

# Post-traitement des données du CTscan avec Avizo Lite 9.0.1

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



## Table des matières

1	Les données	3
1.1	Les images numériques	3
1.2	Les formats	3
1.3	Les piles de données ou stacks	4
1.4	Les données CTscan	4
1.5	Les surfaces	5
1.6	Le traitement des données avec Avizo	5
2	Démarrer avec Avizo - l'environnement Project	6
2.1	Ouvrir les données	7
2.2	L'environnement Properties	9
2.3	Préférences du logiciel	9
3	Visualiser les données 3D	10
3.1	Visualiser la pile de coupes	10
3.2	La barre d'outils de la visualisation 3D	11
3.3	Visualiser l'histogramme	12
3.4	Améliorer le contraste	13
3.5	Travailler sur une zone d'intérêt	14
3.5.1	Réduire le volume dans une boîte	14
3.5.2	Sous-échantillonner les données	15
3.5.3	Visualiser une partie du volume	15
3.5.4	Éditer le volume manuellement	16
3.6	Transformer géométriquement les données	17
3.7	Rendu volumique	19
3.8	Colormap	19
4	Extraire des surfaces	21
4.1	Isosurface	21
4.2	Visualiser les surfaces	22
4.3	Éditer les surfaces	24
4.4	Simplifier les surfaces	25
5	Segmenter les données	26
5.1	Éditer la segmentation	26
5.2	Seuillage global	31
5.3	Créer les surfaces correspondant à la segmentation	32

6	Trucs et astuces pour la segmentation	33
6.1	Restreindre une sélection de l'outil Magic Wand . . . . .	33
6.1.1	En créant un matériau frontière . . . . .	34
6.1.2	Sur une coupe avec Draw limit line . . . . .	34
6.2	Générer la surface correspondant à un matériau en particulier . . . . .	34
6.3	Réduire le nombre de labels aux matériaux d'intérêt . . . . .	36
6.4	Opérations arithmétiques et booléennes sur les labels . . . . .	36
7	Exploiter les résultats	38
7.1	Réaliser des mesures . . . . .	38
7.2	Poser des landmarks . . . . .	39
7.3	Exporter des captures d'écran . . . . .	40
7.4	Créer un film . . . . .	42
7.4.1	Parcours des coupes . . . . .	42
7.4.2	Rotation de la caméra . . . . .	43
7.4.3	Parcours de la surface 3D . . . . .	44
7.4.4	Transparence progressive . . . . .	44
7.4.5	Exporter la vidéo . . . . .	44

# 1 Les données

## 1.1 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  $16 \times 10 \times 8 = 1280$ bits ou  $16 \times 10 = 160$ octets. La même image codée en 16bits occupera  $16 \times 10 \times 16 = 2560$ bits ou  $16 \times 10 \times 2 = 320$ octets. 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 est facile de distinguer les détails de l'image et plus les contours sont nets.

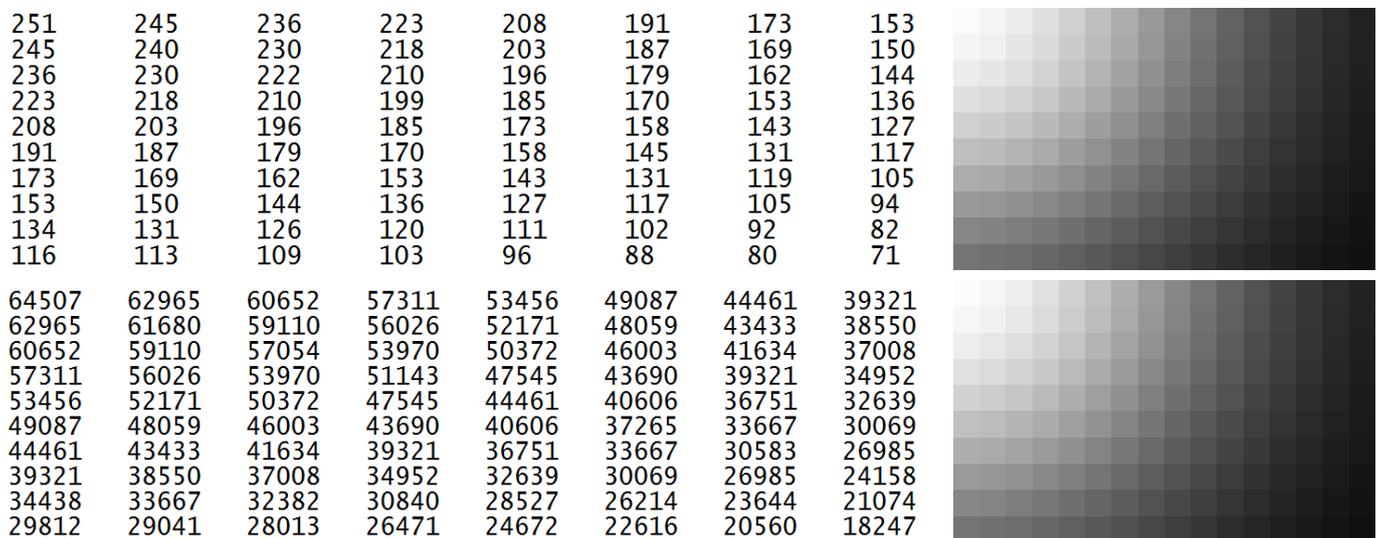


FIGURE 1 – Exemple d'une image codée en 8bits et en 16bits.

## 1.2 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 compressées 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. Cela s'avère pratique puisqu'il n'est pas nécessaire de conserver ces informations dans un fichier texte séparé.
- 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.

### 1.3 Les piles de données ou stacks

Le scanner exporte une image 3D. Il s'agit d'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 pour  $z=0$  et les images suivantes sont les coupes suivantes selon l'axe z.

Le volume est ainsi décrit par une matrice 3D de voxels isométriques. Il est toujours possible de décrire l'objet selon d'autres plans de coupe. Les dimensions du volume exporté sont indiquées dans le fichier texte joint avec les données. Ouvrir le fichier avec un éditeur de texte type Bloc-notes. [L'information est donnée dans la section \[Geometry\] par VoxelSizeX et VoxelSizeY en mm. La dimension en Z est identique puisque les voxels sont cubiques.](#)

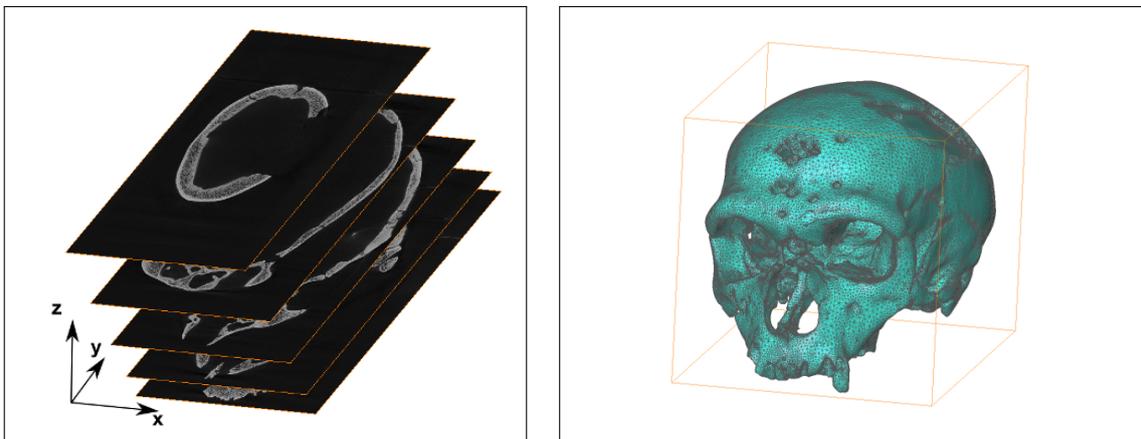


FIGURE 2 – À gauche, description du volume de l'objet par une image 3D : la pile de coupes. Ici, les coupes sont dans le plan xy. À droite, une surface 3D représentant le crâne.

### 1.4 Les données CTscan

La pile d'images fournit une description en niveaux de gris de l'objet scanné et se présente sous la forme d'images 16bits. Les valeurs de chaque voxel sont comprises entre 0 et 65535. Ces valeurs correspondent à un codage de l'atténuation de l'objet pour chacun des voxels. L'atténuation des rayons X est proportionnelle à la **densité** des matériaux. Les valeurs les plus faibles correspondent aux zones du scan présentant une faible densité (typiquement l'air) et les valeurs les plus élevées aux zones plus denses (les tissus, puis les os, le sédiment, l'émail).

Les données issues de scans médicaux sont souvent exportées en 11 ou 12 bits et les valeurs de chaque pixel sont alors codées entre -1024 et 1024 ou entre 0 et 4096 respectivement. Les valeurs d'atténuation sont exprimées en unités Hounsfield (HU) et sont calibrées par rapport à l'atténuation de l'eau selon l'échelle Hounsfield.

Le logiciel ImageJ propose une gamme très étendue d'outils pour la préparation des données.

