

Introduction aux images numériques

Dr. ZOUAGUI T.

USTO – Faculté GE - Département d'Électronique

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**.

2

Pourquoi les images numériques sont intéressantes ?

- 90% de l'information reçue par l'homme est visuelle
- Premier sens chez l'humain: **v**ue (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 ?

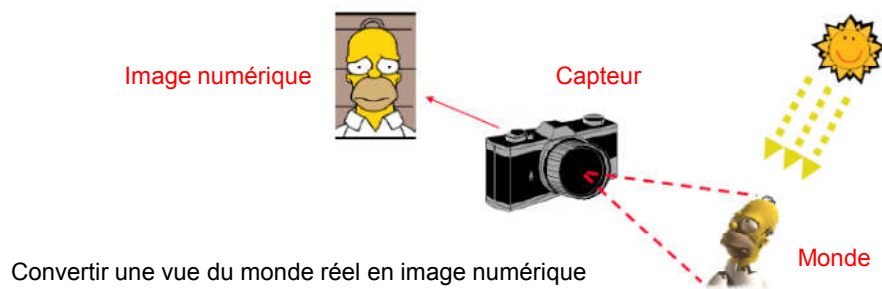
- Image : Moyen très important pour l'homme pour communiquer avec autrui

« 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 $f : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^n, (x,y) \rightarrow f(x,y)$
 - 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

$$I = f(x, y, z, \lambda, \textcircled{t})$$

Images 3D

Stream Video

- (x,y,z) coordonnées spatiales
- λ 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**' (**p**icture **e**lement)
 - 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.

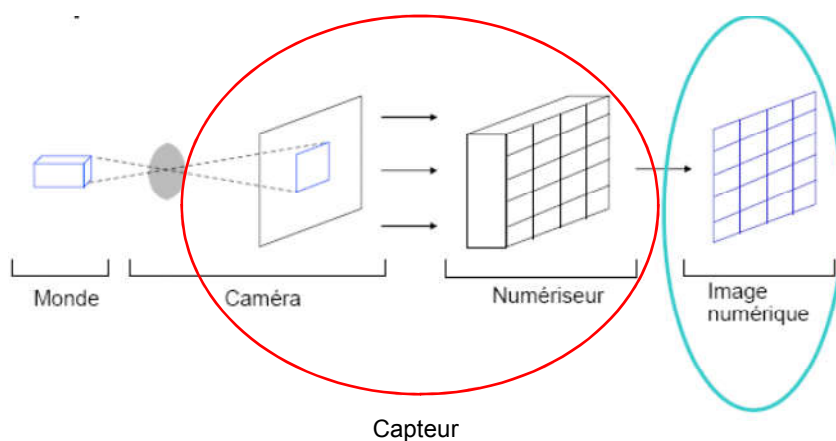
10

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

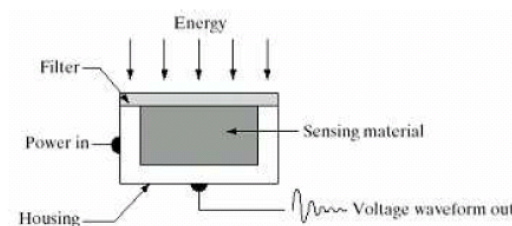
Acquisition des images



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

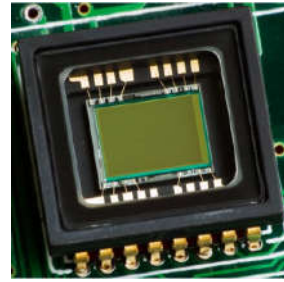
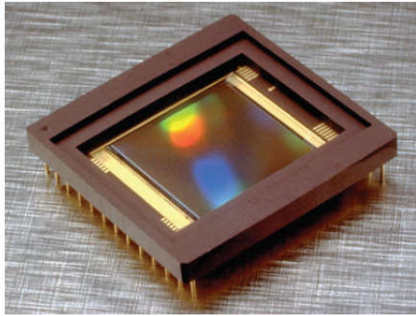


