Post-traitement des données du CTscan avec Fiji et ImageJ

Patricia Wils - patricia.wils@mnhn.fr UMS 2700 Outils et Méthodes de la Systématique Intégrative



Table des matières

1	Installation	3
2	Les données 2.1 Les images numériques 2.2 Les piles de données ou stacks 2.3 Les formats	$3 \\ 3 \\ 4 \\ 4$
3	Premiers pas 3.1 Ouvrir les données 3.2 Annuler une action 3.3 Sauvegarder les données 3.4 Modifier le format des données 3.5 Améliorer la visualisation 3.6 Améliorer le contraste 3.6.1 Normaliser 3.6.2 Égaliser l'histogramme	5 6 6 7 9 9 10
4	Boîte à outils14.1Description de la barre d'outils14.2Parcourir les images14.3Mesurer14.4Rogner les images14.5Echantillonner les données14.6Exporter un autre plan de coupe14.7Représenter en fausses couleurs14.8Ajouter une échelle1	11 12 12 13 14 15 15
5	Filtrer les images15.1 Les filtres par convolution15.2 Réduire le bruit15.3 Réhausser les contours15.4 Détecter les contours2	17 17 17 19 20

6	6 Visualiser le volume 3D		21
	6.1 Rendu volumique avec Volume Viewer		 21
	6.2 Rendu volumique avec 3D Viewer		 21
	6.3 Isosurface avec 3D Viewer		 22
7	7 Raccourcis clavier		24

1 Installation

ImageJ est disponible à partir du site http://rsbweb.nih.gov/ij/ et Fiji depuis http://fiji.sc/wiki/ index.php/Fiji. Se rendre dans la partie Download et sélectionner la version correspondant au système d'exploitation. La version Windows est 32-bit par défaut mais il faut installer la version 64-bit si le système d'exploitation est 64bits.

Par défaut, la taille maximale des images que l'on peut ouvrir est limitée. Pour pouvoir travailler avec des jeux de données importants (de l'ordre de plusieurs gigas), il faut s'assurer que le logiciel ait accès à suffisamment de mémoire. Pour cela, vérifier la valeur de la mémoire maximum dans **Edit/Options/Memory & Threads**. Celle-ci est indiquée en mégabits. Il est généralement conseillé de régler cette valeur maxium aux 3/4 de la RAM de la machine. Pour connaître la valeur de la RAM sous Windows, consulter les propriétés de l'ordinateur (accessibles par clic droit sur l'icône Ordinateur ou dans Panneau de configuration/Système et sécurité/Système). Pour un système 32bits, il n'est pas possible de configurer plus de 1500MB (soit 1.5GB) de mémoire.

Lorsque le jeu de données occupe plus de mémoire que la taille maximale possible pour le logiciel, il faut recourir à des stratégies de réduction de la taille des données. Celles-ci seront explicitées dans la partie 3.1.

2 Les données

2.1 Les images numériques

Une information numérique est codée de façon élémentaire par une valeur 0 ou 1 et stockée dans un bit. La mémoire d'un ordinateur est gérée en regroupant les bits par paquets de 8, formant ainsi des octets.

Une image numérique est composée de pixels (picture element) définis par avec un niveau de gris. Le niveau de gris est une valeur entière comprise entre 0 et 255 si l'image est codée sur **8bits** ($2^8=256$ niveaux) ou entre 0 et 65535 pour un codage sur **16bits** ($2^{16}=65536$ niveaux).

La taille d'une image est déterminée par le nombre de pixels la constituant et la valeur du codage. Par exemple, une image de 16x10 pixels codée en 8bits occupera 16x10x8=1280bits ou 16x10=160octets. La même image codée en 16bits occupera 16x10x16=2560bits ou 16x10x2=320octets. La figure 1 montre une image de 16x10 pixels.

La **dynamique** de l'image est le nombre de niveaux de gris sur lequel les valeurs s'étendent. Ainsi, une image en 16bits a une dynamique bien plus élevée qu'une image en 8bits. Plus la dynamique est grande, plus il facile de distinguer les détails de l'image et plus les contours sont nets.

251	245	236	223	208	191	173	153	
245	240	230	218	203	187	169	150	
236	230	222	210	196	179	162	144	
223	218	210	199	185	170	153	136	
208	203	196	185	173	158	143	127	
191	187	179	170	158	145	131	117	
173	169	162	153	143	131	119	105	
153	150	144	136	127	117	105	94	
134	131	126	120	111	102	92	82	
116	113	109	103	96	88	80	71	
64507	62965	60652	57311	53456	49087	44461	39321	
62965	61680	59110	56026	52171	48059	43433	38550	
50652	59110	57054	53970	50372	46003	41634	37008	
57311	56026	53970	51143	47545	43690	39321	34952	
53456	52171	50372	47545	44461	40606	36751	32639	
49087	48059	46003	43690	40606	37265	33667	30069	
44461	43433	41634	39321	36751	33667	30583	26985	
39321	38550	37008	34952	32639	30069	26985	24158	
34438	33667	32382	30840	28527	26214	23644	21074	
29812	29041	28013	26471	24672	22616	20560	18247	

Figure 1: Exemple d'une image codée en 8bits et en 16bits.