Consulter le document 'Post-traitement des données CTscan avec ImageJ/Fiji'.

## 1.5 Les surfaces

Une surface 3D est composée d'un ensemble de points généralement reliés par des triangles, voir figure 2. Le processus de traitement des images consiste à générer et isoler les surfaces 3D correspondant à des structures dans l'image 3D à l'aide d'isosurfaces (voir section 4) ou en segmentant les données (voir section 5).

Le format Avizo est un objet de type .surf. Cependant, il est préférable de sauvegarder les surfaces dans un autre format si l'on souhaite réaliser des traitements avec d'autres logiciels. Meshlab est un logiciel gratuit qui permet de retraiter les surfaces. Le format STL est le plus courant. Préférer toutefois le format PLY pour les analyses de morphométrie. Le format OBJ permet de sauvegarder l'information de couleur associée à chaque triangle.

## 1.6 Le traitement des données avec Avizo

Le cœur de l'utilisation du logiciel Avizo est la modélisation de surfaces 3D à partir de l'image 3D issue du CTscan.

Ce document présente les différentes étapes nécessaires à l'obtention de modèles 3D.

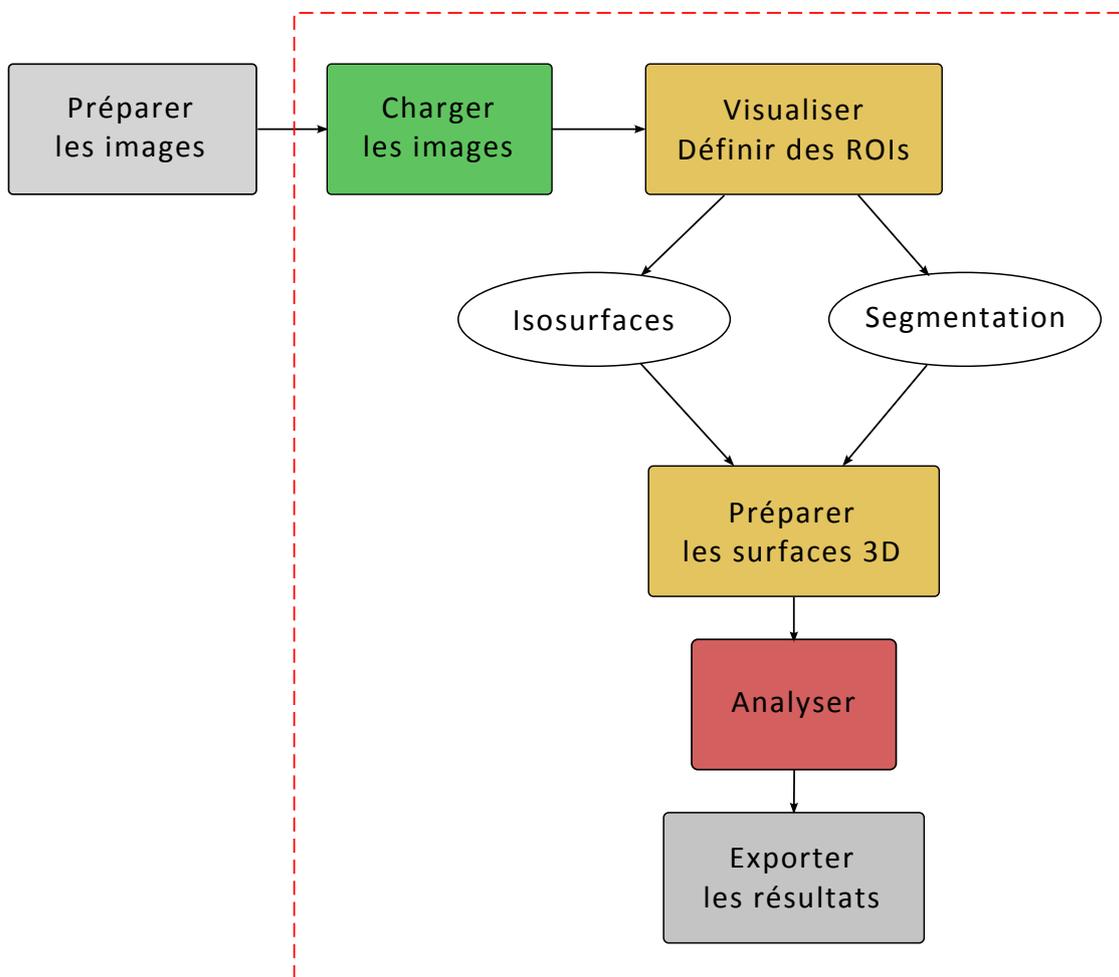


FIGURE 3 – Protocole de traitement des données.

## 2 Démarrer avec Avizo - l'environnement Project

La figure 4 montre la page d'accueil du logiciel à l'ouverture.

Les boutons **Open Data** et **Open Project** permettent un accès rapide à des travaux précédemment enregistrés.

Pour débiter un nouveau projet, choisir **Blank project**.

Les onglets Start, Project, Segmentation et Animation facilitent la navigation entre chacun des environnements, décrits dans la suite de ce document.

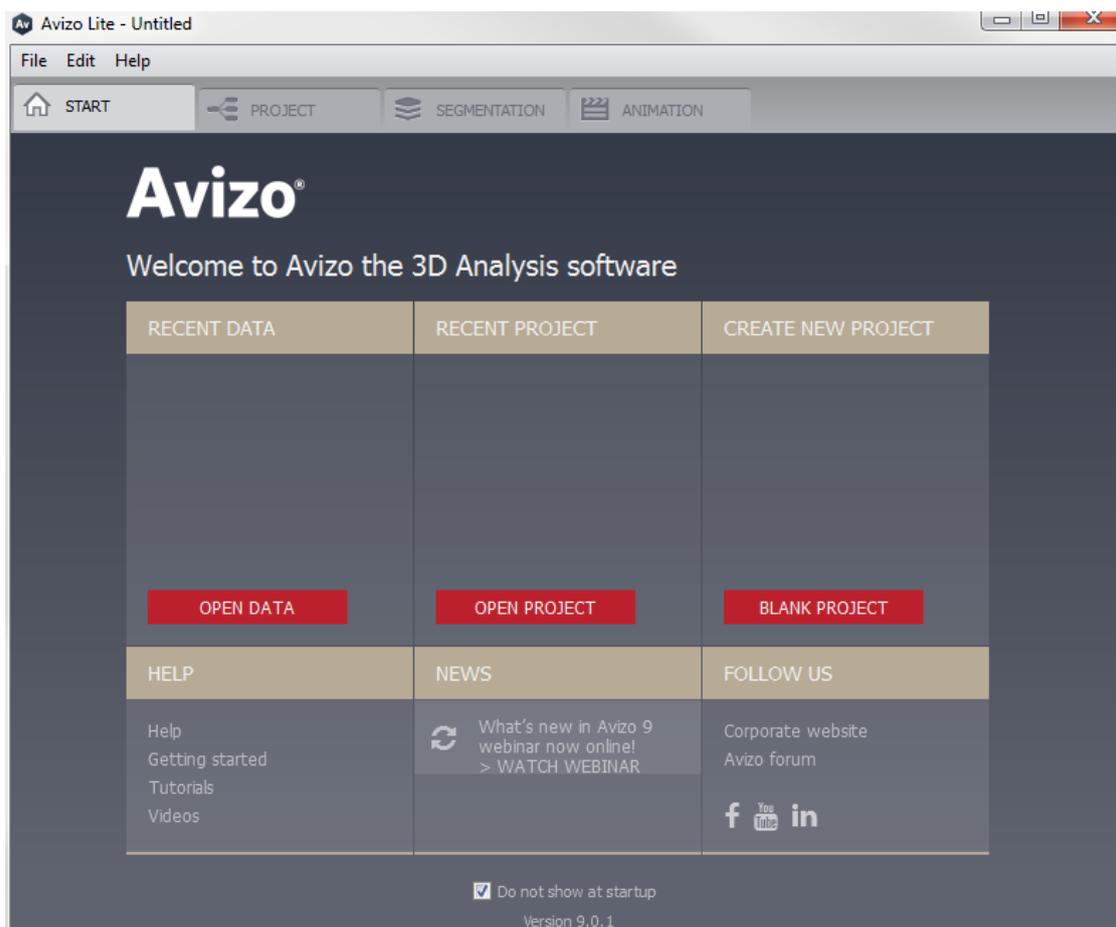


FIGURE 4 – Vue générale au démarrage du logiciel Avizo Lite 9.0.1.

L'environnement Project se compose de plusieurs éléments : une fenêtre de visualisation 3D et sa barre d'outils (notée 1), une fenêtre Project View (2) et une fenêtre Properties (3), voir figure 5.

