

# Introduction aux images numériques

Dr. ZOUAGUI T.

USTO – Faculté GE - Département d'Électronique

[prof.zouagui@gmail.com](mailto:prof.zouagui@gmail.com)

## Qu'est ce qu'une Image ?

- **Image :**

- Représentation d'un ou de plusieurs êtres ou objets par le **dessin**, la **peinture**, la **sculpture**, la **gravure**, la **photographie**, la **cinématographie**, etc. (Larousse).

- **Physique :**

- Représentation d'un objet produite par la réunion de rayons lumineux qui en émanent et se reconstituent sur un **miroir**, sur un **écran** ou sur **l'œil** qui perçoit cette image.

- **Information** qui émane d'un **capteur de vision**.

## Pourquoi les images numériques sont intéressantes ?

- 90% de l'information reçue par l'homme est visuelle
- Premier sens chez l'humain: **vue** (images)
- Plusieurs appareils scientifiques fournissent des images (microscopes, télescopes, **scanner X, IRM, échographes**, ...)
- Nombreux domaines d'applications utilisent l'image comme source d'information et/ou de visualisation

3

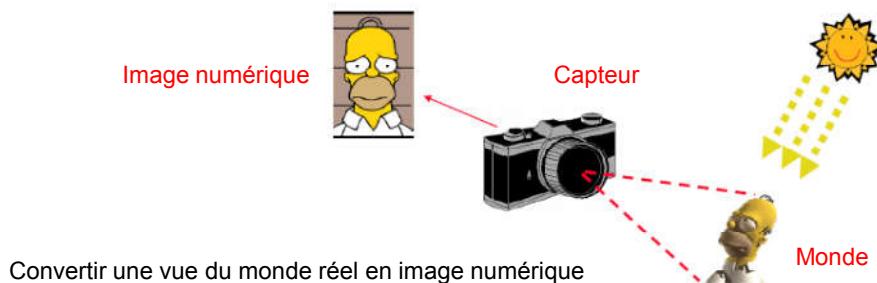
## Pourquoi les images numériques sont intéressantes ?

- Image : Moyen très important pour l'homme pour communiquer avec autrui
  - « An Image is a Thousand Words Worth » : *mieux vaut une image qu'un long discours*
- Paysage des pratiques de l'image a été considérablement modifié dans la période récente : domaine grand public
  - Ordinateur, téléphone portable, appareils photos numériques, caméras, blogs, plates-formes visuelles sur Internet, ... ont connu une diffusion rapide

4

## Qu'est ce qu'une image ?

- Une image est avant tout un **signal 2D**, fourni par un capteur photosensible. Souvent cette image représente une **réalité 3D**
  - Projection 2D d'une scène 3D



## Qu'est ce qu'une image ?

- Définition d'une image
  - C'est la représentation d'un phénomène physique dans une partie de  $\mathbb{R}^n$
- Image continue = fonction de 2 variables
  - Fonction  $f : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^n$ ,  $(x,y) \mapsto f(x,y)$
  - $n$  est le nombre de **composantes** de l'image ( $n \geq 1$ ). Dans ce cas, l'espace  $\mathbb{R}^2$  est appelé **plan image**
  - Support de l'image: sous-ensemble de  $\mathbb{R}^2$  de surface finie, en général un rectangle, de côtés  $L_x, L_y$

- D'un point de vue **mathématique**
  - Une image est une fonction  $f(x,y)$ . Pour chaque position  $(x,y)$ ,  $f(x,y)$  représente l'intensité de la lumière (signal) en ce point ( $I=f(x,y)$ )
  - 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.

7

- Formulation générale
- $$I = f(x, y, z, \lambda, t)$$
- 
- $(x, y, z)$  coordonnées spatiales
  - $\lambda$  longueur d'onde,  $t$  temps
  - $I$  intensité ou niveau de gris de l'image au point de coordonnées  $(x, y, z)$
  - $f$  fonction descriptive du phénomène physique
  - **Image** : fonction définie dans un espace multidimensionnel

8

- Exemples de fonctions descriptives  $f$ 
  - **Luminance** (photographie)
  - Luminance Infra Rouge (imagerie satellitaire)
  - Coefficient d'absorption des rayons X (scanner)
  - Densité de protons (IRM)
  - Profondeur, hauteur, distance (images Radar)
  - ...

9

## Images numériques

- On crée une image numérique en 3 étapes
  - **Acquisition**
    - Caméras, scanners, radars, sonars, ...
  - **Échantillonnage**
    - Discrétisation de l'espace
    - Un échantillon est appelé '**pixel**' (**picture element**)
    - Le nombre d'échantillons détermine la **Résolution**
  - **Quantification**
    - Discrétisation des valeurs des échantillons
    - Codage informatique sur 1, 2, 4, 8, 16, 24, ...bits

Le pixel est à l'image numérique ce que l'atome est la molécule.