2.2 Les piles de données ou stacks

Le scanner exporte un ensemble de coupes 2D du volume de l'objet tomographié extraites selon une direction, par exemple selon le plan xy en figure 2. La représentation sous la forme d'une pile (ou stack) d'images est la plus simple pour visualiser et traiter les données. La première image correspond à la coupe horizontale du fond de l'objet et les images suivantes sont les coupes suivantes selon l'axe z.

Le volume est décrit par une matrice 3D de voxels isométriques. Il est toujours possible de décrire l'objet selon d'autres plans de coupe. La démarche est décrite dans la section 4.6.



Figure 2: Description du volume objet par une pile de coupes. Ici, les coupes sont dans le plan xy.

2.3 Les formats

Les données numériques composant l'image peuvent être stockées de différentes façons suivant le format du fichier.

- JPEG. Les images sont compressées grâce à un algorithme permettant de supprimer les détails. Les images résultant occupent moins d'espace mémoire. Cependant, la compression entraîne une perte d'informations et ce format ne convient pas à une étude avancée.
- PNG. Les images sont compressés grâce à un algorithme non destructif. La réduction des données sera moindre qu'avec le format JPEG mais les données ne seront pas modifiées. Il convient pour l'échange de données sur Internet ou pour la rédaction de rapports/présentations.
- BMP. Les images sont codées par une matrice encodant chacun des pixels. C'est un format qui contient un maximum d'informations et occupe énormément de mémoire. Il est peu existant en 16bits. Un algorithme de compression permet de travailler avec des images 8bits.
- DICOM. Ce format est utilisé dans le domaine médical. L'en-tête des images stocke des informations liées au scanner et au protocole.
- TIF. Ce format est particulièrement adapté à une étude quantitative des données car il permet d'accéder au maximum d'informations. Les images sont décrites de façon matricielle et la compression peut être non destructive. La gestion des données par pile (ou stack en anglais) est possible et particulièrement utile dans le traitement de données CT-scan.

3 Premiers pas

Le jeu de données est généralement un ensemble de coupes 2D extraites selon le plan xy (horizontal). Les images sont au format TIFF et codées sur 16bits. Si les images proviennent d'un autre scan, le format sera éventuellement différent mais ImageJ supporte une grande variété de formats.



Figure 3: Exemple de jeu de données.

3.1 Ouvrir les données

Dans le menu **File/Import/Image sequence...** sélectionner le premier fichier correspondant à la première image (souvent indexée 0000.tif). Une boîte de dialogue s'ouvre dans laquelle il faut vérifier que le nombre d'images correspond à celui du jeu de données et que la case Sort names numerically est cochée. La taille du jeu de données est rappelée au dessus du bouton OK sous la forme tailleHorizontale \times tailleVerticale \times nombreImages. Dans l'exemple de la figure 4, le jeu de données se compose de 2022 coupes de 753 \times 462 pixels et occupe environ 1.3GB.



Figure 4: Importer une séquence d'images pour construire la pile d'images.

Les options sont les suivantes :

- Number of images renseigne le nombre d'images chargées et permet notamment de n'ouvrir que les *n* premières images pour vérifier que les données sont intactes ou si l'ensemble des données est trop lourd.
- Starting image permet d'ouvrir à partir de la *n*ième image.
- Increment permet d'ouvrir une image toutes les *n* images.

Lorsque le jeu de données est trop lourd pour être importé directement, on peut choisir de diminuer la taille des images en renseignant le champ **Scale images**. Cette opération agit sur les coupes qui vont être redimensionnées suivant le facteur choisi. Par exemple dans le cas de la figure 4, un scale de 50% modifiera le jeu de données en une série de 2022 coupes de 376×231 pixels. Par rapport au jeu de données initial, on a réduit d'un facteur 2 dans les dimensions x et y, soit un facteur 4 en tout. Le nouveau jeu de données occupe 335MB, voir figure 5.

🗾 Sequence Options	×
Number of images:	2022
Starting image:	1
Increment:	1
Scale images:	50 %
File name contains:	
or enter pattern:	
 ☐ Convert to 8-bit ☐ Convert to RGB ☑ Sort names nun ☐ Use virtual stact 	Grayscale nerically k
376 x 231 x 2022 (335.0MB)
ОК	Cancel Help

Figure 5: Réduire la taille des images pendant l'ouverture des données.

Une seconde possibilité de réduction des données consiste à convertir en 8bit en cochant la case **Convert to** 8-bit grayscale. Les images seront alors codées en niveau de gris dont les valeurs seront comprises entre 0 et 255. Cette manipulation permet de réduire le poids des données mais dégrade également leur contraste. La conversion est effectuée pour chaque coupe en fonction de ses valeurs min et max (voir section 3.4). Lorsque les valeurs min et max varient beaucoup dans le jeu de donées, cette conversion coupe à coupe risque de créer une grande variation des niveaux de gris dans le volume converti. Il est préférable de réaliser la conversion sur la pile d'images 16bits après l'ouverture selon la procédure présentée en section 3.4.