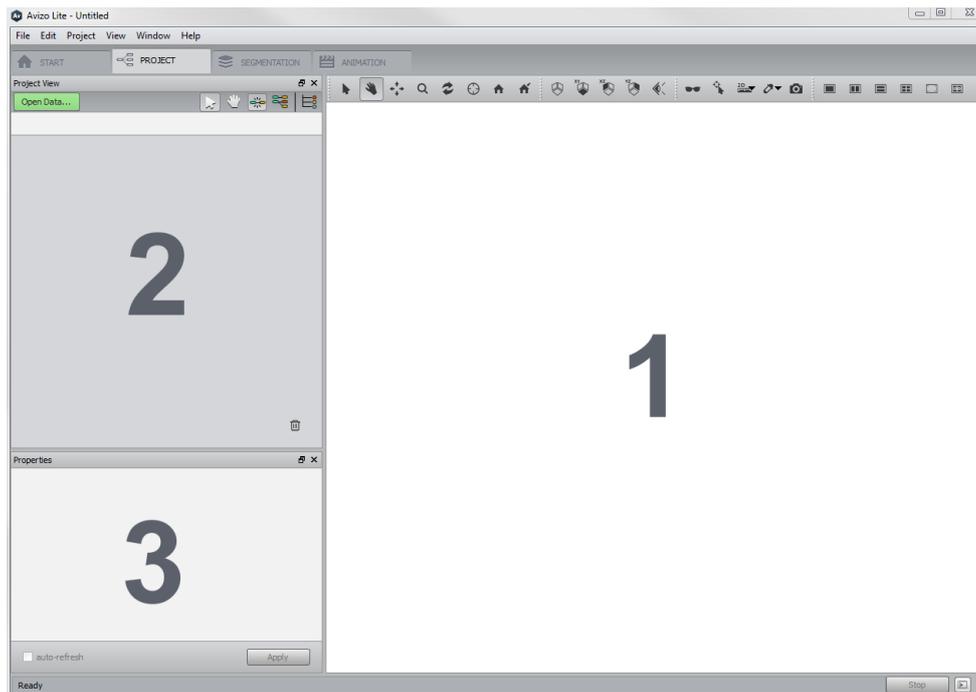


FIGURE 5 – Vue générale de l'environnement Project.

## 2.1 Ouvrir les données

Pour commencer le traitement, cliquer sur **Open Data**. Sélectionner l'ensemble des coupes et cliquer sur ouvrir. La fenêtre Image Read Parameters (figure 6) permet de vérifier que le nombre de coupes sélectionnées est correct. Dans cet exemple, le jeu de données est constitué de 1318 coupes de 1209x1215 pixels.

Le nom de l'objet est créé à partir du nom de la première coupe mais il est préférable de l'éditer pour lui donner un nom explicite. [Renseigner la taille du voxel \(en mm\) dans voxel size Cette information de calibration est essentielle pour que les mesures soient correctes.](#) Pour les données issues d'AST-RX, cette information se trouve dans le fichier texte fourni avec les images sous l'appellation voxelsizex.

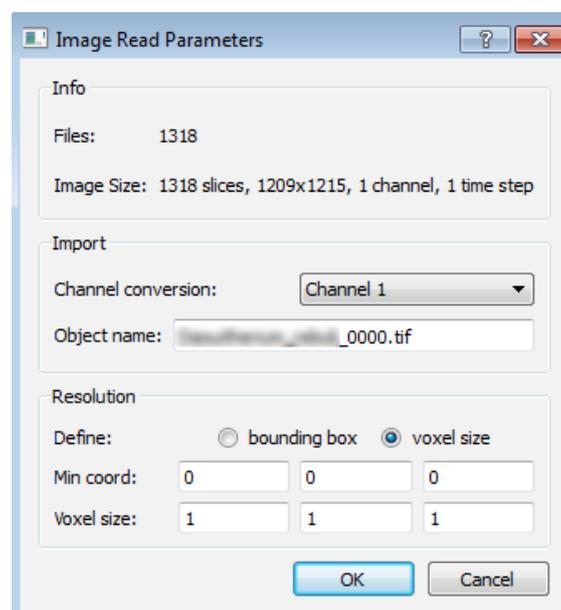


FIGURE 6 – Fenêtre d'ouverture des données.

L'objet créé apparaît dans la fenêtre Project View sous la forme d'un module vert. Les commandes les plus usuelles apparaissent sous la forme de raccourcis dans des modules jaunes (figure 7).

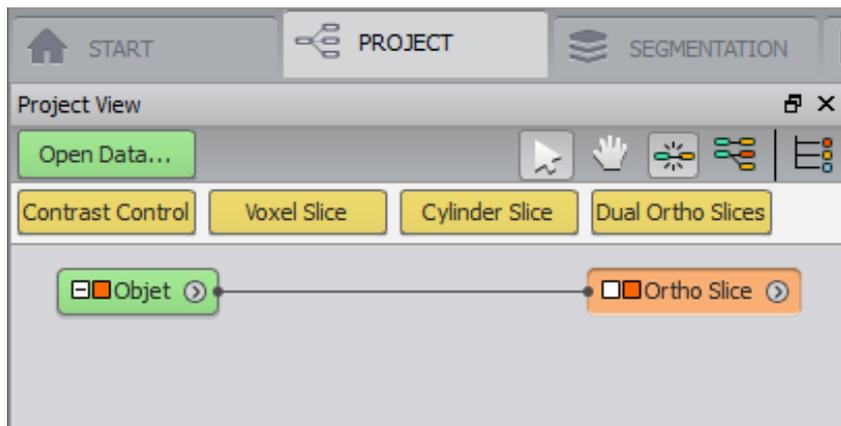


FIGURE 7 – Onglet Project View dans le Main Panel et modules d'une image3D (en vert) et de sa visualisation Ortho Slice (en orange).

Le carré orange à gauche d'un objet sert à activer ou désactiver sa visualisation dans la fenêtre de visualisation 3D.

L'ensemble des commandes disponibles pour un objet donné est accessible en faisant un **clik droit sur l'objet**.

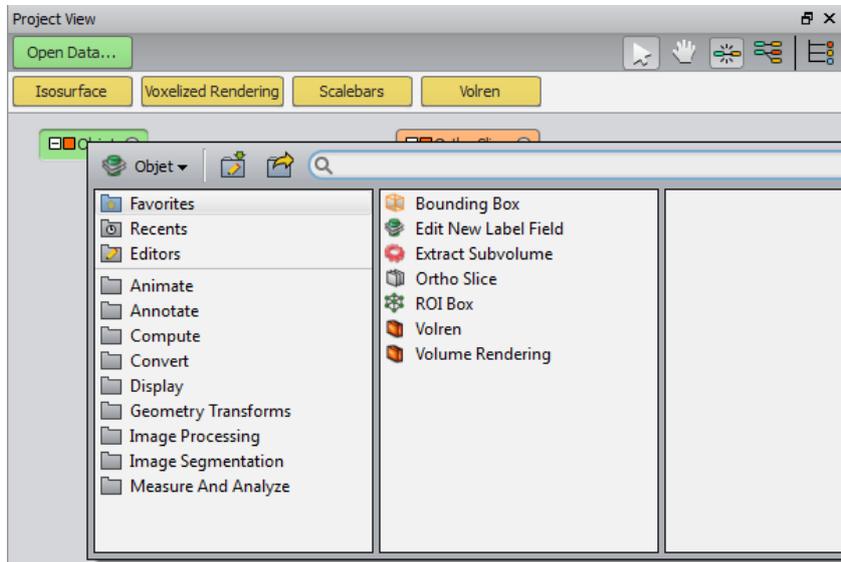


FIGURE 8 – Accès aux commandes par clic droit sur le module vert de données.

La barre de recherches permet de retrouver une commande à partir de son nom. Toutes les commandes sont classées dans des dossiers du menu de la colonne de gauche (figure 8). Les commandes les plus utilisées sont proposées dans la colonne centrale.

Dans cette fenêtre, l'icône dossier **Save Data as** permet d'enregistrer l'objet créé à partir des coupes au format Avizo (avec l'extension .am) pour faciliter l'ouverture du projet lors de prochaines manipulations. La version 9.0.1 d'Avizo peut ouvrir des volumes générés à partir des versions précédentes. Par contre, sauvegarder au format Avizo 6 pour travailler les données avec des versions antérieures à Avizo 7.

L'icône dossier **Export Data as** donne accès à un grand nombre de formats de données 3D.

## 2.2 L'environnement Properties

En cliquant sur un objet, ses caractéristiques s'affichent dans l'onglet Properties (figure 9). Des raccourcis vers certains outils sont disponibles. Dans le cas de l'image 3D, l'onglet Properties propose l'accès aux outils de rognage (Crop Editor) ou de transformations géométriques (Transform Editor).