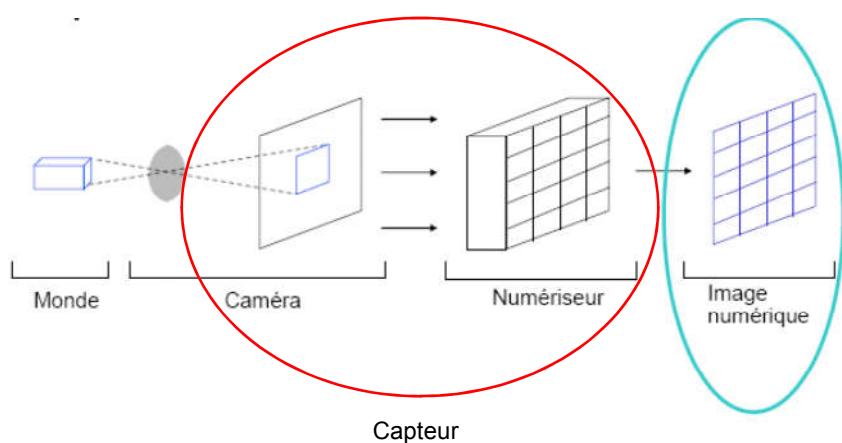
10

# Acquisition des images

- Pour avoir une image il faut:
  - Un objet : sujet de l'image
  - Un rayonnement
    - Doit être adapté à l'objet
    - Onde électromagnétique, onde sonore, ...
  - Un capteur
    - Convertisseur d'énergie

11

# Acquisition des images

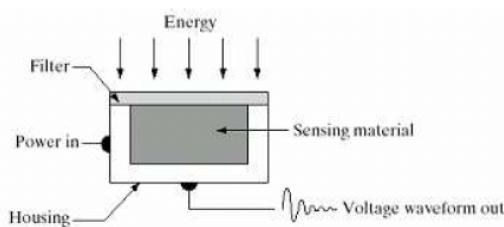


12

## Acquisition des images

- Capteur :

- Des **photons** incidents viennent exciter des **électrons** se trouvant dans du silicium
  - L'énergie incidente est convertie en signal électrique
  - Sortie proportionnelle à la lumière
  - Filtre pour augmenter la sélectivité

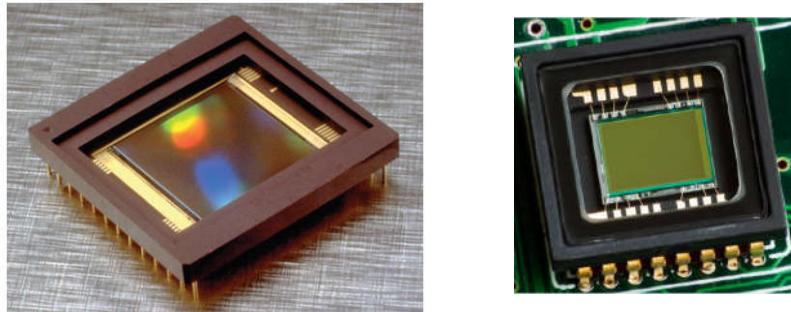


13

## Acquisition des images

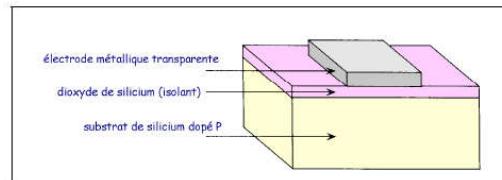
- Capteur : circuit intégré ayant sur sa face supérieure une zone d'analyse composée d'une centaine de milliers de sites **photosensibles**
- Deux grandes familles de capteurs: **CCD** et **CMOS**
  - CCD : Charge Coupled Device
  - CMOS : Complementary Metal Oxyde Semiconductor

14



Kodak's KAF-4202 full-frame CCD (reproduced with permission from Kodak).

### Capteurs CCD



15

## Échantillonnage et quantification

- **Échantillonnage:** Prélèvement périodique des échantillons d'un signal analogique
- **Quantification:** l'amplitude du signal échantillonné est représenté par un **nombre fini** de valeurs d'amplitude (niveaux de quantification)
- **Codage:** les niveaux de quantification sont codés sous la forme d'un mot binaire sur **K bits**