3.2 Annuler une action

Une particularité d'ImageJ est que la fonction d'annulation **Edit/Undo** ne fonctionne pas pour la plupart des traitements. Son historique est également limité. Aussi, il est préférable de travailler sur une copie de l'image **Image/Duplicate...** avant d'effectuer une action risquée. La nouvelle image prend le nom renseigné dans **Title**. La fonction Duplicate peut être appliquée sur l'image en cours pour un test local ou sur l'ensemble des données en cochant la case **Duplicate stack**. Pour dupliquer une partie des coupes, modifier le champ **Range**. L'exemple de la figure 6 montre la création d'un jeu de données répliquant les coupes 500 à 550.

3.3 Sauvegarder les données

Dans le menu **File/Save as/Image sequence...**, choisir le format d'export (TIFF par défaut) et donner un nom approprié qui servira de racine aux fichiers créés, le mot slices dans la figure 7. Les fichiers ainsi créés seront nommés par index croissant à partir de slices0000.tif. Il est plus prudent de nommer différemment les

📴 Duplicate 🖾	
Title: slices-1	
✓ Duplicate stack	
Range: 500-550	
OK Cancel	

Figure 6: Dupliquer une partie des images pour tester une action.

données modifiées et de conserver les données originales intactes. En effet, la plupart des traitements effectués ne sont pas réversibles.

🛓 Save Image	Sequence 🔀
Format:	TIFF 👻
Name:	slices
Start At:	0
Digits (1-8):	4
🗌 Use sli	ce labels as file names
	OK Cancel

Figure 7: Enregistrer le jeu de données modifié.

3.4 Modifier le format des données

Pour convertir les images depuis un format vers un autre (parmi TIFF, BMP, FITS, GIF, JPEG, PGM, PNG, RAW, TEXT, ZIP), il suffit de sauvegarder les données selon la méthode présentée en 3.3 en sélectionnant le format de sortie souhaité.

Pour changer l'encodage des données et basculer d'un jeu de données 16bits à un jeu de données 8bits, sélectionner 8-bit dans Image/Type. Lors de la conversion, le nouveau jeu de données sera construit en fonction des valeurs min et max affichées de l'image. Ces valeurs sont affichées dans Image/Show Info... Display range. Avant de convertir les images, régler le contraste car le passage en 8bits réduit la dynamique de l'image. Il faut que les valeurs min et max soient adaptées à ce que l'on veut analyser dans l'image. Par exemple, dans le cas de la figure 10, les pixels dont le niveau de gris est inférieur à 15310 représentent l'air et ne sont pas utiles. Les valeurs min et max sont appliquées à toute la pile d'images. Vérifier en parcourant les coupes qu'elles sont appropriées pour le jeu de données complet.

	Min	Max	Dynamique
Image 16bits - contraste par défaut	4593	56652	52060
Image 16bits - contraste modifié	15310	26814	11505
Image 8bits	0	255	256

Table 1: Conversion des images 16bits de la figure 10 en images 8bits.

Une autre possibilité pour convertir un jeu de données 16bits est d'effectuer au préalable une égalisation d'histogramme, voir le paragraphe 3.6. Cette manipulation permet d'exploiter au mieux la dynamique de l'image 16bits en conservant uniquement les niveaux de gris codant l'objet.

Les données sont généralement chargées en inch. Pour les obtenir en mm, afficher les propriétés dans **Im-age/Properties**, voir figure 8. Modifier le champ Unit of Length en demandant des mm.

Channels (c):	Channels (c): 1
Slices (z): 1966	Slices (z): 1966
Frames (t): 1	Frames (t): 1
Note: c*z*t must equal 1966	Note: c*z*t must equal 1966
Unit of Length: inch	Unit of Length:
Pixel Width: 0.0030963	Pixel Width: 0.0786472
Pixel Height: 0.0030963	Pixel Height: 0.0786472
Voxel Depth: 0.0030963	Voxel Depth: 0.0786472
Frame Interval: 0 sec	Frame Interval: 0 sec
Origin (pixels): 0,0	Origin (pixels): 0,0
🗖 Global	🗖 Global
OK Cancel	OK Cancel

Figure 8: Convertir les données en mm.

3.5 Améliorer la visualisation

L'outil de base pour améliorer le contraste d'une image est l'histogramme disponible par **Analyze/Histogram**. Ce graphe représente le nombre de pixels en fonction du niveau de gris. Il rend compte de la distribution des niveaux de gris dans l'image. Le pic de valeurs à gauche de l'histogramme correspond à l'air (sauf si le scan est réalisé sur une région d'intérêt dans l'objet). Les valeurs de l'histogramme sous le curseur sont affichées en bas à droite de la fenêtre.

Pour améliorer la visualisation de l'image, on peut choisir de n'afficher qu'une partie des niveaux de gris de l'image (ceux qui décrivent l'objet). Le réglage du contraste modifie seulement la visualisation des images, les valeurs des pixels demeurent inchangées.



Figure 9: Visualiser la distribution des niveaux de gris dans l'image avec l'outil Histogram.