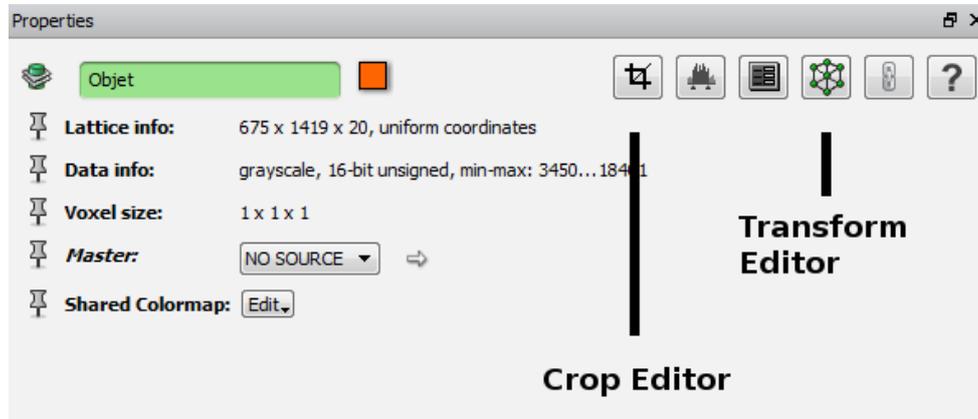


FIGURE 9 – Onglet Properties pour une image 3D.

## 2.3 Préférences du logiciel

Les paramètres globaux du logiciel sont accessibles dans le menu **Edit/Preferences**.

En particulier, veiller à régler la limite Out-of-Core dans l'onglet LDA (figure 10) qui gère la RAM maximum allouée à Avizo pour l'ouverture de données.

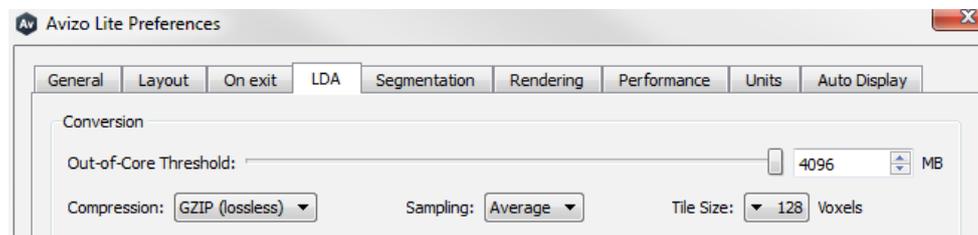


FIGURE 10 – Limite RAM disponible.

Une nouveauté de la version 9 est la possibilité de définir un affichage automatique de modules associés lors de l'ouverture de données (figure 11). A l'usage, on associe quasiment systématiquement les modules Ortho Slice et Bounding Box à une image 3D et le module Surface View à une surface 3D.

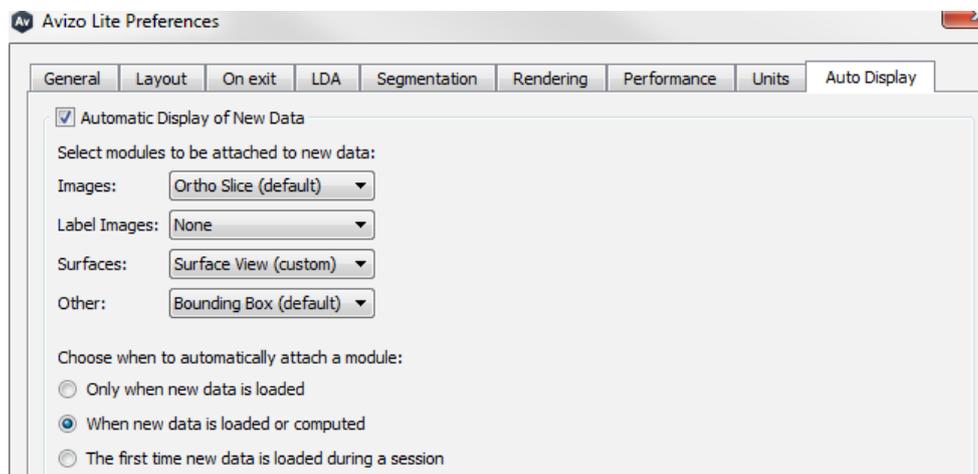


FIGURE 11 – Préférences de création automatique de modules de visualisation.

### 3 Visualiser les données 3D

#### 3.1 Visualiser la pile de coupes

L'outil **Bounding Box** fait apparaître la boîte englobante (en orange) de l'objet et permet de se repérer dans le volume.

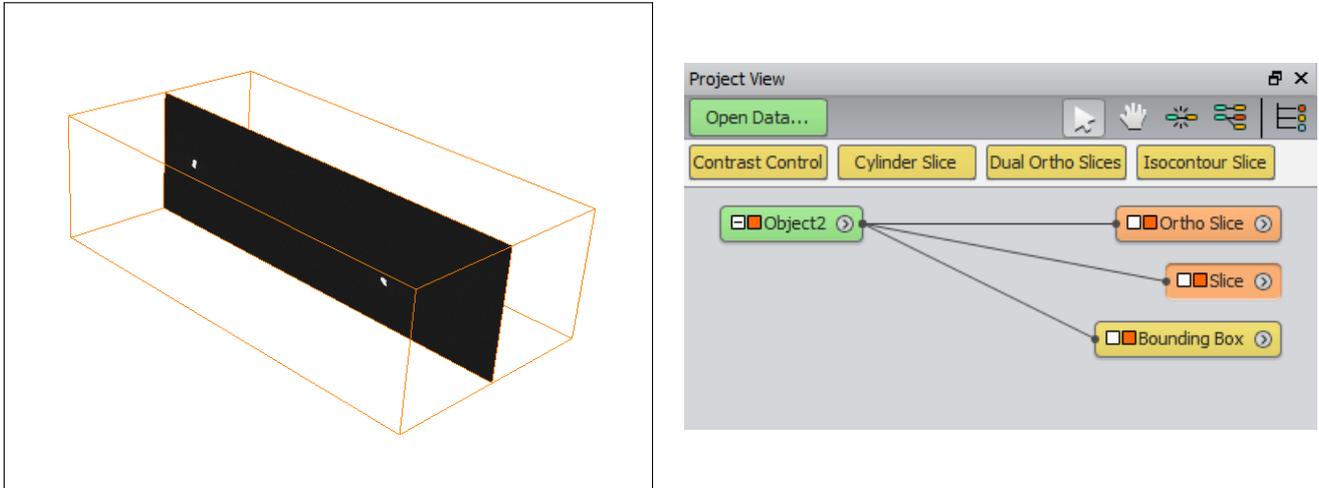


FIGURE 12 – Visualisation des coupes avec les outils Bounding Box, Ortho Slice et Slice.

L'outil **Ortho Slice** permet de naviguer dans les coupes en déplaçant le curseur **Slice Number**.

Modifier l'orientation des coupes (xy, xz ou yz) pour visualiser la pile de coupes selon un autre axe.

Régler le contraste de l'image avec les curseurs Min et Max de **Colormap**, voir section 3.4.

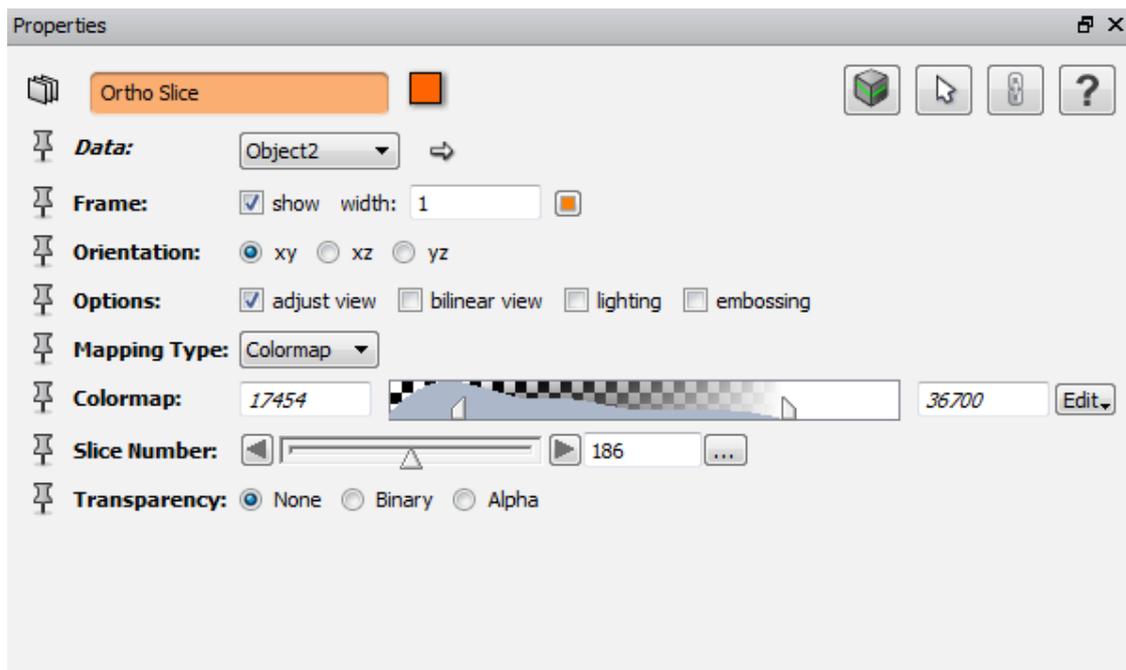


FIGURE 13 – Outil Ortho Slice de navigation dans les coupes.

