

# Traitement et Analyse des Images numériques

S. Jehan-Besson, P. Clarysse

Laboratoire CREATIS, CNRS Lyon

Mail : [stephanie.jehan-besson@creatis.insa-lyon.fr](mailto:stephanie.jehan-besson@creatis.insa-lyon.fr)

Master 1 Recherche Biomédicale, Faculté de Médecine Lyon Est

UE RB14 - Informatique Médicale et Technologies de Communication

# Bibliographie

- ▶ Digital Image Processing, Gonzales and Wood
- ▶ Image Processing and Acquisition using Python (Chapman & Hall)
- ▶ Image Processing and Analysis, A primer
- ▶ Cours EdX, EPFL, image processing and use of imageJ (disponible jusqu'au 26 octobre)
- ▶ <https://imagej.net/events/presentations>
- ▶ Image Processing with ImageJ, Packt Publishing

# Logiciels Image J



ImageJ

## **NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis.**

Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW.  
Nat Methods. 2012 Jul;9(7):671-5.  
PMID : 22930834

- ▶ Introduit en 1997
- ▶ Projet de Wayne Rasband
- ▶ Langage Java, open source
- ▶ Plus de 1700 utilisateurs
- ▶ Web site :
  - ▶ <https://imagej.net/ij/>
- ▶ Installation multi-plateformes avec plus de 1000 plugins de traitement d'images disponibles
- ▶ Nouveau : Utilisable directement dans le navigateur
  - ▶ <https://ij.imjoy.io/>

# Logiciels

## Image J et logiciels associés



ImageJ

- ▶ Utilisée par de nombreux scientifiques
- ▶ **Image J2** : extension effectuée pour traiter des données multidimensionnelles et pouvant être utilisée comme une plateforme indépendante (non opérationnelle actuellement)
- ▶ FIJI : Pour les sciences du vivant, images de microscopes, pour visualiser, extraire et quantifier les données pour une aide au diagnostic
- ▶ Autres extensions : pour l'astronomie, c'est utile pour analyser des images obtenues à partir des télescopes ou des satellites , utilisé par la NASA
  - ▶ <http://pds/jpl.nasa.gov/>
- ▶ De nombreux formats d'images sont disponibles et les conversions sont possible.
  - ▶ Permet de traiter des images de dimension 2D, 3D, 4D, 5D

# Logiciels

## Fiji



Fiji

Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., ... Cardona, A. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 676-682. [doi:10.1038/nmeth.2019](https://doi.org/10.1038/nmeth.2019)

- ▶ Introduit en 2005
- ▶ Une nouvelle distribution d'image J
  - ▶ <https://fiji.sc/Fiji>
- ▶ Projet de Johannes Schindelin
- ▶ Contributeurs : [github.com/fiji](https://github.com/fiji)
- ▶ Repositorie sur GitHub
- ▶ Fiji inclut ImageJ
- ▶ Possède de nombreux complements qui peuvent s'installer comme plugins ou macros
  - ▶ <https://imagej.net/list-of-extensions>

# Logiciels

## Image J et Fiji

- ▶ **Plugins** : additifs qui permettent d'ajouter de nouvelles fonctions à ImageJ, disponibles ci-dessous ou programmation en Java

<http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/index.html>

<https://imagej.net/list-of-extensions>

- ▶ **Macros** : combinaison de commandes existantes dans Image J (script), la connaissance du langage Java n'est pas nécessaire.

# Plan du cours : Imagerie numérique

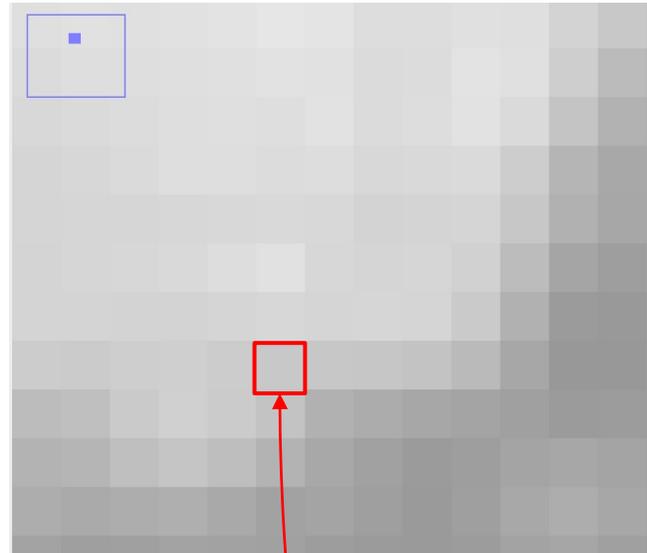
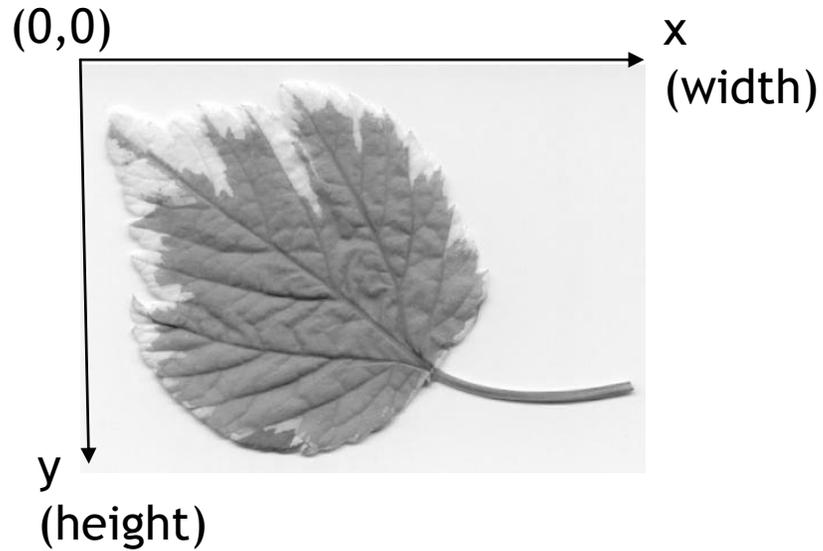
- ▶ Introduction : logiciel Image J et FIJI
- ▶ Caractéristiques des images et notations
- ▶ Opérations de base : filtrage spatial, dérivation, transformées
- ▶ Traitement et analyse des images : Principes généraux
- ▶ Traitement des images : Rehaussement, Débruitage
- ▶ Analyse des image : Segmentation, ROIs et caractéristiques

# Imagerie numérique :

## Caractéristiques et notations

# Imagerie numérique

## Notations



Pixel

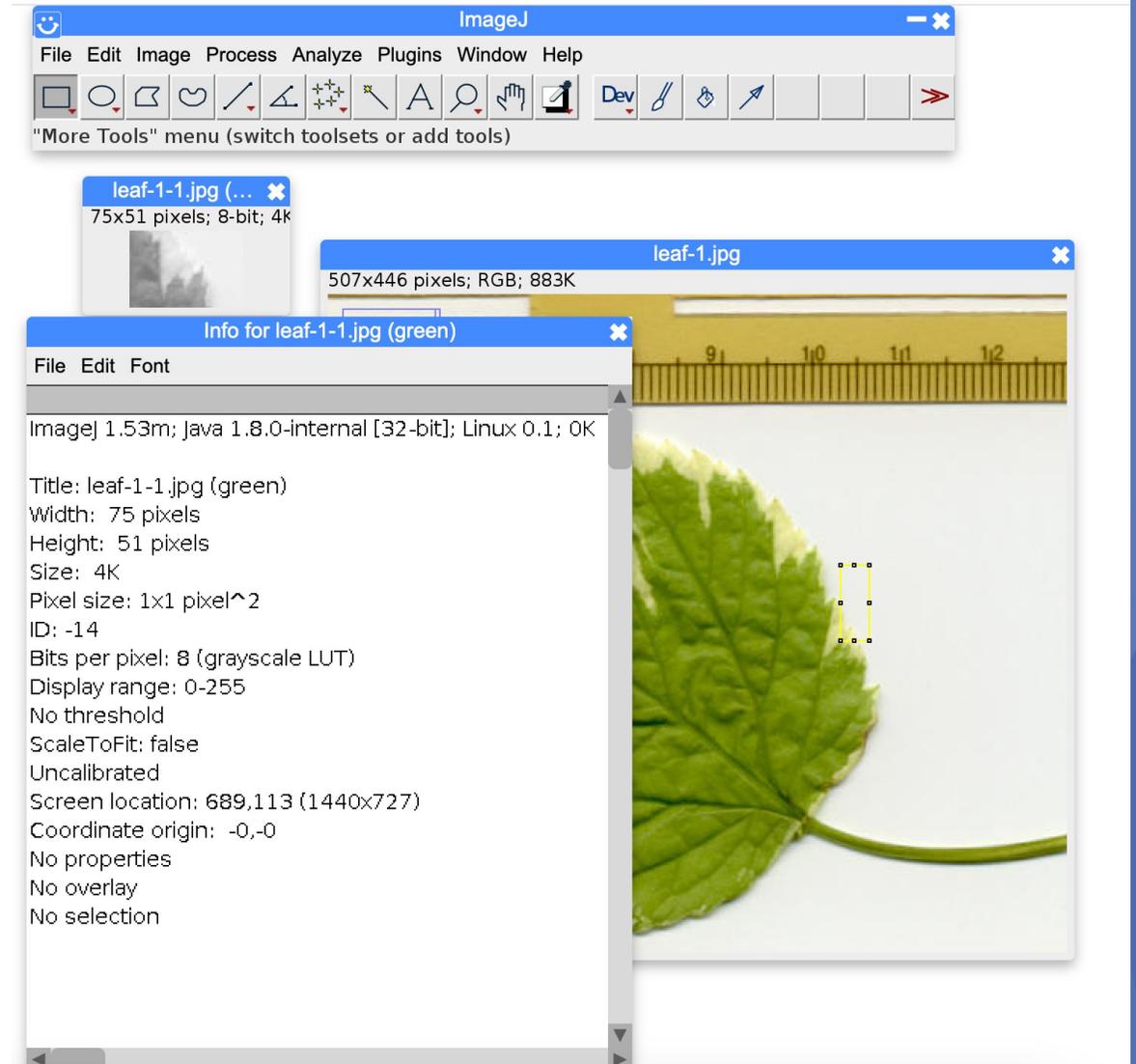
Exemple : Intensité  $I(x,y) = 100$   
(valeurs entre 0 et 255 pour une  
image de 8bits/pixel)

0 : noir, 255 : blanc

# Imagerie numérique

## Notations

- ▶ Visualiser une image dans Image J
  - ▶ File / Open Samples / leaf
  - ▶ Image / duplicate
  - ▶ Image /color / split channels
  - ▶ Utiliser le canal « green » et afficher les infos sur l'image (Image / Show Info)
    - ▶ Taille / size / bits per pixel / display range



# Logiciels Image J et Fiji



- ▶ **Sélection (4 premières icônes)** : permettent de sélectionner une zone de pixels, rectangle ovale, polygone ou à main libre. Le clic droit sur l'icône donne plusieurs options
- ▶ **Tracé** : icône pour tracer des droites : droites, droites segmentées, à main libre, ou droite fléchée (clic droit pour choisir). Un « double-clic » sur l'outil de tracé choisi, permet de choisir la largeur du tracé.
- ▶ **Angle** : permet de mesurer un angle (clic droit et mesure)
- ▶ **Point** : permet de positionner un ensemble de points sur l'image (initialisation d'autres algorithmes)

# Logiciels Image J et Fiji

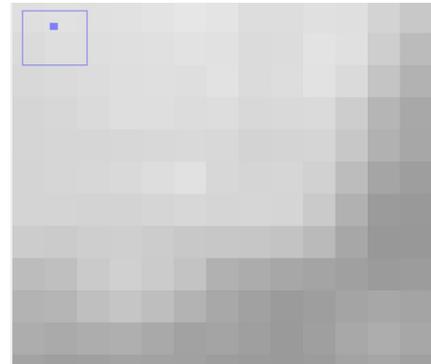


- ▶ **Menu File** : ouverture, création, sauvegarde
- ▶ **Menu Edit** : couper, copier, coller, effacer, sauvegarder une sélection
- ▶ **Menu Image** : modification des caractéristiques de l'image (taille, contraste, luminosité...), extraction des stacks (channels)...
- ▶ **Menu Process** : opérations mathématiques
- ▶ **Menu Analyse** : Statistiques, mesures, analyse des particules
- ▶ **Menu Plugins** : macros et plugins
- ▶ **Menu Window** : gestion des différentes fenêtres
- ▶ **Menu Help** : Recherche informations

# Imagerie numérique

## Notations

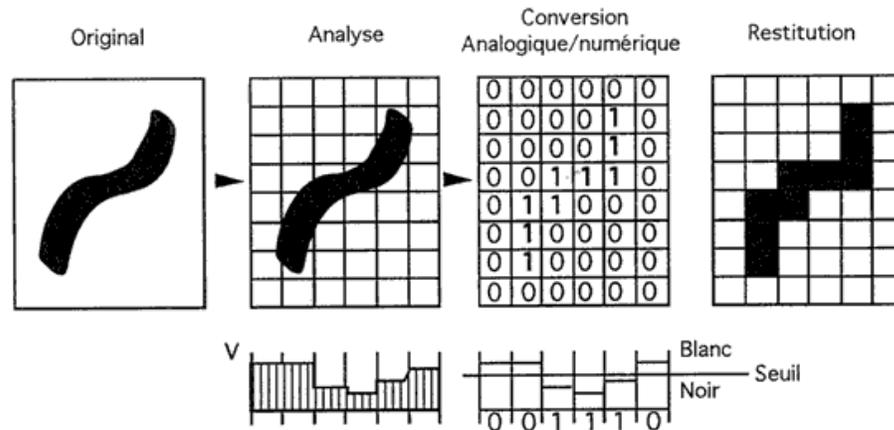
- ▶ Regarder l'effet pixellique dans Image J, en ouvrant l'image leaf
  - ▶ Utiliser le canal « green » et afficher les infos sur l'image (Image / Show Info)
    - ▶ Faire un crop d'une petite partie de l'image (image / crop) et zoomer
    - ▶ Regarder la taille de l'image croppée et les valeurs des pixels



# Imagerie numérique

## Caractéristiques basiques

- ▶ Echantillonnage (combien d'échantillons par image)
  - ▶ Nombre de pixels/unité de longueur
    - ▶ dpi : points / pouce (exemple image 3cm x 5cm à 90 dpi, cela signifie  $(3 \times 90 / 2,54) * (5 \times 90 / 2,54) = 18762$  pixels. (1 pouce=2,54 cm)
    - ▶ Une intégration du signal continu se produit sur chaque pixel par le biais des capteurs CCD par exemple, d'où l'importa



# Imagerie numérique

## Basiques relations entre pixels

- ▶ Résolution (taille de l'échantillon)
  - ▶ Unité du pixel (exemple : pixel de 1mm\*1mm)
  - ▶ Va dépendre du système d'acquisition

Exemple : micro CT, X-Rays  
(pixel size 100 nanomètres)



Micro-CT scanned image of the piranha *Catoprion mento*. The blue dyed segments inside the skeleton are fish scales eaten by the piranha (also shown enlarged next to the fish). Credit: University of Washington.

# Imagerie numérique

## Différents formats d'image

- ▶ Plus de 100 formats d'images
- ▶ Formats non compressés
  - ▶ TIFF (Tagged Image File Format) : .tif, .tiff
    - ▶ Can store high precision images (bit-depth > 12 bits), used in microscope community
  - ▶ GIF, BMP, PNG : classical formats
  - ▶ DICOM : Images médicales
    - ▶ Header with several informations, including patient information
  - ▶ NIFTI : Images médicales
- ▶ Formats compressés avec perte
  - ▶ JPEG (Joint Photographic Experts Group) : .jpg ou .jpeg
    - ▶ Compression avec perte d'information

# Imagerie numérique

## Caractéristiques basiques

- ▶ Quantification du signal (nombre de valeurs possibles pour chaque échantillon)
  - ▶ Quantité de niveaux de gris
    - ▶ Les images 8-bits ont une plage de valeurs de niveaux de gris dans  $[0, 2^8-1] = [0, 255]$
    - ▶ Les images médicales utilisent souvent une description avec plus de niveaux de gris (e.g; 16 bits)
  - ▶ Nombre de canaux : RGB, 3 channels,  $I(x,y) = [R(x,y), G(x,y), B(x,y)]^T$

### Calcul de la Quantité d'information

- Quantité information (bits) =  $\text{taille\_image} * \text{nb\_bits\_per\_pixel}$ 
  - $\text{taille\_image} = \text{width} * \text{height}$  (en pixels)
  - $\text{nb\_bits\_per\_pixel}$  (en bits/pixel)

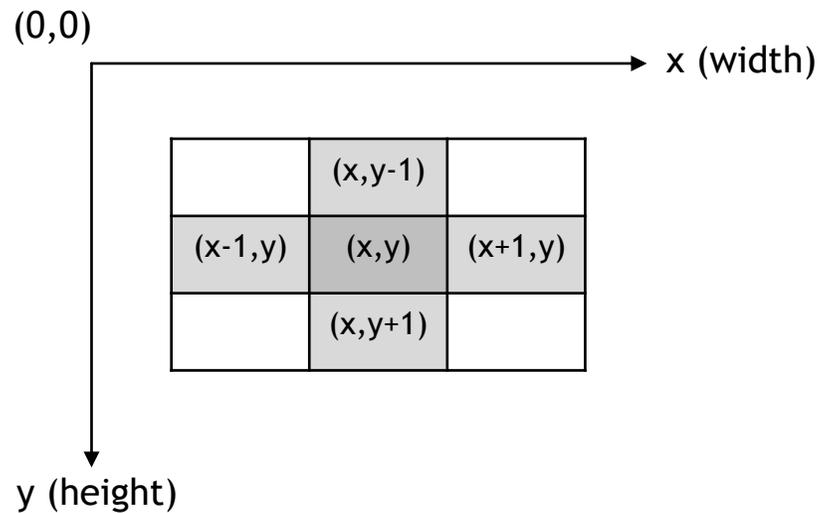
### Exercice :

Retrouver la taille en Ko indiqué dans **Image>Show Info** de l'image feuille couleur (3 channels donc 32 bits/pixel) et du niveau de gris extrait (1 channel donc 8 bits/pixel)  
On a 1octet=8 bits et 1ko=1024 octets.