Dans le cas de la figure 9, les pixels de l'image ont des niveaux de gris compris entre 2227 et 14906 et les valeurs correspondant à l'air se situent aux alentours de 6000. Il n'est pas utile d'afficher les détails de l'image situés dans l'air. Le minimum de visualisation doit être fixé à droite du pic de l'air, soit pour un niveau de gris d'environ 700.

Le menu **Image/Adjust/Brigthness/Contrast** permet d'afficher seulement les pixels compris entre une limite inférieure et une limite supérieure. Pour manipuler les limites de l'histogramme, les outils suivants sont proposés :

- le curseur Minimum permet de ne plus considérer les pixels extérieurs à l'objet.
- le curseur **Maximum** permet alors de mieux distinguer les zones de l'objet dont le niveau de gris est intermédiaire.
- le curseur **Brightness** permet de modifier le min et le max de l'image en maintenant une dynamique constante.
- le curseur **Contrast** permet de modifier la dynamique de l'image.
- le bouton Auto ajuste automatiquement les paramètres.
- le bouton **Reset** permet d'annuler les réglages.
- le bouton **Set** permet de renseigner les valeurs Minimum et Maximum et la case **Propagate to all other open images** d'appliquer ces réglages à d'autres jeux de données.

3.6 Améliorer le contraste

Il s'agit ici de répartir l'information (i.e. les pixels représentant l'objet) sur toute l'étendue des niveaux de gris. Lorsque les cases **Normalize** et **Equalize histogram** sont décochées (voir figure 11), l'opération **Pro-cess/Enhance Contrast** agit de la même façon que la commande **Auto** du menu **Image/Adjust/Brigthness/Cont** explicitée précédemment. Seule la visualisation est modifiée.

Par contre, effectuer une normalisation ou une égalisation d'histogramme modifie les données. Il convient de travailler sur une copie du jeu de données obtenue via **Image/Duplicate**. Dans l'exemple de la figure 12(a),



Figure 10: Améliorer la visualisation en modifiant le contraste. Valeurs par défaut (haut) et contraste ajusté pour distinguer les structures internes (bas).

🗊 Enhance Contrast
Saturated pixels: 0.4 %
☐ Normalize ☐ Equalize histogram
OK Cancel Help

Figure 11: Égalisation d'histogramme.

l'image est codée sur 16 bits [0-65535] mais les niveaux de gris sont répartis entre 3654 et 26318. Par ailleurs, les niveaux de gris de l'intervalle [3654-11000] correspondent à l'air. L'amélioration du contraste consiste à répartir les niveaux de gris de l'objet [11000-26318] dans un nouveau jeu de données [0-65535].

3.6.1 Normaliser

La normalisation consiste à étirer simplement la répartition des niveaux de gris de façon à ce qu'un certain pourcentage de pixels (indiqué dans le champ **Saturated Pixels** soit saturé. L'effet de cette commande sur l'image est présenté en figure 12(b). Chaque pixel de l'image se voit attribuer une nouvelle valeur p_f telle que :

$$p_f = \frac{p_i - \min}{\max - \min} \times r \tag{1}$$

où p_i est la valeur initiale du pixel, min et max les valeurs minimum et maximum de l'image initiale et r l'étendue des niveaux de gris (65536 pour une image 16bits).



Figure 12: Image Initiale (a). Image après normalisation (b). Image après égalisation d'histogramme (c).

3.6.2 Égaliser l'histogramme

Dans un premier temps, les valeurs codant l'air sont supprimées. Pour cela, soustraire la valeur maximum de l'air (à droite du pic de l'air) à l'aide de **Process/Math/Substract** en indiquant la valeur (dans notre exemple: 11000) dans le champ **Value**. Les niveaux de gris sont désormais compris entre 0 et 15318.

Ensuite, utiliser l'outil **Process/Enhance Contrast** pour redistribuer les niveaux de gris de l'objet sur la gamme [0-65535]. Chaque niveau de gris i est remplacé par la somme des valeurs de l'histogramme pour chaque niveau de gris jusqu'à i. Puis le résultat est normalisé pour l'étendue des niveaux de gris de l'image de destination. Laisser la case Normalize décochée et cocher **Equalize histogram**. Les niveaux de gris sont alors distribués sur 16bits et le résultat est illustré par la figure 12(c).

L'image après égalisation d'histogramme est généralement moins agréable à l'œil.

4 Boîte à outils

4.1 Description de la barre d'outils

Par défaut, la barre d'outils propose les outils décrits dans la figure 13. Le triangle rouge en bas à droite de l'icône d'un outil signifie qu'un menu déroulant est accessible via un clic droit sur le triangle. Ce menu propose

de modifier des paramètres de l'outil. D'autres outils peuvent être ajoutés à la barre en cliquant sur les flèches (numéro 13 de la figure 13).