16

# Numérisation

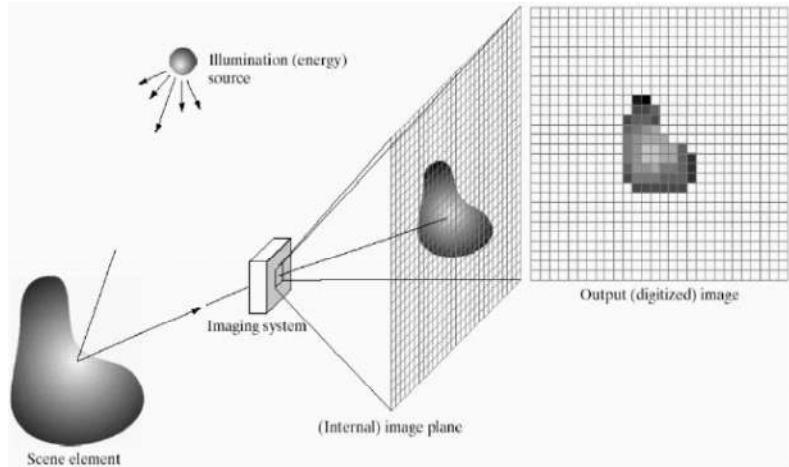


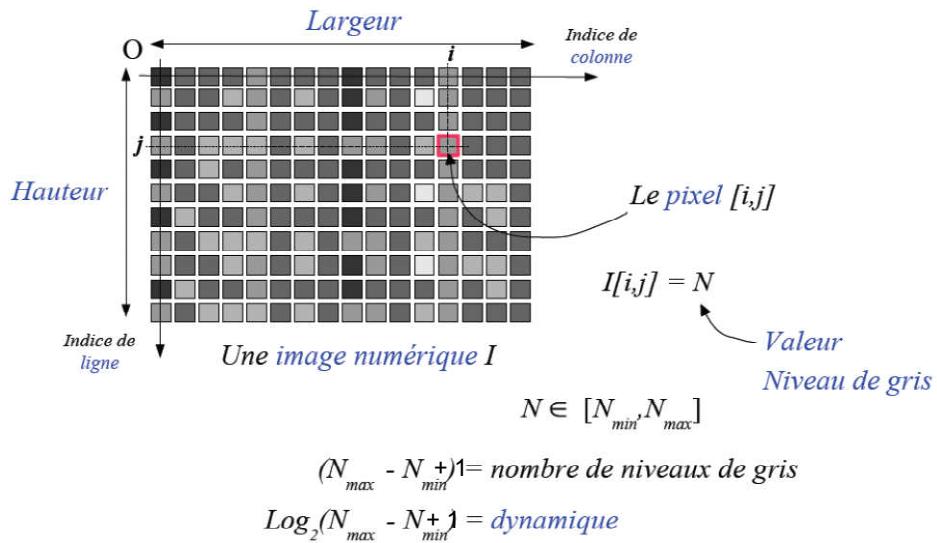
Image numérique = description dans un espace discret de  $R^2$  d'une image continue

17

## Représentation des images numériques

- Matrice de dimension  $L \times H$
- Chaque élément a une valeur entière dans l'intervalle  $N = [N_{min}, N_{max}]$
- Le nombre de bits requis pour représenter les niveaux de gris dans l'intervalle  $N$  est  $K$
- La relation entre  $K$  et  $N$  est :  $N = 2^K$
- Le nombre de bits pour stocker une image est donc:  $B = L \times H \times K \times c$ 
  - $c=1$  image niveaux de gris,  $c=3$  image couleur

# Représentation des images numériques



# Représentation des images numériques

- **Image numérique** : matrice de  $M \times N$  pixels (*picture element*) correspondant à l'échantillonnage et la quantification d'un signal acquis avec une caméra.
- Chaque pixel est associé à un niveau de gris  $I$  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 pixel est localisé par ses coordonnées  $x$  et  $y$  dans l'image.

## Représentation des images numériques

- Représentation d'une image numérique codée sur 8 bits.

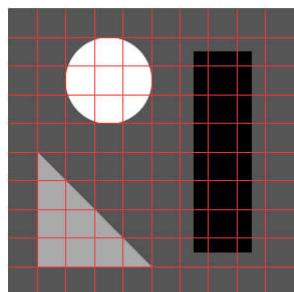
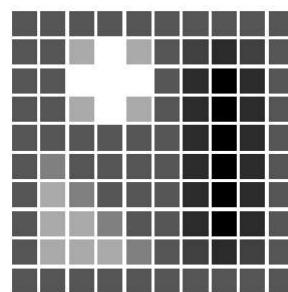


Image I



Pavage carré

21

## Représentation des images numériques

- Repère, coordonnées et niveau de gris

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	•	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	•	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	•	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4	•	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	•	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	•	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	•	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	•	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	•	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Repère image et maillage

170	85	64
255	85	43
170	85	43

$I(6,1) = 64$

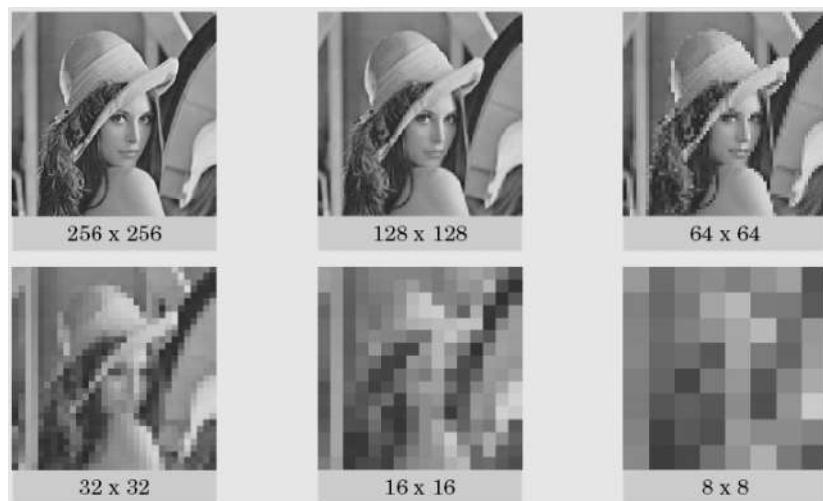
22

## Résolutions des images

- Résolution **spatiale** (**définition** d'une image)
- Résolution de **tons de gris** (tonale)
- Une image a donc une résolution de  $L \times H$  pixels et une résolution de tons de gris de  $K$  bits ou de  $N$  niveaux (tons)