Pour choisir le plan de coupe du volume, utiliser l'outil **Display/Slice**. Par défaut, Slice se comporte comme Ortho Slice. Cependant, en cochant l'option **Rotate**, une trackball apparaît dans la fenêtre 3D. Cette trackball peut être manipulée (avec la flèche figure 15) pour orienter le plan de coupe selon n'importe quelle direction (figure 14). L'option **Fit to points** permet à l'utilisateur de sélectionner trois points dans la visualisation 3D et d'extraire le plan de coupe correspondant. Par défaut, le volume est échantillonné par l'outil Slice. Pour éviter une perte d'informations, renseigner le champ **Sampling** avec l'option **finest**.

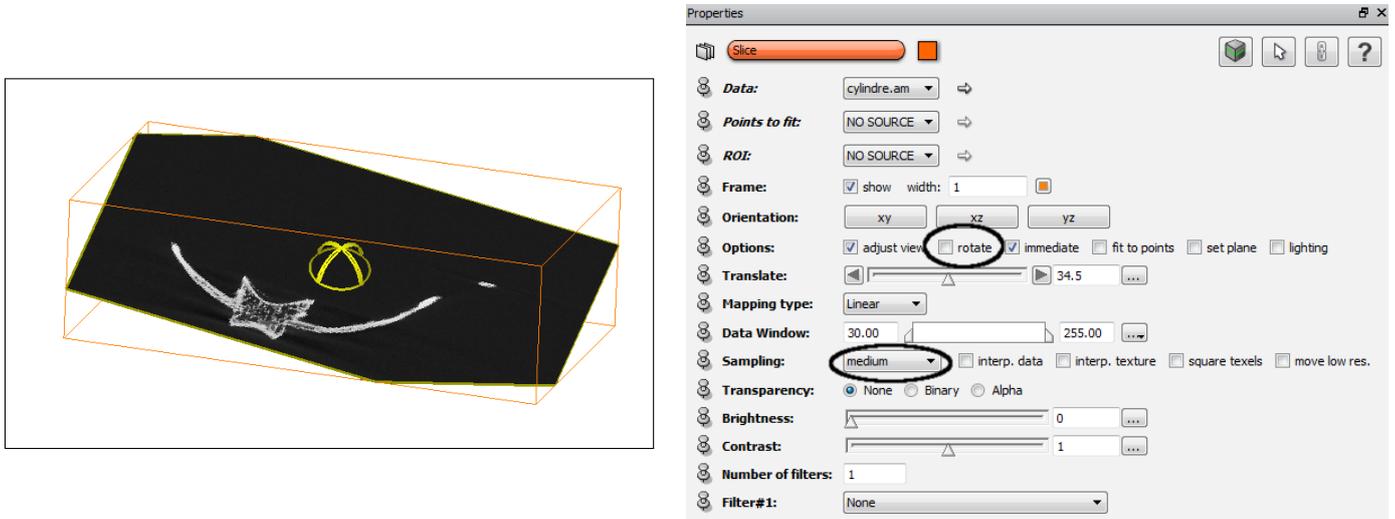


FIGURE 14 – Outil Slice de navigation dans les coupes avec l'option Rotate.

### 3.2 La barre d'outils de la visualisation 3D

La première barre d'outils (figure 15) permet d'interagir avec le volume.



FIGURE 15

L'environnement **Interact** (la flèche) permet de sélectionner ou d'interagir avec des éléments dans la vue 3D. L'autre environnement, **Trackball** (la main) permet de modifier la vue de l'objet :

- la rotation libre avec le clic gauche ou la rotation d'un degré avec l'outil **Rotate**
- le déplacement en maintenant le bouton du milieu de la souris appuyé ou avec l'outil **Translate**
- le zoom avec la roue de la souris ou l'outil **Zoom**
- l'auto-centrage avec l'outil **Seek**
- le retour à la vue initiale avec l'outil **Home**
- l'affectation de la vue courante comme nouvelle vue de référence avec l'outil **Set home**



FIGURE 16

Le second module permet de réaligner la vue selon un plan (xy, xz ou yz). La vue opposée est accessible en maintenant le bouton shift appuyé. Basculer d'une vue en perspective ou orthographique avec l'outil **Perspective** (l'oeil). **Conserver la vue orthographique pour ne pas déformer les objets et pouvoir placer une échelle dans une vue 3D.**



FIGURE 17

Le troisième module propose l’outil **Stereo** pour régler la stéréovision. L’outil **Measurement** permet de réaliser différents types de mesures (voir section 7.1). L’outil probe donne des informations (position, niveau de gris) de façon interactive sur une image dans la vue 3D. Enfin, l’outil **Snapshot** exporte une image de la fenêtre principale (voir section 7.3).



FIGURE 18

Enfin, le dernier module change le nombre de fenêtres visibles dans la fenêtre principale et permet de basculer en plein écran (touche F11).

### 3.3 Visualiser l’histogramme

L’outil **Measure/Histogram** affiche l’histogramme de la pile d’images, voir figure 19. Ce graphe représente la distribution des pixels selon leur niveau de gris.

Les pixels dont les niveaux de gris sont faibles (et correspondent à l’air) se trouvent donc à gauche de l’histogramme. Ils sont généralement présents en grand nombre dans l’image 3D et forment un pic sur l’histogramme (sauf si le scan est réalisé sur une région d’intérêt dans l’objet).

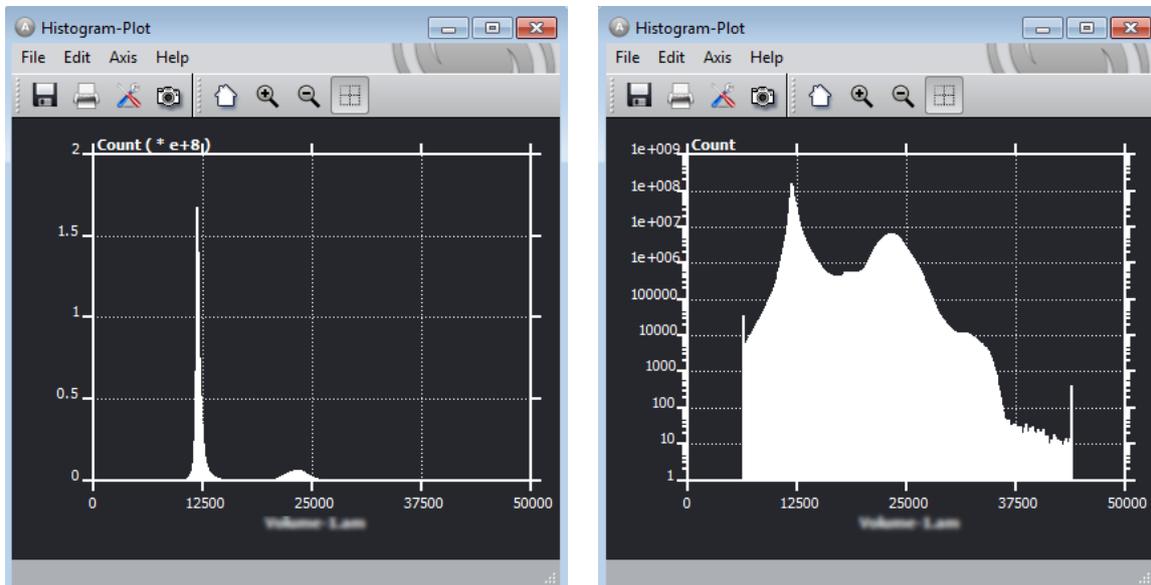


FIGURE 19 – Représentations linéaire (à gauche) et logarithmique (à droite) de l’histogramme de l’image.

L’étude de l’histogramme permet d’identifier les niveaux de gris contenant l’information de l’objet. Les différents types d’information se visualisent par des pics ou des bosses dans la distribution des niveaux de gris.

L’histogramme permet ainsi de dégager des frontières entre les différents matériaux composant l’objet tomographié exprimés en niveaux de gris. Ces frontières sont appelées les **seuils (thresholds)** et sont utilisées pour discriminer des objets.

Dans le cas illustré par la figure 19, seuls les pixels dont le niveau de gris est supérieur à 17500 environ appartiennent à l'objet. Ceux dont le niveau de gris est inférieur représentent l'air.

Pour affiner l'analyse de l'histogramme, certains paramètres sont disponibles dans la fenêtre Properties (figure 20). Les niveaux de gris minimum et maximum de l'image sont renseignés dans le champ **Range**. Garder ces valeurs pour avoir l'histogramme complet ou les modifier pour tracer l'histogramme d'une gamme de niveaux de gris. Le curseur **Num bins** définit la discrétisation de l'histogramme, sélectionner 256 pour lisser la courbe. Par défaut, le graphe est représenté en colonnes, cocher **line drawing** pour plus de lisibilité. Il est également en échelle semi-logarithmique, décocher **logarithmic** pour une représentation linéaire.