D (Fiji I	s Just)) Imag	gel													- [83
File	e E	Edit	Ima	ge	Pro	cess	; A	naly	ze	Plug	gins	Wi	ndo	W	Help			
	0		\odot	~	⊿.	- +_	*	А	٩,	ংশ্য	\blacksquare							>>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12							13

- 1 sélection rectangulaire rectangulaire arrondi
- 2 sélection ovale brosse
- 3 sélection polygone
- 4 sélection libre
- 5 ligne droite tirets libre flèche
- 6 outil angle
- 7 outil point multi-point
- 8 outil baguette magique (wand)
- 9 outil texte
- 10 outil loupe (zoom)
- 11 outil défilement
- 12 outil extraction de couleur (picker)
- 13 ajout d'outils à la barre

Figure 13: Barre d'outils par défaut.

Le panneau situé sous la barre d'outils permet d'afficher des informations. Lors du déplacement du curseur sur une image, la position et le niveau de gris sont renseignés. Les dimensions des sélections sont également présentées ici.

4.2 Parcourir les images

La première image apparaît et les suivantes sont accessibles en déplaçant le curseur situé au-dessous de l'image (figure 4).

Pour zoomer, il faut sélectionner la **loupe** dans la barre d'outils (numéro 10 de la figure 13). Puis, un clic gauche sur l'image réalise un zoom avant sur le point désigné par le curseur. Si le curseur se trouve en-dehors de l'image, le zoom sera effectué vers le centre de l'image. Un clic droit entraîne un zoom arrière. Les touches + et - effectuent également des zooms.

Pour se déplacer sur l'image, il faut sélectionner l'outil **main** de la barre d'outils (numéro 11 de la figure 13) et déplacer la souris en maintenant un bouton appuyé. Le déplacement est également disponible à tout moment en maintenant la barre d'espace appuyée .

4.3 Mesurer

Pour effectuer des mesurer sur l'image, utiliser l'outil **Analyze/Measure**. Le type de mesure est paramétrable avec l'outil **Analyse/Set Measurements**. Dans l'exemple de la figure 14, les mesures d'aire, de niveau de gris min, max et moyen sont demandées. Par défaut, toute l'image est considérée mais il est possible d'effectuer une mesure sur une zone sélectionnée.

L'outil **Analyze/Plot profile** trace les niveaux de gris le long d'une ligne, voir figure 15. Les valeurs du graphe sont représentées en cliquant sur **List** dans un tableau où X indique la position le long de la ligne et Y le niveau de gris. Attention à ne pas travailler sur une version zoomée de l'image car la liste considère les valeurs affichées et celles-ci sont interpolées lorsque l'on zoome. Pour obtenir les valeurs exactes, vérifier le zoom de l'image situé à côté de son titre.

😨 Set Measurements	
✓ Area ✓ Mean gray value Standard deviation Modal gray value ✓ Min & max gray value Centroid ✓ Center of mass Perimeter Bounding rectangle Fit ellipse Shape descriptors Feret's diameter Integrated density Median Skewness Kurtosis Area fraction Stack position	Results File Edit Area Mean Min Max 1 2.880 6919.496 2363 14913
Invert Y coordinates Scientific notation Add to overlay	
Redirect to: None	<u></u>

Figure 14: Paramétrage de l'outil Mesure et exemple de résultat pour une région.



Figure 15: Étude des niveaux de gris le long d'une ligne.

4.4 Rogner les images

Il est possible de retailler les coupes pour ne garder qu'une partie intéressante et alléger ainsi le poids des données (et accélérer les calculs qui suivront). Pour cela, utiliser l'outil de sélection rectangulaire (numéro 1 de la figure 13). Naviguer jusqu'à la coupe dans laquelle la partie de l'objet intéressante est la plus étendue à l'aide du curseur situé en-dessous de l'image. Puis, tracer un rectangle englobant la zone, voir figure 16. Parcourir le jeu de données en déplaçant le curseur pour vérifier que toute la région d'intérêt est contenue dans le rectangle. Lorsque la sélection convient, utiliser l'outil de rognage en cliquant sur **Image/Crop**. L'opération de rognage est effectuée sur l'ensemble des coupes.





4.5 Echantillonner les données

Pour réduire la taille du volume de données, utiliser l'outil **Image/Scale** (figure 17). La taille des images initiales est renseignée dans les champs Widh, Height et Depth. Pour la réduire, choisir un facteur de rétrécissement dans le champ scale correspondant à la dimension à réduire. Par exemple, pour diminuer par 2 la largeur des images, demander un facteur 0.5 dans le champ X Scale. La nouvelle dimension de l'image est alors affichée dans le champ Width. Pour assurer l'isotropie des données, il convient d'utiliser le même facteur dans chacune des dimensions. Sinon, le volume généré sera difforme.

🐺 Scale
X Scale: 1.0
Y Scale: 1.0
Z Scale: 1.0
Width (pixels): 1285
Height (pixels): 472
Depth (images): 1966
Interpolation: Bilinear 💌
Average when downsizing
Process entire stack
Create new window
Title:
OK Cancel

Figure 17: Redimensionnement des images avec l'outil Scale.