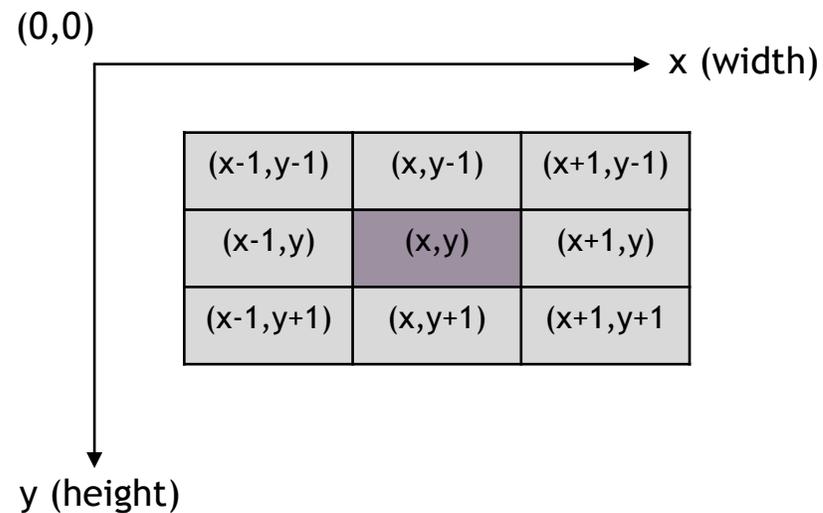
# Imagerie numérique

## Caractéristiques de voisinage

### ► Voisinage



4-voisinage d'un pixel  $(x,y)$   
(utilisation des 4 voisins pour les calculs)



8-voisinage d'un pixel  $(x,y)$   
(utilisation des 8 voisins pour les calculs)

# Imagerie numérique

## Caractéristiques de voisinage

- ▶ Connectivité (points reliés)
  - ▶ Séquence de pixels tels que  $(s_1, s_2, \dots, s_n)$  tel que  $s_{i+1}$  est un 4- ou 8-voisins de  $s_i$

**Example 1.1 (Connected path).** *Figure 1.9 demonstrates 4- and 8-connected paths in a rectangular lattice.*



Fig. 1.9 4- and 8-connectivity in a lattice.

# Imagerie numérique

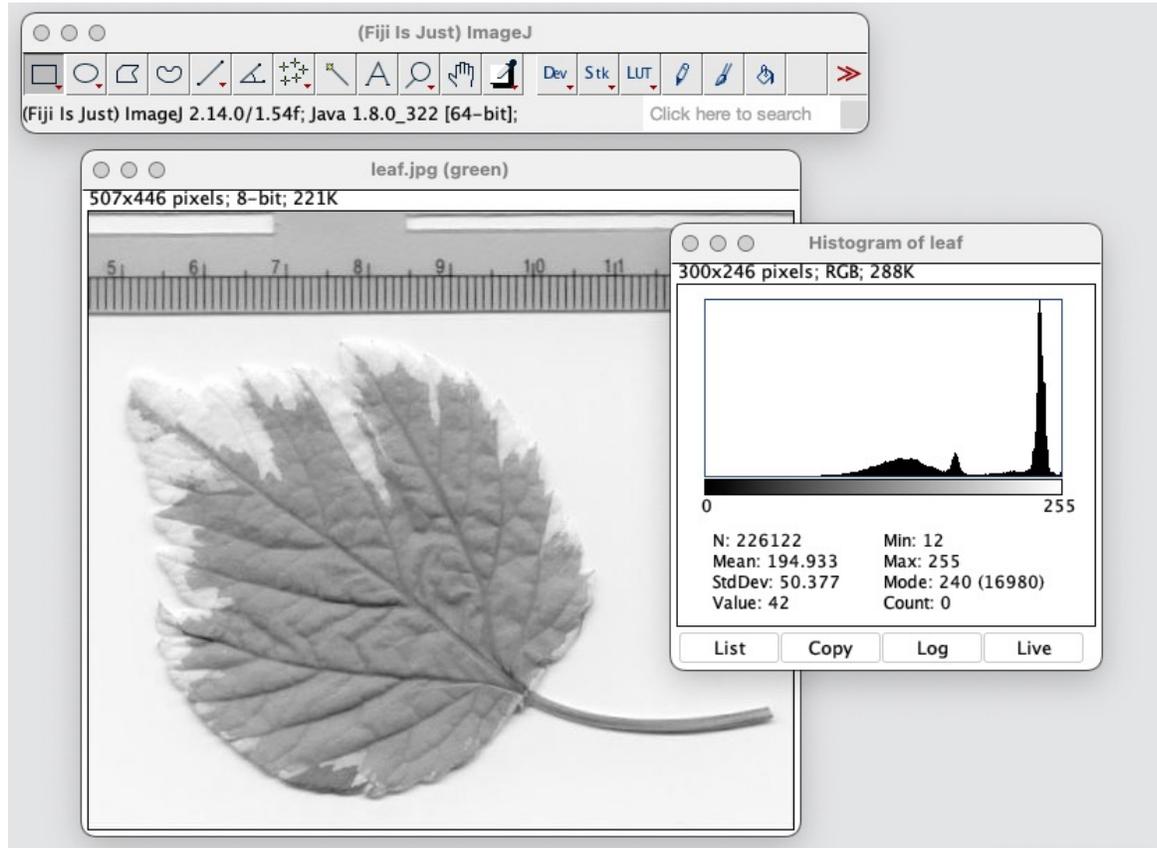
## Statistiques sur l'image

- ▶ Histogrammes
- ▶ Fonctions de répartition
- ▶ Matrices de co-occurrence des niveaux de gris

# Imagerie numérique

## Statistiques sur l'image

- ▶ Statistiques d'ordre 1 : histogramme, ou distribution des pixels
  - ▶ Analyse/histogram



Pour une image à niveaux de gris quantifiée en  $L=256$  valeurs, les valeurs  $I$  sont comprises entre 0 et  $L-1$  (255)

L'histogramme correspond à la probabilité d'apparition de chaque valeur  $k \in [0, L - 1]$

$$p(k) = p(I=k) = \frac{n_k}{N}$$

avec  $n_k$  = nombre de pixels tels que  $I(x,y)=k$  et  $N$  : la taille totale de l'image

Dans certains livres, on note  $H(k)=n_k$  (non normalisé)

Exercice : Proposer un algorithme de calcul de l'histogramme avec des boucles

# Imagerie numérique

## Statistiques sur l'image

- ▶ Statistiques d'ordre 1 : histogramme cumulé, fonction de répartition
  - ▶ L'histogramme cumulé est le calcul du pourcentage de pixels ayant une valeur inférieure à un niveau de gris donné.

Pour une image à niveaux de gris quantifiée en  $L=256$  valeurs, les valeurs  $l$  sont comprises entre 0 et  $L-1$  (255)

La fonction de répartition correspond à la somme des probabilités d'apparition de chaque valeur qui est inférieure à  $k \in [0, L - 1]$

$$CH(k) = \sum_{j=0}^k H(j)$$

On a la relation  
 $CH(k) = CH(k-1) + H(k)$

180	150	100	140
140	120	80	100
130	100	100	100
150	150	120	100

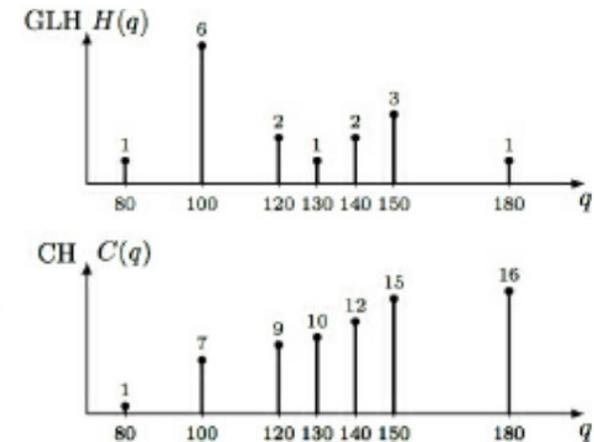


Fig. 1.15 Building a CH for a  $4 \times 4$  patch.

Source : Livre Image and Processing, a primer

# Imagerie numérique

## Statistiques sur l'image

- ▶ Statistiques d'ordre 1 : histogramme cumulé, fonction de répartition
  - ▶ L'histogramme cumulé est le calcul du pourcentage de pixels ayant une valeur inférieure à un niveau de gris donné.
- ▶ Percentiles
  - ▶ Les percentiles couramment utilisés : first quartile (25%), median (50%), third quartile (75%), maximum (100%)
  - ▶ Le premier quartile (Q1) est la valeur  $k$  au-dessous de laquelle se trouvent 25 % des données ( $CH(k) < 25\%$ )
  - ▶ Médiane  $CH(k) < 50\%$  (approximation linéaire)

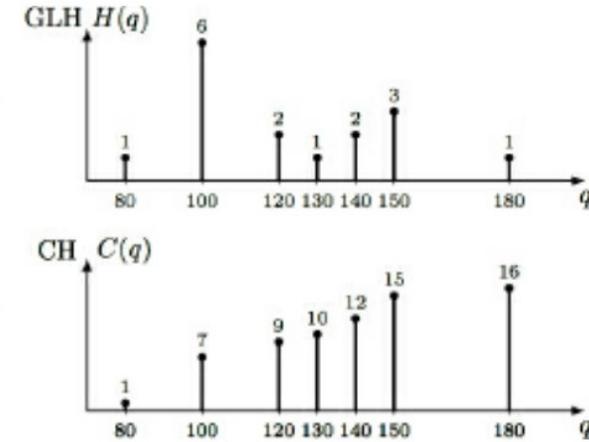
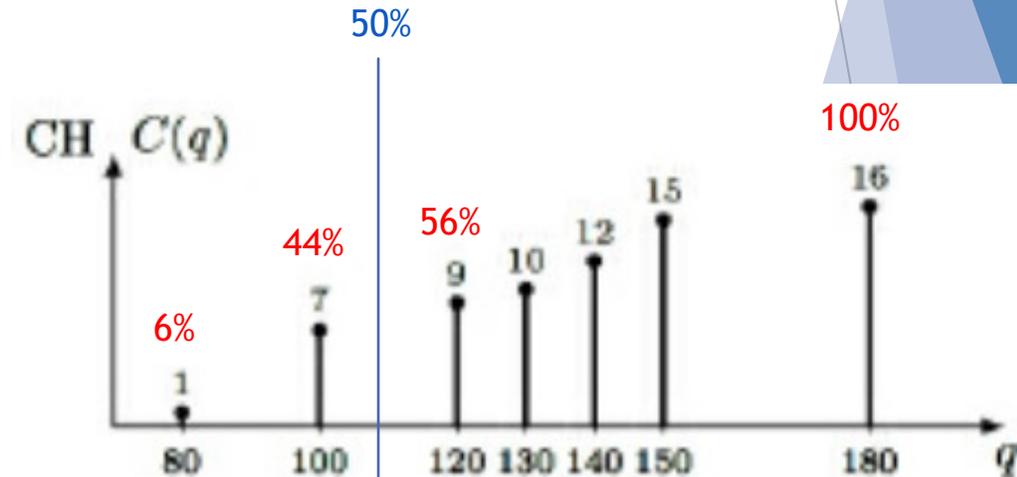


Fig. 1.15 Building a CH for a  $4 \times 4$  patch.



# Imagerie numérique

## Statistiques sur l'image

- ▶ Statistiques descriptives d'ordre 1 : exemple

Table 1.3 Integral characteristics of images in [Fig. 1.12](#).

Image	Size $MN$	$q_{\min}$	$q_{\max}$	$q_{\text{mean}}$	S.t.d.	$q_{\text{mode}}$	$H(q_{\text{mode}})$
Left	43,621	11	255	134.1	79.4	255	8,479
Middle	64,108	3	255	112.4	43.1	96	1,210
Right	69,156	2	255	65.5	44.0	49	1,162

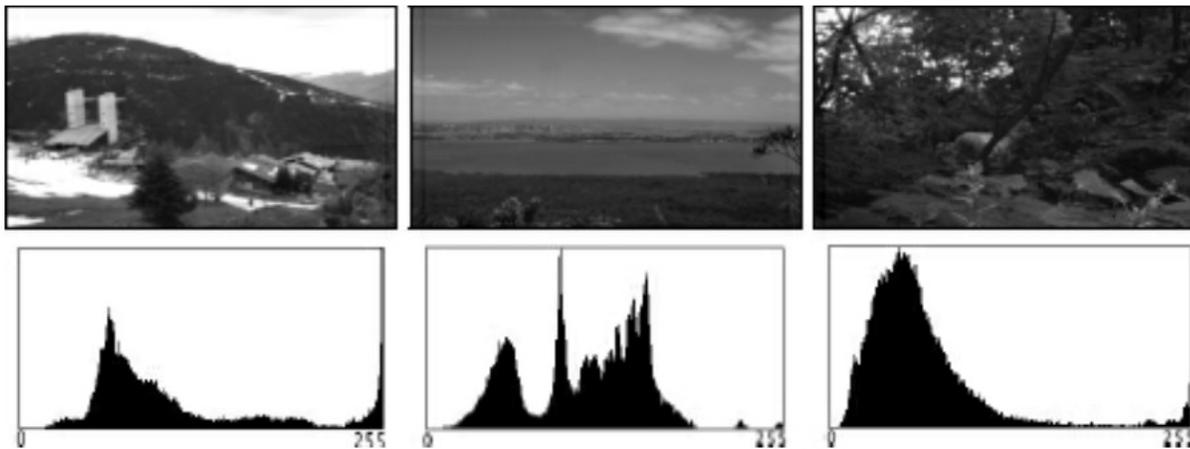


Fig. 1.12 Digital greyscale images and their GLHs.

Source : Livre Image and Processing, a primer

$$q_{\min} = \min_{q \in Q} \{q : H(q) > 0\}$$

$$\mu = \frac{1}{S} \sum_{q \in Q} q \cdot H(q)$$

$$q_{\text{mode}} = \max_{q \in Q} H(q)$$

$$q_{\max} = \max_{q \in Q} \{q : H(q) > 0\}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{S-1} \sum_{q \in Q} (q - \mu)^2 \cdot H(q) \quad (1.1)$$

$$S = \sum_{q \in Q} H(q)$$

Std : déviation standard

Contraste Global :

$$c = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_{\max} + q_{\min}} \equiv 1 - \frac{2q_{\min}}{q_{\max} + q_{\min}}$$

# Imagerie numérique

## Statistiques sur l'image

► Statistiques d'ordre 2 : Matrice de co-occurrence des niveaux de gris (GLCM)

La matrice de co-occurrence  $C_R(i, j)$  est carrée et de dimension  $L \times L$ , où  $L$  est le nombre de niveaux de gris présents dans l'image.