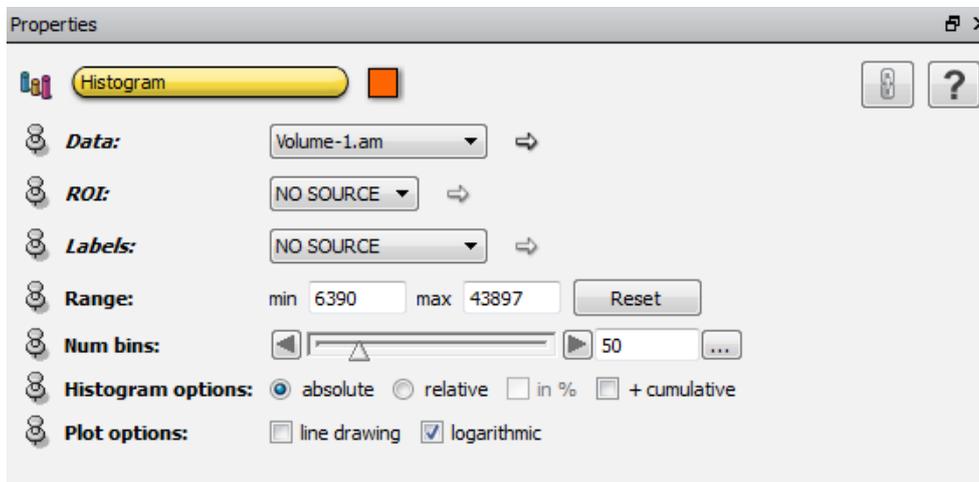


FIGURE 20 – Outil Histogram du menu Measure.

Pour parcourir le graphe, sélectionner l'outil **Threshold** dans le menu **Edit/Edit objects** de l'histogramme. Cocher la case **Probe**. Une ligne apparaît sur l'histogramme et les coordonnées sont affichées sur le graphe.

### 3.4 Améliorer le contraste

Pour améliorer le contraste d'une image, le logiciel présente une fenêtre avec l'histogramme des niveaux de gris et deux valeurs à configurer : le seuil Min et le seuil Max.

On peut choisir de n'afficher qu'une partie des niveaux de gris de l'image : ceux qui décrivent l'objet. Les pixels dont le niveau de gris est inférieur à la valeur Min (le curseur de gauche) seront représentés en noir et ceux dont le niveau de gris est supérieur à la valeur Max (curseur de droite) en blanc.

Généralement, le seuil inférieur est choisi de façon à ne pas afficher les pixels correspondant à l'air, dont le niveau de gris est le plus bas et qui correspondent au pic de gauche de l'histogramme (figure 21).



FIGURE 21 – Contrôle du contraste des vues par seuillage de l'histogramme.

Le réglage du contraste modifie seulement la visualisation des images, les valeurs des pixels demeurent inchangées. Il s'agit avant tout de faciliter la lecture de l'image, de mieux discerner les détails et de reposer le regard de l'utilisateur. Il est indispensable de bien régler le contraste dès l'ouverture des données.

### 3.5 Travailler sur une zone d'intérêt

Les images 3D issues de micro-tomographie sont généralement des matrices de plus de mille pixels de côté. Le traitement est ralenti par l'examen de chacun des pixels et le logiciel peut peiner à effectuer certains calculs. Pour accélérer les calculs, il est intéressant de restreindre les traitements à des zones d'intérêt. Plusieurs stratégies sont proposées.

#### 3.5.1 Réduire le volume dans une boîte

Sélectionner l'outil **Extract Subvolume** dans le menu de l'objet. Il permet de définir la nouvelle région à découper (figure 22). La nouvelle zone est un rectangle défini par un index min et une taille pour chaque direction. Il est possible de les définir manuellement en agissant sur les carrés bleus dans l'image avec l'outil **Interact** (la flèche de la barre d'outil, figure 15). Il est plus facile de cliquer dans un premier temps sur chacun des max pour obtenir la boîte de taille maximale puis de la réduire.

L'action de l'outil est illustrée sur la figure 22. Le nouvel objet est un ensemble de coupes dont les dimensions correspondent à la boîte. Par défaut, le nouvel objet est nommé avec le nom du volume dont il est issu suivi de l'extension `.view`.

Prendre garde à l'option **Subsample** qui sous-échantillonne les données et modifie la résolution des coupes. Pour conserver la meilleure description du volume, décocher la case **Subsample**.

Il peut par contre être utile de travailler sur une version moins résolue de l'image lorsque celle-ci est trop lourde et que les calculs en sont pénalisés. Pour cela, renseigner un facteur de sous-échantillonnage identique pour chacune des directions.

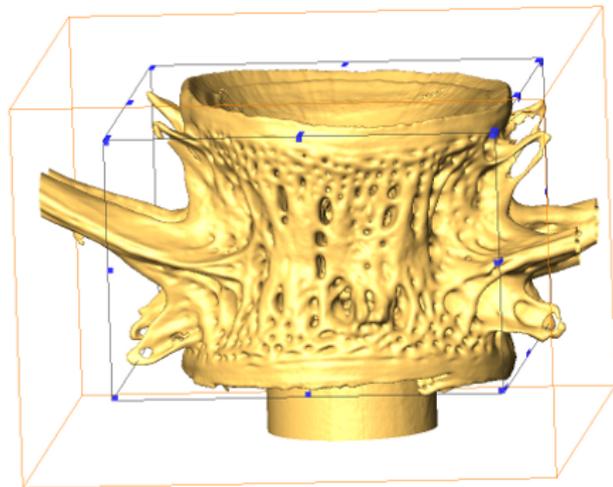
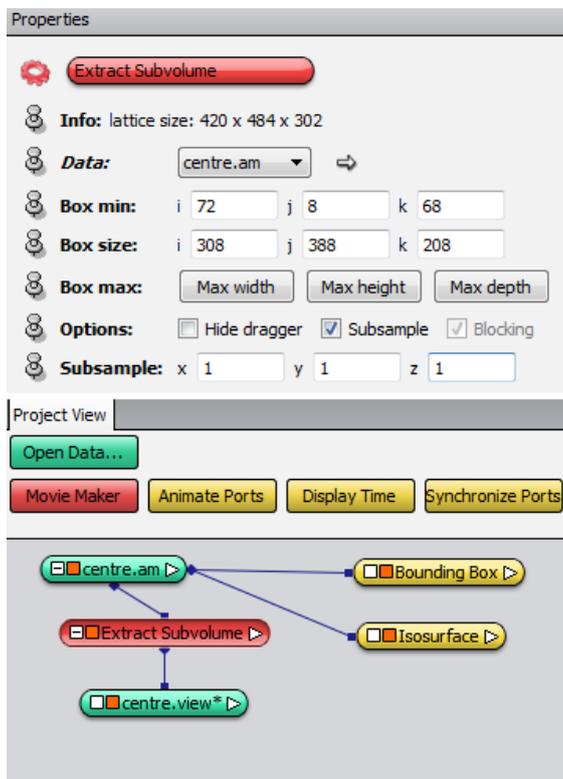


FIGURE 22 – Création d'un nouveau volume d'intérêt extrait des données avec l'outil Extract Subvolume.

La position géométrique des sous-volumes créés est sauvegardée.

### 3.5.2 Sous-échantillonner les données

L'outil **Resample** effectue un sous-échantillonnage de l'ensemble des données. Un facteur de réduction est appliqué, le choisir identique dans chacune des directions pour éviter des déformations.

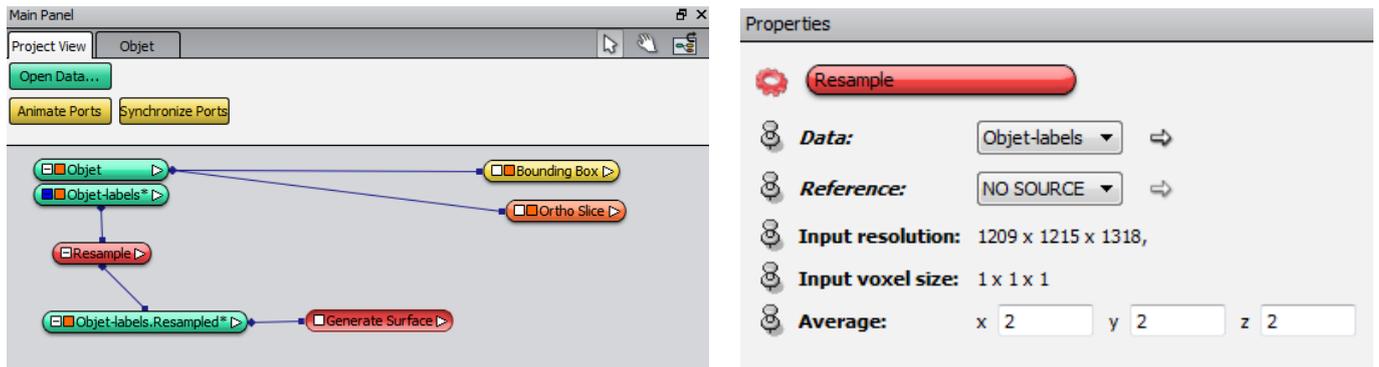


FIGURE 23 – Sous-échantillonnage des labels avec l'outil Resample.