4.6 Exporter un autre plan de coupe

Les données issues du scanner sont généralement des coupes horizontales de l'objet. Pour accéder aux autres orientations, utiliser l'outil **Image/Stacks/Reslice**, voir figure 18. Choisir la nouvelle orientation dans **Start** at. Le nouveau découpage est affiché en jaune et le jeu de données créé apparaît.



Figure 18: Obtenir les images selon un autre plan de coupe.

4.7 Représenter en fausses couleurs

La représentation en couleurs facilite souvent le lecture d'une image. Pour visualiser une image en noir et blanc à l'aide couleurs, utiliser l'outil **Image/Lookup Tables** et choisir une LUT (lookup table), voir figure 19. Ces tables de conversion associent une combinaison de couleurs RGB pour chaque niveau de gris.

L'image ainsi créée est toujours une image en niveaux de gris. Pour la sauvegarder avec l'information de couleur, convertir l'image en RGB dans **Image/Type/RGB color** ou sauvegarder l'image sous le format PNG.



Figure 19: Visualiser l'image en fausses couleurs avec une LUT (lookup table). Exemple de la LUT Rainbow RGB

4.8 Ajouter une échelle

Pour annoter une image à l'aide d'une échelle, vérifier dans un permier temps que l'unité de l'image est correctement renseignée, voir le paragraphe 3.4. Puis, utiliser l'outil **Analyze/Tools/Scalebar** pour adapter les paramètres d'une échelle.

Il faut cocher la case **Overlay** ou réaliser l'opération **Image/Overlay/Flatten** pour générer l'image couleur intégrant l'échelle ainsi paramétrée.



Figure 20: Renseigner l'échelle.

Dans le cas d'une image avec des fausses couleurs, utiliser l'outil **Analyze/Tools/Calibration Bar** pour ajouter une échelle de couleur. L'image sera automatiquement convertie en RGB.



Figure 21: Renseigner l'échelle de couleur.

5 Filtrer les images

L'étape de filtrage des données intervient en amont de toute segmentation. Le traitement doit être adapté à l'objectif de l'étude et à la qualité des images. Il existe une grande variété de filtres. Les paragraphes suivants détaillent les principaux outils et les applications correspondantes.

Avant d'appliquer un filtrage, prendre soin de dupliquer une image ou la pile entière avec **Image/Duplicate** pour tester l'impact du filtre.

Pour améliorer la qualité d'une image, il faut réduire le bruit. Le bruit se caractérise par un contenu haute fréquence : des pixels isolés trop brillants ou trop sombres, un aspect granuleux non souhaité. La solution consiste alors à enlever ces hautes fréquences en lissant l'image. Un autre pré-traitement consiste à réhausser les contours pour mieux détecter des régions. Il s'agit ici de supprimer les basses fréquences qui nuisent à la description des contours. Deux types de filtrage sont présentés : dans le domaine spatial avec la convolution et dans le domaine fréquentiel avec la tranformée de Fourier.

5.1 Les filtres par convolution

Le principe de la convolution est de transformer un pixel donné à l'aide d'une combinaison de ses voisins. Pour cela, un noyau de convolution est défini et propagé sur l'image. Il s'agit d'une matrice dont le centre correspond au pixel traité et les autres éléments correspondant à ses voisins. Les filtres implantés dans le logiciel fonctionnent selon cette méthode car elle permet un traitement très rapide. Le filtre est défini par un noyau de convolution, de taille impaire. La valeur d'un pixel P va être modifiée suivant l'équation suivante où p_{ij} est le niveau de gris du pixel de coordonnées (i, j), n_{ij} est la valeur du noyau de convolution en (i, j):

$$P = \frac{\sum_{i,j} p_{ij} \times n_{ij}}{\sum_{i,j} n_{ij}} \tag{2}$$

La somme des valeurs du noyau permet de normaliser le calcul. La figure 22 illustre le cas simple d'un filtre qui réalise une moyenne à l'aide d'un noyau de taille 3×3 .

7	6	7	6				_			7	6	7	c	F	
<u> </u>	0	'	0	5						<u> </u>	0		0	5	
7	7	6	5	5		1	1	1		7	7	6	5	5	
7	7	15	6	6		1	1	1		7	7	7	6	6	
6	6	5	6	6		1	1	1		6	6	5	6	6	
7	6	5	5	5		•	•	•		7	6	5	5	5	
Image originale					Noyau	de conv	volution	Le p	oixel o	centra	l (rou	.ge) a	été ti	rait	

Figure 22: Exemple de filtrage de type moyenne par convolution.

Les coefficients et la taille du noyau de convolution déterminent son comportement. Pour définir un noyau personnalisé, définir une matrice carrée de taille impaire de coefficients avec l'outil **Process/Filters/Convolve**, voir figure 23. Le noyau doit être normalisé : soit en cochant la case **Normalize kernel**, soit en s'assurant que la somme des coefficients est égale à 1. La case **Preview** permet de visualiser l'effet du filtre avant de l'appliquer. Il est possible de sauvegarder un noyau de convolution au format .txt.