Ici on a la matrice de co-occurrence pour un voisinage horizontal de 1 pixel (Souvent on ajoute la transposée pour rendre la matrice symétrique )

					GLCM								
					1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	5	6	8	1	1	2	0	0	1	0	0	0
2	3	5	7	1	2	0	0	1	0	1	0	0	0
4	5	7	1	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0
8	5	1	2	5	4	0	0	0	0	1	0	0	0
5					5	1	0	0	0	0	1	2	0
Image					6	0	0	0	0	0	0	0	1
					7	2	0	0	0	0	0	0	0
					8	0	0	0	0	1	0	0	0

Voir aussi descripteurs d'Haralick  
[Robert Haralick et al 1973]

# Imagerie numérique

## Statistiques sur l'image

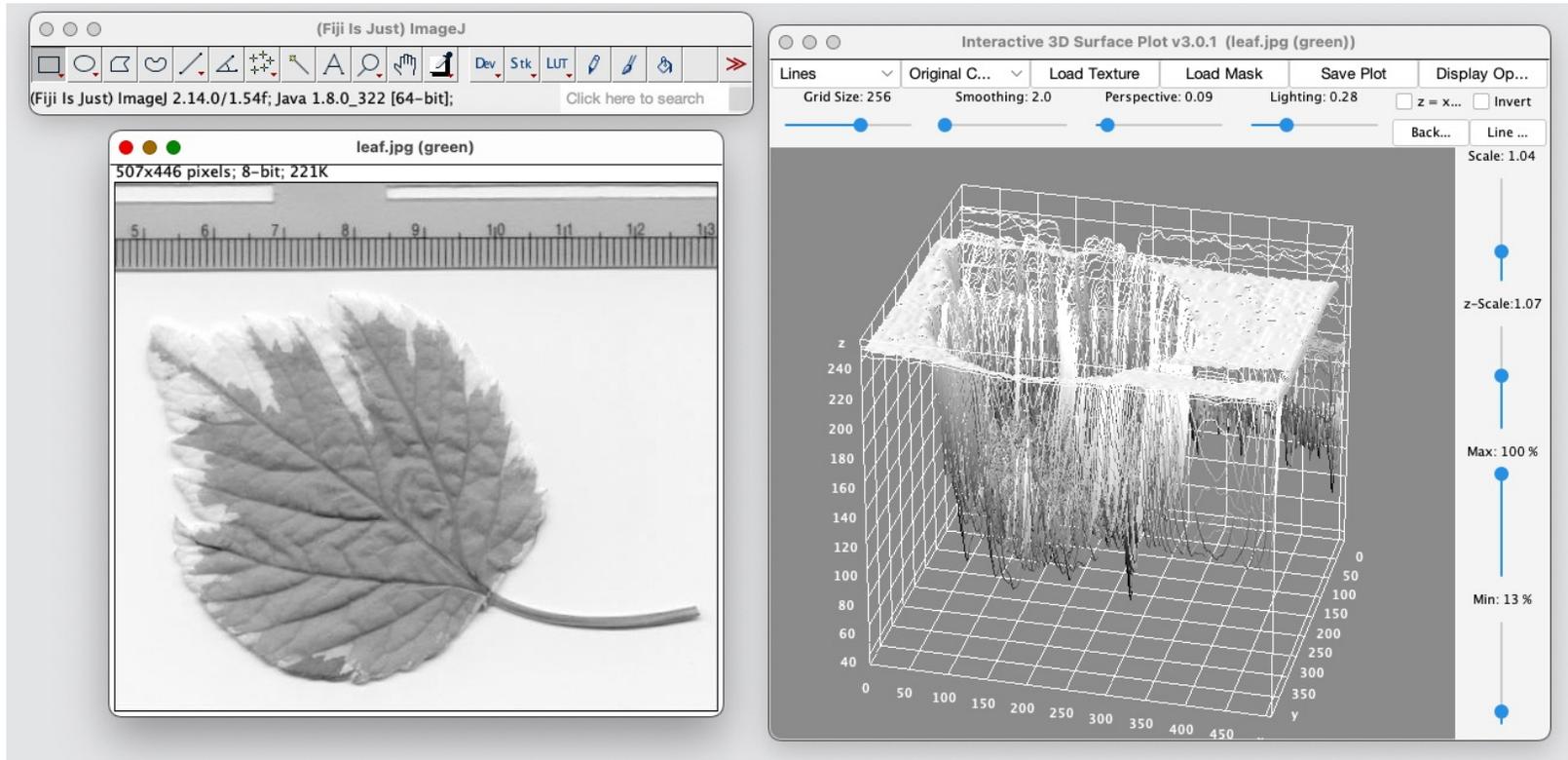
- ▶ Statistiques d'ordre 2 : Matrice de co-occurrence des niveaux de gris (GLCM)
  - ▶ Elle permet de décrire la périodicité et la directivité des textures et certains paramètres de texture comme l'entropie, le contraste par exemple.
  - ▶ Elle est utilisée en radiomique pour extraire des caractéristiques (features) de texture
    - ▶ Site web WORC (python package radiomic features)  
<https://worc.readthedocs.io/en/latest/static/features.html#gray-level-co-occurrence-matrix-glcm>

NB : La radiomique est une méthode récente qui se base sur l'analyse d'un grand nombre de paramètres (features) calculés à partir de la région d'intérêt (ROI) extraite des images par segmentation manuelle ou automatique. En traitant un grand nombre de caractéristiques par des méthodes d'apprentissage, il est possible d'apprendre comment est caractérisé une pathologie et ses variantes et d'extraire de nouveaux biomarqueurs.

# Imagerie numérique

## Représentation 2D ou 3D

- L'image peut être visualisée par le biais d'une « elevation map » qui transforme l'image 2D en une fonction  $f(x,y)$  visualisable par une fonction 3D (ImageJ : Analyse/3D Surface plot)



# Imagerie numérique :

## Opérations de base

# Imagerie numérique

## Filtrage, notions de base

- Filtrage spatial ou convolution

$F_1$	$F_2$	$F_3$
$F_4$	$F_5$	$F_6$
$F_7$	$F_8$	$F_9$

Filtre ou Kernel de dimension 3  
(ou de rayon=2 pixels)

$I(x-1,y-1)$	$I(x,y-1)$	$I(x+1,y-1)$
$I(x-1,y)$	$I(x,y)$	$I(x+1,y)$
$I(x-1,y+1)$	$I(x,y+1)$	$I(x+1,y+1)$

# Imagerie numérique

## Filtrage, notions de base

► Filtrage spatial

$F_1$	$F_2$	$F_3$
$F_4$	$F_5$	$F_6$
$F_7$	$F_8$	$F_9$

Convolution

$I(x-1,y-1)$	$I(x,y-1)$	$I(x+1,y-1)$
$I(x-1,y)$	$I(x,y)$	$I(x+1,y)$
$I(x-1,y+1)$	$I(x,y+1)$	$I(x+1,y+1)$

Problèmes au bord,  
différentes solutions (miroir,  
voisins les plus proches,  
constant, valeurs nulles,  
recopie) : padding

$$I_{new}(x, y) = F_1 * I(x - 1, y - 1) + F_2 * I(x, y - 1) + F_3 * I(x + 1, y - 1) \\ + F_4 * I(x - 1, y) + F_5 * I(x, y) + F_6 * I(x + 1, y) \\ + F_7 * I(x - 1, y + 1) + F_8 * I(x, y + 1) + F_9 * I(x + 1, y + 1)$$

# Imagerie numérique

## Détection des contours, dérivation

- ▶ Dérivées du premier ordre pour la détection des contours

$$\text{Gradient de l'image : } \nabla I(x, y) = \begin{bmatrix} I_x(x, y) \\ I_y(x, y) \end{bmatrix}$$

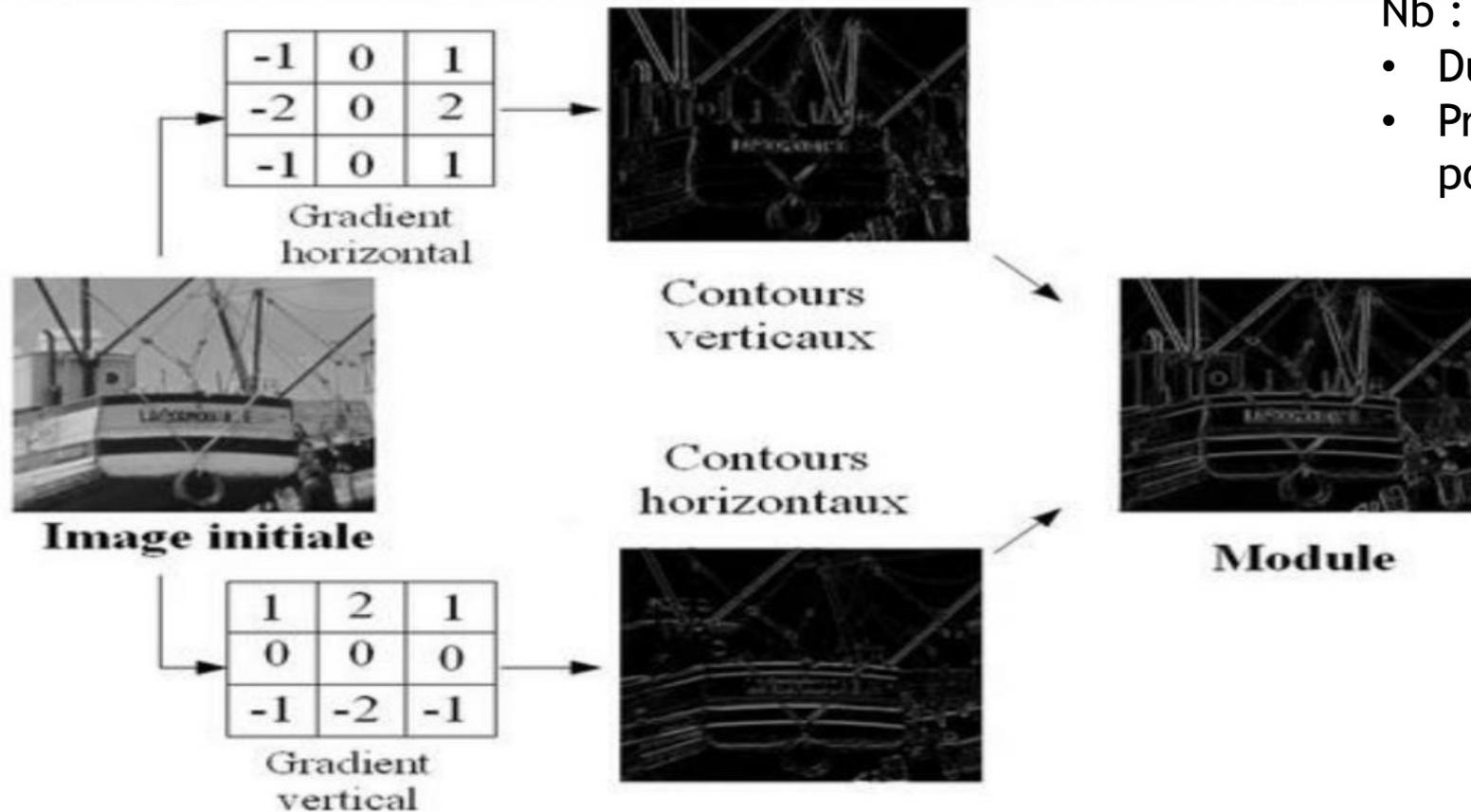
- ▶ La dérivée partielle de l'image par rapport à x est notée  $I_x$
- ▶ La dérivée partielle de l'image par rapport à y est notée  $I_y$ 
  - ▶ Nb : On peut calculer les dérivées partielles avec différents filtres
- ▶ La norme du gradient sera égale à 0 dans les zones homogènes et maximale sur les contours de l'image

$$\|\nabla I\| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$$

# Imagerie numérique

## Détection des contours, dérivation

- ▶ Dérivées du premier ordre (exemple : filtres de Sobel, existent aussi les filtres de Prewitt ou Canny ou filtres par morphologie mathématique)



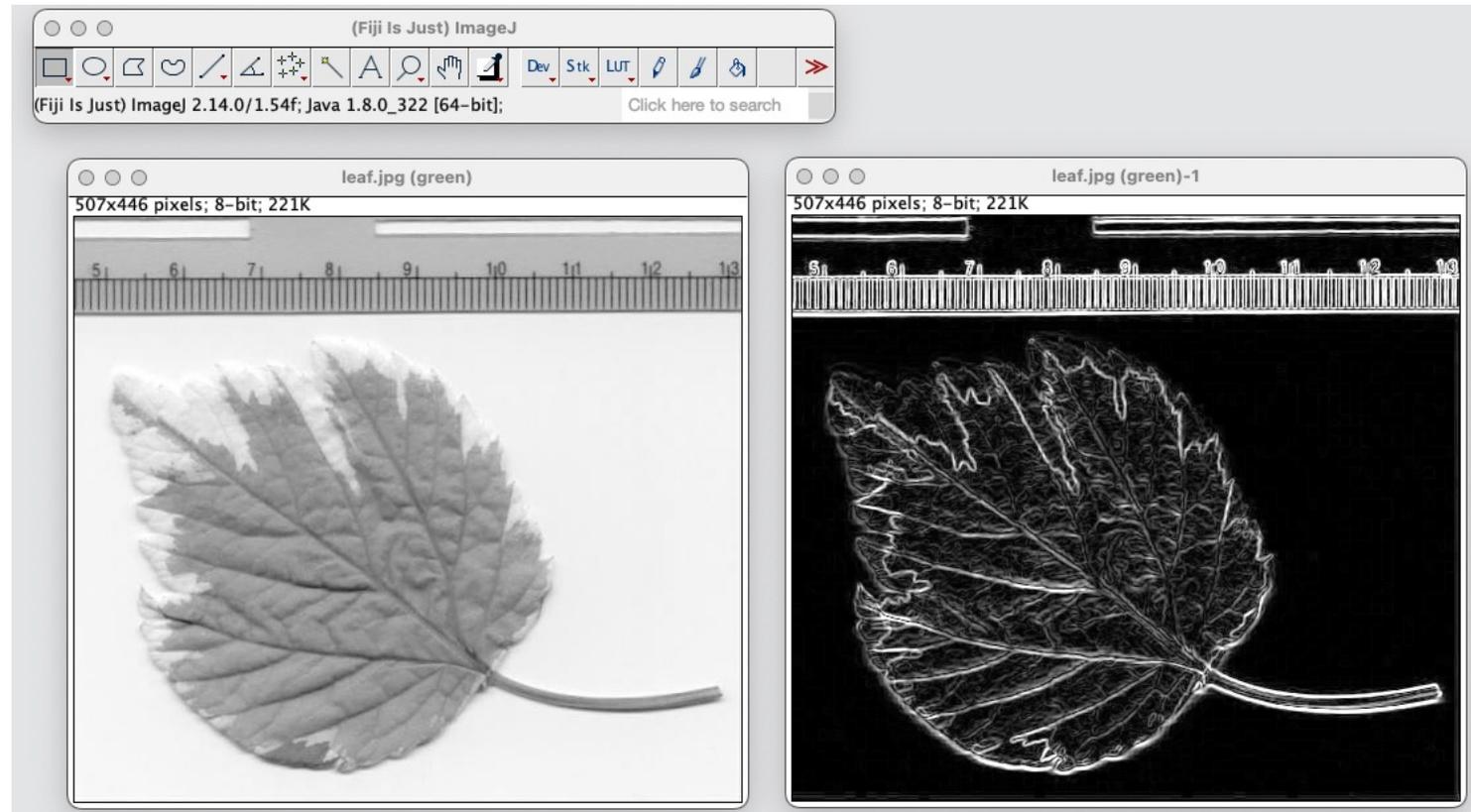
Nb : dans Image J :

- Duplicate (2 fois)
- Process > Filters > convolve pour appliquer les deux filtres

# Imagerie numérique

## Détection des contours, dérivation

- ▶ Dérivées du premier ordre
  - ▶ Image J : Process / Edges (observer les valeurs des gradients, norme du gradient)



# Imagerie numérique

## Détection des contours, dérivation

- ▶ Dérivées secondes : Calcul du Laplacien
  - ▶ Exemple de filtres (Dans ce cas il n'est pas nécessaire de calculer séparément les contours verticaux, puis horizontaux, puis le module. )

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

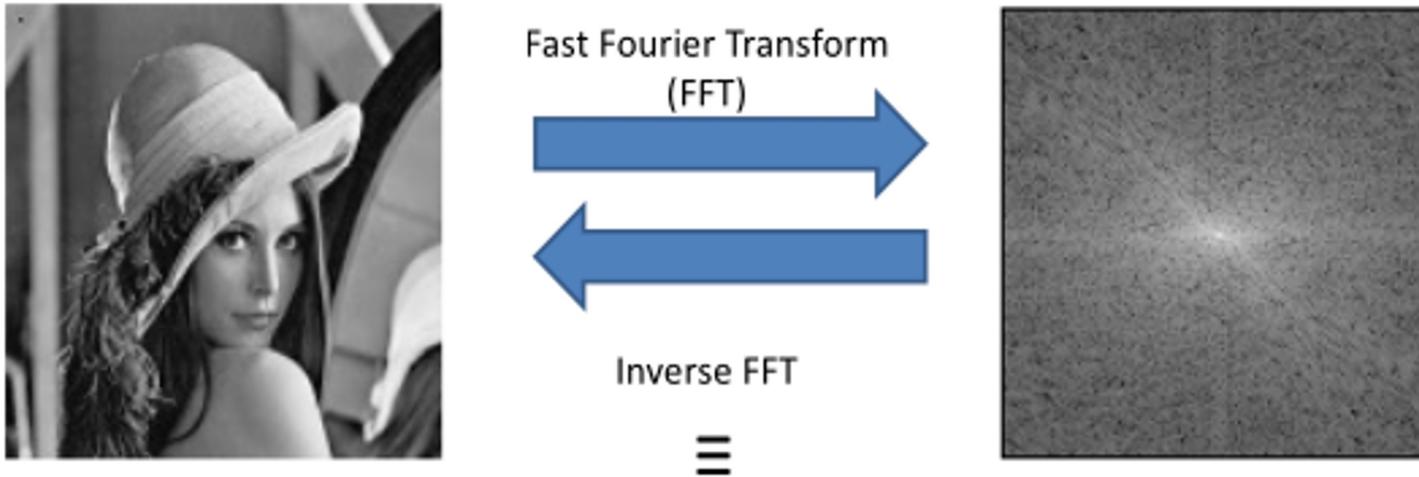
1	1	1
1	-8	1
1	1	1

-1	2	-1
2	-4	2
-1	2	-1

# Traitement des images numériques

## Transformée de Fourier

- Frequential domain



Site web : <https://www.imaios.com/en/e-mri/mri-image-formation/2d-fourier-transform>

# Imagerie numérique

## Transformée de l'image dans un autre domaine

### ▶ Principes généraux

- ▶ Transformation de l'image dans un autre domaine de représentation

### ▶ Avantages

- ▶ Répartition de l'information contenue dans l'image de manière différente
- ▶ Utilisée pour le filtrage, la restauration, la compression, la description de texture

### ▶ Exemples de transformées

- ▶ Transformée de Fourier (filtrage fréquentiel)

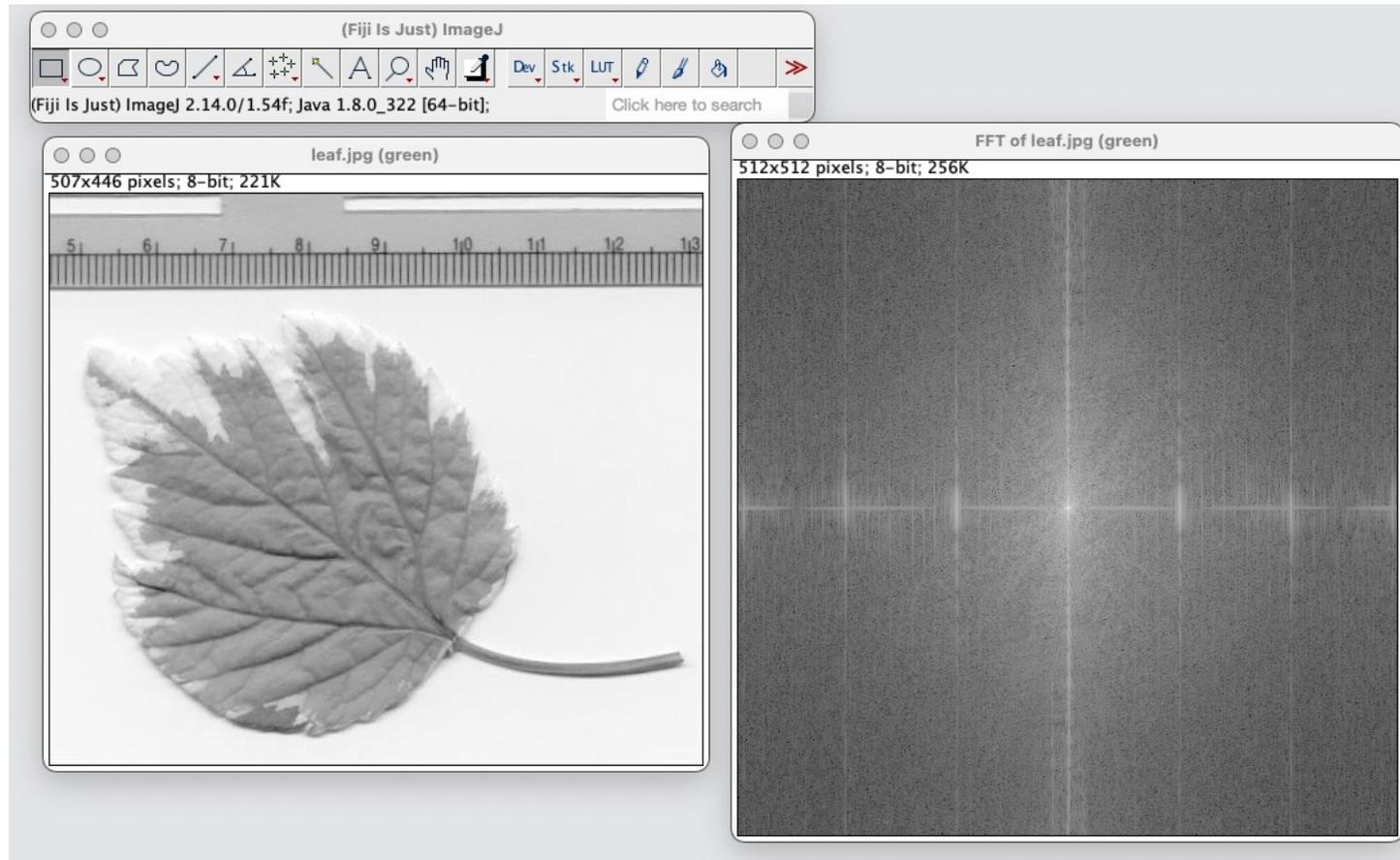
$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i2\pi(ux+vy)} dx dy$$

- ▶ Transformée en cosinus discrète (DCT, utilisé dans JPEG)
- ▶ Transformées en ondelettes (description de texture)
- ▶ Transformée de Radon (reconstruction)
- ▶ Transformée de Hough (lignes dans l'image)

# Imagerie numérique

## Transformée de l'image dans un autre domaine

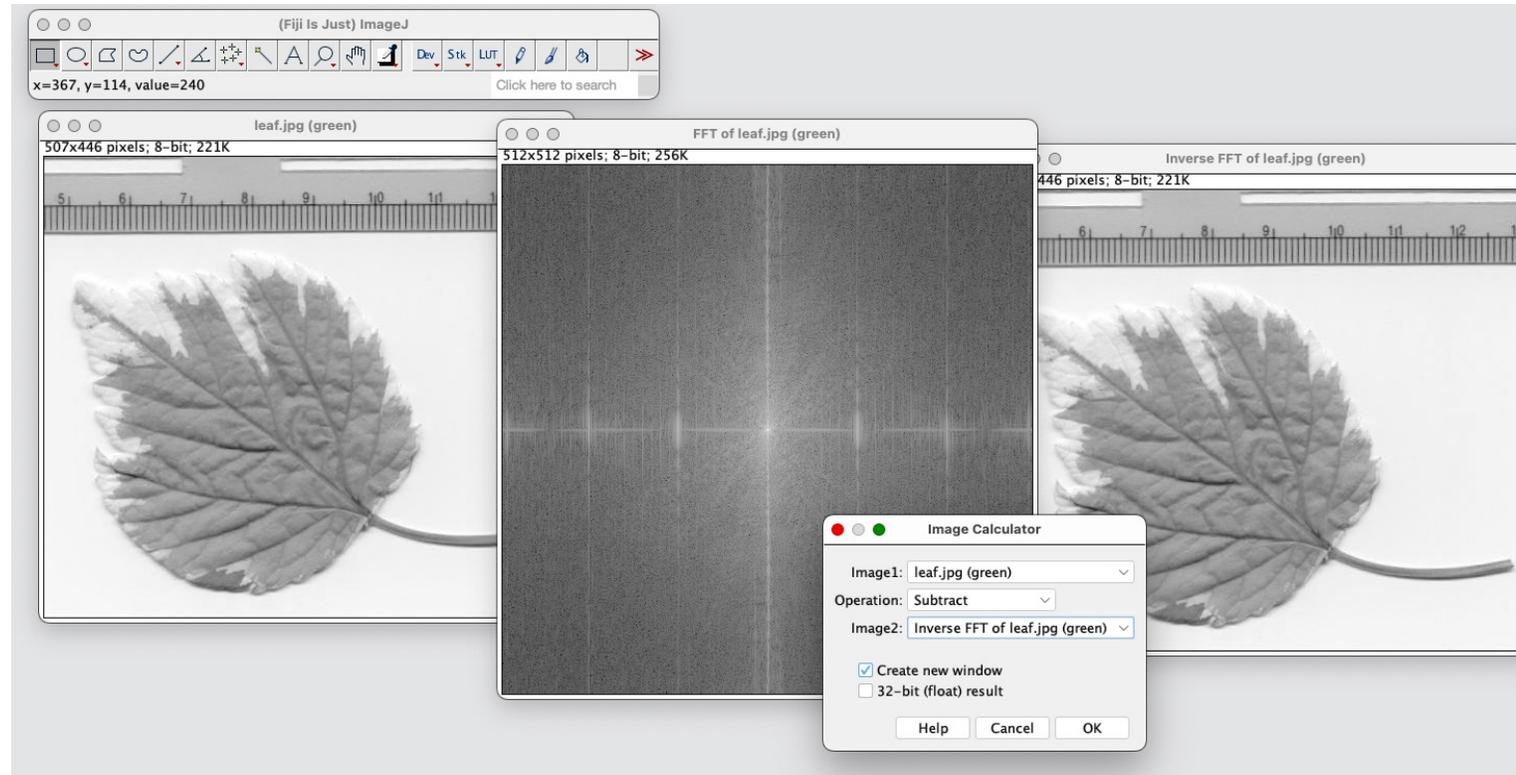
- ▶ Exemple de transformée de Fourier (Image J / Process / FFT)



# Imagerie numérique

## Transformée de l'image dans un autre domaine

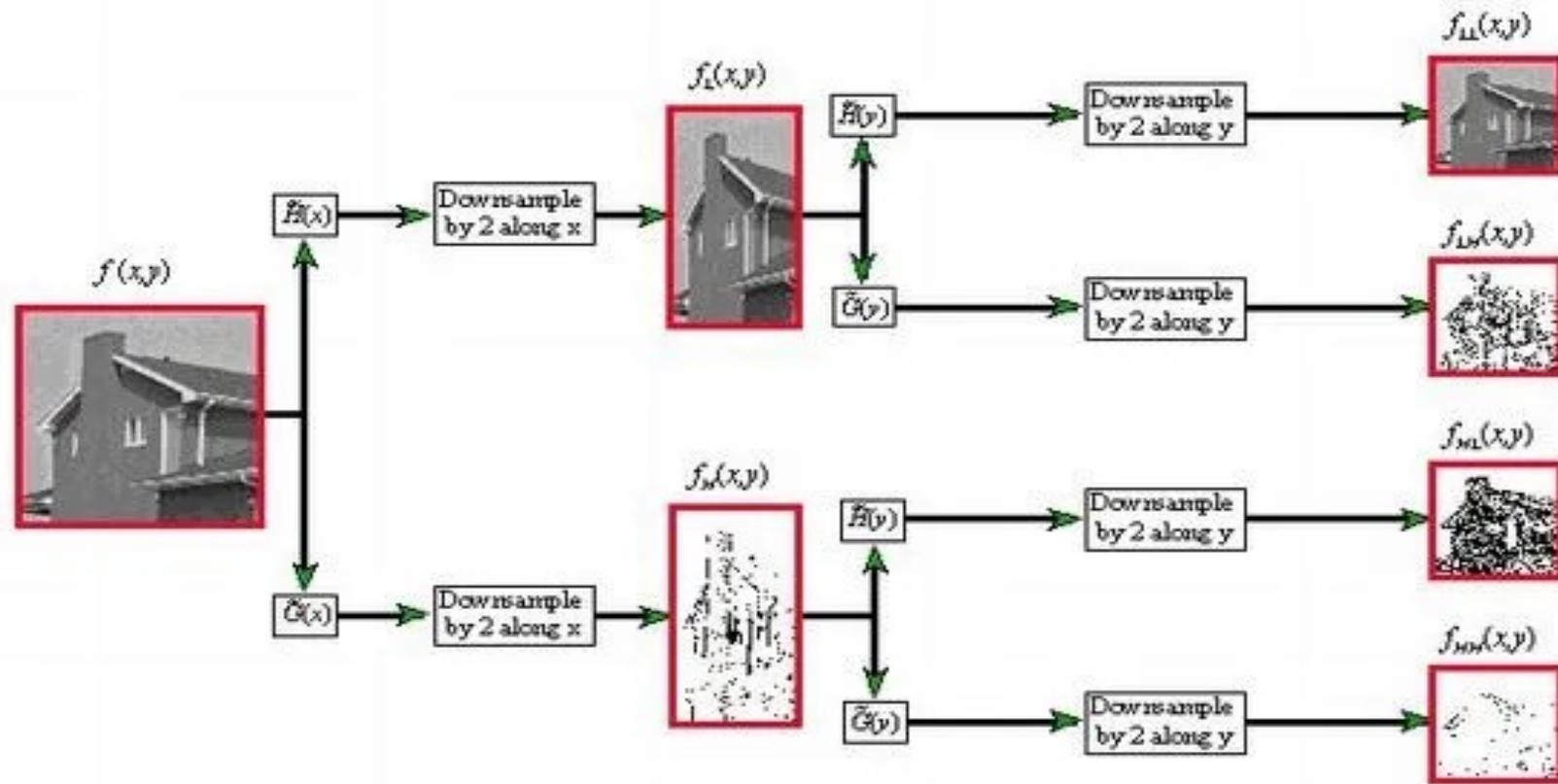
- ▶ Inversion (Image J / Process / Inverse FFT)



# Imagerie numérique

## Transformée de l'image dans un autre domaine

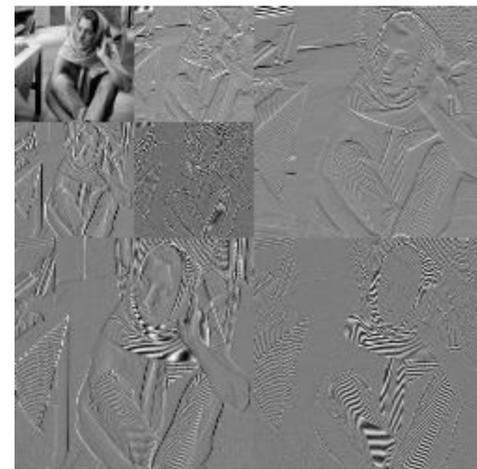
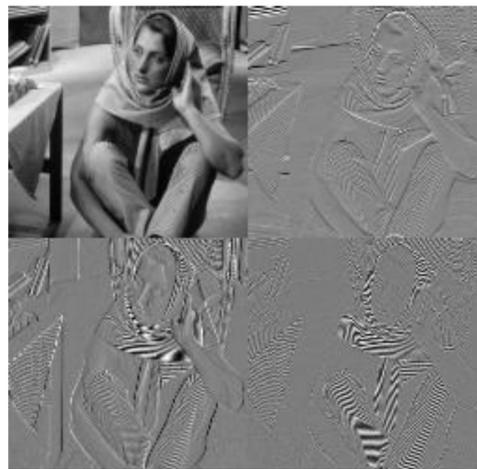
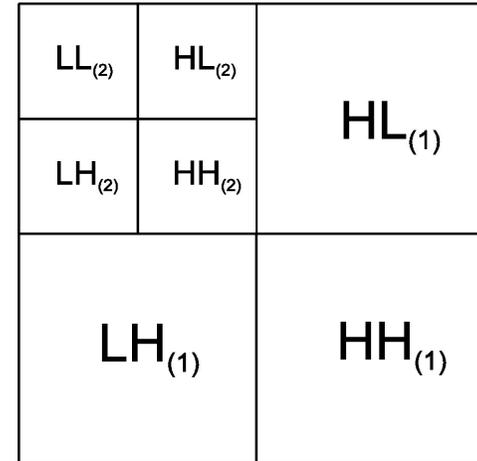
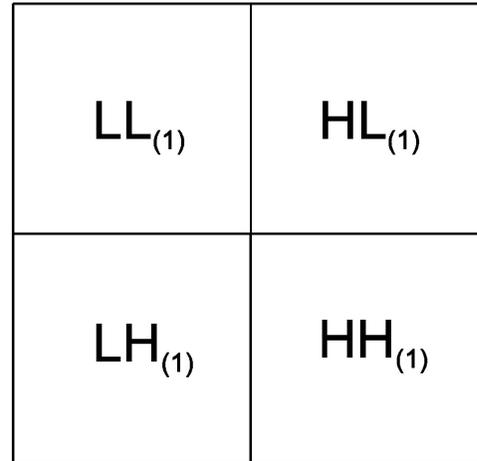
- ▶ Transformée en ondelettes



# Imagerie numérique

## Transformée de l'image dans un autre domaine

- ▶ Transformée en ondelettes



H : High Pass Filter  
L : Low pass Filter

HL : high pass on the vertical

LH : high pass on the horizontal

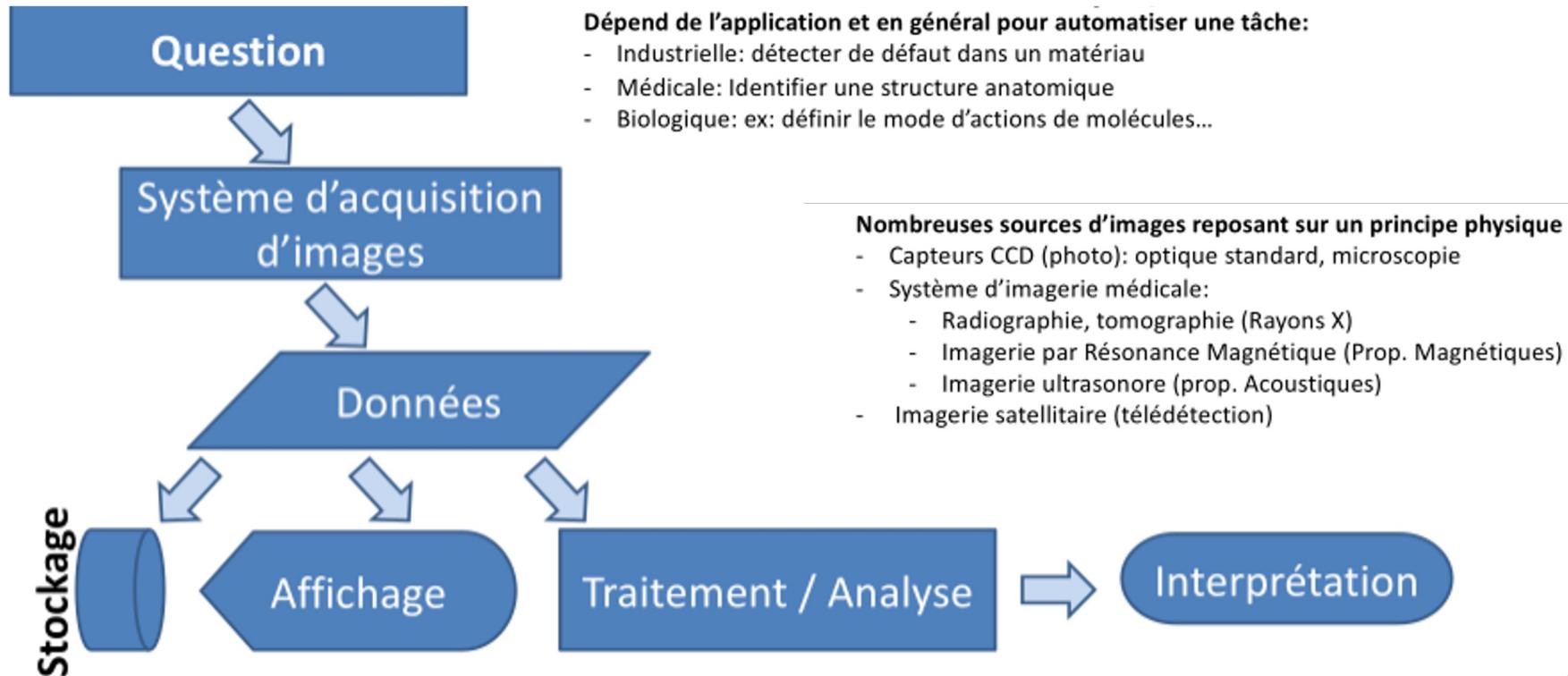


# Imagerie numérique :

## Traitement et analyse des images, principes généraux

# Imagerie numérique

## Traitement et Analyse des images



# Imagerie numérique

## Différents types d'images et méthodes d'acquisition

- ▶ En imagerie médicale, on cherche à établir un diagnostic et à le quantifier
  - ▶ Les mesures effectuées sur l'image doivent permettre de guider les thérapies
  - ▶ Les images étudiées doivent être adaptées à la pathologie (comment se traduit la pathologie sur l'image, forme, texture, niveaux de gris ?)
- ▶ NB : On distingue les informations anatomiques et fonctionnelles
  - ▶ anatomiques : forme et taille d'un organe
  - ▶ Fonctionnelles : marqueurs moléculaires indiquant une pathologie, flux sanguin en doppler ...

# Imagerie numérique

## Différents types d'images et méthodes d'acquisition

- ▶ Images médicales
  - ▶ Imagerie à Rayons X
  - ▶ Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), Imagerie fonctionnelle (IRMf)
  - ▶ Imagerie Optique (détection de variation optique des tissus, Endoscopie digestive, Exploration des artères coronaires)
  - ▶ Tomographies à émission de positrons (TEP)
  - ▶ Echographie (2D+t ou 3D+t), Doppler
  - ▶ Imagerie multimodale ou hybride (TEP-CT, TEP-IRM)
- ▶ Images pour la biologie
  - ▶ Imagerie microscopique (données 2D, 2D+t, 3D, 3D+t), utilisation de traceurs fluorescents (4D+t)

# Imagerie numérique

## Différents types d'images et méthodes d'acquisition

- ▶ Imagerie par résonance magnétique (IRM)

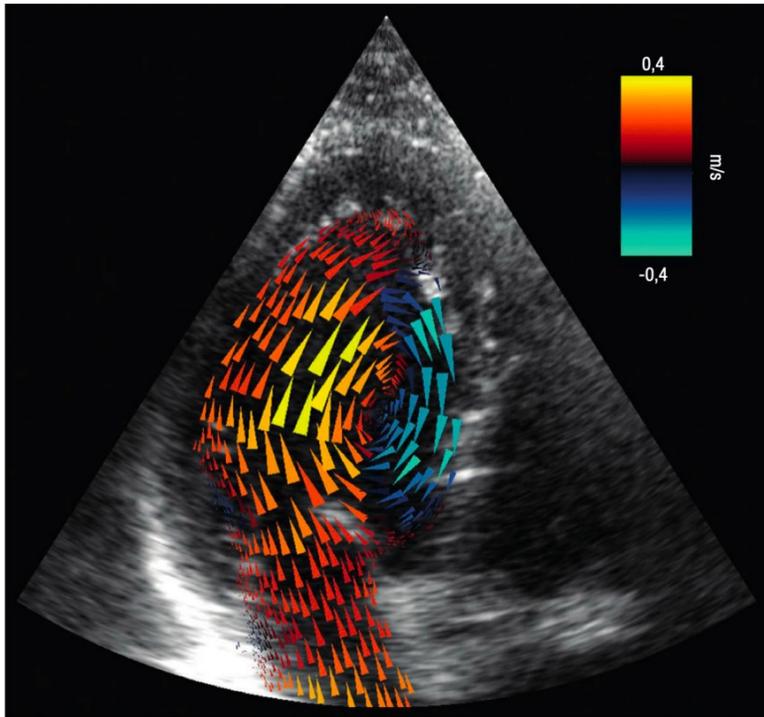
Exemple : ouvrir mri-stack.tif  
dans FIJI

- ▶ Utilisation de gradients de champs magnétiques afin de différencier les tissus
- ▶ Le principe est de déduire les caractéristiques des tissus à partir des trajectoires des molécules d'eau
- ▶ Résolution proche du mm

# Imagerie numérique

## Différents types d'images et méthodes d'acquisition

### ► Echographie, ultrasons



**3. Un tourbillon dans le cœur.** Un tourbillon (vortex) de sang se forme lorsque le cœur se remplit. Il peut être visualisé par Doppler couleur en utilisant des techniques de reconstruction spécialisées. L'évolution et les propriétés de ce vortex nous renseignent sur la capacité du cœur à se remplir correctement.

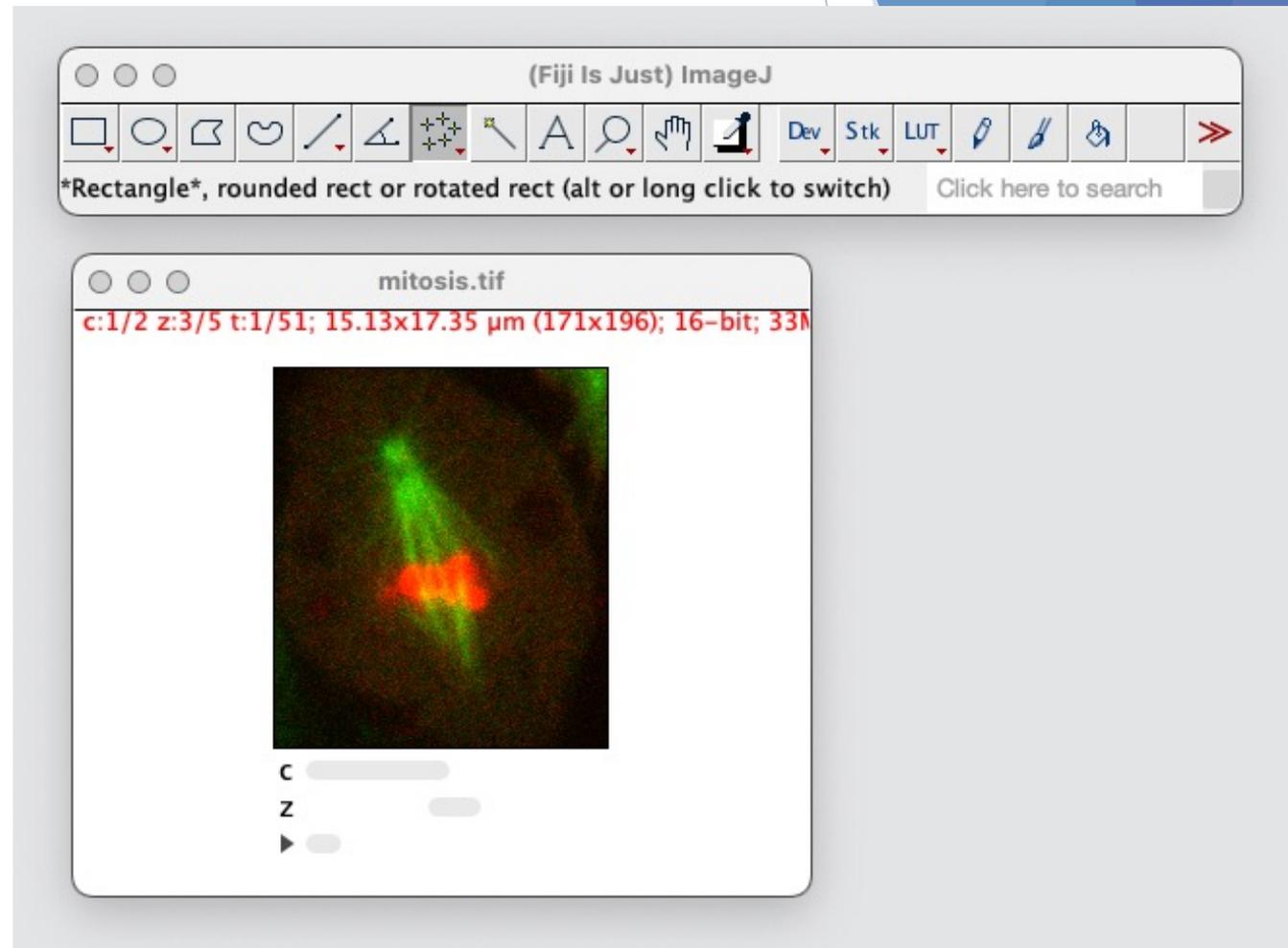
- Données temporelles disponibles avec une cadence élevée
- Détection de flux sanguins (Doppler ultrasensible)

Source : Le corps en Image, CNRS éditions

# Imagerie numérique

## Différents types d'images et de méthodes d'acquisition

- ▶ Images pour la biologie
  - ▶ Exemple : mitosis dans Image J (5 Stacks)
  - ▶ Dimension temporelle t (51 frames)
  - ▶ 5 plans en Z, une image par longueur d'ondes d'émission



# Imagerie numérique

## Traitement et Analyse des images

- ▶ Traitement
  - ▶ Transformation de l'image, rehaussement
  - ▶ Débruitage, restauration, reconstruction
- ▶ Analyse
  - ▶ Segmentation ou partition de l'image
  - ▶ Caractéristiques des régions d'intérêt

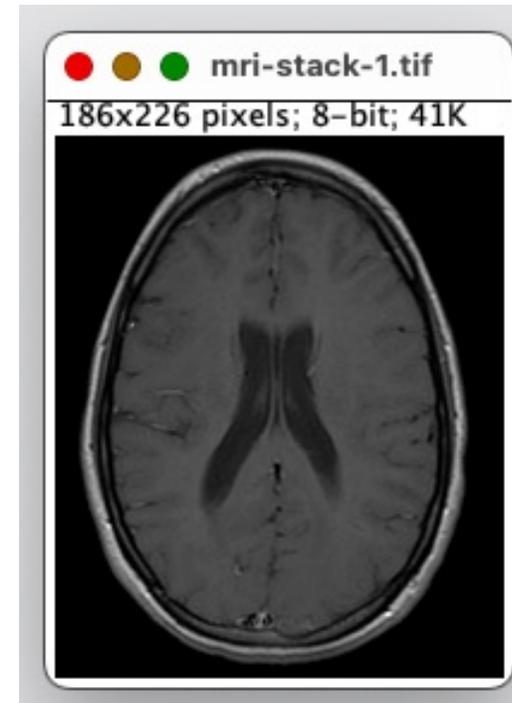
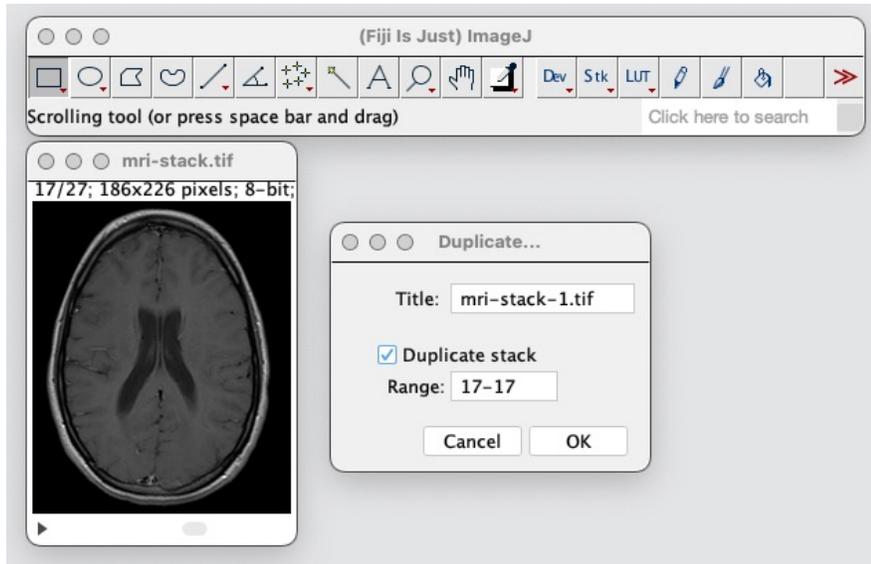
# Imagerie numérique : Traitement des images

Transformation des images, rehaussement

# Imagerie numérique

## Traitement des images : rehaussement

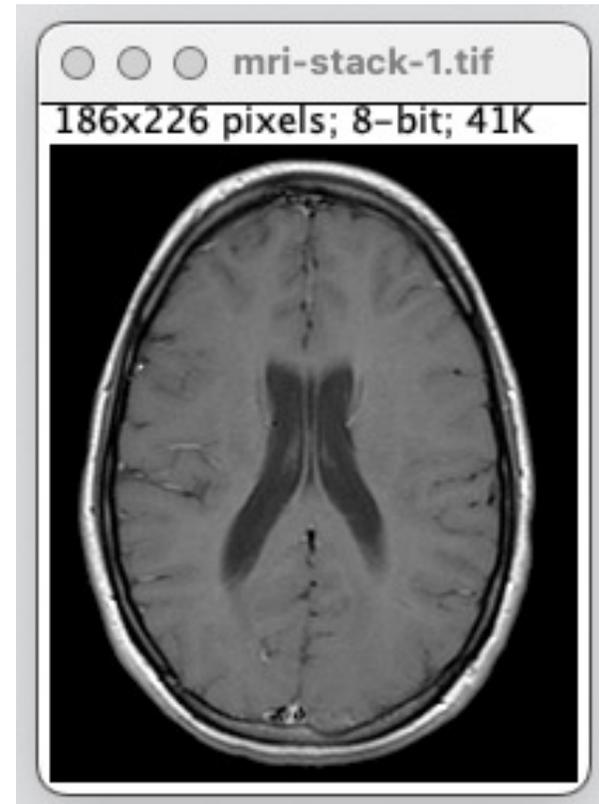
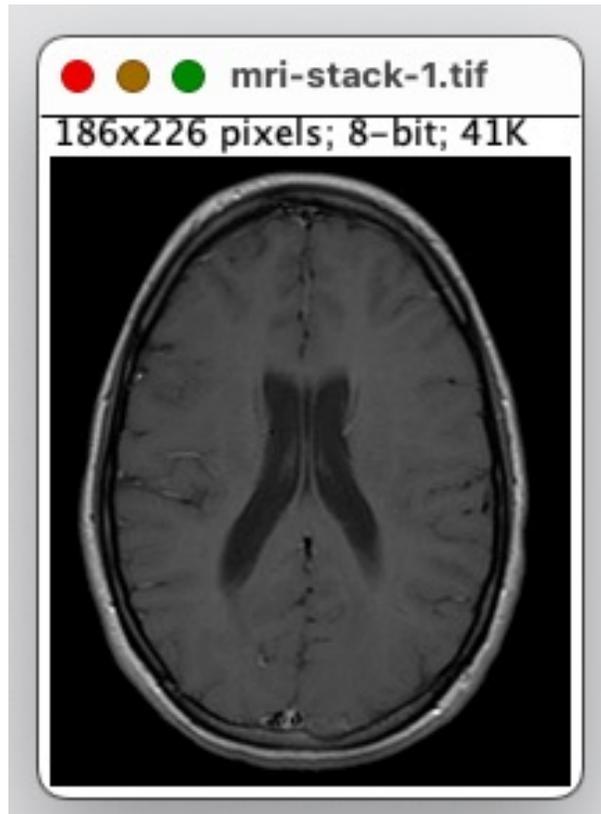
- ▶ Rehaussement de l'image
  - ▶ Extraction d'une slice de l'image mri-stack : ImageJ
    - ▶ Image / Duplicate / set the number of the slice (17-17)
    - ▶ Ou Image / Stack to Images : obtention de toutes les images