23

## Résolution spatiale



Réduction du nombre de pixels

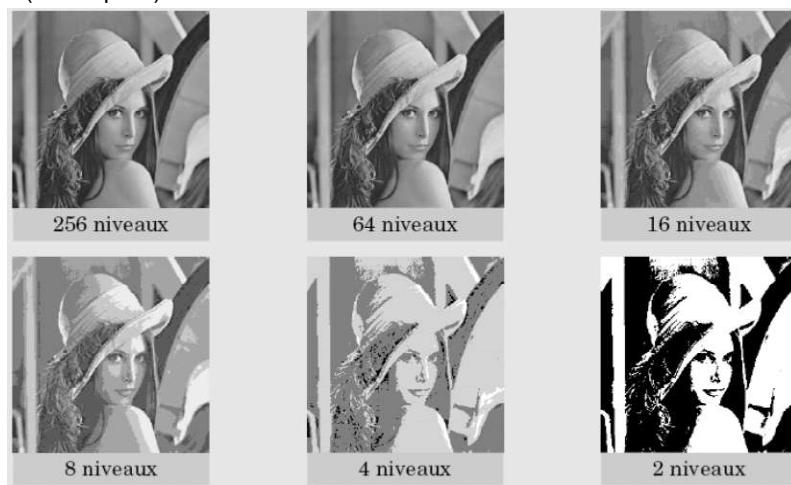
24

## Résolution spatiale



## Résolution tonale

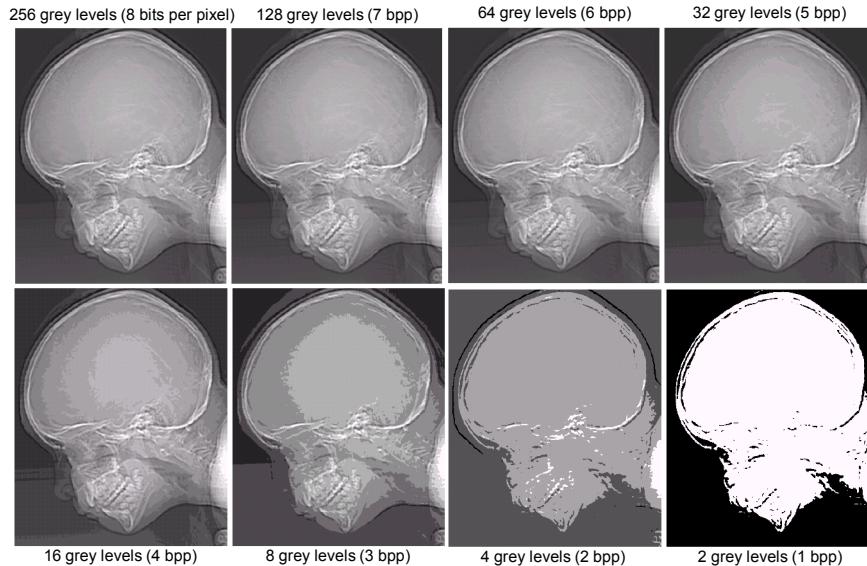
(8 bits/pixel)



(1 bit/pixel)  
IMAGE BINAIRE

26

## Résolution tonale

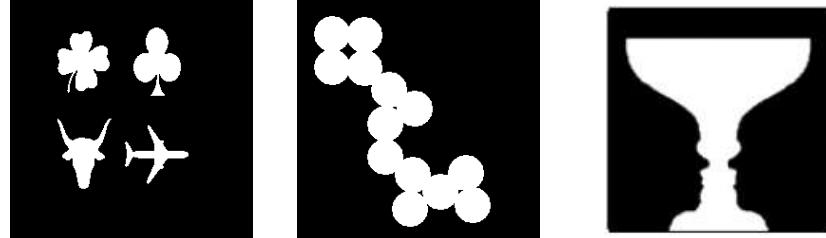


## Type d'images

- Images binaires  $I(x,y) \in \{0, 1\}$
- Images en niveaux de gris  $I(x,y) \in [a : b]$
- Images couleurs  $I_R(x,y)$   $I_G(x,y)$   $I_B(x,y)$
- Images naturelles/artificielles
- Images matricielles/vectorielles
- Images 2D, 2D+t, 3D, ...

## Image binaires

- Images qui contiennent que deux valeurs
    - 0 pour le noir
    - 1 pour le blanc
- (1 bit par pixel)



29

## Images en niveaux de gris

- L'équivalent d'une photo 'noir & blanc'
- On ne garde que l'information 'intensité lumineuse' (luminance)
- Un pixel est codé par une seule valeur numérique
  - En général, codage sur 8 bits (1 octet) donc  $2^8=256$  valeurs possibles: [0 – 255]



30

Images en niveaux de gris  
 $I(x,y) \in [0..255]$



(8 bits par pixel)

31

Images médicales en niveaux de gris



Image d'un scanner IRM

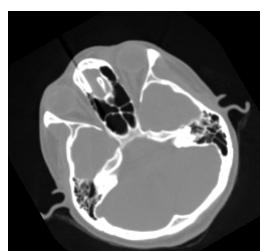


Image d'un scanner X



Mammographie



Radiographie



Angiographie

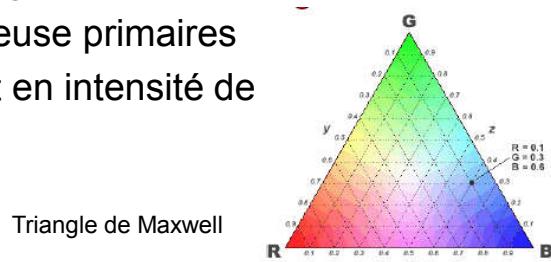


Échographie

32

## Images couleurs - Trichromie

- Le principe de la trichromie réside dans la découverte qu'il suffit d'un triplet de couleurs pures pour restituer – par mélange de ces 3 composantes qu'on peut qualifier de **primaires** – l'intégralité des couleurs
  - 3 sources lumineuses primaires ( $r, g, b$ ) qui varient en intensité de 0 à 100 %