13

Acquisition des images

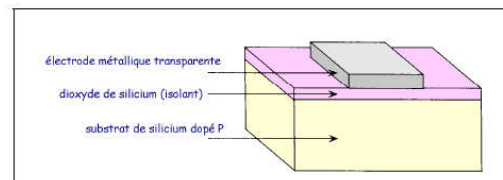
- Capteur : circuit intégré ayant sur sa face supérieure une zone d'analyse composée d'une centaine de milliers de sites **photosensibles**
- Deux grandes familles de capteurs: **CCD** et **CMOS**
 - CCD : Charge Coupled Device
 - CMOS : Complementary Metal Oxyde Semi conductor

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

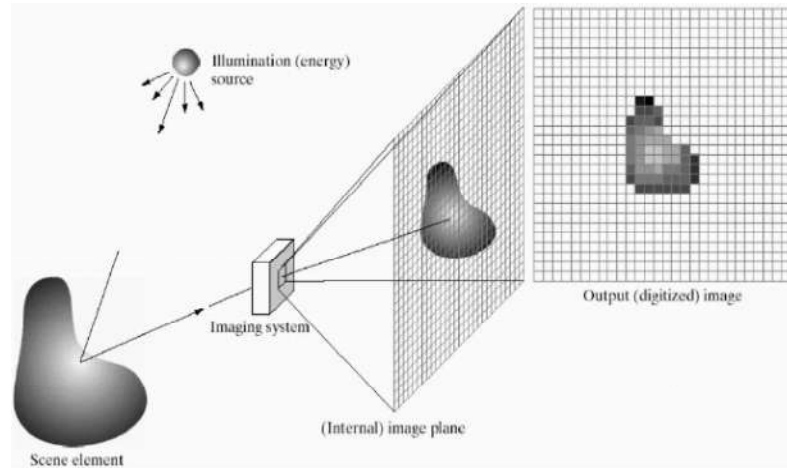


Image numérique = description dans un espace discret de \mathbb{R}^2 d'une image continue

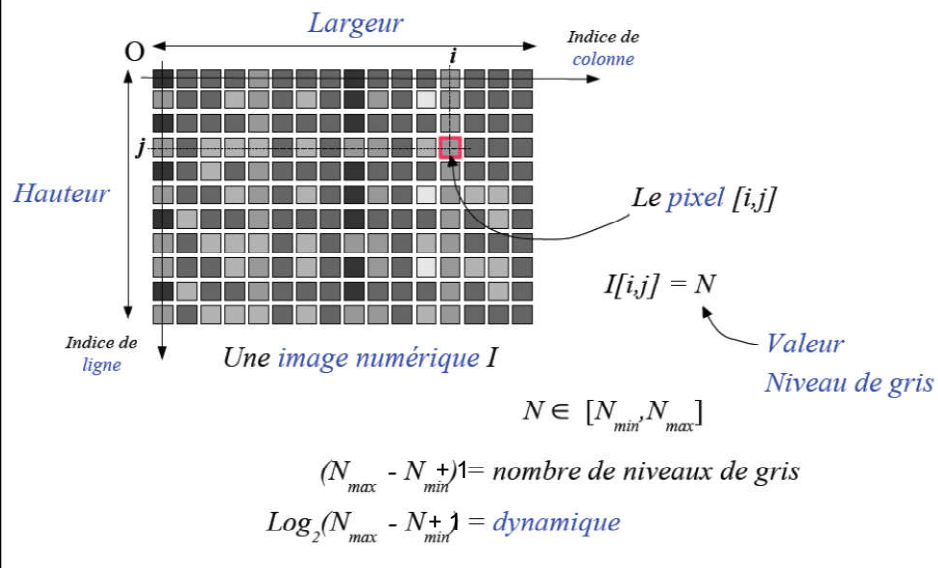
17

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

18

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.

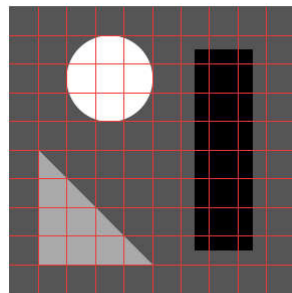
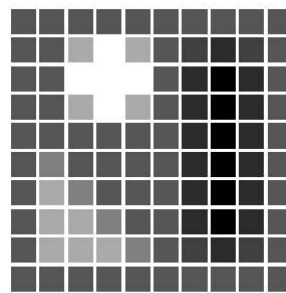


Image I

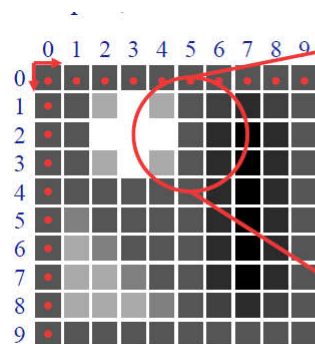


Pavage carré

21

Représentation des images numériques

- Repère, coordonnées et niveau de gris



Repère image et maillage

170	85	64
255	85	43
170	85	43

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

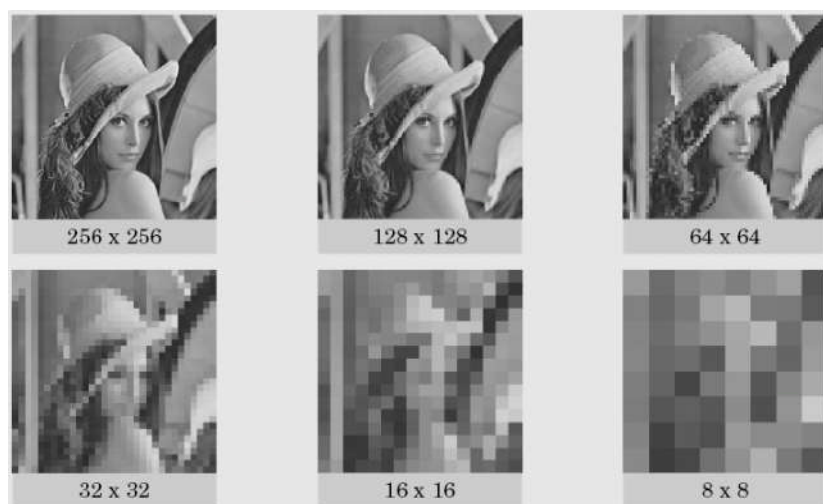
22

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

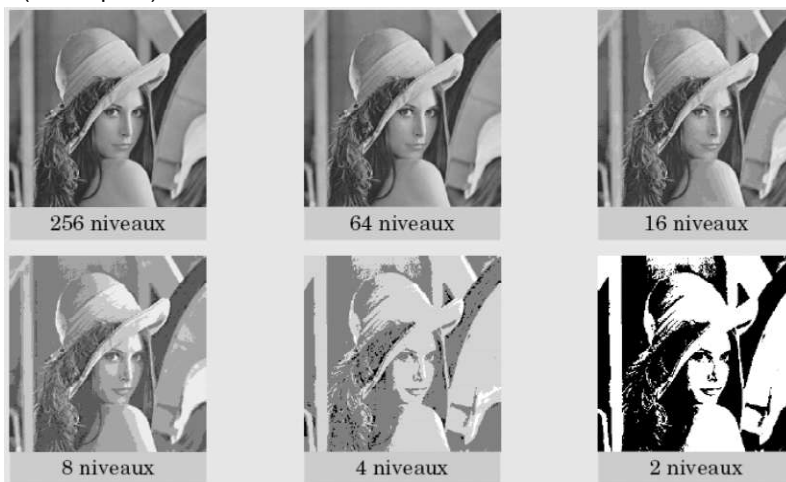
24

Résolution spatiale



Résolution tonale

(8 bits/pixel)