# Imagerie numérique

## Traitement des images : rehaussement

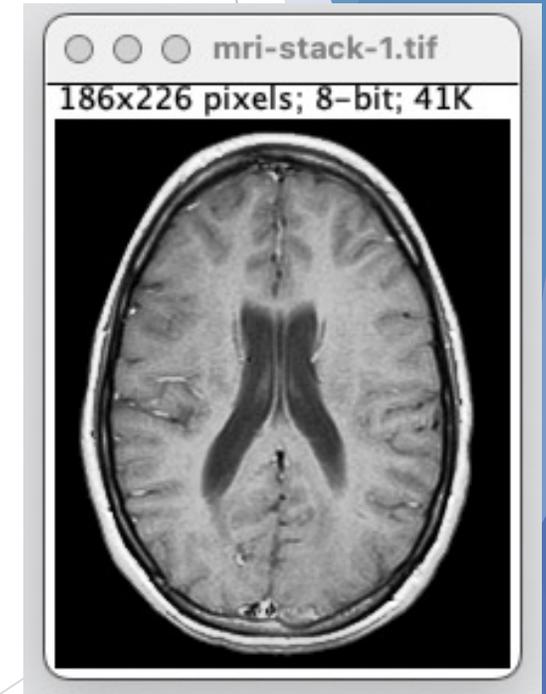
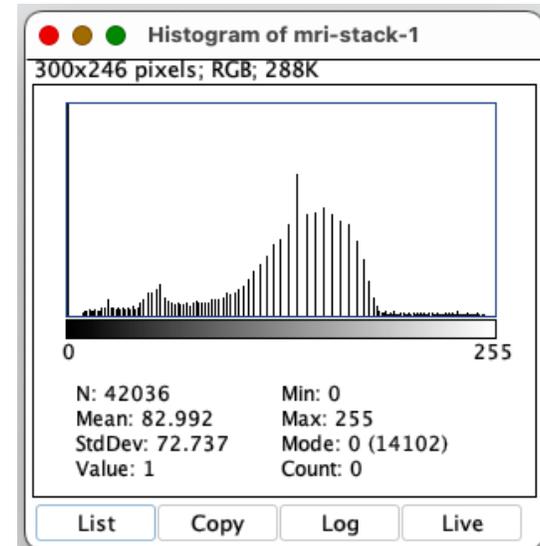
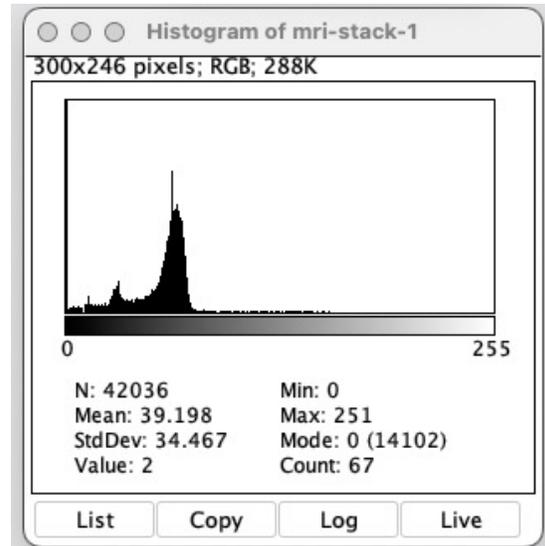
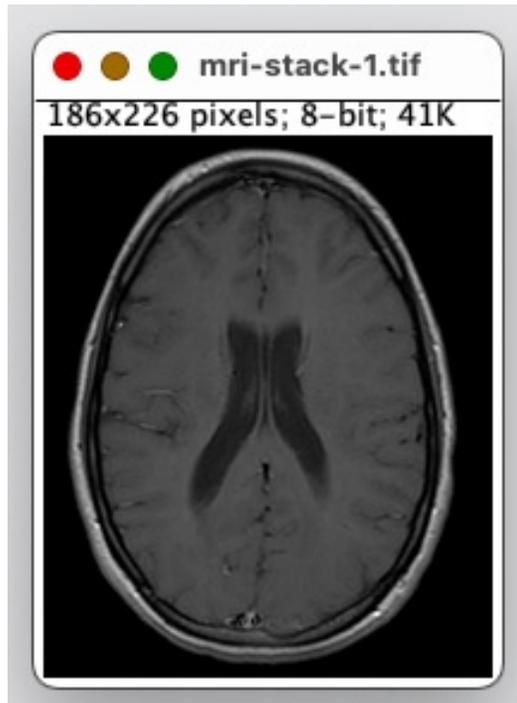
- ▶ Rehaussement par «contrast stretching» ou normalisation des intensités
  - ▶ ImageJ / enhance contrast / normalisation



# Imagerie numérique

## Traitement des images : rehaussement

- ▶ Rehaussement par transformations des histogrammes
  - ▶ Égalisation d'histogrammes: ImageJ / enhance contrast / Histogram equalization



# Imagerie numérique

## Traitement des images : rehaussement

- ▶ Rehaussement par transformations des histogrammes
  - ▶ Égalisation d'histogrammes: ImageJ / enhance contrast / Histogram equalization
  - ▶ A chaque pixel de l'image est appliquée une transformation
    - ▶  $T(x,y) = (L-1) CL(I(x,y)) = (L-1) * (\text{pourcentage de pixels} < I(x,y))$
    - ▶ Cela revient à rendre la distribution uniforme et permet de mieux répartir les valeurs de l'image

# Imagerie numérique

## Traitement des images : Morphologie mathématique

Les outils de morphologie mathématique sont des outils mathématiques ensemblistes qui opèrent en utilisant des unions, intersections ou autres opérations sur les ensembles.

Opérateurs morphologiques principaux :

- ▶ Erosion
  - ▶ sur une image binaire, cela réduit la taille des objets et enlève les petits éléments
- ▶ Dilatation
  - ▶ sur une image binaire, cela augmente la taille des objets
- ▶ Ouverture : Erosion + dilatation
  - ▶ Opération permettant d'enlever des petits objets tout en récupérant la taille initiale des autres objets
- ▶ Fermeture : Dilatation + Erosion
  - ▶ Opération duale

Applications :

- ▶ Filtrage sélectif de données (area opening)
- ▶ Rehaussement de l'image (top-hat)
- ▶ Segmentation (Watershed)
- ▶ Squelettisation (Skeleton)

# Imagerie numérique

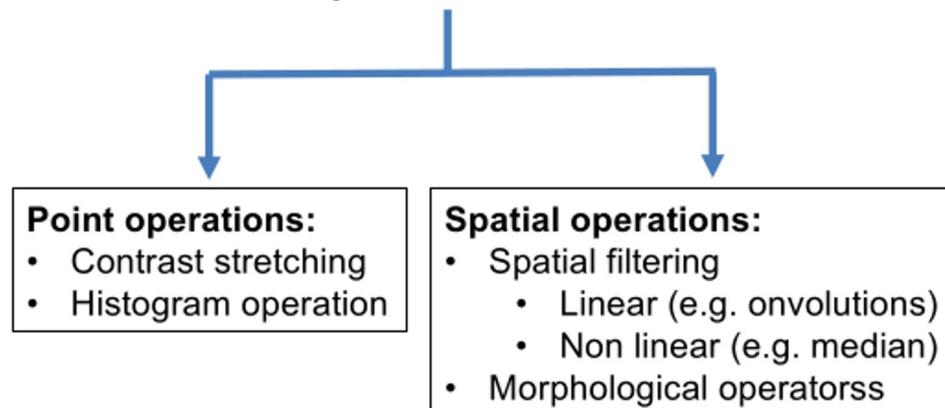
## Traitement des images : rehaussement

Plusieurs autres méthodes possibles



docsity.com

### Spatial Domain



### Frequency Domain



# Imagerie numérique : Traitement des images

Débruitage (Image denoising)

# Imagerie numérique

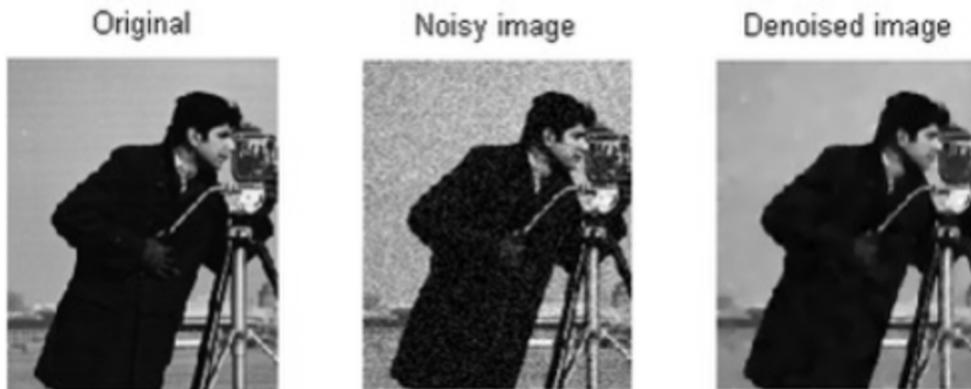
## Traitement des images : débruitage

- ▶ Modélisation mathématique d'une image bruitée
- ▶ Mesures de la qualité
- ▶ Modèles de bruit (bruit gaussien, salt and pepper, speckle)
- ▶ Débruitage par des filtres spatiaux linéaires ou non linéaires
- ▶ Débruitage et reconstruction par des méthodes d'optimisation

# Imagerie numérique

## Traitement des images : débruitage

- ▶ Modélisation mathématique d'une image bruitée
  - ▶ Soit  $f(x,y)$  une image en entrée qui subit une dégradation multiplicative modélisée par la convolution par  $h$  et un bruit additif modélisé par  $b$
  - ▶  $g(x,y) = h * f(x,y) + b(x,y)$
  - ▶ L'objectif est de trouver l'image restaurée  $\hat{f}(x,y)$  qui va représenter au mieux l'image initiale  $f$



# Imagerie numérique

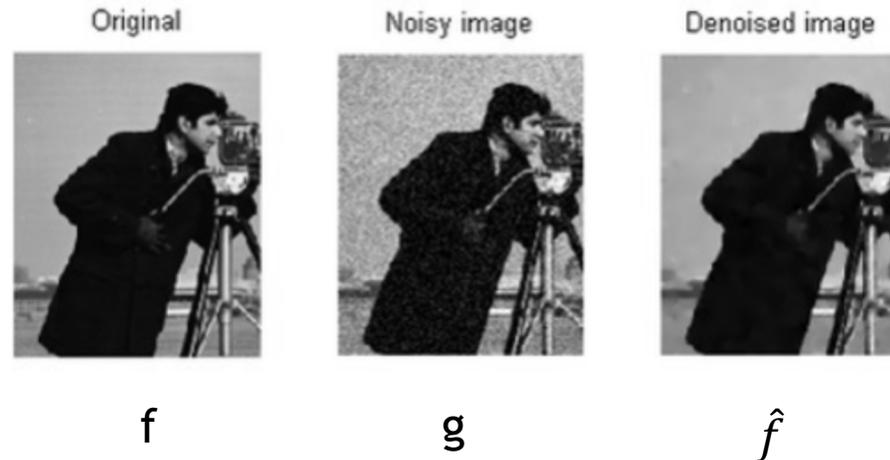
## Traitement des images : débruitage

- ▶ Mesures de la qualité du débruitage :

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{d^2}{EQM} \right) \quad \text{Unité : dB}$$

avec  $d=255$ , et EQM (Erreur quadratique Moyenne) entre l'image débruitée et l'image originale :

$$EQM = \frac{1}{width \cdot height} \sum_{x=0}^{width-1} \sum_{y=0}^{height-1} (\hat{f}(x, y) - f(x, y))^2$$



# Imagerie numérique

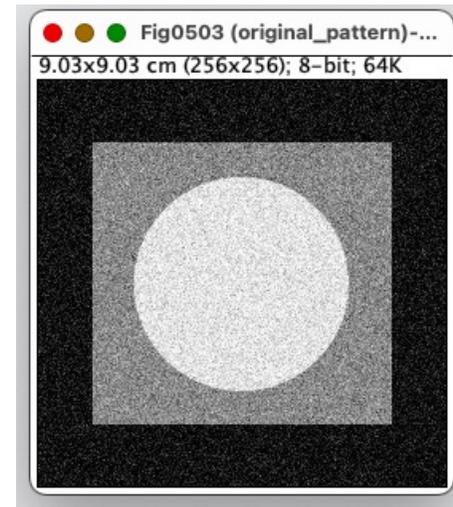
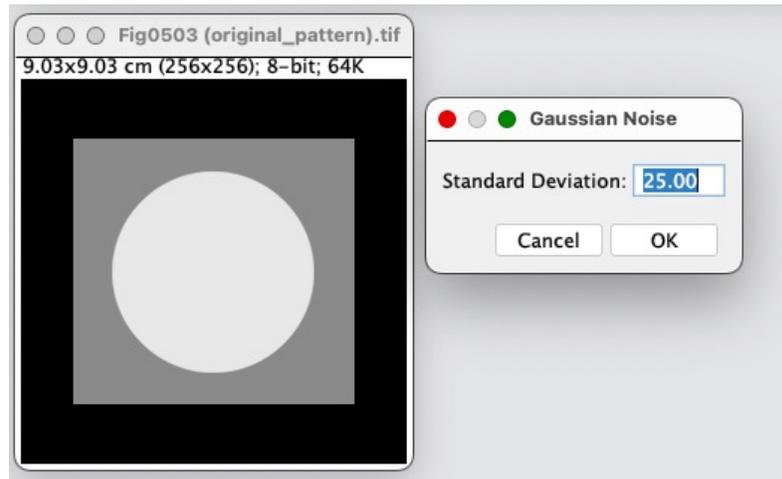
## Traitement des images : débruitage

- ▶ Modèles statistiques de bruit
  - ▶ Les bruits présents sur l'image vont dépendre du système d'acquisition
    - ▶ Exemple des modélisations de bruit associées aux images médicales
      - ▶ Capteurs CCD : Gaussien + Poisson
      - ▶ IRM : Loi de Rice, peut s'approximer par du Gaussien dans les grandes régions ou Rayleigh pour les petites régions
      - ▶ Échographie : Speckle (plus proche d'une loi de Rayleigh que d'une Gaussienne)

# Imagerie numérique

## Traitement des images : débruitage

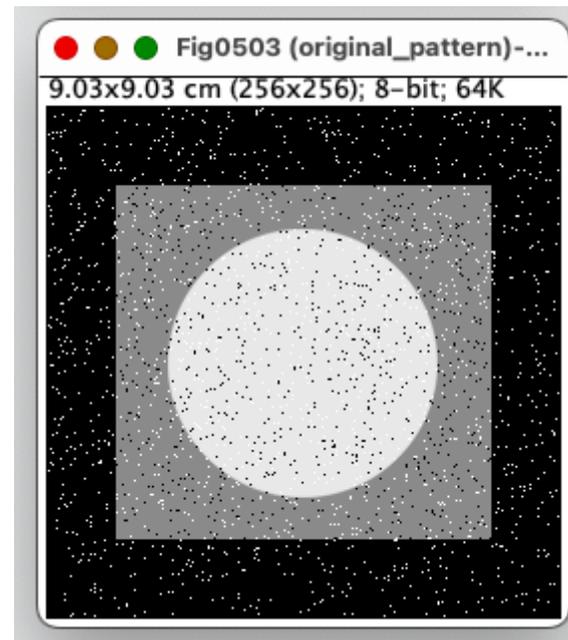
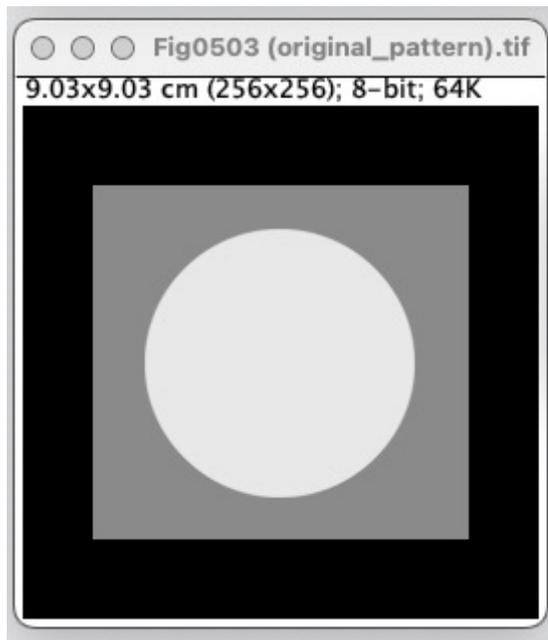
- ▶ Modèles statistiques de bruit
  - ▶ Les bruits présents sur l'image vont dépendre du système d'acquisition et peuvent être approximés par des distributions statistiques, par exemple :
    - ▶ Bruit Gaussien (variance, moyenne nulle) (Image J / Process / Addspecifiednoise)
      - ▶ Observer les histogrammes, changer la valeur de la déviation standard



# Imagerie numérique

## Traitement des images : débruitage

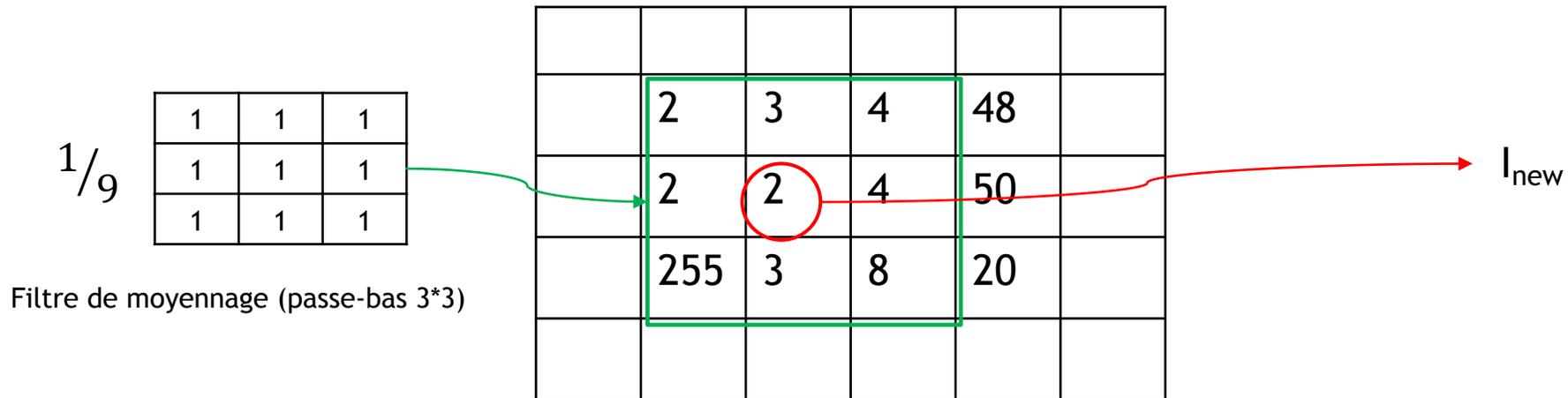
- ▶ Modèles statistiques de bruit
  - ▶ Les bruits présents sur l'image vont dépendre du système d'acquisition et peuvent être approximés par des distributions statistiques, par exemple :
    - ▶ Salt and Pepper (bruit impulsionnel, assigne des valeurs aléatoires à 0 et 255, simule les erreurs dans les transmissions de données, ou défaillance du capteur)



# Imagerie numérique

## Traitement des images : débruitage

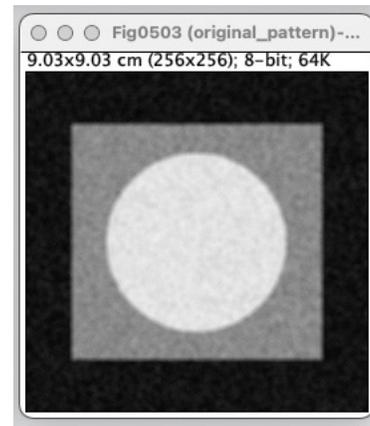
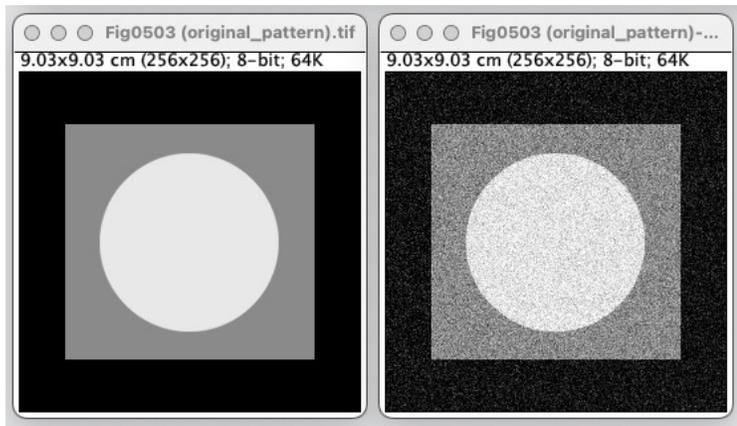
- ▶ Débruitage par des filtres spatiaux linéaires ou non linéaires en présence bruit additif
  - ▶ Filtrage par kernels : exemple « Mean filter »



# Imagerie numérique

## Traitement des images : débruitage

- ▶ Débruitage par des filtres spatiaux linéaires ou non linéaires en présence bruit additif
  - ▶ Test des filtres mean/median/gaussian blur dans Image J pour le débruitage (bruit additif gaussien) : Process / Filters / Mean ou Median ....
  - ▶ Tester Process / filters / convolve et entrer un filtre moyen 3\*3



Filtre de moyennage (passe-bas 3\*3)

# Imagerie numérique

## Traitement des images : débruitage

- ▶ Débruitage par des filtres spatiaux linéaires ou non linéaires en présence de bruit additif

$$g(x, y) = f(x, y) + b(x, y)$$

- ▶ Filtrage par convolution

- ▶  $\hat{f}(x, y) = (f * k)(x, y)$

- ▶ Le noyau  $k$  est appelé masque ou « PSF » (Point Spread Function)
- ▶ Le filtre passe-bas : diminue le bruit mais atténue les contours (hautes fréquences)
- ▶ Le filtre passe-haut : accentue les contours mais amplifie le bruit
- ▶ Le filtre passe-bande : élimine une bande de fréquence

# Imagerie numérique

## Traitement des images : débruitage

- ▶ Débruitage par des filtres spatiaux linéaires ou non linéaires en présence bruit additif

- ▶ Filtrage Gaussien

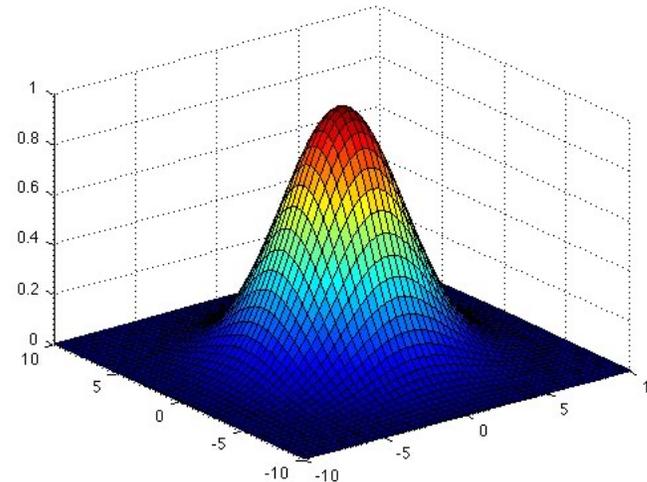
- ▶ Donné par discrétisation d'une fonction Gaussienne

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

- ▶ Exemple : filtre 3\*3 gaussien

$1/16$

1	2	1
2	4	2
1	2	1



Il peut être important de lisser l'image avant certaines opérations comme la détection de contours ou le seuillage afin d'éviter de détecter des variations d'intensité liées au bruit

# Imagerie numérique

## Traitement des images : débruitage

- ▶ Autres approches : Débruitage ou restauration/ reconstruction par des méthodes variationnelles

- ▶ On va rechercher la fonction  $\hat{f}$  qui va minimiser le critère suivant

$$E(f) = \|\hat{f} - h * f\| + \alpha R(f)$$

Avec  $R(f)$  un terme de régularisation par exemple :  $R(f) = \|\nabla f\|^2$

- ▶ Minimisation par descente de gradient, ou équations aux dérivées partielles (EDPs)

# Images numériques : Analyse des images

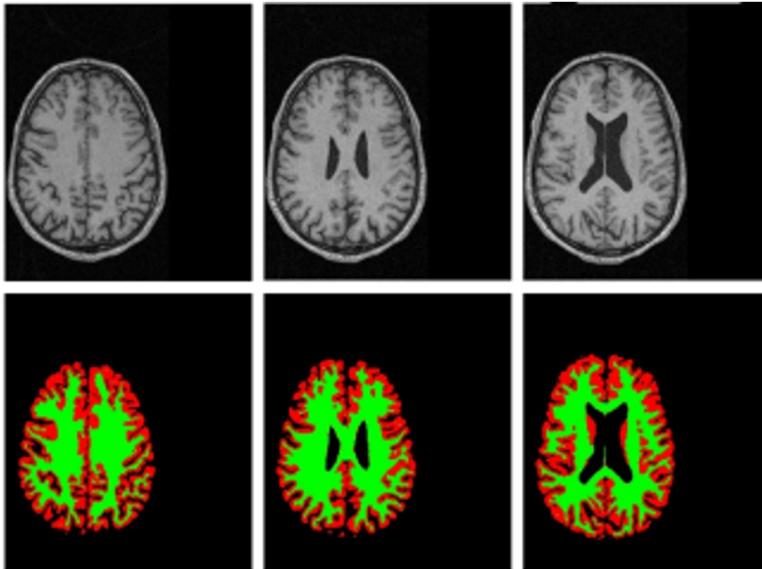
Segmentation

# Imagerie numérique

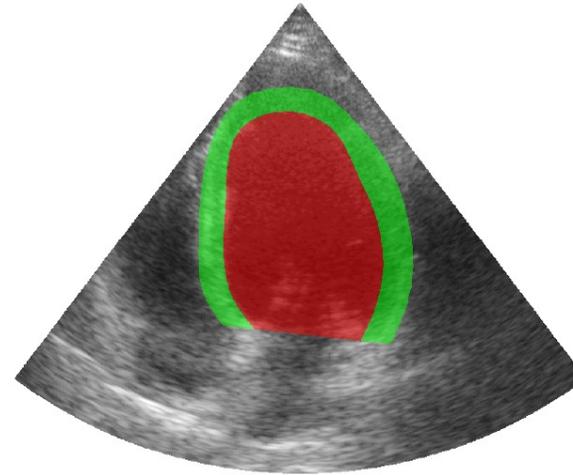
## Analyse des images : segmentation

### ► Définition

- La segmentation consiste à séparer l'image en plusieurs régions définies par des caractéristiques comme une intensité homogène, une même texture. On peut aussi chercher à segmenter une région d'intérêt (ROI = Region Of Interest) dans une image.



3D statistical segmentation of brain MR Images for extraction of cerebral tissues  
PhD Thesis C. Pachai, CREATIS



Accurate segmentation of the left ventricle and myocardium in echocardiography, O. Barnard et al. CREATIS

# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

- ▶ Comment mesurer la qualité d'une segmentation
  - ▶ En médical, il est nécessaire d'avoir une segmentation de référence ou tracé expert afin de valider les algorithmes de segmentation
  - ▶ Mesures de qualité objectives
    - ▶ True Positive (TP), False Positive (FP), True Negative (TN), False Negative (FN)
    - ▶ Coefficient de Dice  $DC = 2 * \frac{|S_{segm} \cap S_{true}|}{|S_{segm}| + |S_{true}|}$

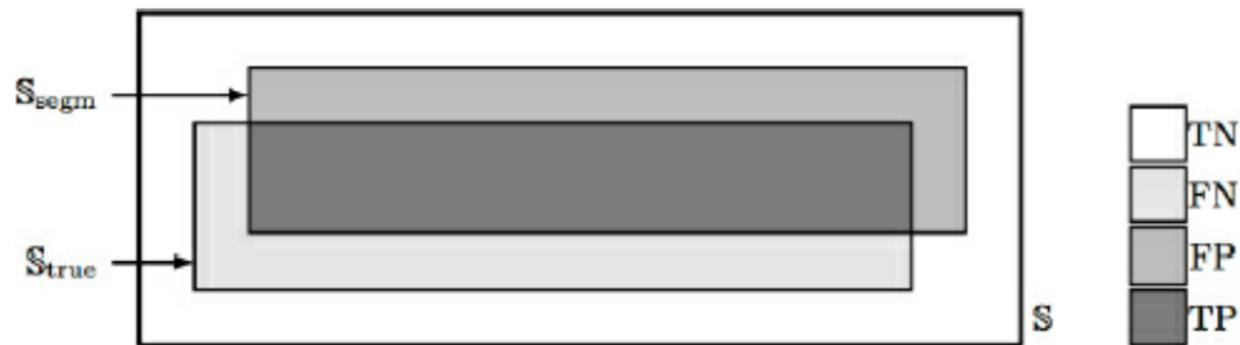


Fig. 4.2 TP, FP, TN, and FN measures of segmentation accuracy.

# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

- ▶ Méthodes de segmentation
  - ▶ Segmentation ou binarisation par seuillage
  - ▶ Segmentation par croissance de région
  - ▶ Segmentation par contours actifs ou modèles déformables
  - ▶ Autres méthodes :
    - ▶ Segmentation par clustering (K-means)
    - ▶ Segmentation par méthodes d'apprentissage (Machine learning ou deep learning)

# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

- ▶ Méthodes de binarisation par seuillage de l'intensité
  - ▶ Déterminer un seuil  $T$  permettant de sélectionner les régions d'intérêt

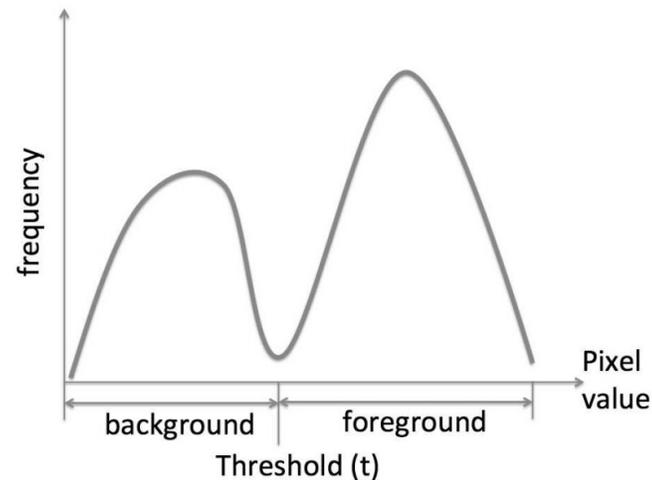
$$I(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{si } I(x, y) > T \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- ▶ Un seuil global n'est pas toujours possible dans ce cas le seuil peut être adapté localement dans des fenêtres glissantes.

# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

- ▶ Méthodes de binarisation par seuillage de l'histogramme
  - ▶ déterminer un seuil en se basant sur l'histogramme



**FIGURE 8.1:** Threshold divides the pixels into foreground and background.

Source : Image Processing and Acquisition using Python

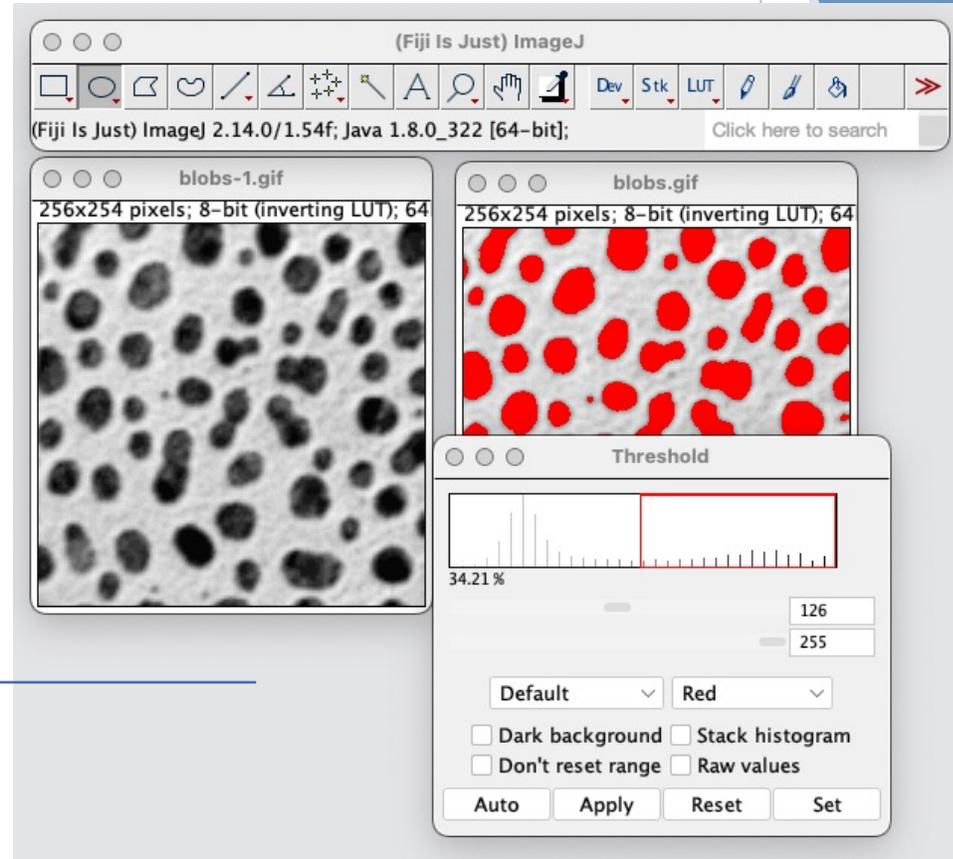
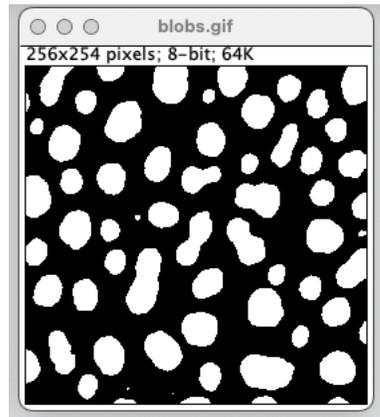
Video intéressante

<https://www.coursera.org/lecture/image-processing/5-otsus-segmentation-with-demo-duration-14-25-72Ktu>

# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

- ▶ Méthodes de segmentation ou binarisation par seuillage de l'histogramme
  - ▶ En utilisant l'histogramme : déterminer un seuil
    - ▶ Ouvrir l'image Blobs dans Image J
    - ▶ Duplicate
    - ▶ Image / Adjust / Threshold
    - ▶ Apply

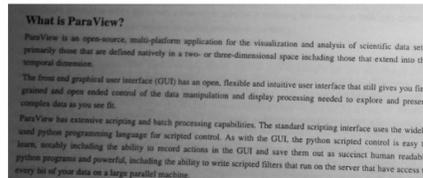


- ▶ NB : On peut choisir différentes méthodes dont la méthode d'Otsu

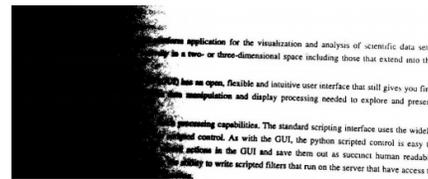
# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

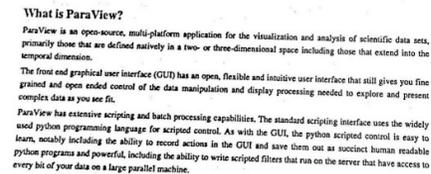
- ▶ Méthodes de segmentation classiques : adaptive thresholding
  - ▶ Cette méthode est utile en cas d'illumination non uniforme du fond



(a) Input image.



(b) Output using Otsu's method.



(c) Output using adaptive thresholding.

**FIGURE 8.5:** An example of thresholding with adaptive vs. Otsu thresholding.

# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

- ▶ Méthodes de segmentation par croissance de régions
  - ▶ Partitionnement en régions  $R_i$  connexes suivant un prédicat  $p$ 
    - ▶  $I = \bigcup_{i=1}^N R_i$
    - ▶  $R_i$  est une région connexe
    - ▶  $R_i \cap R_j = \emptyset$
    - ▶  $P(R_i) = \text{true}$
    - ▶  $P(R_i \cup R_j) = \text{False}$

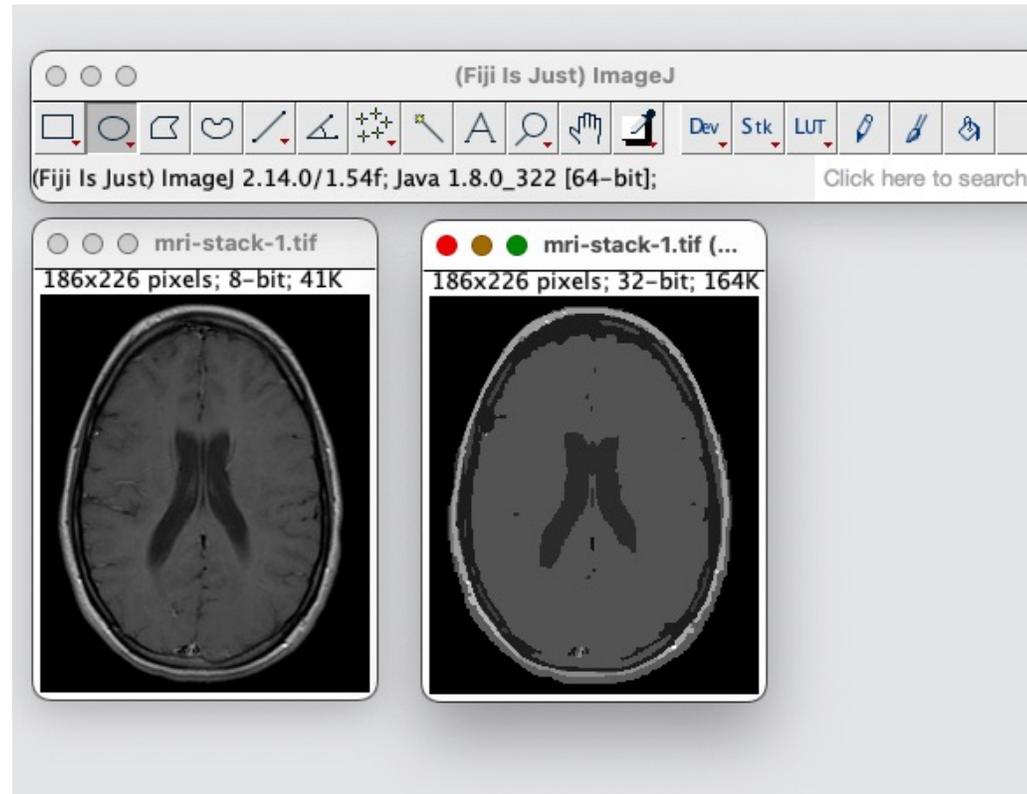
Le prédicat peut être un prédicat d'homogénéité de l'intensité par exemple

- ▶ Croissance de régions
  - ▶ Sélection de noyaux (pixels ou petites régions)
  - ▶ Agglomérer les pixels voisins répondant au prédicat (critère à tester)

# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

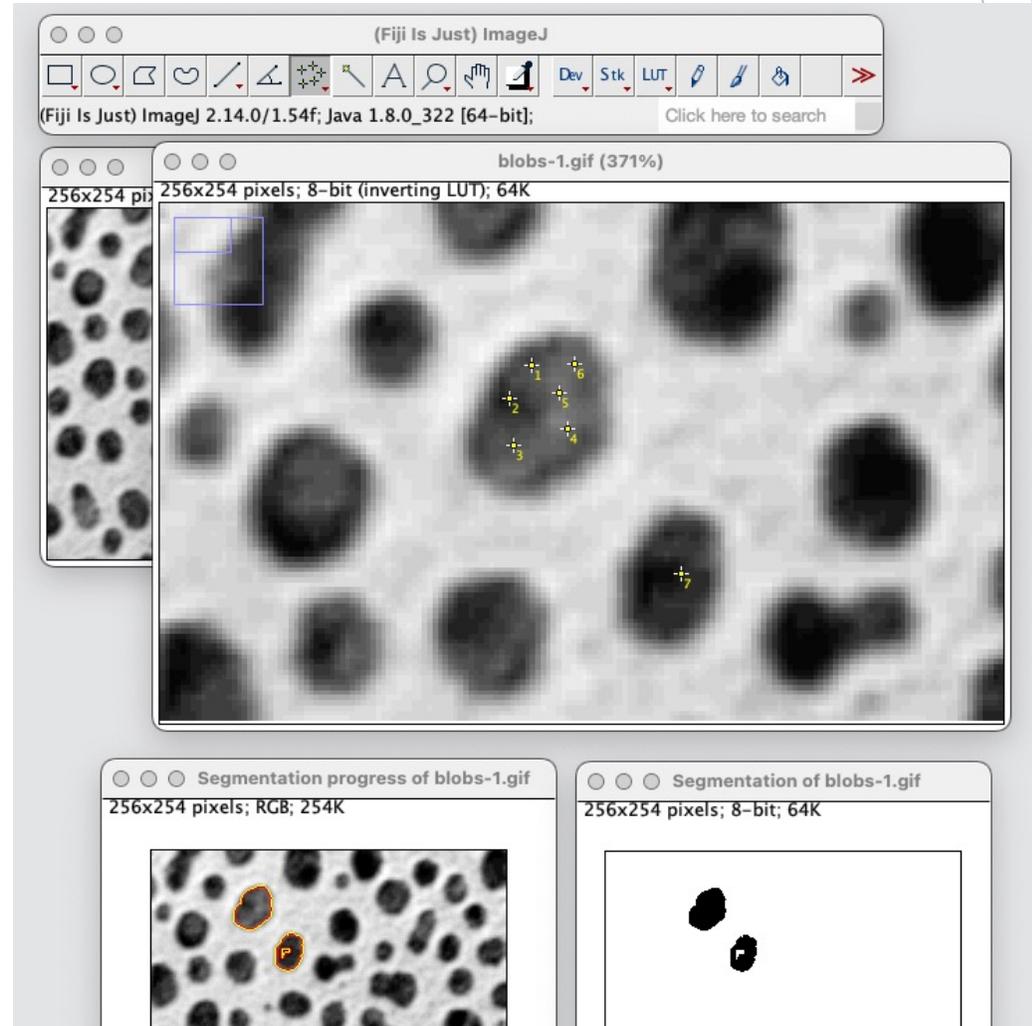
- ▶ Méthodes de segmentation classiques : Segmentation statistique
  - ▶ Image J / Plugins / Segmentation / Statistical Region Merging



# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

- ▶ Méthodes de segmentation classiques : Levels sets
  - ▶ Image J / Plugins / Segmentation / Levels sets : importance de la description initiale et du nombre de points d'intérêts



# Imagerie numérique

## Analyse des images : segmentation

- ▶ La méthode de segmentation va dépendre de l'objectif et du type d'image à traiter, voir les slides sur la segmentation proposées par le logiciel Image J
  - ▶ <https://imagej.net/events/presentations>

# Imagerie numérique : Analyse des images

Régions d'intérêt (ROI) et extraction des caractéristiques

# Imagerie numérique

## Analyse des images : ROIs et extraction des caractéristiques

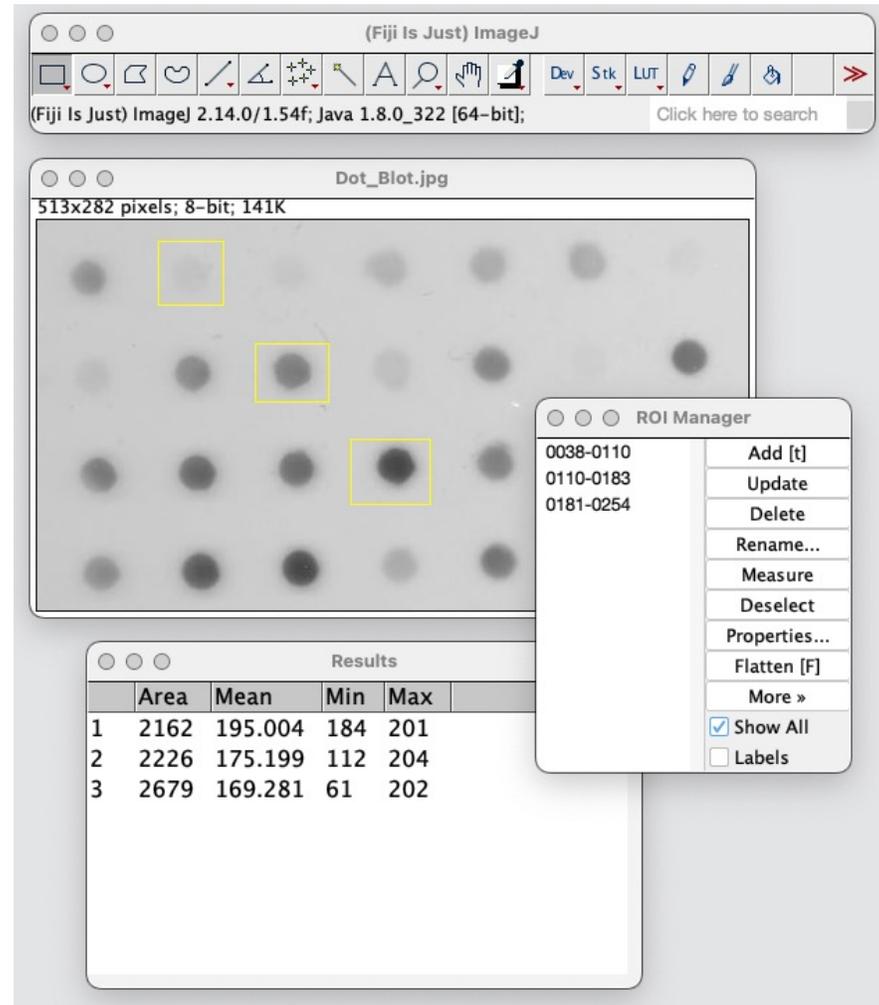
### ▶ Définition

- ▶ Une ROI est ce que l'on appelle une Region Of Interest, cela peut être un carré, une forme prédéfinie englobant l'objet ou un objet d'intérêt détourné comme une cellule
- ▶ En biomédical, l'extraction des caractéristiques des ROIs est primordiale pour établir un ensemble de données en lien avec chaque problématique et les analyser

# Imagerie numérique

## Analyse des images : ROIs et extraction des caractéristiques

- ▶ Dans Image J, beaucoup d'outils sont disponibles pour réaliser de telles études
  - ▶ Analyse / Tools / ROI Manager
  - ▶ Sélectionner une région rectangulaire, puis l'ajouter au ROI manager
  - ▶ La moyenne de l'intensité dans le rectangle ne permet pas de différencier de manière significative les éléments
  - ▶ Tester avec des polygones ou des cercles
  - ▶ Intérêt de décrire avec précision les régions



(Fiji Is Just) ImageJ

(Fiji Is Just) ImageJ 2.14.0/1.54f; Java 1.8.0\_322 [64-bit]; [Click here to search](#)

Dot\_Blot.jpg

513x282 pixels; 8-bit; 141K

ROI Manager

- 0038-0110 Add [t]
- 0110-0183 Update
- 0181-0254 Delete
- Rename...
- Measure
- Deselect
- Properties...
- Flatten [F]
- More »
- Show All
- Labels

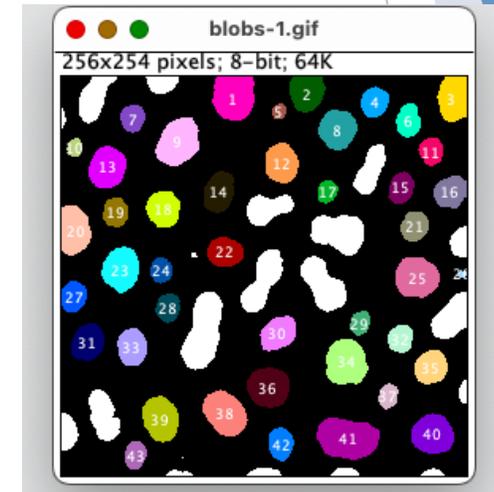
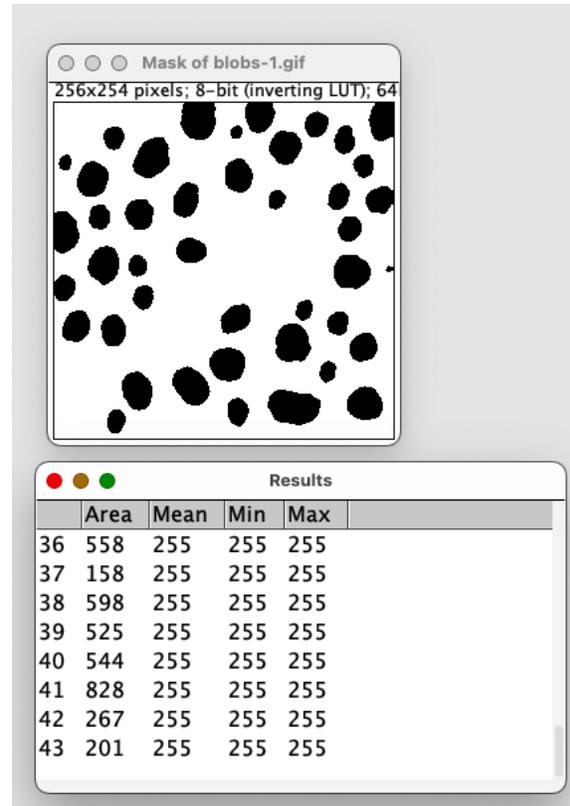
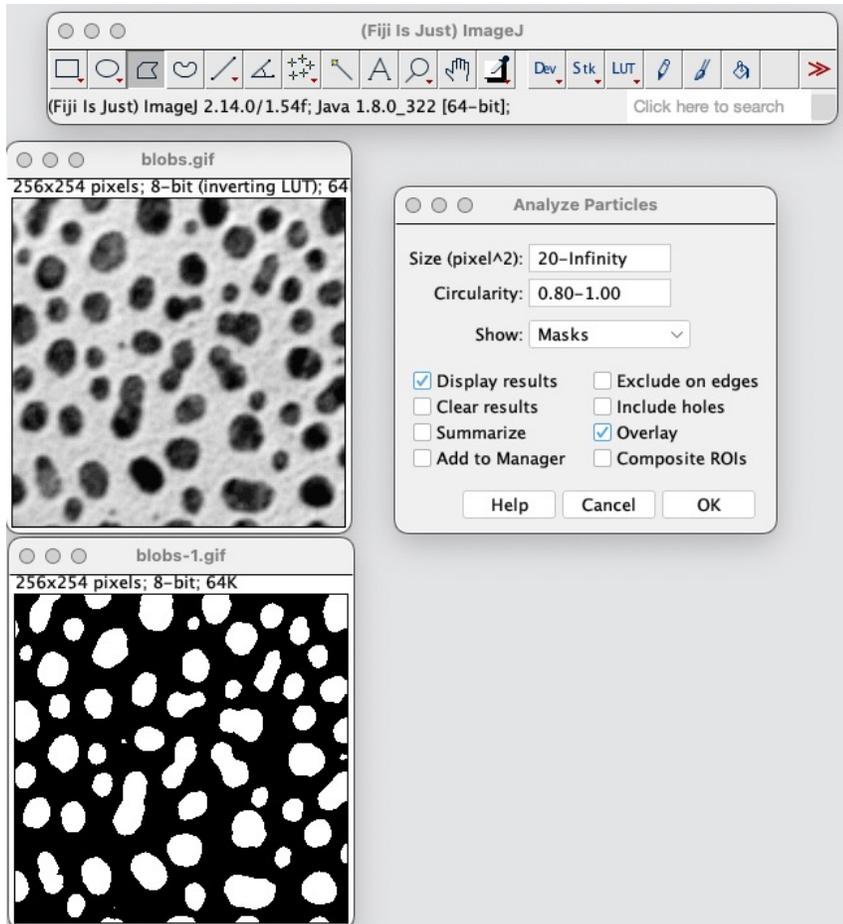
Results

	Area	Mean	Min	Max
1	2162	195.004	184	201
2	2226	175.199	112	204
3	2679	169.281	61	202

# Imagerie numérique

## Analyse des images : ROIs et extraction des caractéristiques

- Outils de sélection et d'analyse : Analyze/Analyze Particles



# Imagerie numérique

## Analyse des images : ROIs et extraction des caractéristiques

- Set Measurement permet d'ajouter des mesures