## Images couleurs

- On garde l'information couleur : 'intensité lumineuse' et 'chromaticité' (luminance et chrominance)
- Un pixel est codé par 3 valeurs numériques
  - La signification de ces valeurs dépend du type de codage choisi
  - Le plus courant (stockage et visu.): RVB (RGB)
  - Quelques autres: CMY, HSL, YUV, ...
    - Exemple: RVB - chaque valeur code une composante couleur sur 8 bits, donc  $2^8 \times 2^8 \times 2^8$  couleurs possibles

34

## Espace RVB (RGB)

- RVB: espace de couleurs additif
  - Couleurs primaires **rouge**, **vert** et **bleu** mélangées pour former d'autres couleurs
  - Dans cet espace, une couleur est représentée par un triplet (r,g,b)
    - **r** donne l'intensité de la composante rouge
    - **g** donne l'intensité de la composante verte
    - **b** donne l'intensité de la composante bleue
- Espace choisi à cause de la structure de l'œil humain

35

## Images couleurs

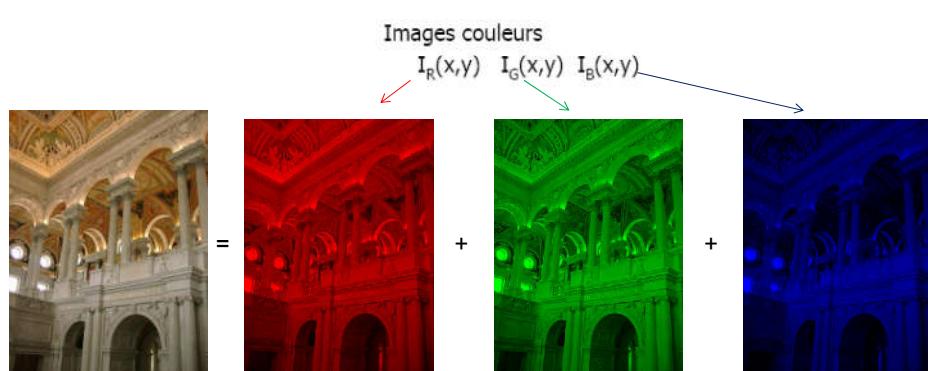
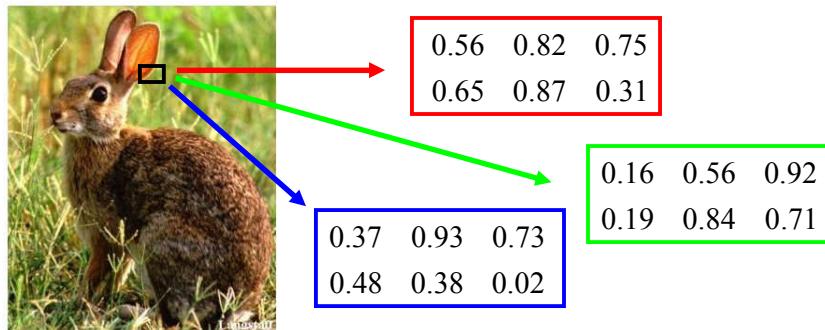


Image couleur dans l'espace  
RVB  
(24 bits par pixel)

36

- Une image couleur est décrite par 3 matrices



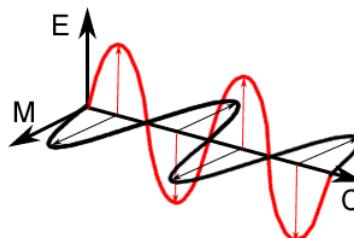
Ici, les valeurs r,g,b sont comprises entre 0 et 1. Souvent ces valeurs sont entières, entre 0 et 255.

37

## Lumière visible

- Photons - ondes électromagnétiques (EM)
- 2 champs perpendiculaires '**électrique**' et '**magnétique**'
- Les 2 champs se déplacent à la vitesse de la lumière **C**
- **C = 300000 km/s**

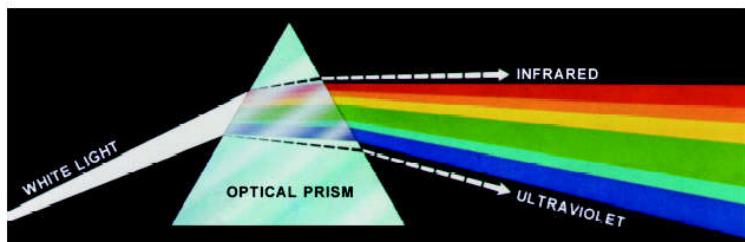
Photons = flux de particules



38

## Lumière - couleur

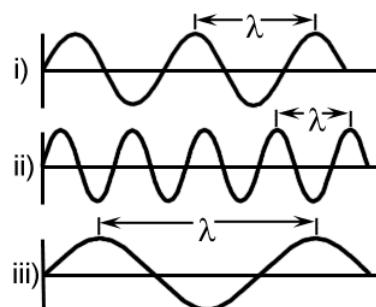
- Décomposition de la lumière à l'aide d'un prisme (expérience de Newton en 1672)
  - Lumière blanche constituée d'un ensemble de longueurs d'ondes qui correspondent aux couleurs.



39

## Fréquence et longueur d'onde

- Une onde lumineuse monochromatique est caractérisée par sa **longueur d'onde**  $\lambda$ , c'est-à-dire la distance séparant deux maxima successifs, et par sa **fréquence**  $\nu$ , c'est-à-dire le nombre de cycles effectués par seconde. Le temps mis pour parcourir une longueur d'onde est la **période**  $T$ .
- Unité de la longueur d'onde : **Mètre** (nm, mm, cm, ...).



$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad E = h\nu$$

c : vitesse de la lumière

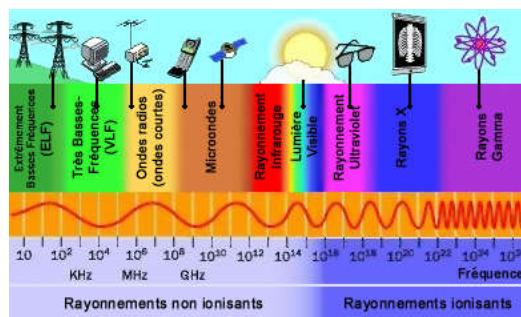
$\lambda$  : longueur d'onde

$\nu$  : fréquence

h : constante de Planck <sup>40</sup>

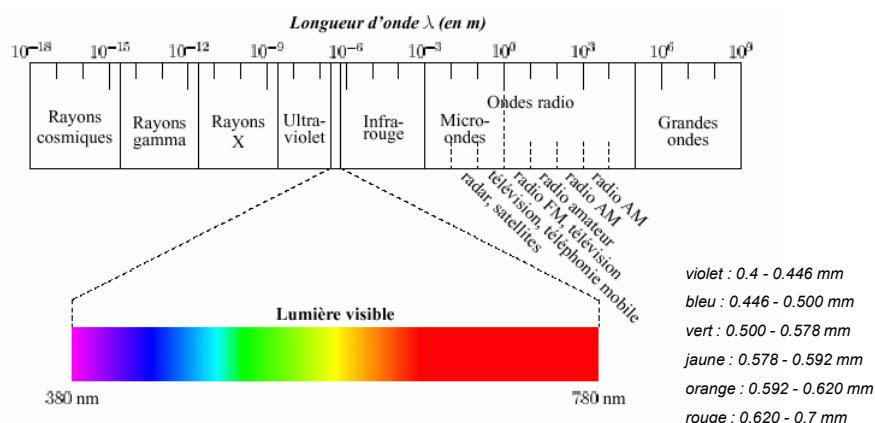
# Spectre électromagnétique

- Le spectre EM est la principale source d'énergie pour les images.
- Il existe beaucoup d'autres sources acoustique, électronique, ultrasons, ...



41

# Spectre électromagnétique



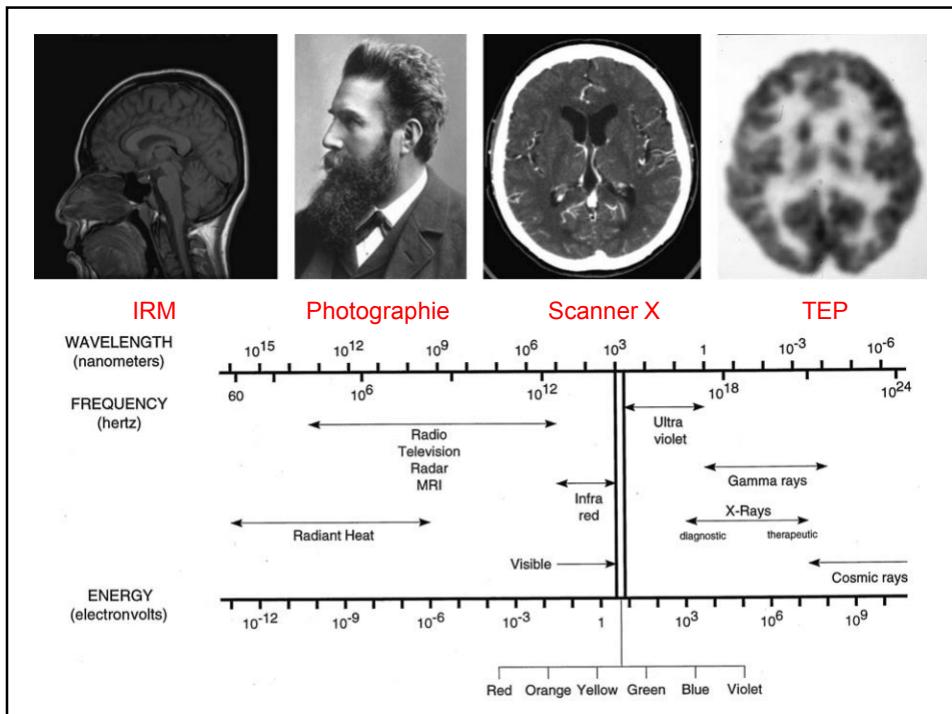
La couleur varie en fonction de la longueur d'onde entre 380 et 780 nm

42

# Spectre électromagnétique

- Les différents types d'images et leurs utilisations
  - L'imagerie par rayons gamma
  - L'imagerie par rayons X
  - L'imagerie ultra-violet
  - L'imagerie visible
  - L'imagerie infrarouge
  - L'imagerie dans la bande micro-ondes
  - L'imagerie dans la bande radio

43



## Formats d'images

	Sans Compression	Avec Compression	
		Sans Pertes	Avec Pertes
Images	BMP, PGM, PPM, RAW, TGA ...	GIF, PCX, PNG, TIF, ...	JPeG
Vidéo	(transmissions)	AVI, FLI, MOV ...	MPeG <sup>1,2,3,4,7</sup>

45

## Formats d'images : DICOM

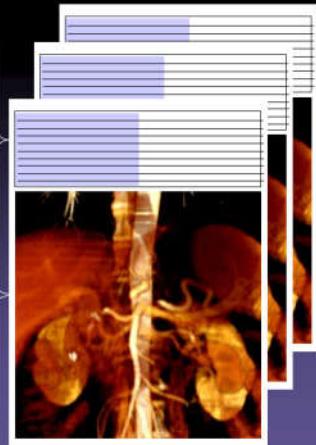
- Le format **DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)** a été créé en 1985 pour standardiser les images issues de la radiologie. C'est donc une norme internationale, pour la gestion informatique et l'interopérabilité des équipements d'imagerie médicales.

46

## Formats d'images : DICOM

### Le format DICOM

- Un entête
  - Un nombre de champs variables qui décrivent les données du patient, son statut lors de l'examen, les paramètres de l'acquisition, de la série d'images, d'une seule image, un compte rendu.
  - Quelques champs suffisent à déterminer l'encodage de l'image
    - Transfer Syntax UID
    - Bytes allocated
    - Rows & Columns
    - Couleurs ou N&B
- Les données de l'image
  - Non compressées
  - ...ou compressées (24 types différents)
    - RLE
    - Lossless JPEG
    - JPEG LS
    - JPEG lossy
- Une description de la façon avec laquelle les fichiers doivent être agencés, nommés

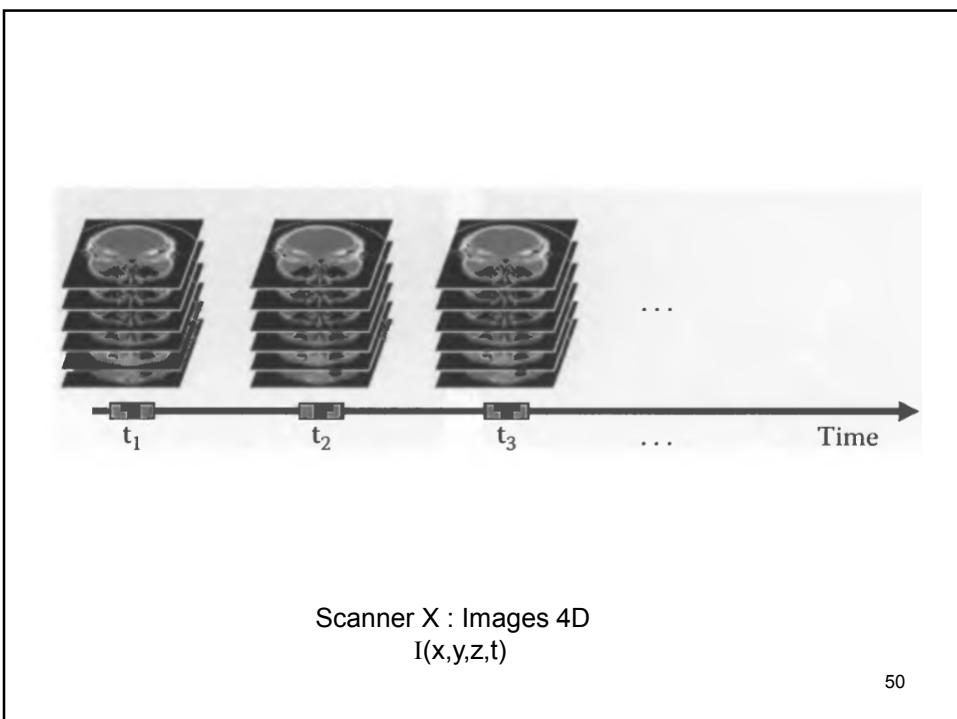
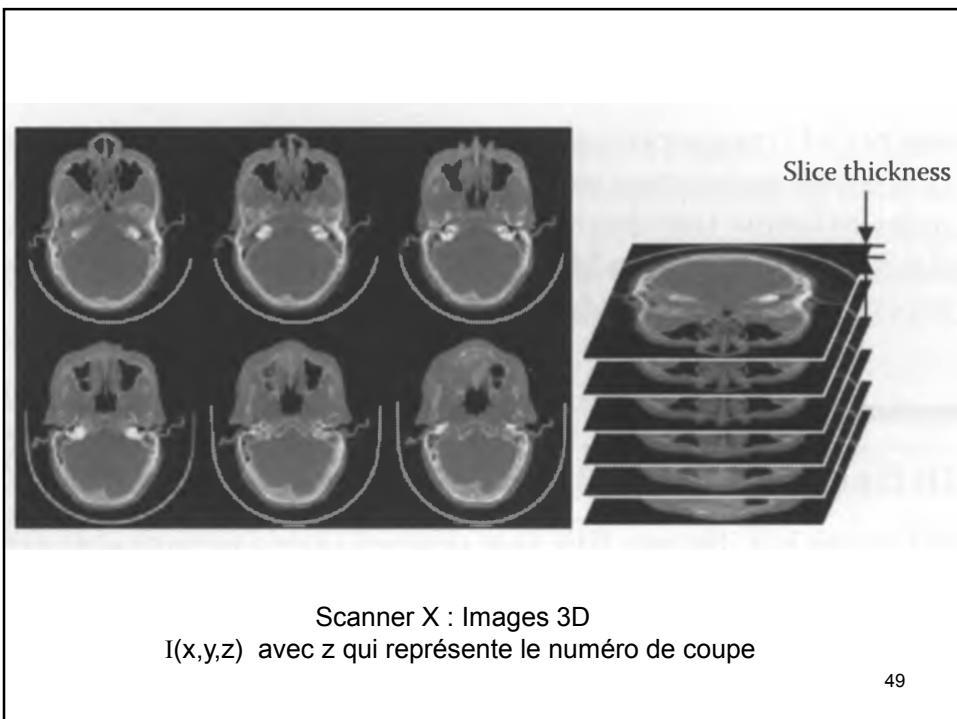


47

## Formats d'images : DICOM

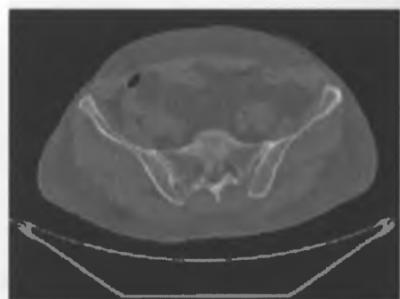
- La production quotidienne massive d'images médicales ne peut être archivée dans un format commun de type JPEG au risque de perdre des données associées à l'image telles que le nom du patient, le type d'examen, l'hôpital, etc.
- Le format DICOM permet de rendre unique chaque image produite et de lui associer des informations spécifiques.

48



### 3 Plans de coupe en imagerie médicale

Axial ou transverse



Coronal ou frontal



Sagittal



### Projection Radiography



(a)

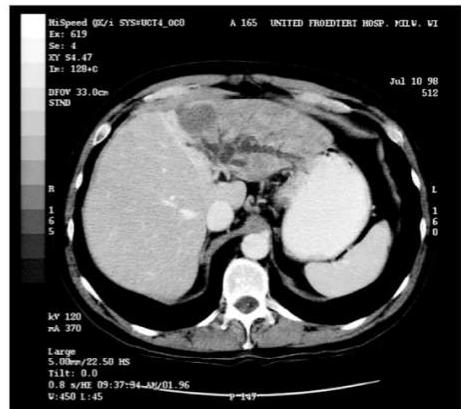


(b)

## Computed Tomography



(a)



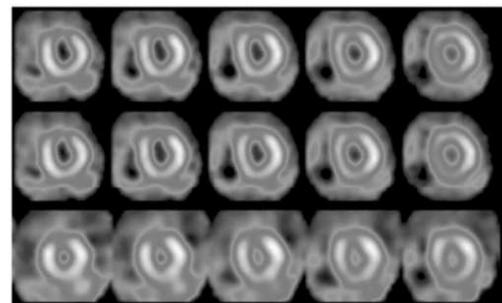
(b)

53

## SPECT



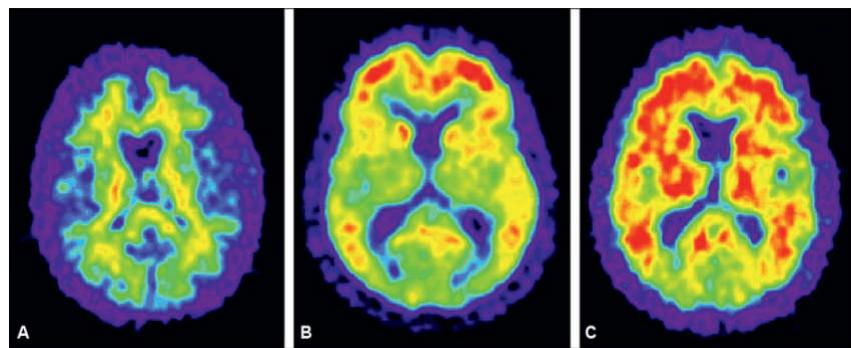
(a)



(b)

54

## PET



55

## Ultrasound Imaging



(a)



(b)

56

## Magnetic Resonance Imaging



(a)



(b)

57

## Références

- *Traitemet d'images*, H. Maître, Hermès, 2003.
- *Analyse d'image: filtrage et segmentation*, J.P. Coquerez, S. Phillip, Masson, 1995.
- *Traitemet numérique des images*, M. Kunt, G. Granlund, M. Kocher, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1993.
- *Digital Image Processing using Matlab*, R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Prentice Hall, NJ, 2004.
- *Digital Image Processing*, B. Jähne, Springer, 2005.
- *Introduction au Traitemet d'Images*, Diane Lingrand, Vuibert, Paris, France, 2008.
- *The Image Processing Handbook*, J.C. Russ, Springer, 2002.

58