5.2 Réduire le bruit

Le filtre moyen **Process/Filters/Mean** permet de lisser les contours d'une image. Le paramètre radius définit le nombre de pixels voisins considérés dans le calul. Note : le filtre **Process/Smooth** est un filtre moyenne

🗊 Convolver	×
4-1-1-1 4-1-1-1 4-1-24-1-1 4-1-1-1-1 4-1-1-1-1	
Open Save	
I Normalize Kernel □ Preview	
	OK Cancel

Figure 23: Définition d'un noyau de convolution.

de rayon 1 (dont le noyau est de dimension 3x3). La figure 24 présente l'impact du filtrage par la moyenne pour un rayon croissant.



Figure 24: Filtrage de type moyenne.

Un traitement par le filtre moyen atténue les transitions brutales sur les bords d'un objet ou enlève les points isolés d'une image. Cependant, il crée un flou parfois non désiré. Le filtre médian **Process/Filters/Median** attribue quant à lui la valeur médiane des pixels voisins, voir figure 25. Les aspérités sont lissées en limitant l'introduction de flou.



Figure 25: Filtrage de type médian.

Le filtre gaussien Process/Filters/Gaussian Blur est bien adapté pour réduire le bruit tout en conservant l'information des contours de l'image. Le noyau de convolution est une version discrète d'une distribution normale. Le paramètre sigma correspond à l'écart-type de la distribution et est lié au paramètre radius du noyau de convolution par la relation $r \simeq 2.5 \times \sigma$.



Figure 26: Filtrage de type Gaussien.

5.3 Réhausser les contours

Le filtre sharpen permet d'améliorer le contraste entre un pixel et son voisinage. Les contours sont plus nets mais le bruit issu des hautes fréquences est accentué. Il est parfois préférable d'appliquer d'abord un lissage à l'image avant de réhausser les contours. Le noyau de convolution de l'outil **Process/Sharpen** est illustré par la figure 27. La binarisation des images montre que le filtre permet une meilleure description des contours.



Image originale binarisée

Image filtrée avec Sharpen binarisée

Figure 27: Filtrage de type Sharpen permettant de réhausser les contours.

En utilisant le filtre de convolution de taille 5×5 de la figure 23, le fort coefficient attribué au pixel central accentue la suppression des basses fréquences, voir figure 28.



Image originale Filtrage avec le noyau étendu (fig. 23) Filtrage avec Find edges (Sobel)

Figure 28: Réhaussement et détection de contours.

5.4 Détecter les contours

L'outil **Process/Find edges** repose sur le filtre de Sobel. Le principe est de calculer la dérivée locale de l'image à partir du gradient dans les directions verticales et horizontales. Deux noyaux de convolutions sont utilisés et combinés, voir figure 30.

1	2	1	
0	0	0	
-1	-2	-1	

1	0	-1	
2	0	-2	
1	0	-1	

Détection de contour horizontal Détection de contour vertical

Figure 29: Noyaux de convolution du filtre Sobel.



images originalel

détection des bords

Figure 30: Exemples de détection des bords avec le filtre Sobel.

Un algorithme de détection de contour plus perfectionné, le filtre de Canny Deriche, est accessible via un plugin. Pour la détection de coins, l'algorithme standard est celui proposé par Harris, disponible par plugin également.

6 Visualiser le volume 3D

Le rendu volumique direct (ou direct volume rendering) repose sur l'algorithme du lancer de rayons. L'objet voxelisé est représenté dans un environnement avec une caméra et un écran de projection, voir figure 31. Chaque voxel est converti de niveaux de gris en opacité. Un rayon est lancé depuis la caméra vers chaque pixel de l'écran. Son parcours traverse ensuite le volume voxelisé et l'information de l'opacité le long du rayon est accumulée puis déposée dans le pixel de l'écran correspondant. Cette méthode permet de visualiser le volume du point de vue de la caméra. Le rendu volumique est généralement amélioré par la gestion de sources lumineuses dans l'environnement précédemment construit.



Figure 31: Rendu volumique direct. Principe de l'algorithme de lancer de rayons. (illustration de Jeff Atwood)

6.1 Rendu volumique avec Volume Viewer

L'outil **Plugins/3D/Volume Viewer** d'ImageJ ou **Plugins/Volume Viewer** de Fiji, figure 32, permet de visualiser les coupes selon les deux autres axes. La fenêtre principale affiche l'ensemble des coupes par défaut. Pour visualiser le volume à l'aide de la méthode de rendu volumique, sélectionner Volume 1 (slow) dans le menu défilant en haut à gauche (Slice Trilinear par défaut). Chaque modification de la vue principale entraîne un nouveau calcul de rendu du volume et peut s'avérer longue si le volume est important. L'avancement du rendu est signalé dans la fenêtre du logiciel par un pourcentage lié à l'action de Rendering.

Plusieurs interactions avec le volume sont proposées :

- Scale modifie le zoom
- **Dist** modifie le plan de coupe
- Depth modifie le nombre de voxels utilisés pour le rendu
- Thr change le seuillage. Les valeurs situées en-dessous du seuil sont considérées transparentes.
- l'orientation peut être contrôlée avec les boutons **xy**, **yz** et **xz** pour visualiser selon un plan de coupe ou en spécifiant un angle donné dans les cases **Angle of rotation**.

Le bouton Save View permet d'exporter l'image. Il faut décocher les cases Axes et Markers pour ne plus les afficher.

6.2 Rendu volumique avec 3D Viewer

Sélectionner l'outil **Plugins/3D Viewer**, voir figure 33. Le logiciel a besoin de travailler avec les images en 8 bits mais cette conversion n'affecte pas les coupes. Les paramètres sont les suivants:

• Image est l'ensemble des coupes selon une direction



Figure 32: Interface de l'outil Volume Viewer.

- Name permet de modifier le nom du jeu de données
- **Display as** sélectionne la visualisation du volume, de la surface ou de l'ensemble des plans de coupes (orthoslice).
- Color définit la couleur de l'objet. None (par défaut) correspond au gris.
- Threshold permet de choisir le seuil en-dessous duquel les voxels du volume sont considérés transparents. Cependant, il est préférable de laisser le seuil à 0 pour construire le volume et de le manipuler plus tard.
- Resampling factor permet de réduire la dimension du volume en sous-échantillonnant les données. Idéalement, régler le resampling factor à 1. Si le volume créé s'avère compliqué à manipuler, augmenter le resampling factor.

Le volume apparaît dans la fenêtre principale. Le bouton gauche de la souris effectue une rotation et la molette centrale règle le zoom. Modifier le seuil dans **Edit/Adjust threshold** pour n'afficher que la partie intéressante de l'objet. La transparence peut être adaptée dans **Edit/Change transparency**.

6.3 Isosurface avec 3D Viewer

L'isosurface est construite comme la surface englobant les voxels d'une densité donnée (et donc d'un niveau de gris). L'isosurface est donc l'outil le plus rapide pour obtenir une surface triangulée représentant la forme extérieure d'un objet. Sélectionner l'outil **Plugins/3D Viewer** et la commande Surface **Display as**. Les surfaces générées sont exportables au format .stl ou .u3d (utilisé pour générer des fichiers pdf 3d) dans le menu **File/Export surfaces**.



Figure 33: Paramètres de l'outil 3D Viewer (gauche) et représentation d'un volume (droite).

7 Raccourcis clavier

Commande	Raccourci	Opération
Menu File		
New/Image	n	Crée une nouvelle image
New/System Clipboard	SHIFT + v	Crée une nouvelle image à partir du presse-papiers
Open	0	Ouvre une image
Open next	SHIFT + o	Ouvre l'image suivante dans le dossier
Close	W	Ferme la fenêtre active
Save	S	Sauvegarde l'image active
Menu Edit		
Undo	Z	Annule la dernière opération
Cut	Х	Copie la sélection dans le presse-papiers et la supprime
Сору	с	Copie la sélection dans le presse-papiers
Paste	V	Colle le contenu du presse-papiers
Clear	backspace	Remplace la sélection par la couleur de fond
Fill	f	Remplit la sélection avec la couleur active
Draw	d	Dessine le contour sélectionné
Invert	SHIFT + i	Inverse l'image ou la sélection
Selection/Select All	a	Sélectionne toute l'image
Selection/Select None	SHIFT + a	Désélectionne tout
Selection/Restore	SHIFT + e	Retrace la précédente sélection
Selection/Add to Manager	t	Ajoute la sélection au Roi Manager
Menu Image		
Adjust/Contrast	SHIFT + c	Règle le contraste
Adjust/Threshold	SHIFT + t	Règle le seuillage
Show Info	i	Ouvre les informations sur l'image active
Properties	SHIFT + p	Ouvre les propriétés de l'image active
Color/Color Picker	SHIFT + k	Outil Color Picker
Stacks/Next slice	$>$ ou \rightarrow	Aller à la coupe suivante
Stacks/Previous slice	$<$ ou \leftarrow	Aller à la coupe précédente
Stacks/Reslice	/	Accéder à un autre plan de coupe
Stacks/Animation		Débuter/Finir une animation
Crop	SHIFT + x	Rogner selon la sélection
Duplicate	SHIFT + d	Dupliquer l'image ou selon la sélection
Scale	e	Redimensionne l'image ou la sélection
Zoom/In	$+ $ ou \uparrow	Zoom avant
Zoom/Out	- ou ↓	Zoom arrière
Zoom/Original Scale	4	Retour au zoom original
Zoom/View 100%	5	Zoom au ratio 1:1
Menu Process		

Smooth	SHIFT + s	Lissage dans une fenêtre de 3x3 pixels	
Repeat command	SHIFT + r	Répète la dernière opération	

Commande	Raccourci	Opération
Menu Analyze		
Measure	m	Mesure pour l'image active ou la sélection
Histogram	h	Histogramme de l'image active ou de la sélection
Plot profile	k	Profil de densité dans la sélection
Menu Plugins		
Macros/Install	SHIFT + m	Installe une macro
Utilities/Capture screen	SHIFT + g	Capture d'écran
Menu Window		
Show All	SHIFT + f	Toutes les fenêtres actives sont visibles
Put Behind	tab	Bascule sur la fenêtre suivante