Par exemple, une image 3D de 1200x1000x800 voxels de 0.15mm de côté sous-échantillonnée d'un facteur 2x2x2 crée une nouvelle image 3D de 600x500x400 voxels de 0.3mm de côté. Chaque nouveau voxel est obtenu en moyennant les pixels de l'image originale. La qualité du scan original est dégradée mais l'image résultante est bien plus légère. Prendre garde à sauvegarder le nouveau jeu de données sous un autre nom pour ne pas écraser les données originales.

### 3.5.3 Visualiser une partie du volume

L'outil **ROIbox** définit une région d'intérêt en forme de boîte définie par des coordonnées minimum et maximum. Les bords de la boîte peuvent être définis de façon interactive en agissant sur les cubes verts dans la fenêtre de visualisation 3D avec l'outil **Interact** (la flèche de la barre d'outil, figure 15).

La région ainsi créée n'est pas décrite physiquement par de nouvelles images comme dans le cas de l'outil **Extract Subvolume** mais sera un paramètre pour les outils de visualisation **VolumeRendering** (figure 31) ou **Isosurface** (figure 33).

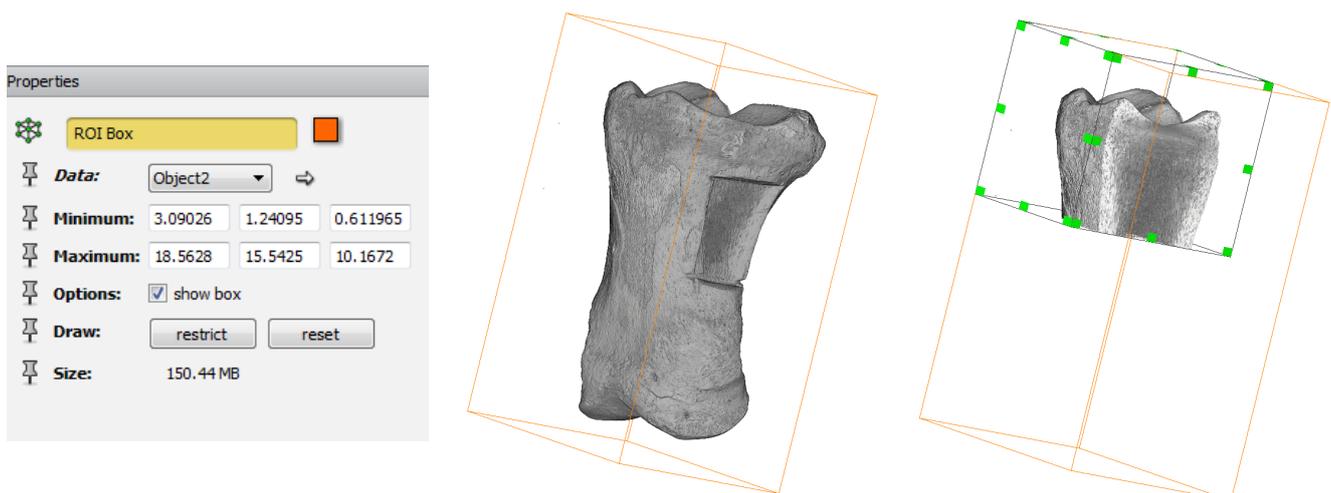


FIGURE 24 – Création d'une boîte d'intérêt RoiBox pour limiter un traitement à une partie de l'image 3D.

La ROIbox réduit considérablement les temps de calculs en n'affichant qu'une partie du volume.

### 3.5.4 Éditer le volume manuellement

Il est possible d'exclure une partie de l'objet en interagissant directement sur la vue 3D. Pour cela, utiliser l'outil **Compute/Volume Operations/Volume Edit** (figure 25).

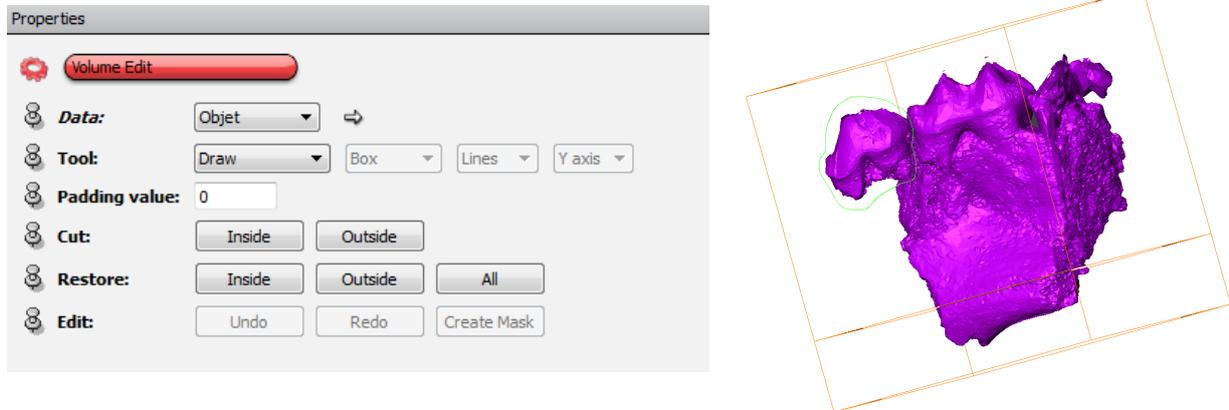


FIGURE 25 – Outil Volume Edit (gauche) et sélection de la région (en vert) en dessinant sur la vue 3D (droite).

Dans la vue 3D, manipuler l'objet (rotations, translations, zoom) de façon à distinguer clairement la partie du volume qui doit être isolée. Il est possible de travailler à partir des coupes mais cette étape est plus facile à réaliser avec un modèle surfacique de l'objet. Pour obtenir ce modèle, construire une isosurface (voir section 4). Deux applications sont possibles :

- cliquer sur **Inside** dans le menu **Cut** pour dessiner une région à extraire au volume.
- cliquer sur **Outside** dans le menu **Cut** pour dessiner la région à conserver.

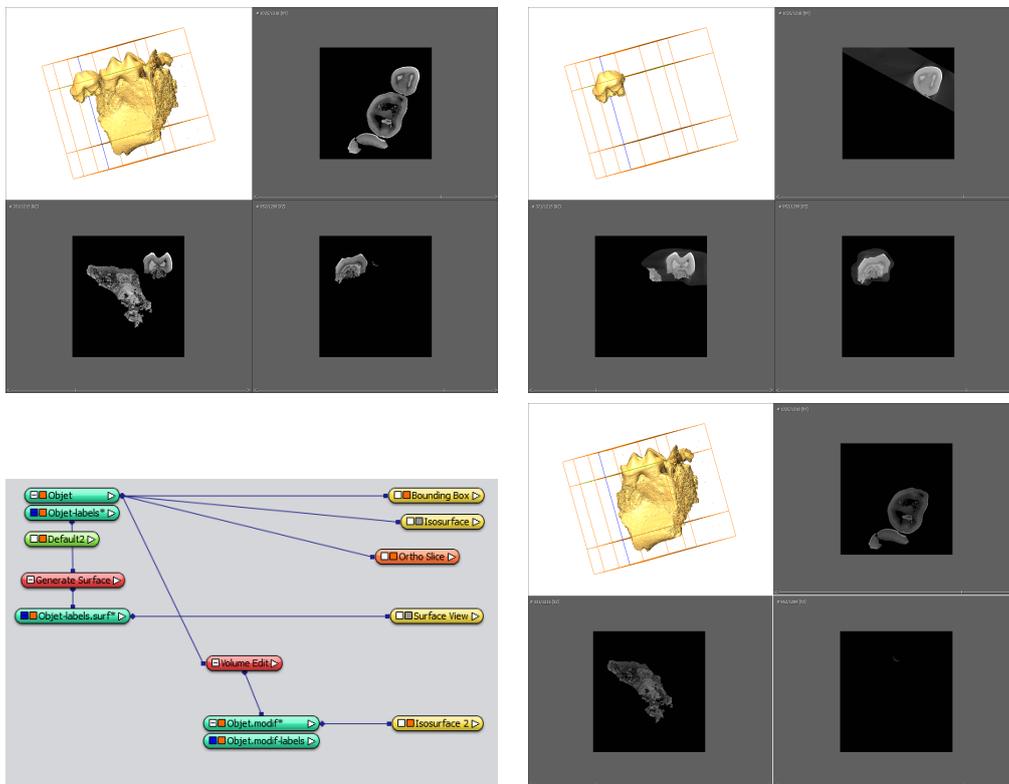


FIGURE 26 – Coupes et isosurfaces illustrant l'action de Volume Edit. Volume initial (haut - gauche) et volume modifié conservant la région de la figure 25 avec Cut Outside (haut - droite) ou en l'excluant avec Cut Inside (bas - droite). Le résultat de Volume Edit est une nouvelle image 3D.

