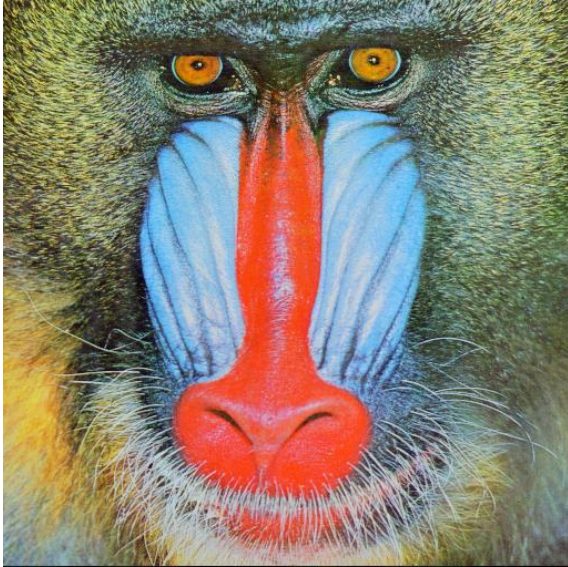


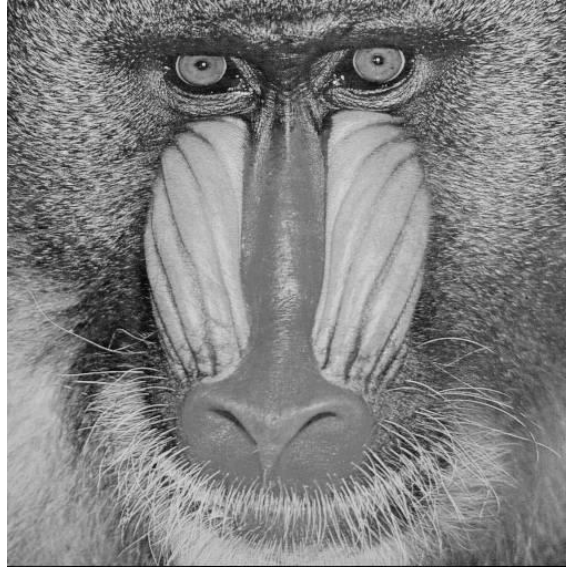
Image artificielle

Trois principaux types d'images



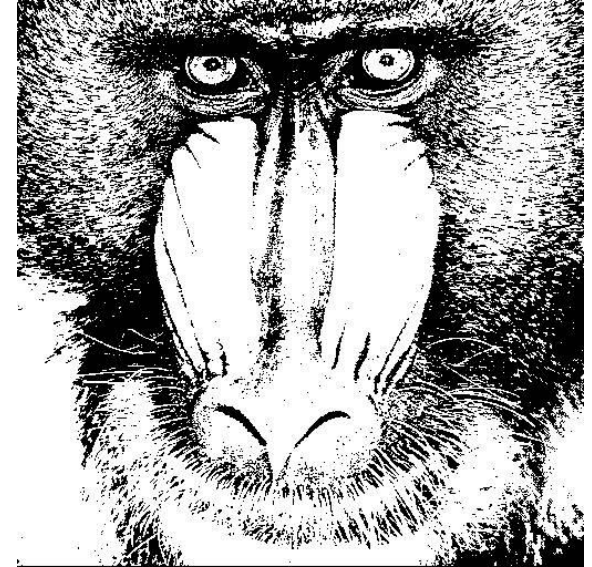
Images couleurs

- $I_R(x,y) \in [0..255]$
- $I_G(x,y) \in [0..255]$
- $I_B(x,y) \in [0..255]$



Images en niveaux de gris

- $I(x,y) \in [0..255]$



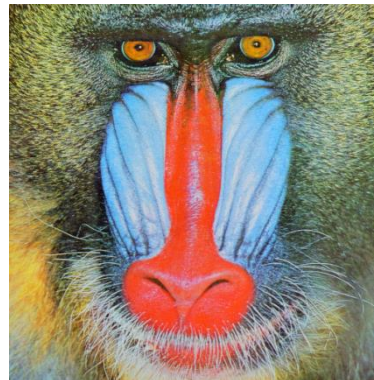
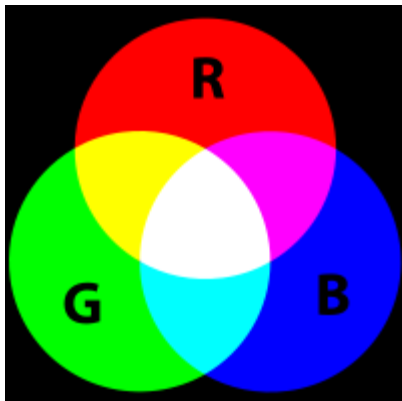
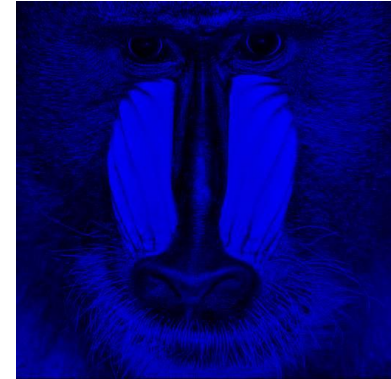
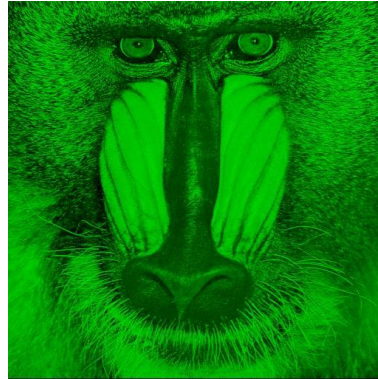
Images binaires

- $I(x,y) \in \{0, 1\}$

Exemple de couleur RGB

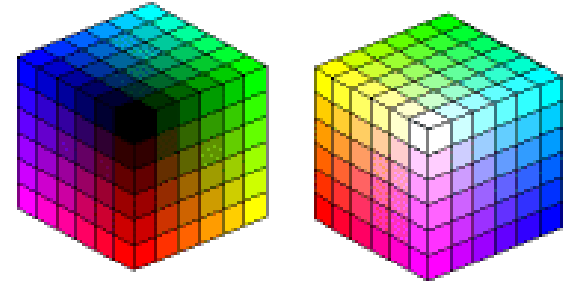
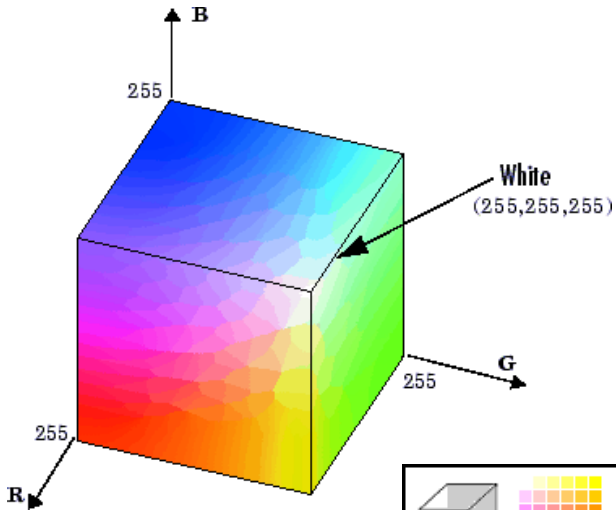


Image couleur dans l'espace RGB



Mais il existe aussi d'autres codages de la couleur que RGB...

Visualisation RGB



Activity I. To create six plates based on the Web CLUT.

Activity II. To create a "slide tray" view of the RGB Color Cube.

Activity IV. To create a Planar View of the RGB Color Cube.

Activity III. To create 4 predetermined side-views of the Cube..

Activity V: To create predetermined additional Palettes.

Activity VI: To construct a color wheel based on the RGB Color Cube.

Formats de fichiers d'images

- Il existe beaucoup de format de fichiers pour sauvegarder les images.
 - **TIF, GIF, JPEG, PNG, PPM, PGM, BMP, ...**
- Chaque format a ses particularités et nous ne les étudierons pas dans ce cours.
 - **Entête contenant les informations de l'image**
 - **Pixels de l'image codés de différentes façons**
- Quelques notions seulement sur les principaux formats.

Formats sans compression

- Les formats les plus simple sont les images sans compression.
 - **Les pixels sont codés directement, les uns à la suite des autres**
- Par exemple :
 - **PGM** : images en niveaux de gris 8 bits
 - **PPM** : images en couleurs Rouge-Vert-Bleu 24 bits
- Utiles comme formats d'entrée et sortie des traitements que nous ferons sur les images.

Formats avec compression

- Les pixels sont compressés pour que le fichier soit plus petit sur le disque.
 - **Compression sans perte**: Fichier compressé sans modification de la valeur des pixels.
 - **Exemple : PNG**
 - **Compression avec perte**: Valeurs des pixels modifiées pour prendre encore moins de place après la compression.
 - **Exemple : JPEG**
- **JPEG** est très bien pour **visualiser les images** (vision humaine) mais **très mauvais** pour le traitement d'images, car on perd beaucoup d'informations.
 - Images d'entrée peuvent être en JPEG
 - Eviter autant que possible de sauvegarder les résultats en JPEG

Autres formats d'images

- **TIFF** : format multi-usage avec/sans compression.
- Autres :
 - **BMP** : format couleurs 24 bits sans compression
 - **GIF** : format couleurs 8 bits avec compression
- Encore beaucoup d'autres formats...

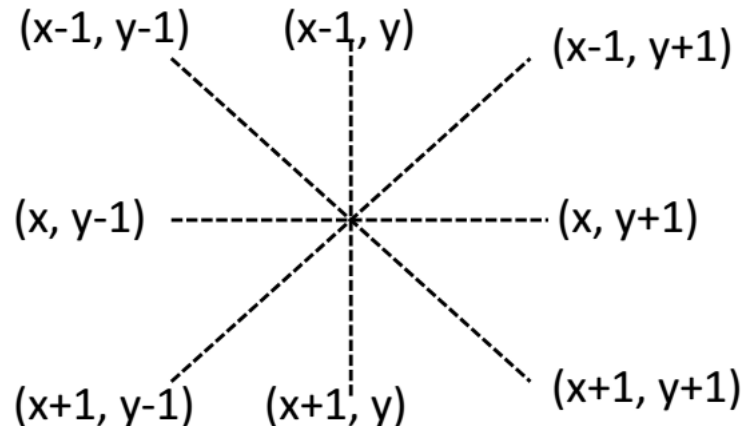
Relations entre pixels

Un pixel $p(x,y)$ a 4 voisins dans le sens horizontal et vertical:

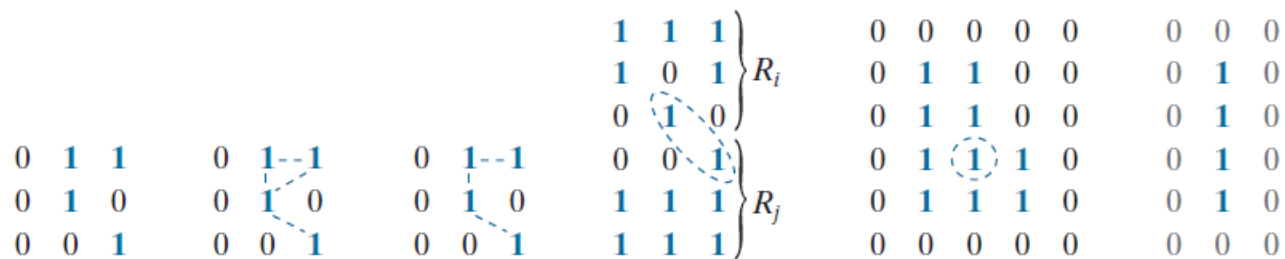
$$N_4 = \{(x-1,y) , (x, y-1), (x+1,y) , (x, y+1)\}$$

Avec le sens diagonal, le pixel p a 8 voisins:

$$N_8 = \{(x-1, y) , (x, y-1), (x+1, y) \text{ et } (x, y+1), (x-1,y-1), (x+1, y-1), (x-1, y+1) , (x+1, y+1)\}$$



Relations entre pixels



a b c d e f

FIGURE 2.28 (a) An arrangement of pixels. (b) Pixels that are 8-adjacent (adjacency is shown by dashed lines). (c) *m*-adjacency. (d) Two regions (of 1's) that are 8-adjacent. (e) The circled point is on the boundary of the 1-valued pixels only if 8-adjacency between the region and background is used. (f) The inner boundary of the 1-valued region does not form a closed path, but its outer boundary does.

Distances entre pixels

Soient $\mathbf{p}(x, y)$ et $\mathbf{q}(s, t)$ deux pixels:

- La **distance euclidienne** entre \mathbf{p} et \mathbf{q} est donnée par:

$$D_e = [(x-s)^2 + (y-t)^2]^{1/2}$$

$$\begin{array}{ccccc} & & 2 & & \\ & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \\ & & 2 & & \end{array}$$

- La **distance de blocks (Manhattan)** entre \mathbf{p} et \mathbf{q} est donnée par:

$$D_b = |x-s| + |y-t|$$

$$\begin{array}{ccccc} 4 & 3 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 4 & 3 & 2 & 3 & 4 \end{array}$$

Opérations de voisinage

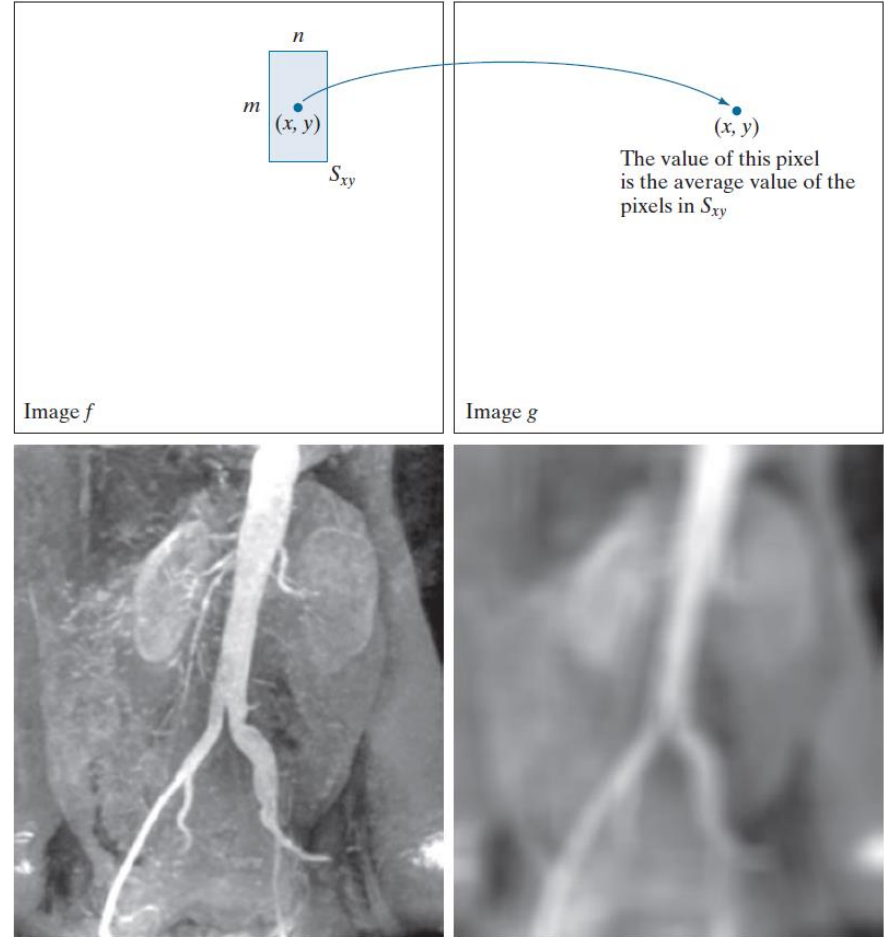
$$g(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(r,c) \in S_{xy}} f(r, c)$$

- où r et c représentent les coordonnées des pixels dans l'ensemble S_{xy} .
- l'image g est créée en parcourant les pixels (x, y) de sorte que le centre du voisinage se déplace de pixel en pixel dans l'image f
- puis en répétant l'opération de voisinage à chaque nouvel emplacement.

a b
c d

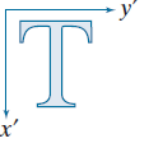
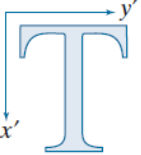
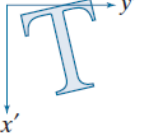
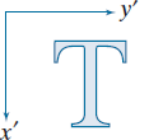
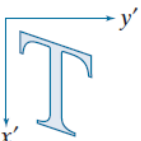
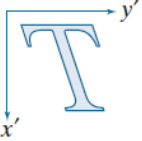
FIGURE 2.39

Local averaging using neighborhood processing. The procedure is illustrated in (a) and (b) for a rectangular neighborhood. (c) An aortic angiogram (see Section 1.3). (d) The result of using Eq. (2-43) with $m = n = 41$. The images are of size 790×686 pixels. (Original image courtesy of Dr. Thomas R. Gest, Division of Anatomical Sciences, University of Michigan Medical School.)



Transformations géométriques

TABLE 2.3
Affine
transformations
based on
Eq. (2-45).

Transformation Name	Affine Matrix, A	Coordinate Equations	Example	
Identity	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= x \\ y' &= y \end{aligned}$		Identité
Scaling/Reflection (For reflection, set one scaling factor to -1 and the other to 0)	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= c_x x \\ y' &= c_y y \end{aligned}$		Echelle
Rotation (about the origin)	$\begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta - y \sin \theta \\ y' &= x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned}$		Rotation
Translation	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= x + t_x \\ y' &= y + t_y \end{aligned}$		Translation
Shear (vertical)	$\begin{bmatrix} 1 & s_v & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= x + s_v y \\ y' &= y \end{aligned}$		Cisaillement
Shear (horizontal)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_h & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{aligned} x' &= x \\ y' &= s_h x + y \end{aligned}$		Cisaillement

Opérateurs linéaires et non linéaires

Soit un opérateur H qui produit une image $g(x, y)$ en l'appliquant à une image $f(x, y)$.

$$H(f(x, y)) = g(x, y)$$

- H est **linéaire** si (a, b sont des réels):

$$\begin{aligned} H(af_1(x, y) + bf_2(x, y)) &= aH(f_1(x, y)) + bH(f_2(x, y)) \\ &= ag_1(x, y) + bg_2(x, y) \end{aligned}$$

- H est **non-linéaire** sinon.

Opérateurs linéaires et non linéaires

- Exemple:

Montrer que le **max** est un opérateur non linéaire.

- Soient deux images:

$$f_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad f_2 = \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}$$

- et soient $a=1$ et $b = -1$, si on prend le coté gauche de l'équation on aura:

$$\mathbf{max} \left\{ (1) \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} + (-1) \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix} \right\} = \mathbf{max} \left\{ \begin{bmatrix} -6 & -3 \\ -2 & -4 \end{bmatrix} \right\} = -2$$

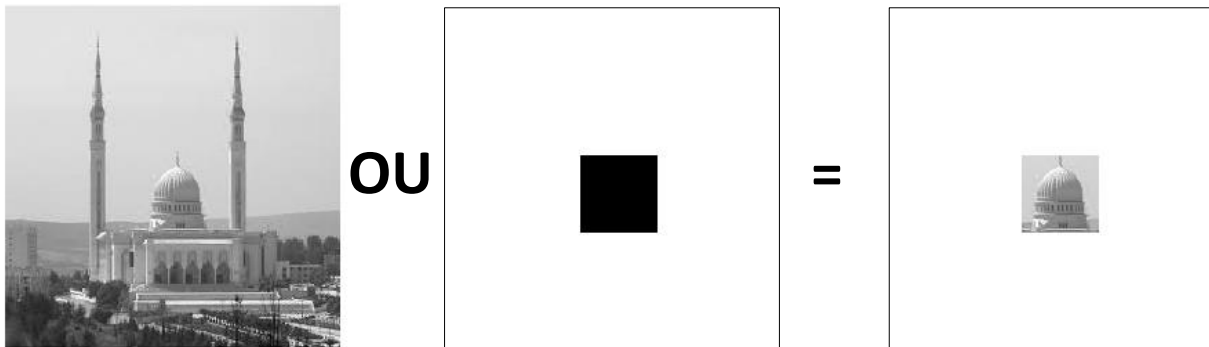
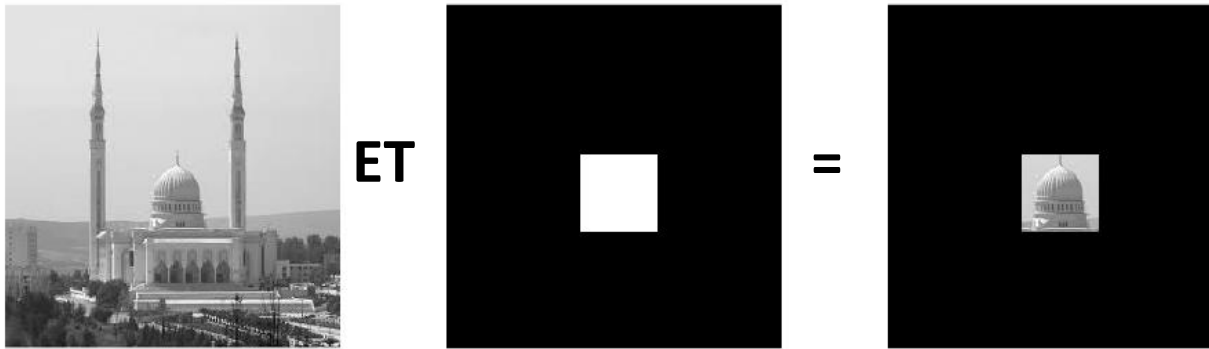
- Sur le coté droit, on a:

$$(1) \mathbf{max} \left\{ \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 2 & 3 \end{bmatrix} \right\} + (-1) \mathbf{max} \left\{ \begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix} \right\} = 3 + (-1)7 = -4$$

- Les deux cotés de l'équation ne sont pas égaux, donc l'opérateur **max** est non linéaire.

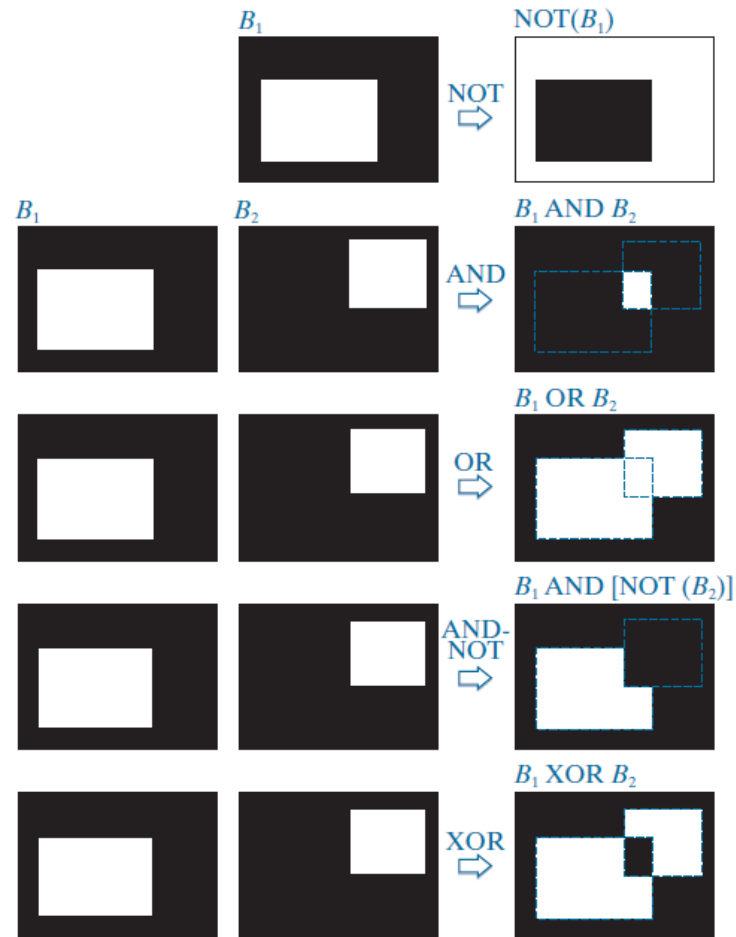
Opérations logiques

Les opérations logiques fonctionnent aussi sur les images.



Opérations logiques

FIGURE 2.37
Illustration of logical operations involving foreground (white) pixels. Black represents binary 0's and white binary 1's. The dashed lines are shown for reference only. They are not part of the result.



Addition d'images

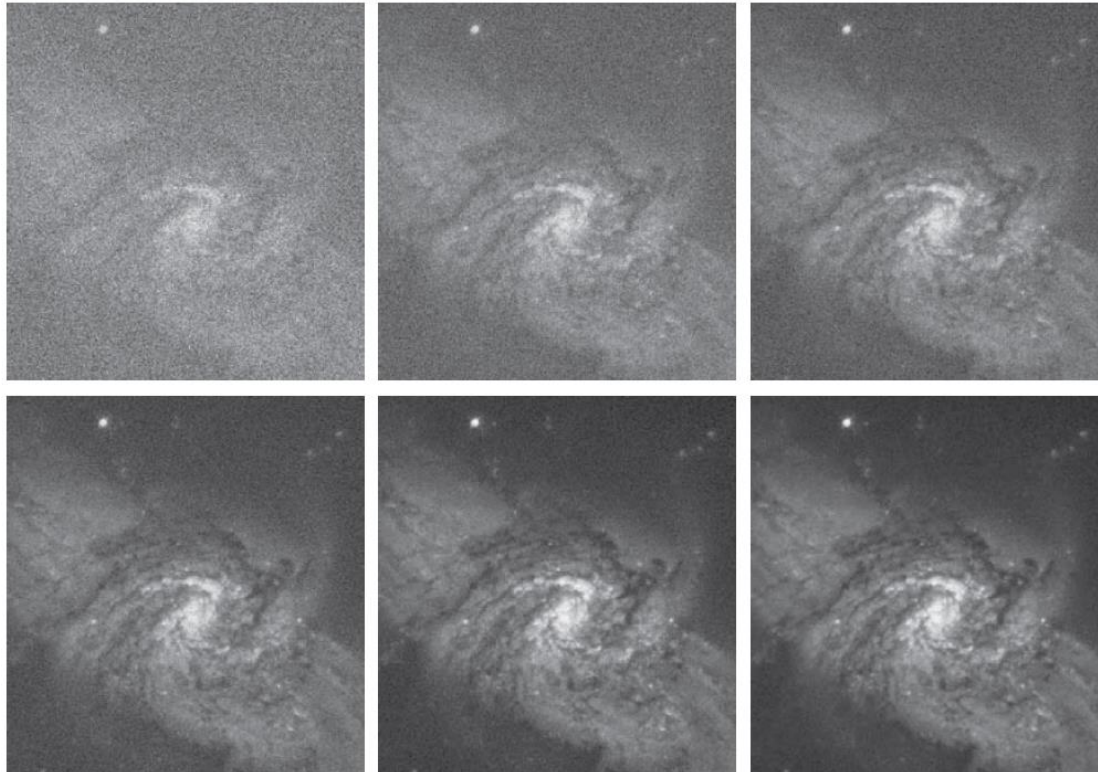
- Si f et g sont deux images, on peut définir l'addition S pixel à pixel de ces deux images par:

$$S(x,y) = \text{Min}(f(x,y)+g(x,y) ; 255)$$

- L'addition d'images peut permettre
 - De diminuer le bruit d'une vue dans une série d'images
 - D'augmenter la luminance en additionnant une image avec elle-même



Addition d'images



a b c
d e f

FIGURE 2.29 (a) Image of Galaxy Pair NGC 3314 corrupted by additive Gaussian noise. (b)-(f) Result of averaging 5, 10, 20, 50, and 100 noisy images, respectively. All images are of size 566×598 pixels, and all were scaled so that their intensities would span the full $[0, 255]$ intensity scale. (Original image courtesy of NASA.)

Soustraction d'images

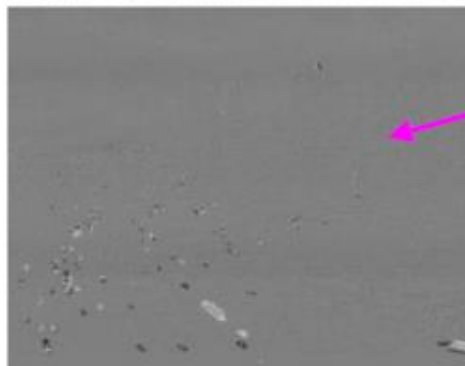
- On peut définir la soustraction S pixel à pixel de deux images f et g par :

$$S(x,y) = \text{Max}(f(x,y)-g(x,y) ; 0)$$

- La soustraction d'images peut permettre
 - Détection de défauts
 - Détection de mouvements



Images prises
à T et $T + \Delta t$

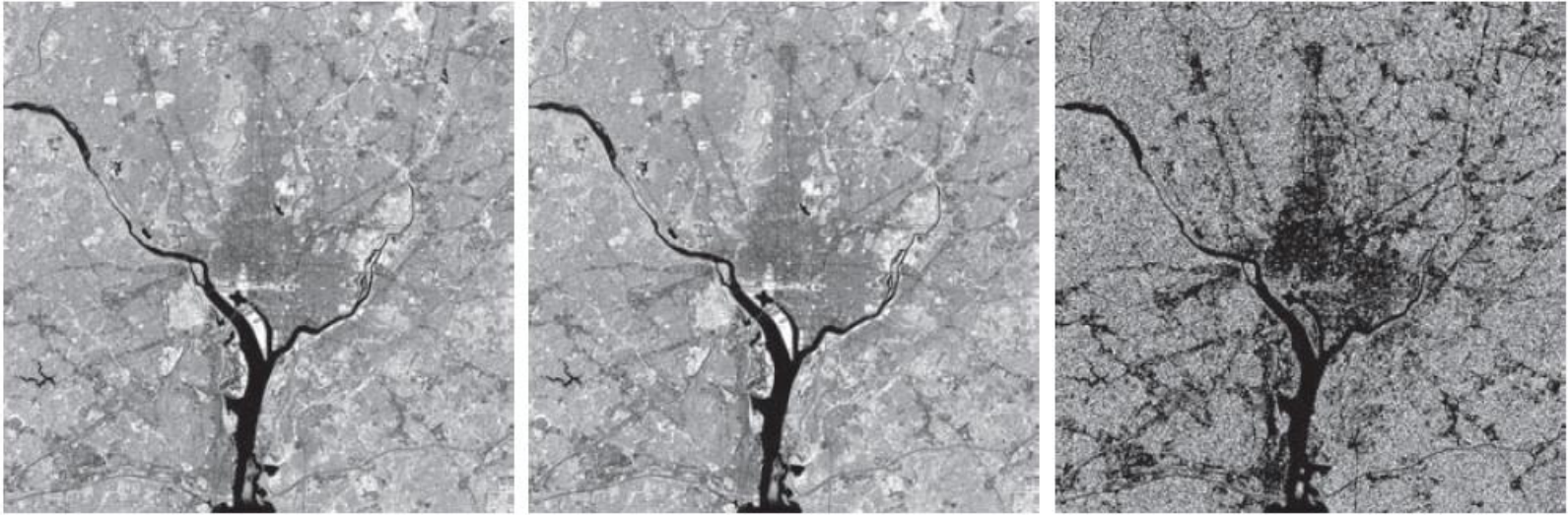


Résultat de la
soustraction

Détection des
changements



Soustraction d'images



a b c

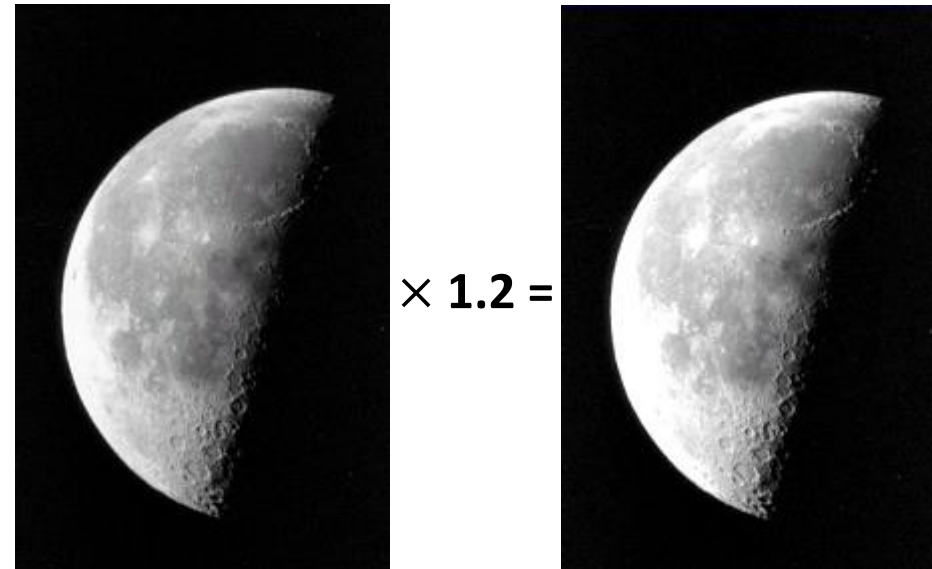
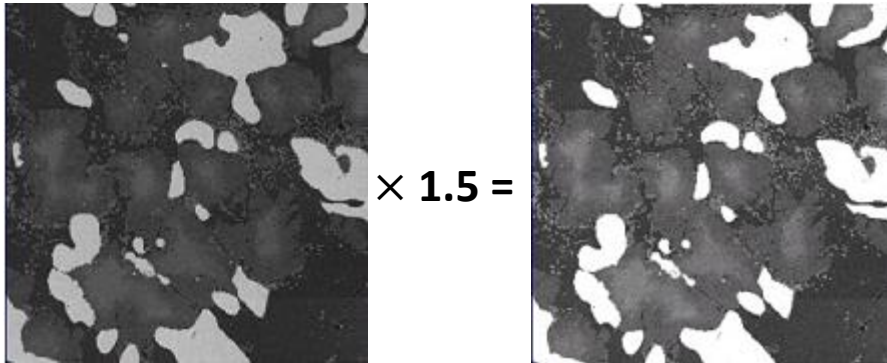
FIGURE 2.30 (a) Infrared image of the Washington, D.C. area. (b) Image resulting from setting to zero the least significant bit of every pixel in (a). (c) Difference of the two images, scaled to the range $[0, 255]$ for clarity. (Original image courtesy of NASA.)

Multiplication d'images

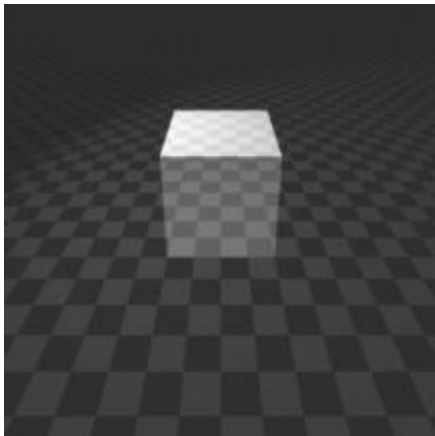
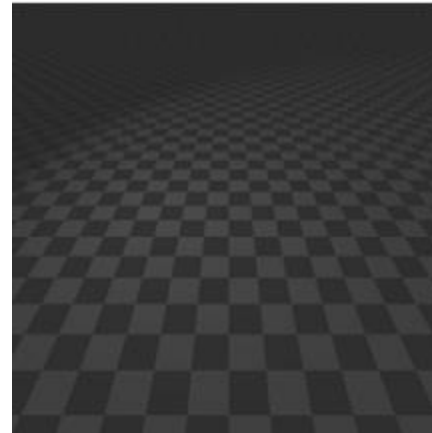
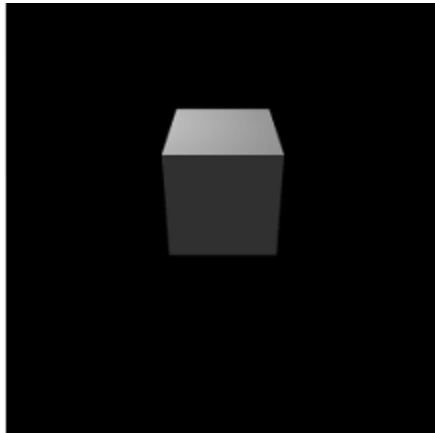
- La multiplication S d'une image f par un ratio (facteur) peut se définir par:

$$S(x,y) = \text{Min}(f(x,y)*\text{ratio} ; 255)$$

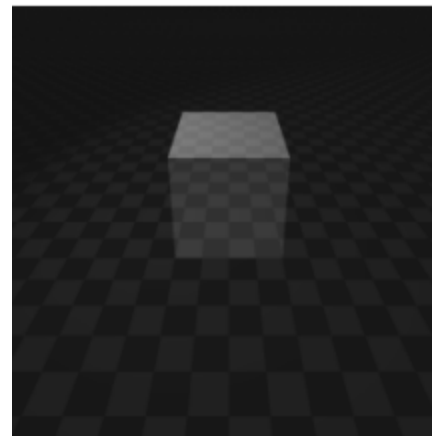
- La multiplication d'images peut permettre d'améliorer le contraste ou la luminosité



Multiplication d'images



Addition



Mélange (coefficient 0.5)

Chapitre suivant

Chapitre 02

Amélioration de la qualité de l'image

Références:

1. M. S. Allili. *Éléments Avancés d'Analyse d'Images (Cours de 2e cycle)*. Université du Québec en Outaouais (UQO), Québec, Canada. Hivers 2014.
2. R. C. Gonzalez and R. E. Woods. *Digital image processing*. Pearson Education. 3rd Edition. 2008.
3. R. C. Gonzalez and R. E. Woods. *Digital image processing*. Pearson Education. 4th Edition. 2018.
4. R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins. *Digital image processing using Matlab*. Gatesmark Publishing. 2nd Edition. 2009.
5. Sandipan Dey. *Hands-On Image Processing with Python: Expert techniques for advanced image analysis and effective interpretation of image data*. Packt Publishing, 2018.