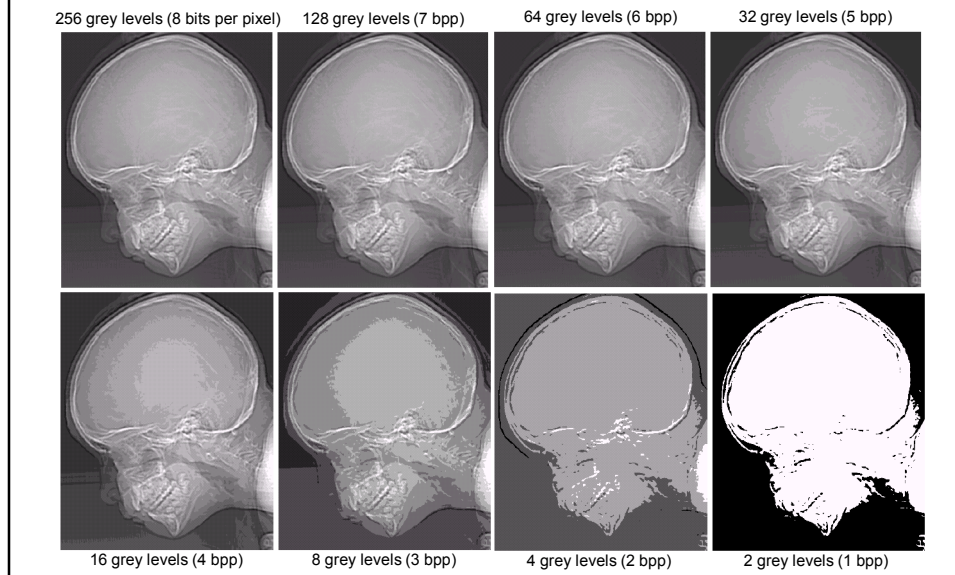
(3 bits/pixel)

(1 bit/pixel)

IMAGE BINAIRE

26

Résolution tonale



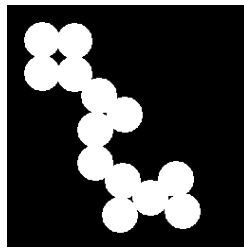
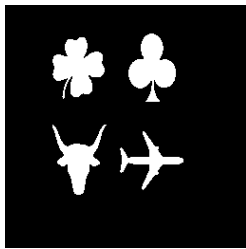
Type d'images

- Images binaires $I(x,y) \in \{0, 1\}$
- Images en niveaux de gris $I(x,y) \in [a : b]$
- Images couleurs $I_R(x,y) \quad I_G(x,y) \quad I_B(x,y)$
- 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

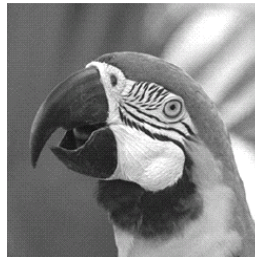
Images en niveaux de gris

- 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

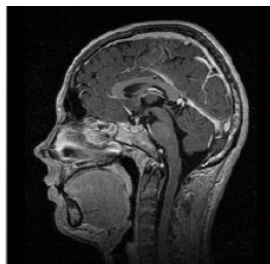


Image d'un scanner IRM

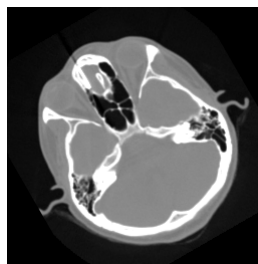


Image d'un scanner X



Mammographie



Radiographie



Angiographie

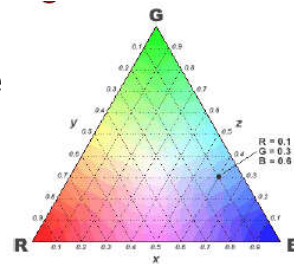


Échographie 32

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 lumineuse primaires (r,g,b) qui varient en intensité de 0 à 100 %

Triangle de Maxwell



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

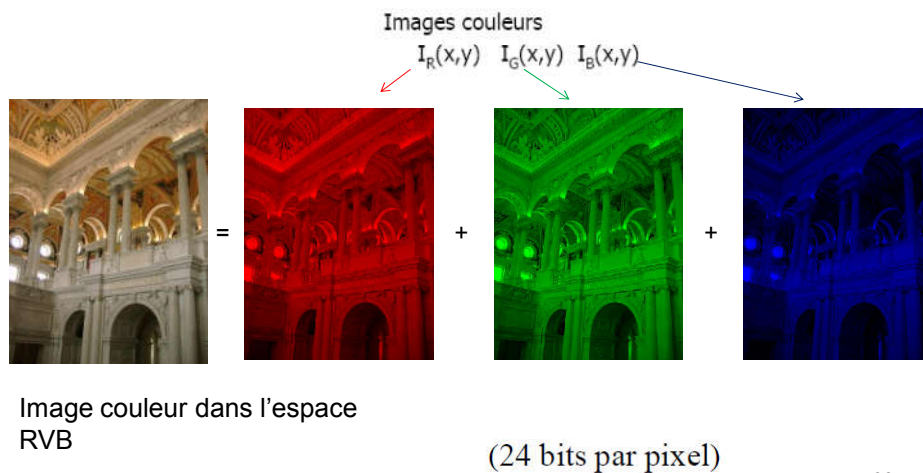
34

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

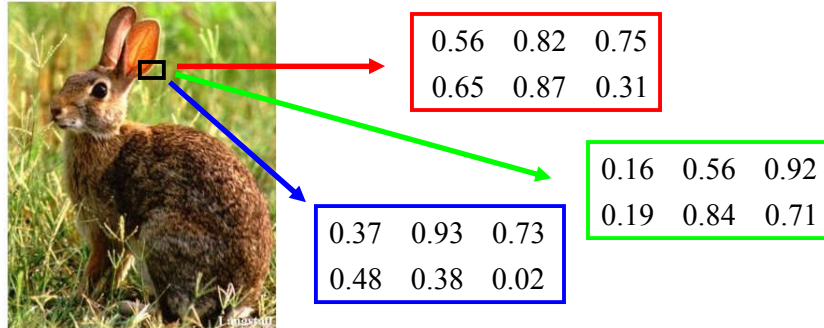
35

Images couleurs



36

- Une image couleur est décrite par 3 matrices



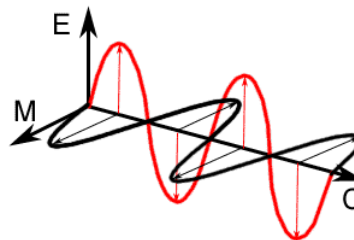
Ici, les valeurs r,g,b sont comprises entre 0 et 1. Souvent ces valeurs sont entières, entre 0 et 255.

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**

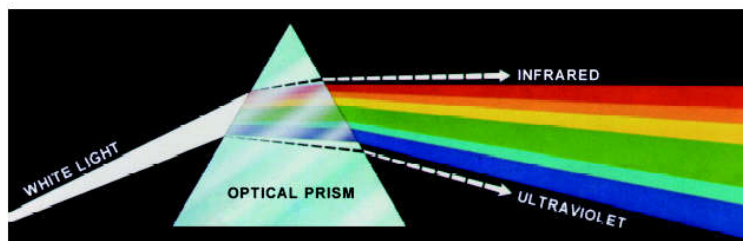


Photons = flux de particules

38

Lumière - couleur

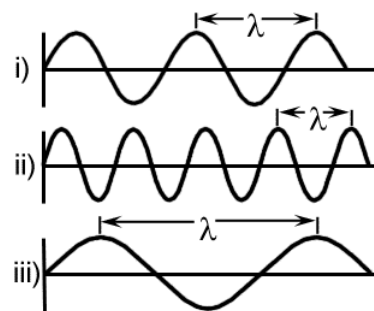
- Décomposition de la lumière à l'aide d'un prisme (expérience de Newton en 1672)
 - Lumière blanche constituée d'un ensemble de longueurs d'ondes qui correspondent aux couleurs.



39

Fréquence et longueur d'onde

- Une onde lumineuse monochromatique est caractérisée par sa **longueur d'onde** λ , c'est-à-dire la distance séparant deux maxima successifs, et par sa **fréquence** ν , 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

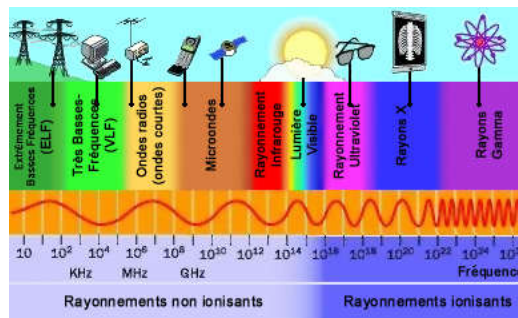
λ : longueur d'onde

ν : fréquence

h : constante de Planck ⁴⁰

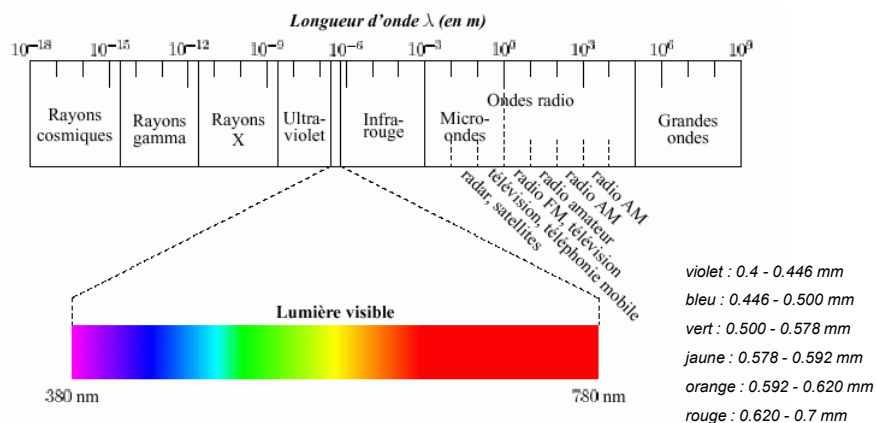
Spectre électromagnétique

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



41

Spectre électromagnétique



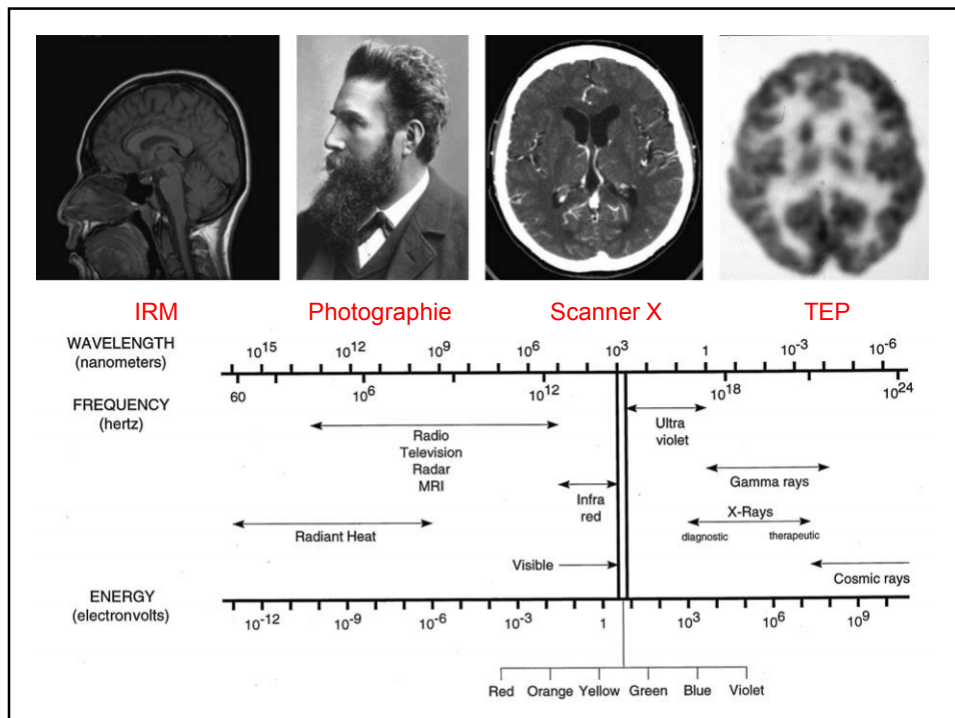
La couleur varie en fonction de la longueur d'onde entre 380 et 780 nm

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 1,2,3,4,7

45

Formats d'images : DICOM

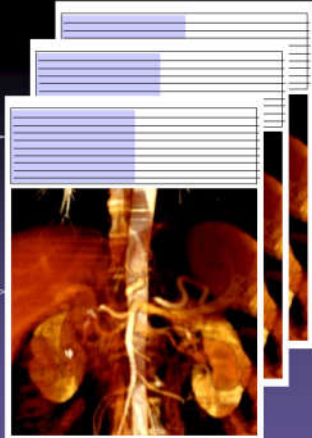
- **Le format DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)** a été créé en 1985 pour standardiser les images issues de la radiologie. C'est donc une norme internationale, pour la gestion informatique et l'interopérabilité des équipements d'imagerie médicales.

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 comprimées
 - ...ou comprimées (24 types différents)
 - RLE
 - Lossless JPEG
 - JPEG LS
 - JPEG lossy
- Une description de la façon avec laquelle les fichiers doivent être agencés, nommés

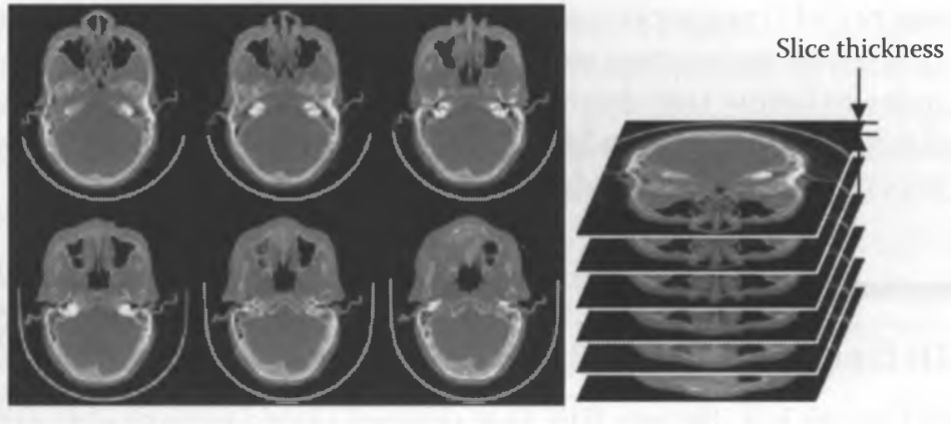


47

Formats d'images : DICOM

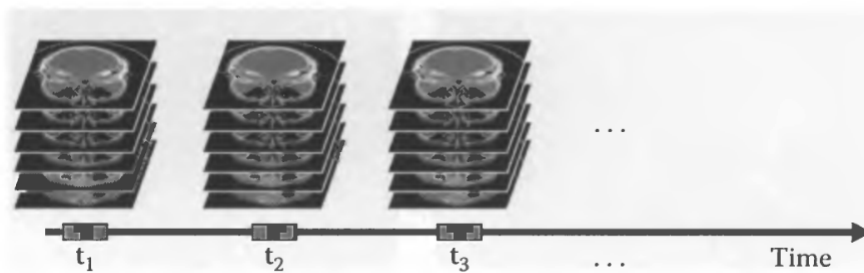
- La production quotidienne massive d'images médicales ne peut être archivée dans un format commun de type JPEG au risque de perdre des données associées à l'image telles que le nom du patient, le type d'examen, l'hôpital, etc.
- Le format DICOM permet de rendre unique chaque image produite et de lui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

48



Scanner X : Images 3D
 $I(x,y,z)$ avec z qui représente le numéro de coupe

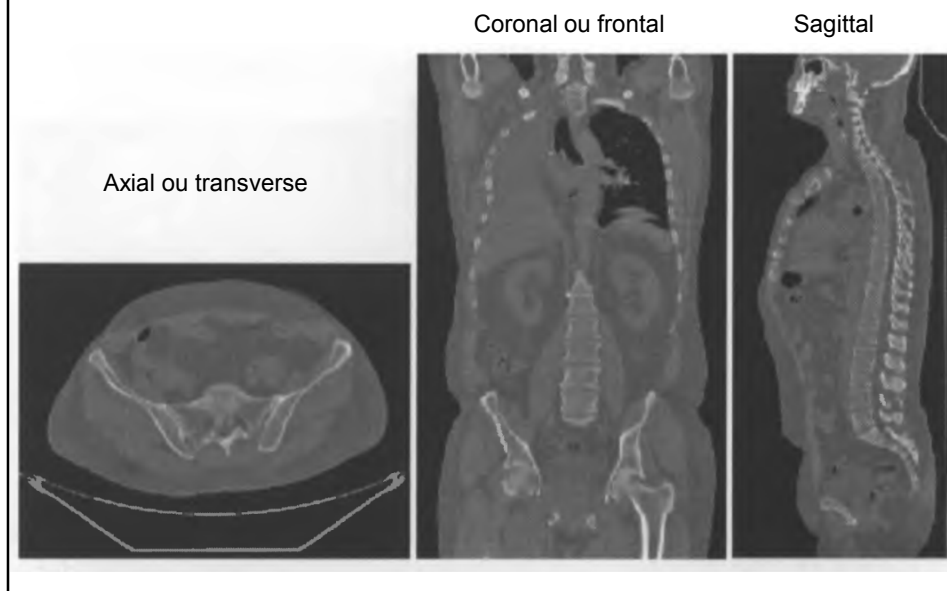
49



Scanner X : Images 4D
 $I(x,y,z,t)$

50

3 Plans de coupe en imagerie médicale



Projection Radiography



(a)

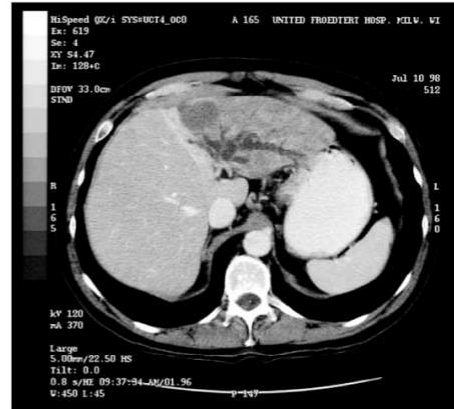


(b)

Computed Tomography



(a)



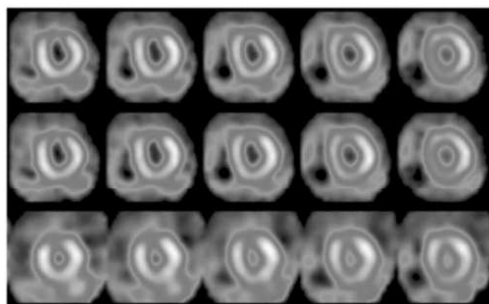
(b)

53



(a)

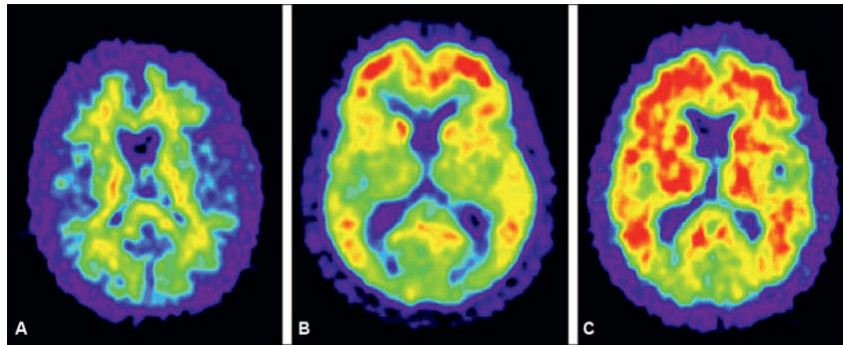
SPECT



(b)

54

PET



55

Ultrasound Imaging



(a)



(b)

56

Magnetic Resonance Imaging



(a)



(b)

57

Références

- *Traitement d'images*, H. Maître, Hermès, 2003.
- *Analyse d'image: filtrage et segmentation*, J.P. Coquerez, S. Phillip, Masson, 1995.
- *Traitement 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 Traitement d'Images*, Diane Lingrand, Vuibert, Paris, France, 2008.
- *The Image Processing Handbook*, J.C. Russ, Springer, 2002.

58