Une nouvelle pile d'images est créée. Les pixels ne faisant pas partie de la région conservée se voient attribués la valeur du champ **Padding value**. En règle générale, il convient de fixer cette valeur à 0 ou à affecter la valeur de l'air à cette région. Le nouvel objet porte le nom de l'objet dont il est issu suivi de la mention `.modif`.

La figure 26 montre comment isoler une partie de la surface. Le nouvel objet est constitué de coupes où seule la région conservée a les niveaux de gris de l'image originale. Il est possible de travailler et de segmenter ce nouvel objet de la même façon que l'objet original. Sauvegarder ces nouvelles données au format d'un objet `.am` pour pouvoir facilement travailler sur la partie d'intérêt des données.

### 3.6 Transformer géométriquement les données

Dans les propriétés de l'objet, sélectionner l'outil **Transform Editor** (figure 27). Pour configurer la transformation, cliquer sur le bouton **Dialog...** du menu **Manipulator**. Une fenêtre intitulée **Transform Editor** permet de renseigner les paramètres de la transformation souhaitée.

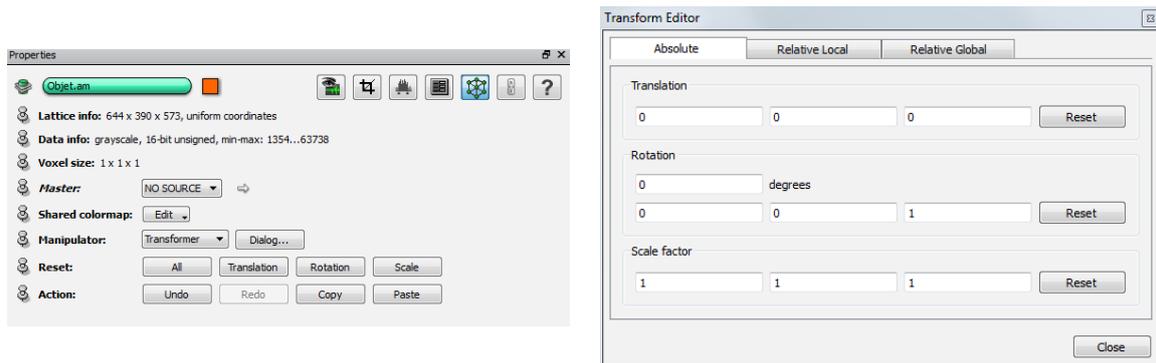


FIGURE 27 – Outil de Transformation des images.

Il est également possible d'effectuer une translation, une rotation ou un grossissement en manipulant directement dans la vue principale avec l'outil **Interact** (la flèche du module 15) comme présenté sur la figure 28.

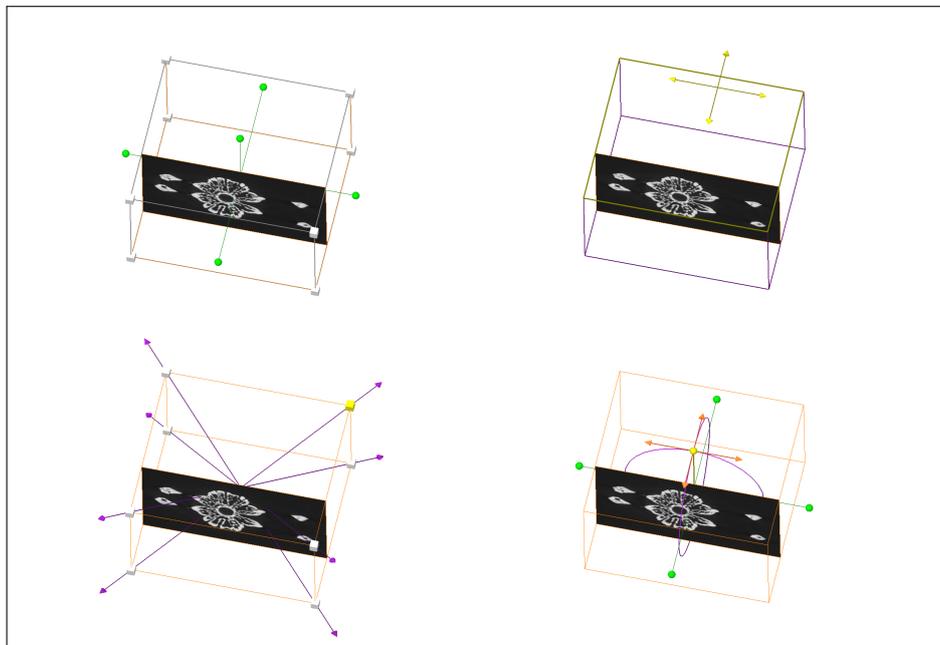


FIGURE 28 – L'outil Transform propose un ensemble de points manipulables (en haut à gauche). Translation (en haut à droite) en agissant sur les points verts. Grossissement (en bas à gauche) en agissant sur les carrés blancs. Rotation en agissant sur le point vert central.

Pour modifier des axes, sélectionner l'outil **Crop Editor** dans les propriétés de l'objet (figure 9).

Le menu **Flip and swap** propose de réaliser des rotations selon les axes (notamment pour créer une image symétrique ou miroir des données originales).

Par ailleurs, cet outil permet de renseigner la taille des voxels (voxel size) a posteriori si elle n'a pas été correctement renseignée lors de l'ouverture des données.

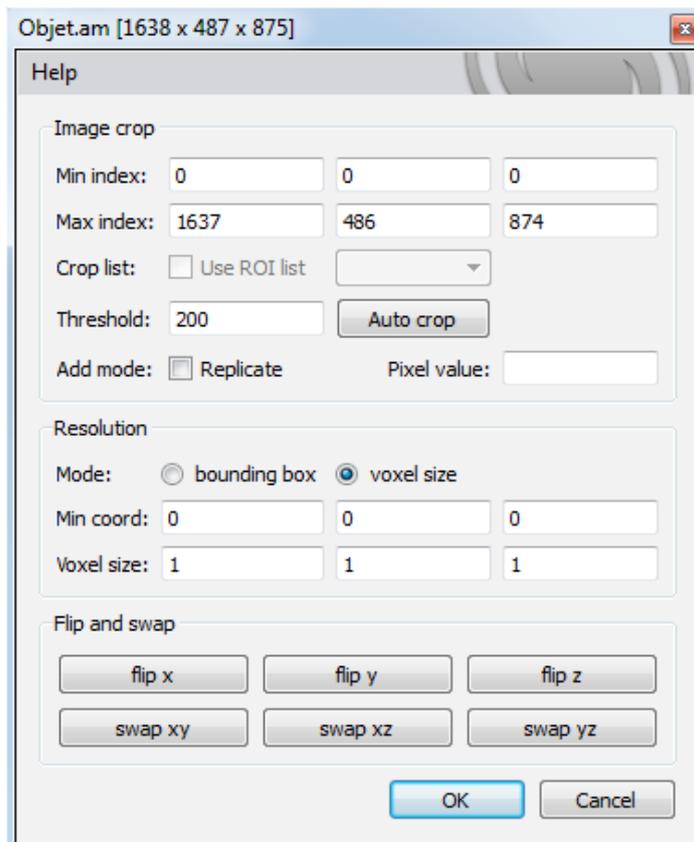


FIGURE 29 – Outil Crop Editor de rognage, modification de résolution et modification des axes.

Le volume transformé est indiqué en italique dans la fenêtre Project View.  
La sauvegarde du volume peut ne pas prendre en compte la transformation.  
Noter les différentes transformations effectuées de façon à pouvoir les retrouver à la prochaine ouverture du logiciel.

### 3.7 Rendu volumique

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 (figure 30). 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.

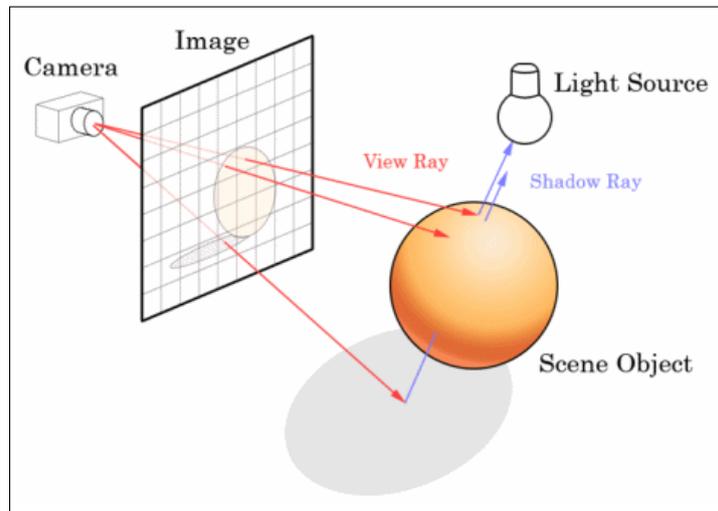


FIGURE 30 – Rendu volumique direct. Principe de l'algorithme de lancer de rayons. (illustration de Jeff Atwood)

L'outil **Display/Volume Rendering** propose de construire le rendu volumique de l'objet. