

Traitement du signal et des images

Enseignants

J. MAROT / M. ALLAIN / M. ADEL
O. DJEDIDI

Courriel

nom.prenom@univ-amu.fr

Adresse

Institut Fresnel - Campus de St-Jérôme

Informations préliminaires

Volume horaire 14h (CM), 10h (TD) et 16h (TP)

Préalable **Analyse, intégration, **Matlab.****

Évaluation (1) **examen théorique (50%)**
 (2) **Travaux Pratiques (50%)**

(1) *travail personnel de compréhension des cours, TD et TP.*

(2) *travail en binôme sous matlab + compte-rendu.*

Traitement du signal et des images

avec des illustrations tirées de
[Gonzalez and Woods : Digital image processing, Prentice Hall, 2002]

Cours 1 : introduction

— *Sommaire* —

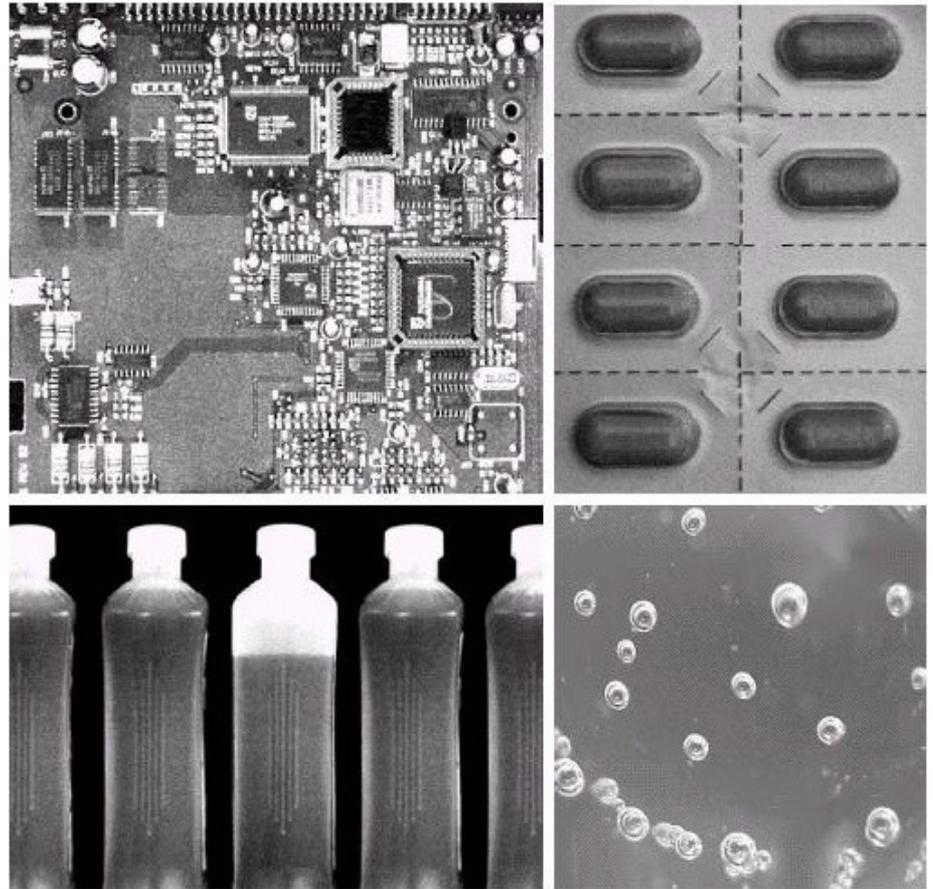
1. *Quelques domaines applicatifs*
2. *Nature des traitements usuels*
3. *Systèmes d'acquisition et représentation*
4. *Quelques définitions importantes*

a	b
c	d

Contrôle industriel

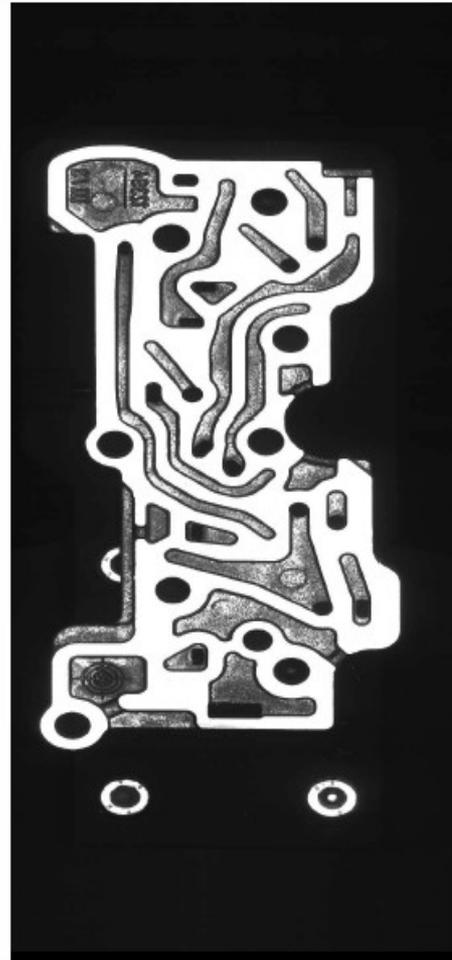
Quelques exemples de produits manufacturé dont le contrôle de qualité est souvent effectué par traitement d'image numérique :

- (a) contrôle de circuits intégrés,
- (b) qualité d'emballages,
- (c) suivi du remplissage,
- (d) détection d'inclusion.

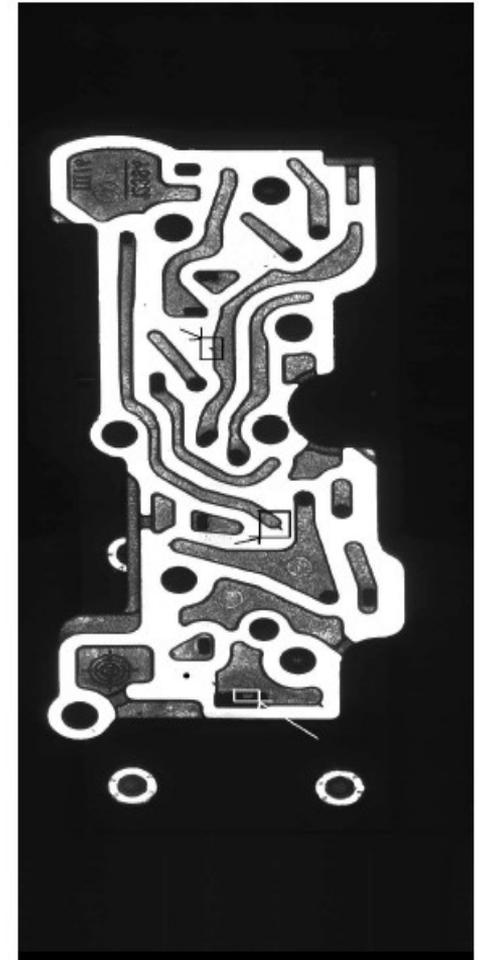


Contrôle industriel

Contrôle non destructif de surfaces métalliques.

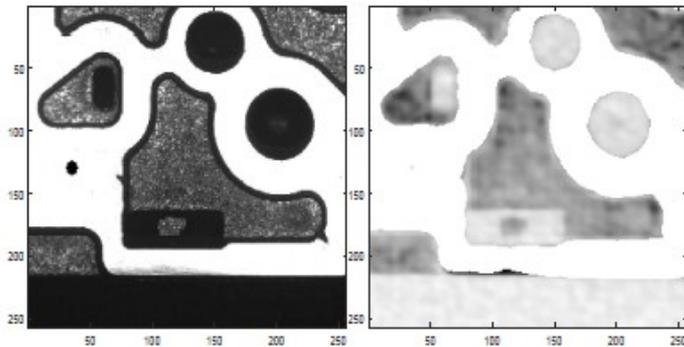


Pièce sans défaut



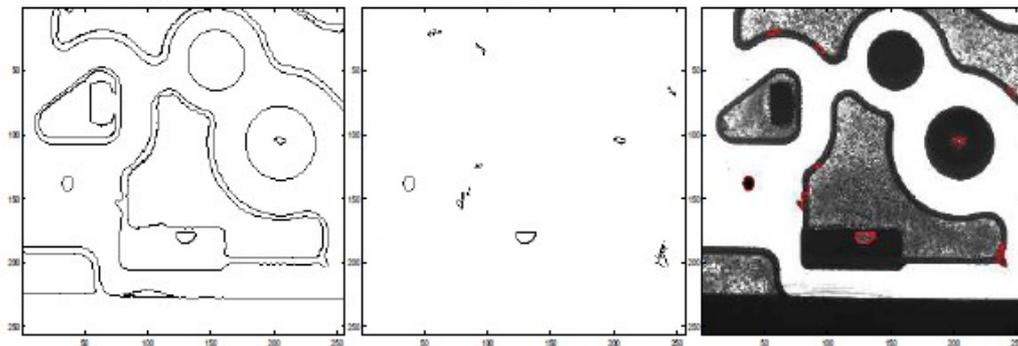
Pièce avec défaut

Contrôle industriel



(a)

(b)



(c)

(d)

(e)

- (a) Image à traiter
- (b) Extinction de contours
- (c) Segmentation
- (d) Carte des défauts
- (e) Superposition

Imagerie médicale

Quelques exemples de modalités d'imagerie médicale en vue d'aide au diagnostic, de planification d'acte chirurgical, etc. :

(a) visualisation des ligaments et cartilages du genou par imagerie par résonance magnétique (IRM),

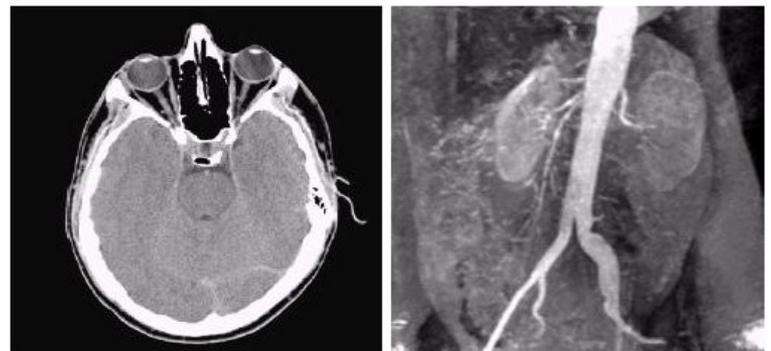
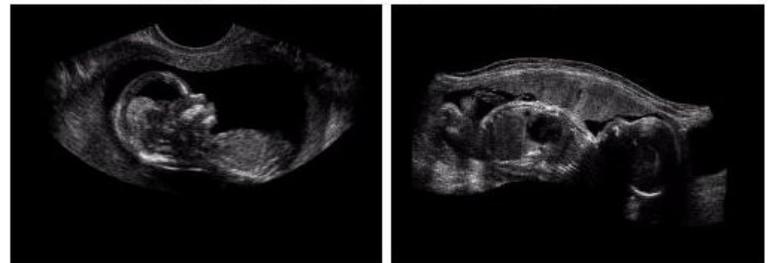
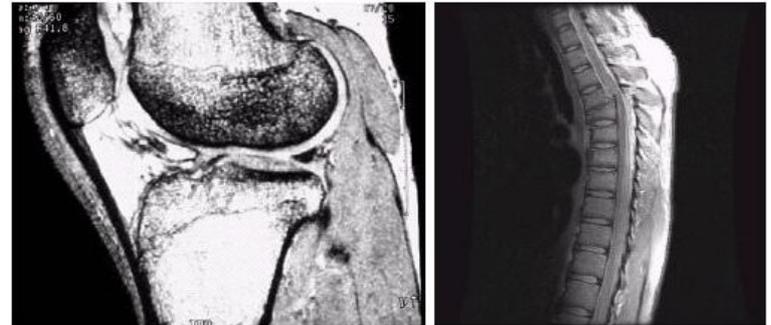
(b) IRM de la colonne vertébrale,

(c) échographie Doppler néonatale,

(d) idem,

(e) imagerie scanner à rayons X cérébrale,

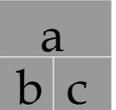
(d) visualisation du réseau vasculaire cardiaque par imagerie par émission de positron, c.à.d. émission de rayons γ .



a	b
c	d
e	f

Téledétection

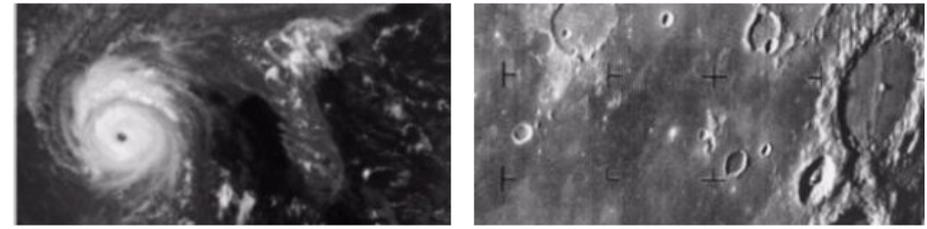
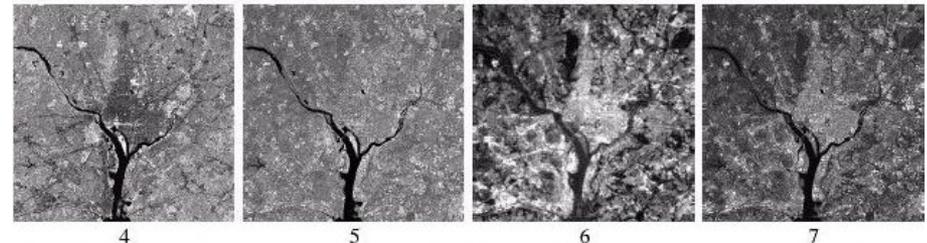
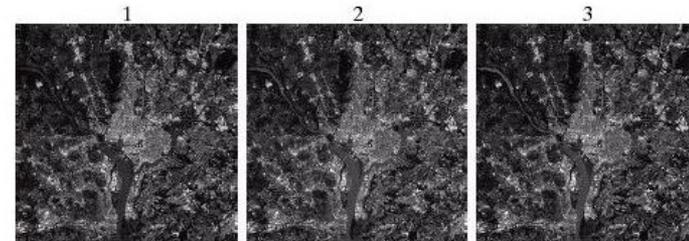
Quelques exemples d'imagerie satellitaire pour des applications en télédétection, i.e., gestion des ressources naturelles, climat, applications militaires *etc.* :



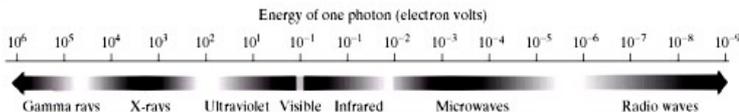
(a) imagerie hyperspectrale de la région de Washington (LANDSAT-NASA), cf. tableau ci-dessous.

(b) surveillance climatique (GEOS-NOAA),

(c) cliché de la lune (RANGER7 -NASA).

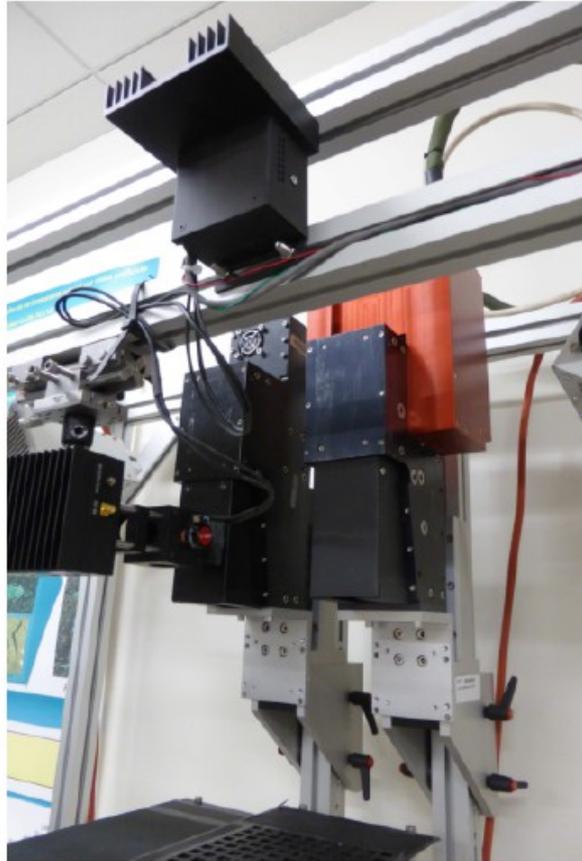


Band No.	Name	Wavelength (μm)	Characteristics and Uses
1	Visible blue	0.45–0.52	Maximum water penetration
2	Visible green	0.52–0.60	Good for measuring plant vigor
3	Visible red	0.63–0.69	Vegetation discrimination
4	Near infrared	0.76–0.90	Biomass and shoreline mapping
5	Middle infrared	1.55–1.75	Moisture content of soil and vegetation
6	Thermal infrared	10.4–12.5	Soil moisture; thermal mapping
7	Middle infrared	2.08–2.35	Mineral mapping



Imagerie biologique

Système d'acquisition d'images hyperspectrales



Imagerie hyperspectrale en fluorescence
IRSTEA Montpellier

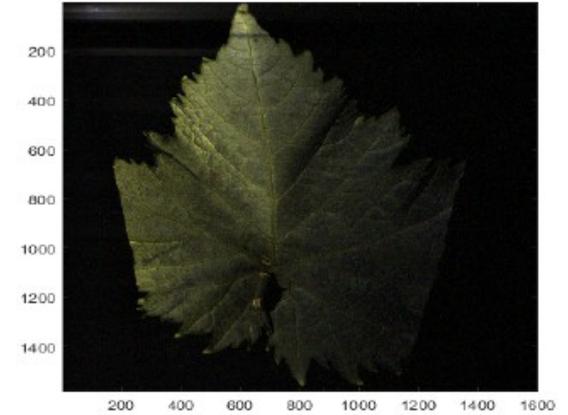
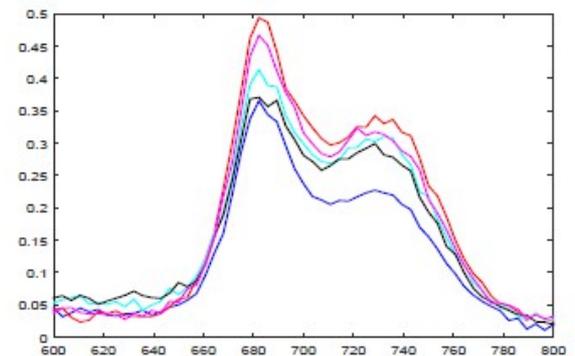


Image en émission



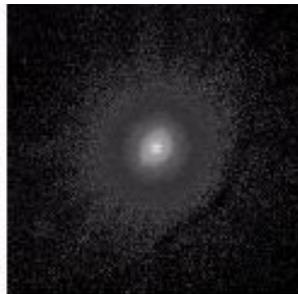
Spectre d'émission 600 - 800 nm

Astrophysique et astronomie

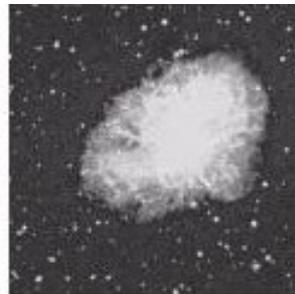
L'étude de phénomènes astrophysiques divers (physique des trous noirs, genèse des étoiles, dynamique des galaxies, etc.) fait largement appel à l'imagerie dans différentes longueurs d'onde, e.g., les images ci-dessous représente la nébuleuse du crabe qui héberge en son centre un pulsar dans différentes longueurs d'onde (images NASA). Chaque longueur d'onde apporte une information physique différente...



Gamma



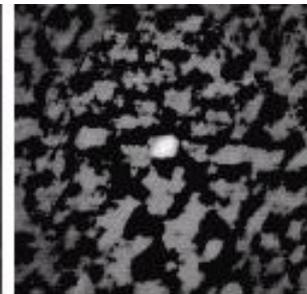
X-ray



Optical



Infrared



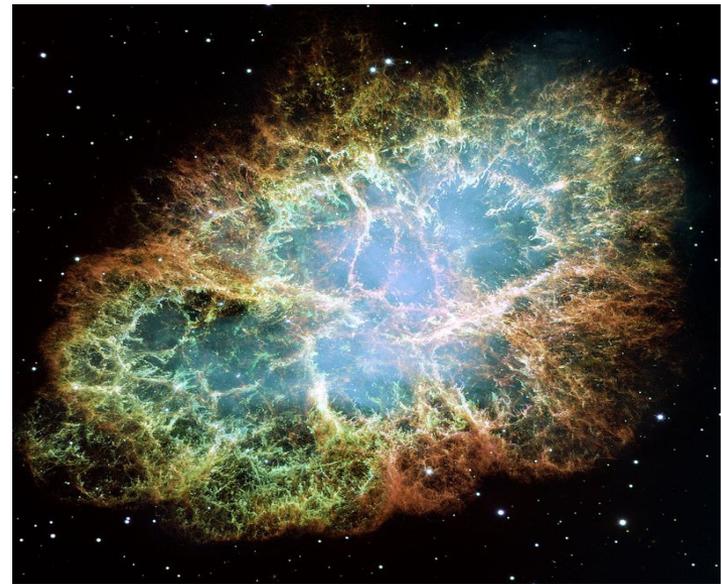
Radio

Astrophysique et astronomie

L'étude de phénomènes astrophysiques divers (physique des trous noirs, genèse des étoiles, dynamique des galaxies, etc.) fait largement appel à l'imagerie dans différentes longueurs d'onde, e.g., les images ci-dessous représente la nébuleuse du crabe qui héberge en son centre un pulsar dans différentes longueurs d'onde (images NASA). Chaque longueur d'onde apporte une information physique différente...



Infra-Rouge

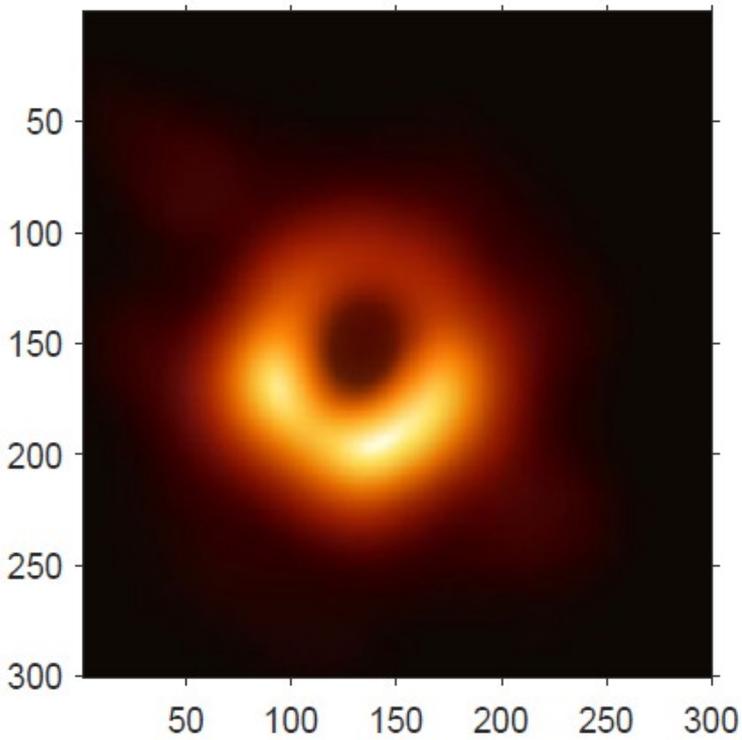


Visible

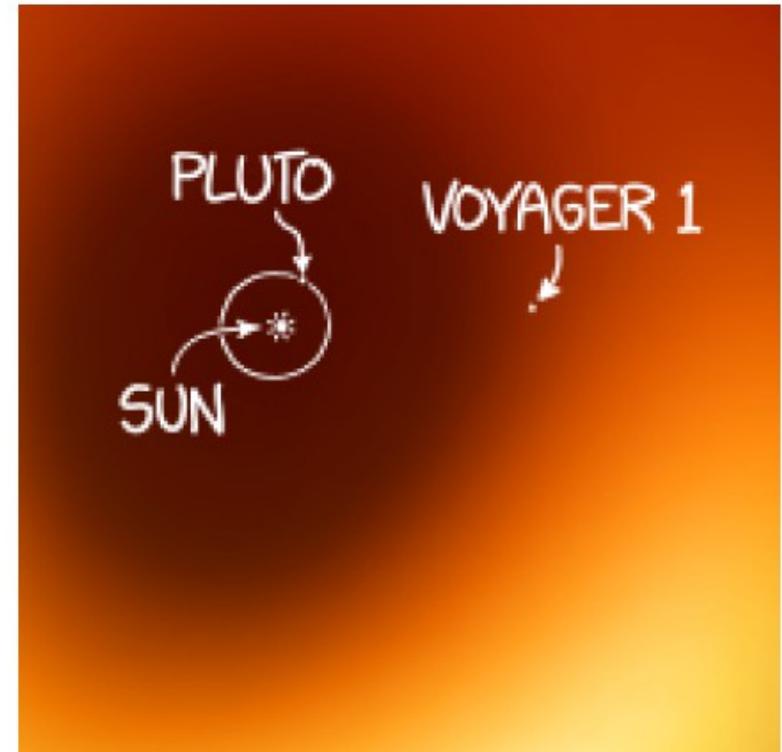
Astrophysique et astronomie

L'étude de phénomènes astrophysiques : physique des **trous noirs**

M87* avril 2019



Micro-ondes



Cours 1 : introduction

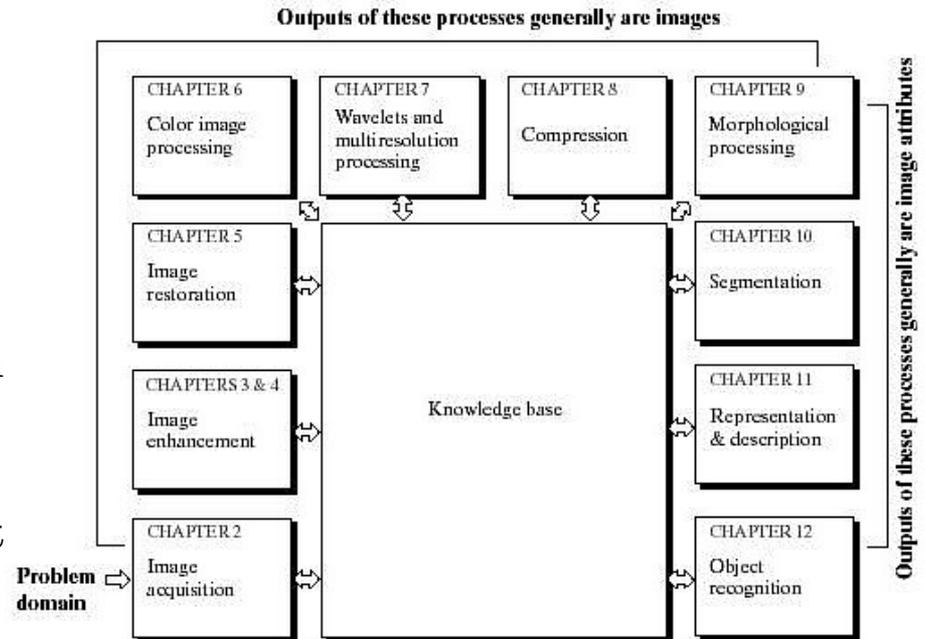
— *Sommaire* —

1. *Quelques domaines applicatifs*
2. ***Nature des traitements usuels***
3. *Système d'acquisition et représentation*
4. *Quelques définitions importantes*

En fonction des objectifs formulés, une grande variété de tâches relèvent du « traitement d'image » ...

Ces tâches se séparent usuellement en des traitements dits de

- (i) « bas niveau » : le résultat du traitement est encore une image,
- (ii) « haut niveau » : le résultat n'est plus une image.



Chaque opérations résout un problème particulier et possède son intérêt propre. Chacune peut également constituer une étape élémentaire dans une chaîne de traitement plus large, e.g., reconnaissance de caractère.

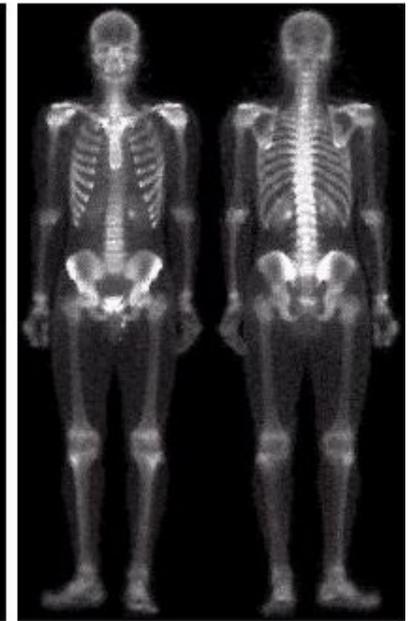
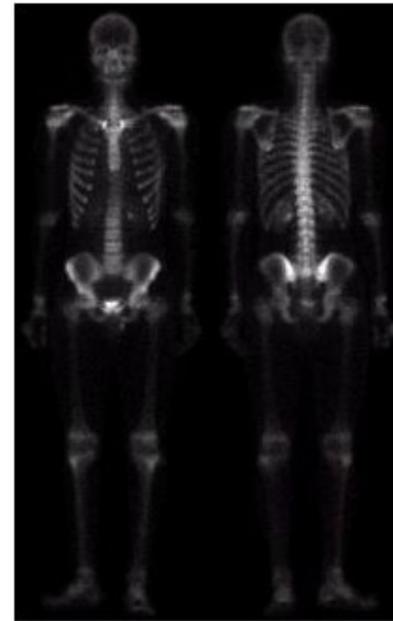
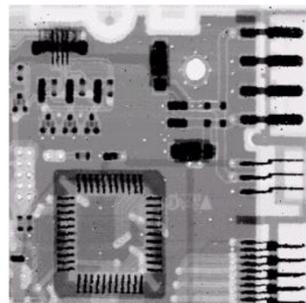
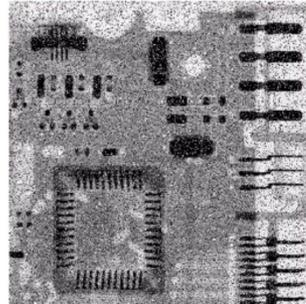
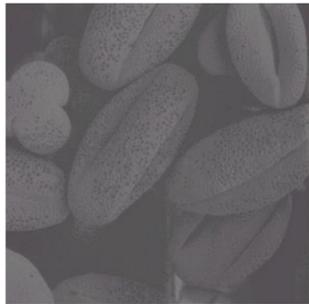
Rehaussement d'image

a

b

c

Le **rehaussement d'image** consiste à faire ressortir l'« information d'intérêt » contenue dans l'image, soit typiquement (a) améliorer le contraste dans l'image, (b) réduire le niveau de bruit dans l'image, (c) ré-hausser les frontières dans l'images.



Important : améliorer la « qualité » d'une image est une étape préliminaire souvent primordiale pour le succès des techniques de haut niveau (e.g., algorithme de reconnaissance de formes).

Restauration d'image

a

b

La **restauration d'image** tient compte de la connaissance des distorsions introduites par la modalité d'acquisition (bruit, flou de lentille, de bougé, etc.) pour tenter de les corriger de manière « optimale ».

Illustration de la correction des turbulences atmosphérique en imagerie aérienne : (a) améliorer le contraste dans l'image, (b) réduire le niveau de bruit dans l'image, (c) ré-hausser les frontières dans l'image.



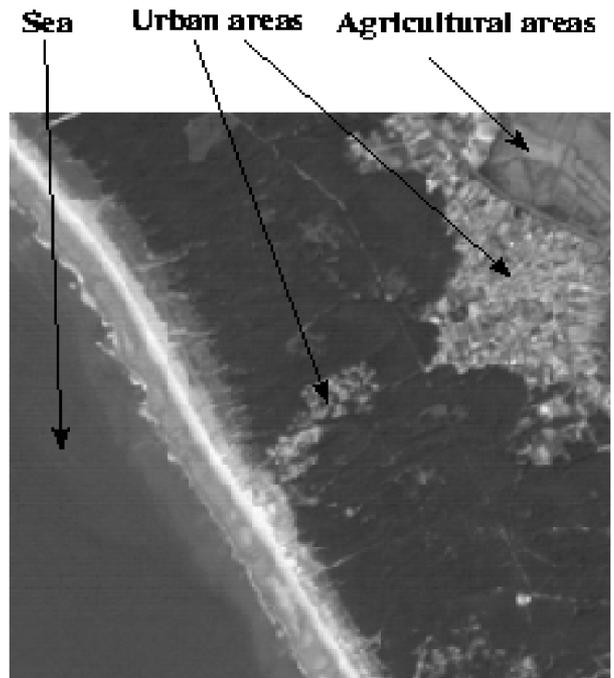
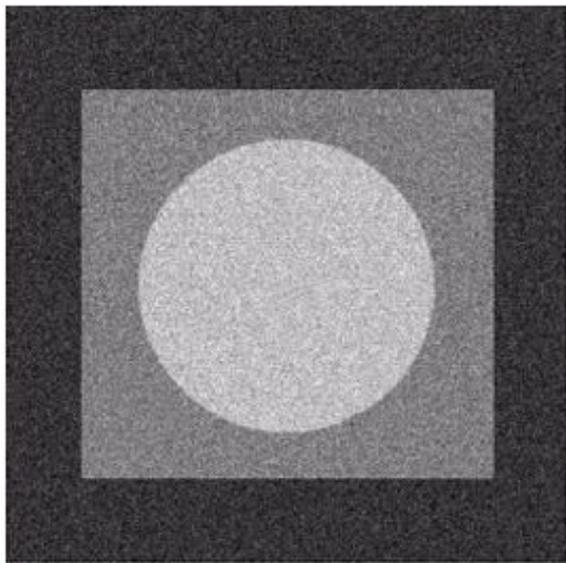
Note : là encore, la restauration est souvent une étape préliminaire pour les traitements de haut niveau (*e.g.*, algorithme de reconnaissance de formes).

Segmentation Région

a

b

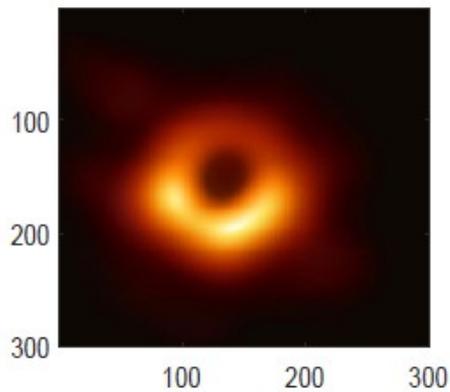
La **segmentation d'image** consiste à partitionner une image en régions « homogènes », c.à.d. ayant la « même » valeur d'intensité (a), la même texture (b), etc. C'est une opération de haut niveau qui doit tenir compte des « perturbations » apparaissant dans l'image (e.g., bruit, flou du système d'imagerie).



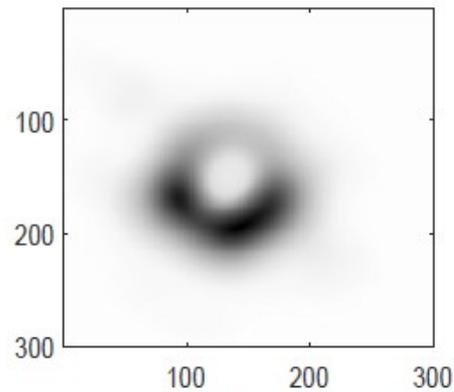
Note : là encore, la restauration est souvent une étape préliminaire pour les traitements de haut niveau (e.g., algorithme de reconnaissance de formes).

Segmentation contours

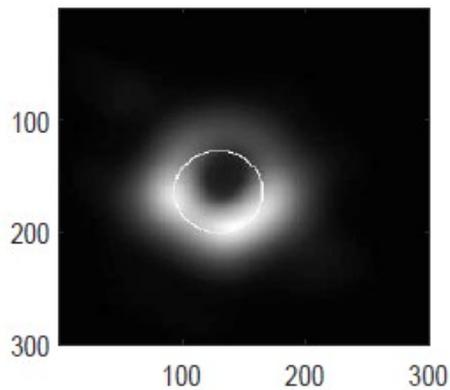
L'étude de phénomènes astrophysiques : physique des trous noirs



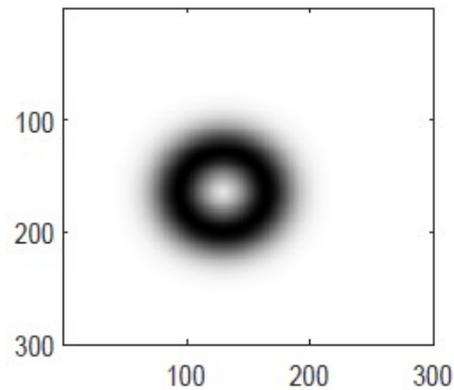
(a)



(b)



(c)



(d)

- (a) Image originale
- (b) Image en niveaux de gris
- (c) cercle central
- (d) cercle flou

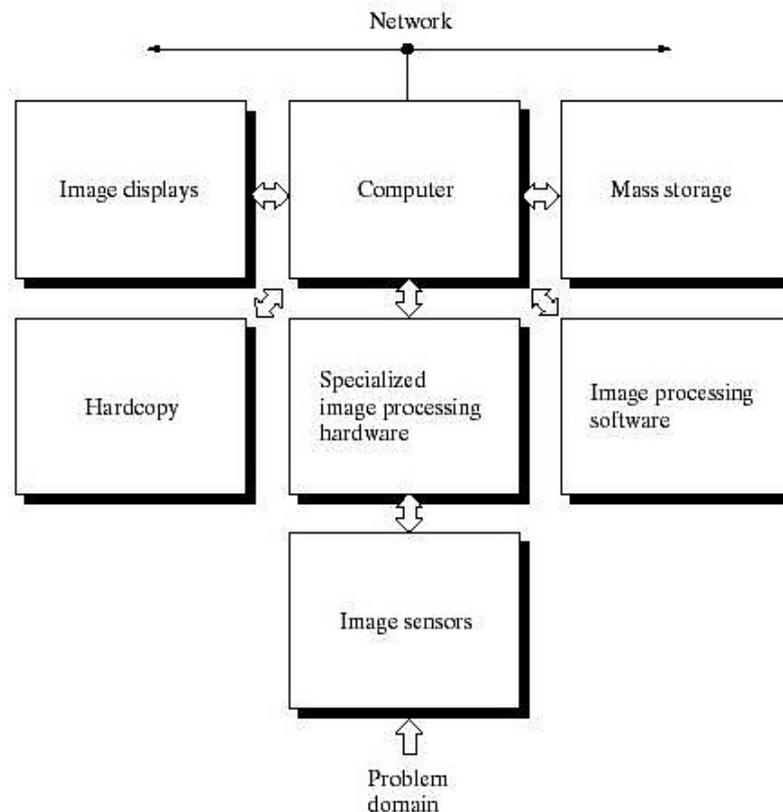
\hat{r}_0 : 28 Mds de kms
(5 fois Soleil- Pluton)

$\hat{\sigma}$: 12 Mds de kms

Systeme générique de traitement d'image

La mise en œuvre d'un traitement d'image requiert de combiner divers composants physique ou logiciels tels que décrit schématiquement ci-dessous.

On remarquera que les éléments d'interface avec l'extérieur (capteurs) ainsi que les algorithmes implantés dépendent pour une large part de l'application considérée...



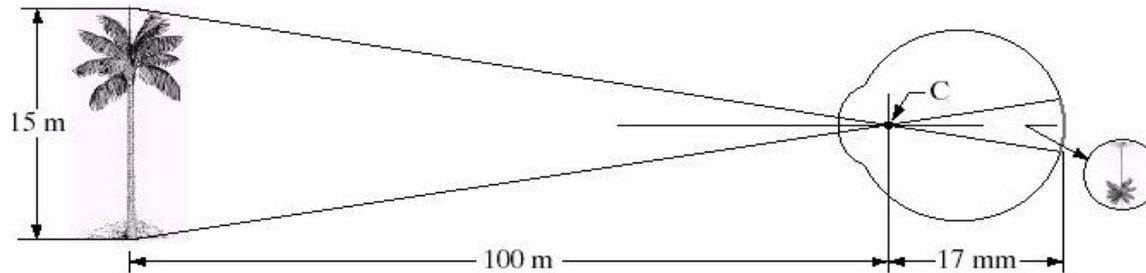
Cours 1 : introduction

— *Sommaire* —

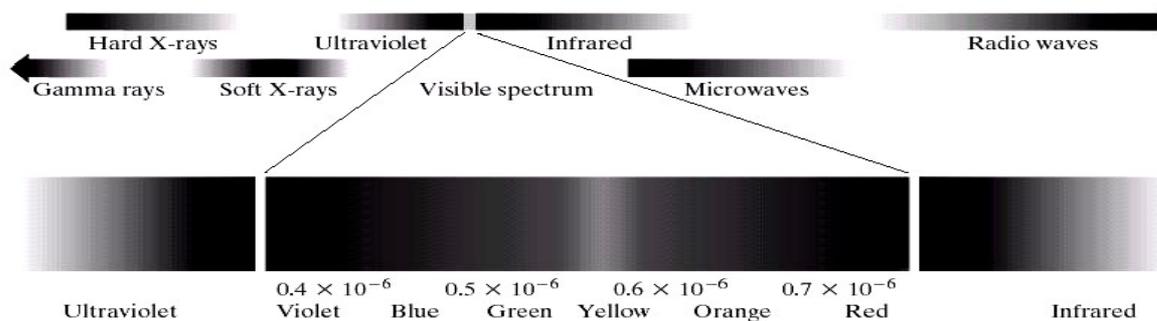
1. *Quelques domaines applicatifs*
2. *Nature des traitements usuels*
3. ***Système d'acquisition et représentation***
4. *Quelques définitions importantes*

Systeme visuel humain

Le premier detecteur de photon que vous avez rencontré est évidemment votre oeil...

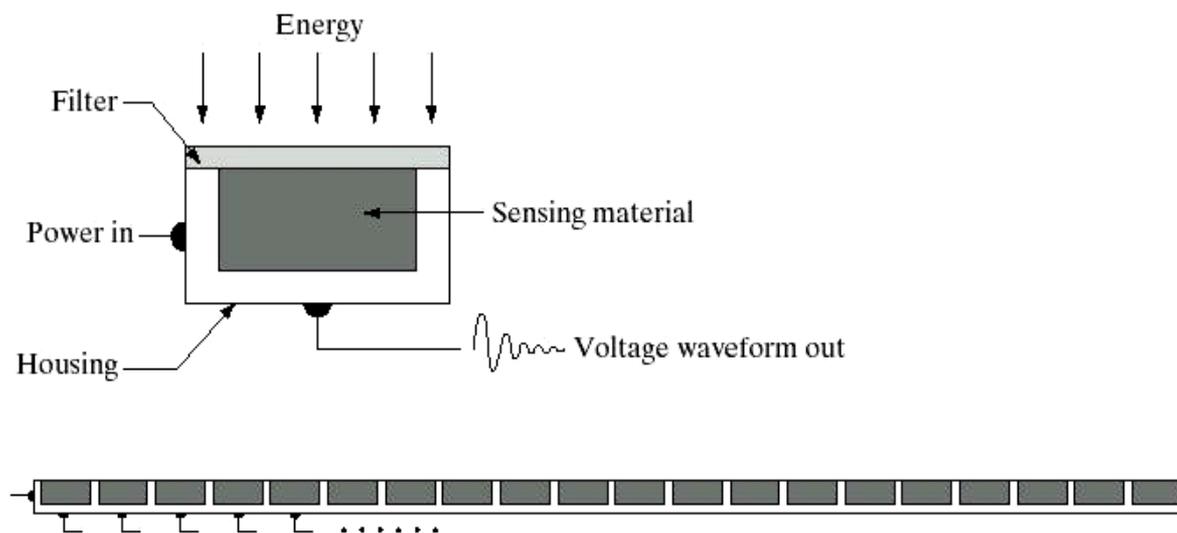


... qui n'accède qu'à une faible partie du spectre électromagnétique !



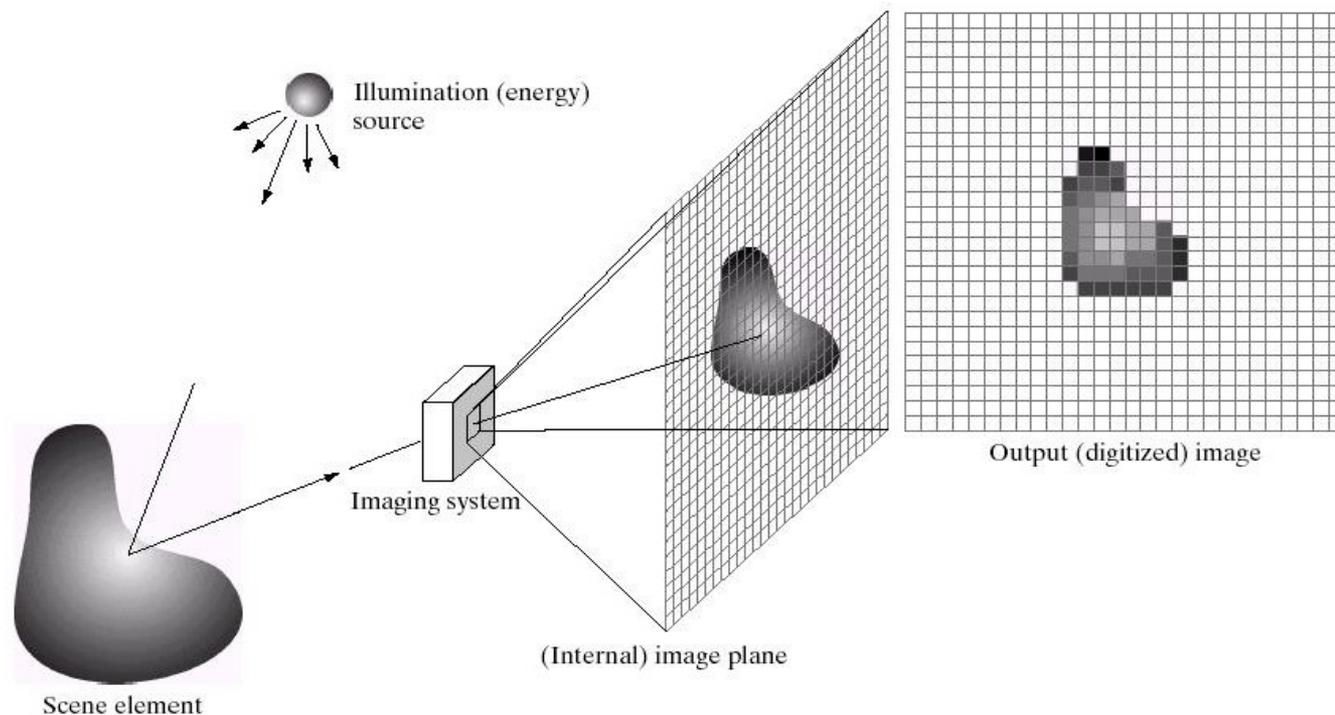
Systeme d'acquisition numerique

Des systemes d'instrumentation specifiques permettent d'effectuer l'acquisition de rayonnement pour toutes les longueurs d'onde du spectre. Ces systemes ont longtemps ete du type analogique (film photosensibles, etc.). Depuis le milieu du XX eme siecle, les capteurs et les chaines d'instrumentation sont devenus progressivement numerique, (matrices de capteurs CCD stockage numerique, etc.).



Systeme d'acquisition numerique (suite)

Le schéma ci-dessous représente (très grossièrement) le principe du processus d'acquisition : (i) la source illumine la scène, (ii) le rayonnement rétro-diffusé par la scène est capté par le système d'imagerie, (iii) le système d'imagerie enregistre (et discrétise) le rayonnement rétro-diffusé pour le stockage/visualisation.

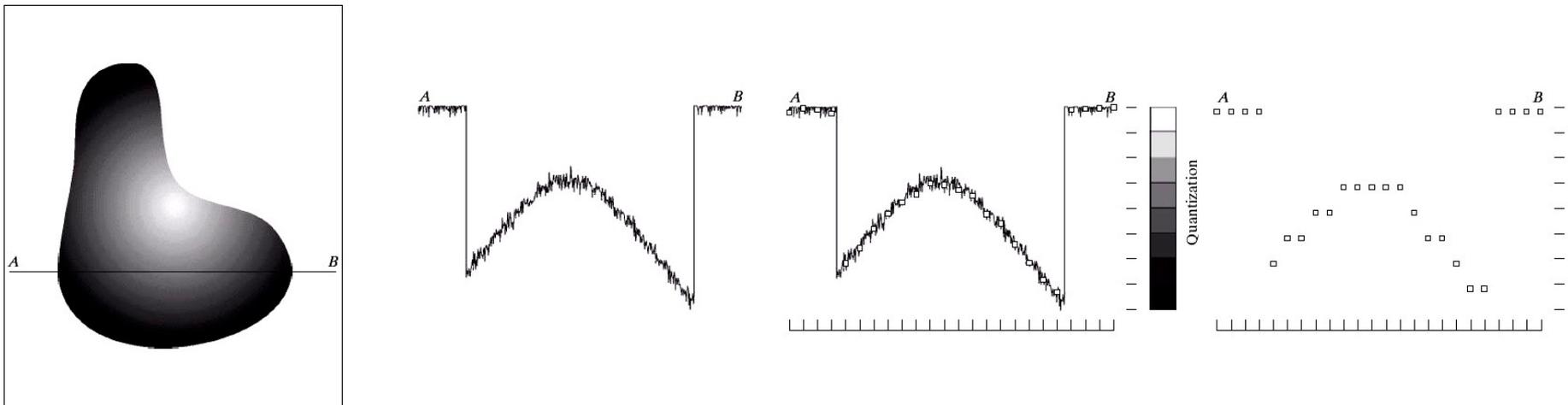


Discrétisation et quantification

Lors de l'acquisition, l'information de rayonnement doit être stockée dans un format compréhensible pour les traitements informatiques ultérieurs.

En particulier, pour l'image continue émise par la scène (a), une ligne AB quelconque de cette image représente une continuité d'amplitudes dans \mathbb{R} (b). L'étape d'échantillonnage prélève une série finie de valeurs (c) tandis que la quantification de ces valeurs permet leur stockage (d).

a b c d



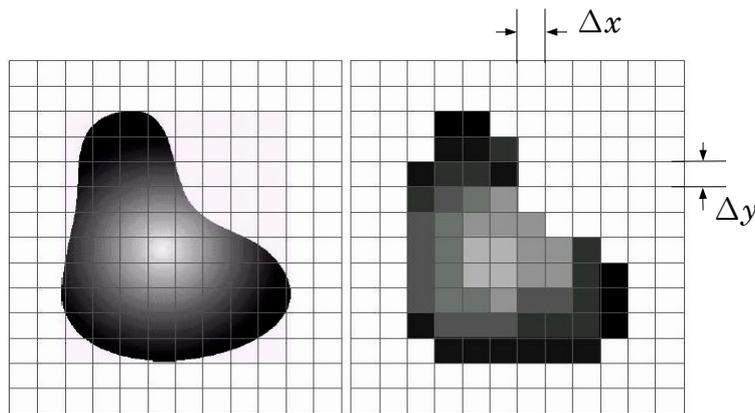
Cours 1 : introduction

— *Sommaire* —

1. *Quelques domaines applicatifs*
2. *Nature des traitements usuels*
3. *Système d'acquisition et représentation*
4. ***Quelques définitions importantes***

1 - Représenter une image digitale : le pixel

Spatialement, une image numérique est donc la projection d'une scène continue sur un réseau de détecteurs (a). La discrétisation et de la quantification produisent l'image numérique 2D (b) qui prend la forme d'une matrice f de taille (M,N) ; chaque élément de cette image (matrice) est appelé pixel pour « picture element » (c,d).



a b c

$$f = \begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,N} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{M,1} & f_{M,2} & \dots & f_{M,N} \end{bmatrix}$$

Nota : (i) cette représentation se généralise au 3D et plus ; (ii) l'espace requis pour stocker cette image dépend du pas d'échantillonnage et du pas de quantification retenue (e.g., nombre de niveaux de gris codés sur $L \in \mathbb{N}$ bits).

2 - Représenter une image digitale : résolution spatiale

Les paramètres d'échantillonnage Δx et Δy déterminent la résolution spatiale d'une image numérique, c.à.d. la taille du plus petit détail visible dans l'image. La résolution spatiale est donc directement associée au niveau de dégradation entre la scène continue et la représentation numérique de cette scène. Nous reviendrons largement sur ce thème par la suite...

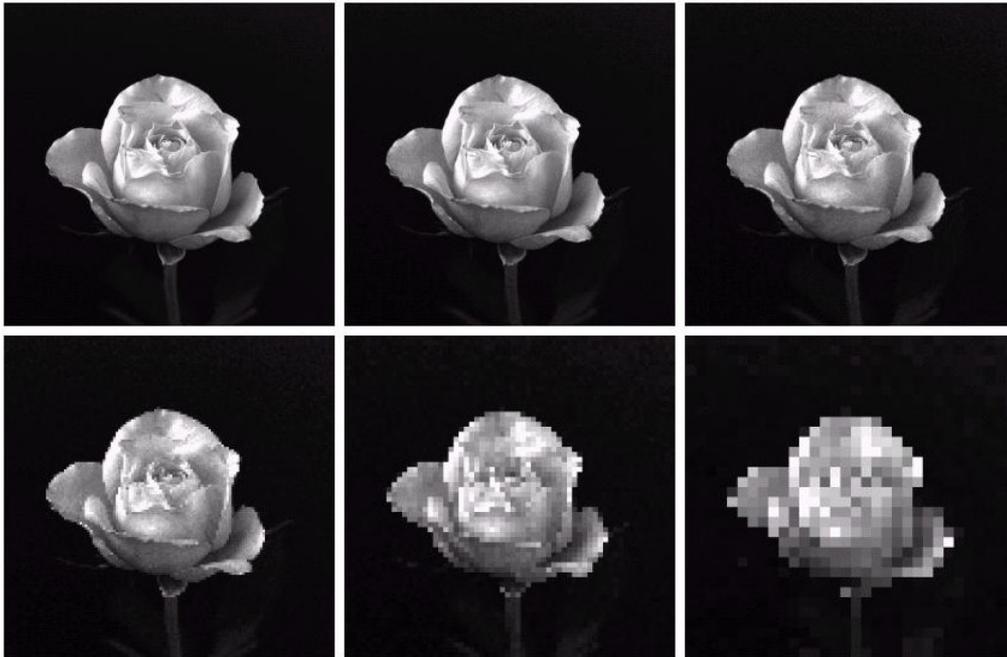


Image d'une scène continue avec des résolutions spatiales décroissantes :

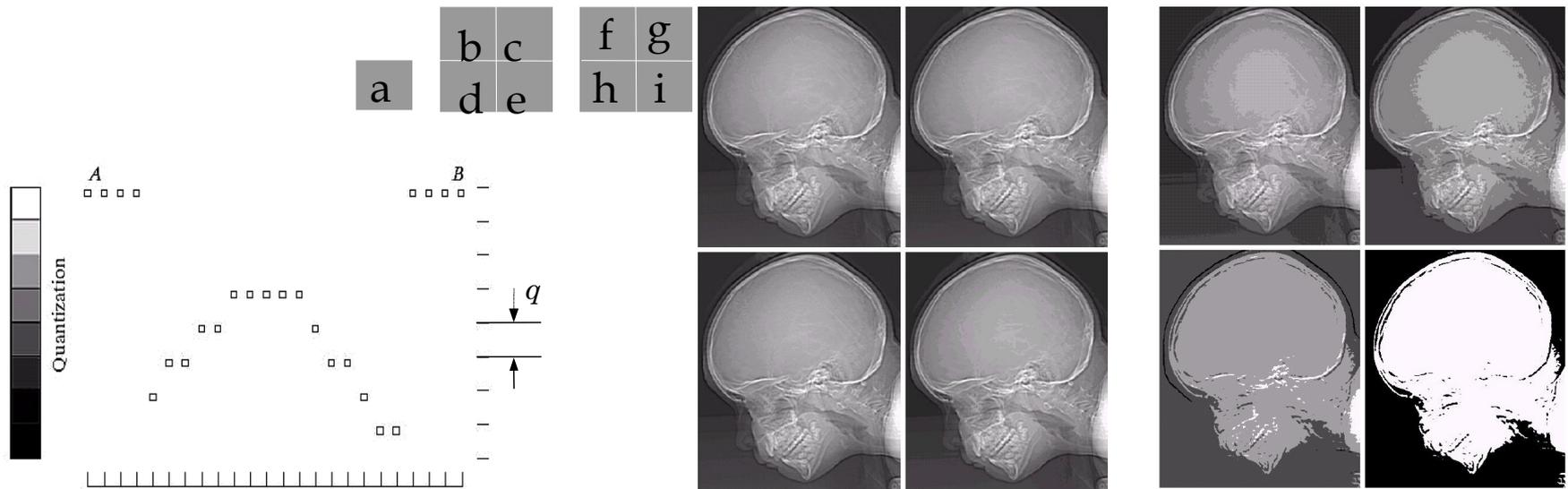
- (a) 1024×1024 ,
- (b) 512×512 ,
- (c) 256×256 ,
- (d) 128×128 ,
- (e) 64×64 ,
- (f) 32×32 .

a	b	c
d	e	f

3 - Représenter une image digitale : résolution tonale

Le **paramètre de quantification** q détermine la résolution tonale (a), c.à.d. la plus faible variation d'amplitude discernable. Là encore, ce paramètre exprime une certaine dégradation entre la scène et sa représentation numérique. Les images de (b) à (i) illustrent cette perte d'information : l'image est représentée sur 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4 et finalement 2 niveaux.

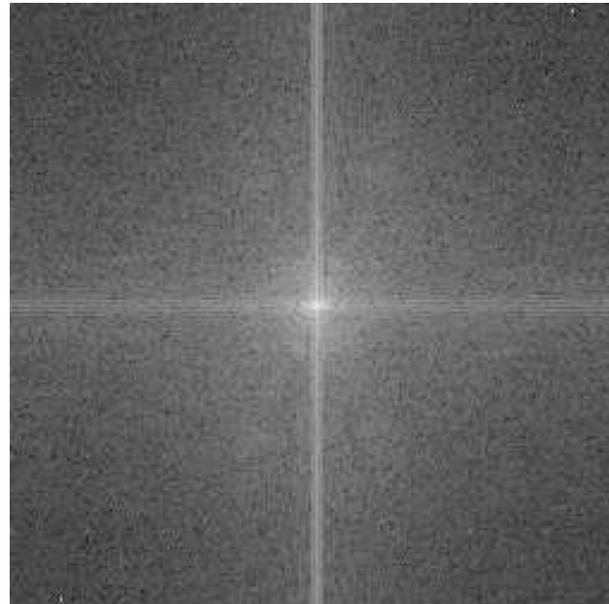
Nota : si Q est le nombre de niveaux retenu pour d'une image de dynamique D , alors $q = D/Q$.



4 - Représenter une image digitale : spectre de Fourier

Une représentation équivalente de l'image peut être obtenue via la transformation de Fourier (TF).

D'une importance centrale en traitement d'image, cette représentation décompose l'image sur une base de fonctions harmoniques. Pour une image donnée (a), la TF fait correspondre une image complexe, c.à.d. une image de module (b) et une image de phase (non représentée ici).



a

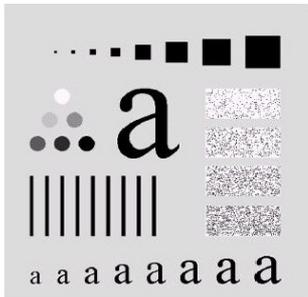
b

a
b

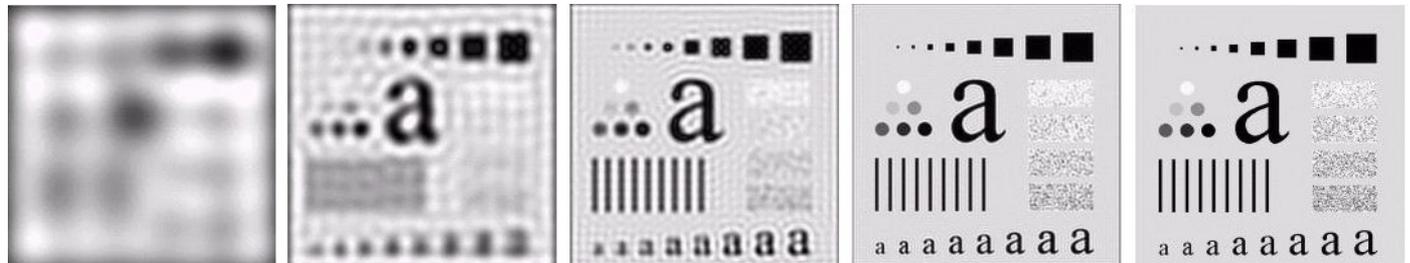
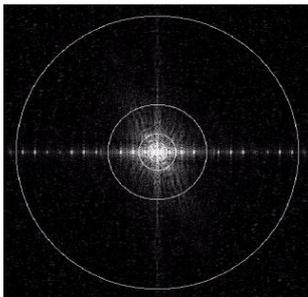
c

La TF permet d'introduire la notion de composantes fréquentielles qui met notamment en lumière les relations suivantes :

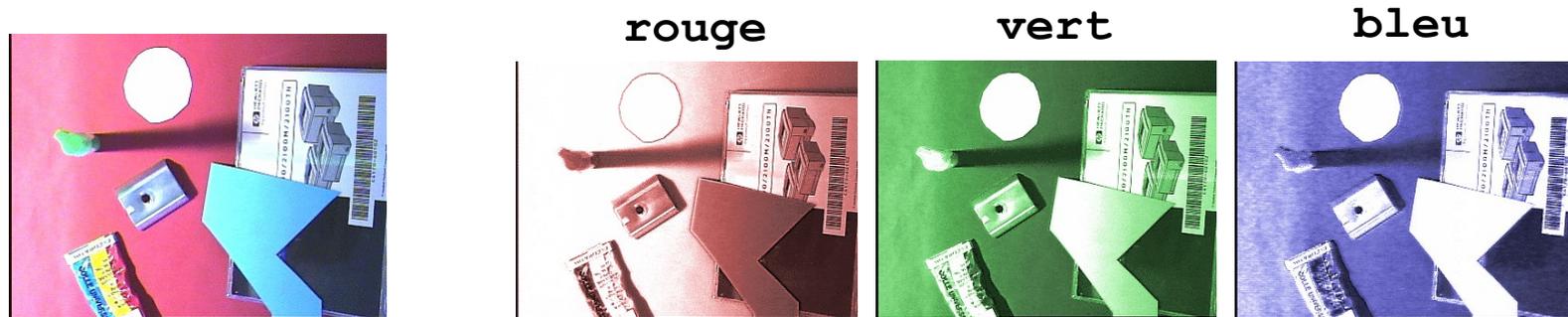
- « aplats » \leftrightarrow contenu basses fréquences,
- « contours » \leftrightarrow contenu hautes fréquences.



Partant de la TF de l'image (a) dont le module est représenté ci-dessous (b), il est alors possible de voir comment les détails de l'image peuvent être reconstruits en intégrant un nombre croissant de coefficients dans le plan de Fourier (c).



4 – Images couleurs et décompositions : RGB vs. HSV



En imagerie numérique, il existe de nombreuses décompositions pour rendre l'information de couleur. En pratique, la décomposition en trois composantes rouge-vert-bleu (RGB) est largement répandue..



Le choix d'une décomposition peut avoir une influence importante sur les performances des traitements appliqués par la suite. Par exemple, la décomposition teinte-saturation-luminance (HSV) permet en partie de s'affranchir des ombres dans la scène...

4 - Images couleurs et décompositions : RGB vs. HSV (suite)

...ce qui peut avoir son importance dans certaines applications !

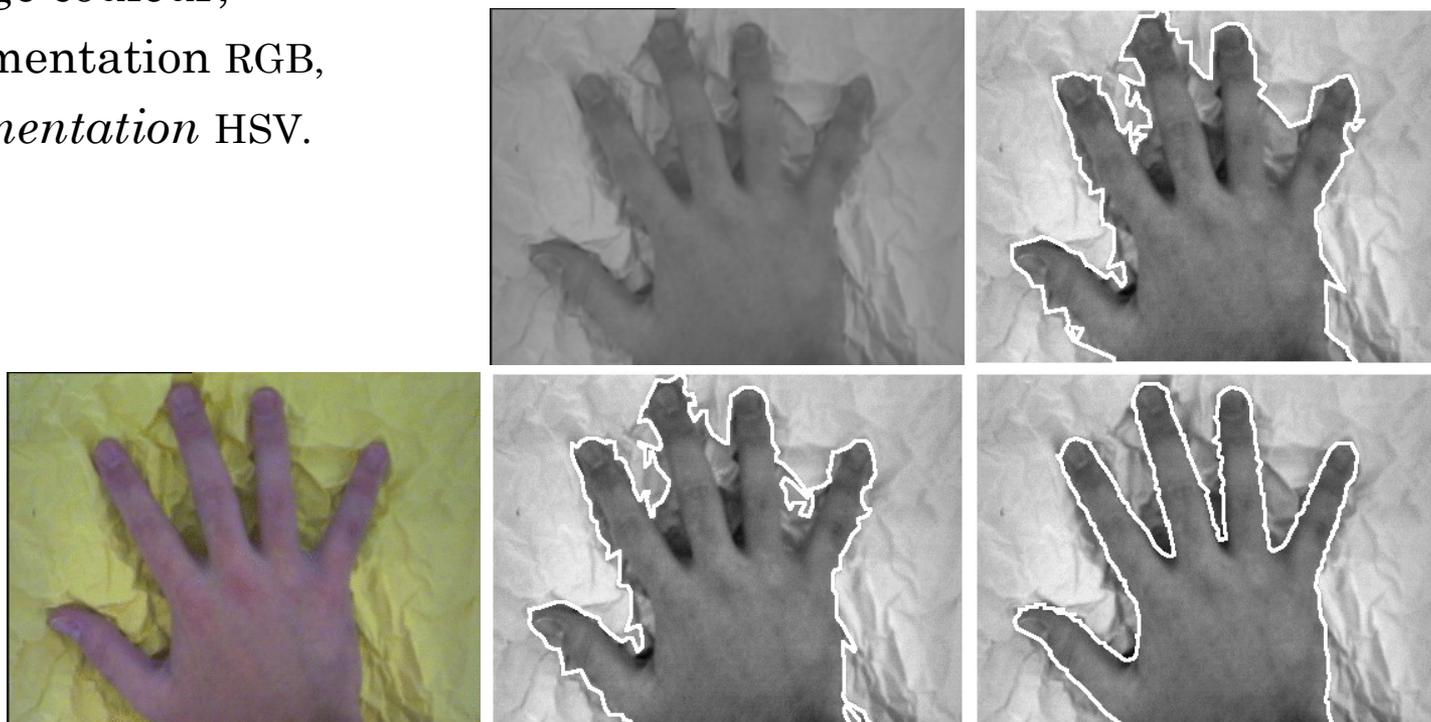
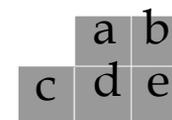
(a) image en niveaux de gris,

(b) segmentation associée (FRESNEL-PhyTI),

(c) image couleur,

(d) segmentation RGB,

(e) *segmentation* HSV.



4 - Images couleurs et décompositions : RGB vs. YCbCr

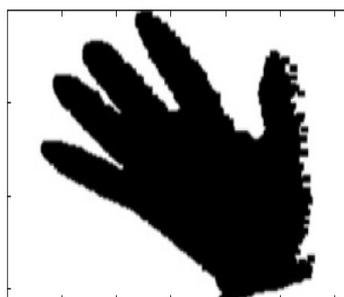
...ce qui peut avoir son importance dans certaines applications !



RGB

Cb

Cr



Exemple de
résultat de
seuillage



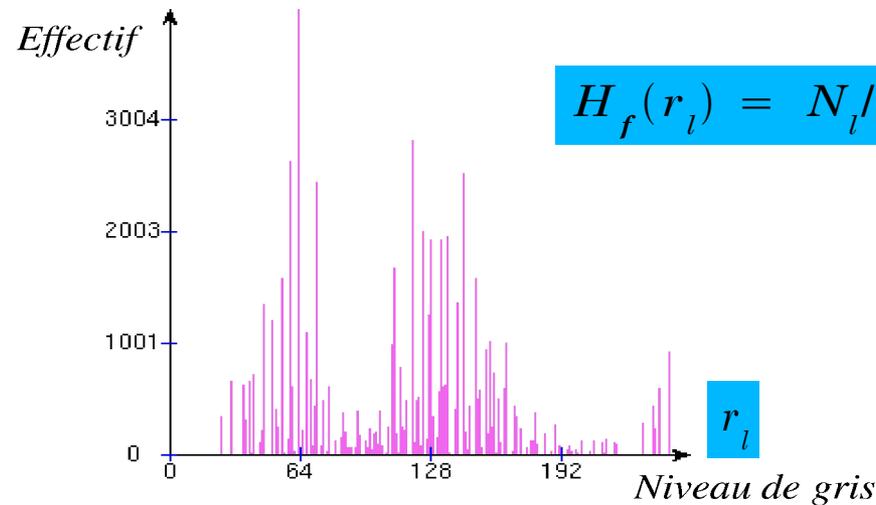
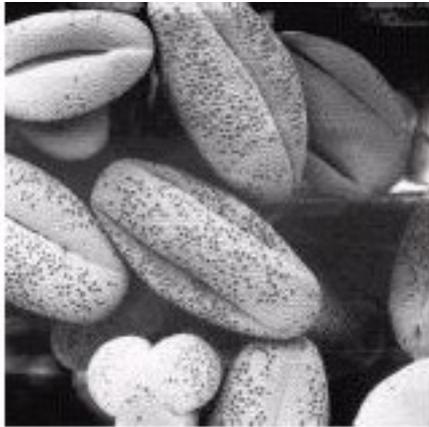
Résultat
d'identification :
Posture 11 !

Fresnel
Equipe GSM

5 - Représenter les variations d'intensité : l'histogramme

La distribution des intensités de l'image est représentée par un graphe monovarié $H(x)$ appelé histogramme de l'image. Sur les figures ci-dessous, (a) et (b) sont respectivement l'image et son histogramme.

$H(x)$ représente le nombre de pixels dont la valeur tombe entre x et $x + \Delta x$ où Δx est une largeur sur l'axe des niveaux de gris. Comme nous le verrons plus loin, cet outil permet d'isoler des objets dans une image.



6 - Luminance et contraste :

En pratique, la lisibilité d'une image est très largement dépendante de sa luminance et de son contraste.

- La **luminance** Lum est simplement la *moyenne arithmétique* sur l'image,

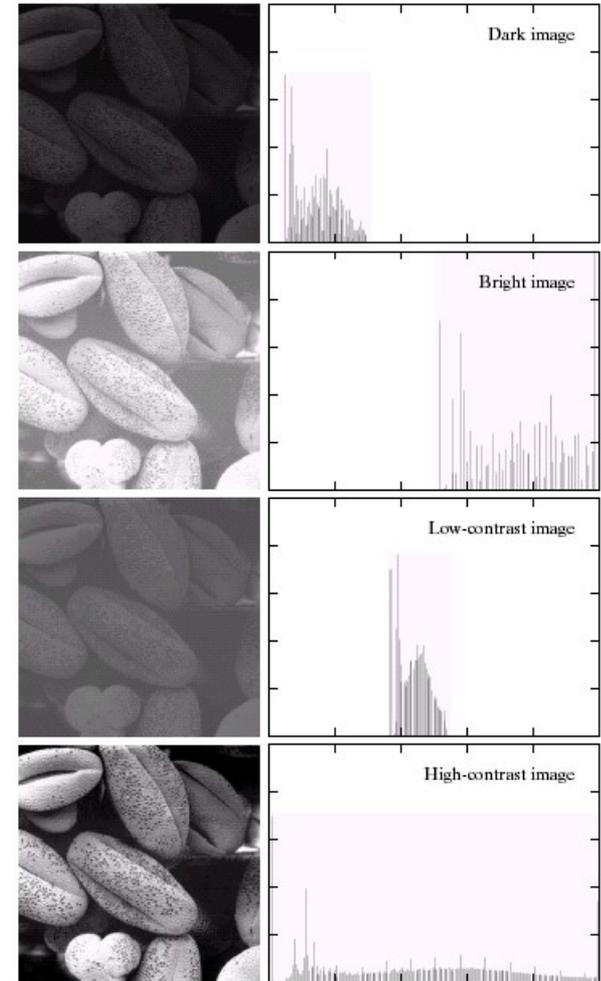
$$Lum = (MN)^{-1} \sum_n \sum_m f(x_n, y_m)$$

- Le **contraste** C est une mesure de la dispersion des NdG. Il peut être défini par différents indicateurs, le plus simple étant la *variance empirique*

$$C = \left[(MN)^{-1} \sum_n \sum_m \left(f(x_n, y_m) - Lum \right)^2 \right]^{1/2}$$

La figure ci-contre présente un exemple d'image à faible et forte luminance (a) et (b) ou à faible et fort contraste (c) et (d).

a
b
c
d



◆ *En résumé...*

- (1) L'imagerie numérique est présente dans de nombreux domaines — contrôle industriel, imagerie médicale, télé-détection, « tracking » vidéo, *etc.* L'objectif des traitements en imagerie numérique est d'« extraire » une information pertinente pour l'opérateur.
- (2) Une image numérique est la projection d'une scène continue sur un réseau de détecteur.
- (3) L'imagerie numérique suppose qu'il y ait discrétisation dans le domaine spatiale (échantillonnage) et dans celui des valeurs (quantification en NdG).
- (4) La saisie implique toujours que les valeurs observées sont bruitées.
- (5) *Notions importantes* : spectre de Fourier, histogramme, luminance et contraste.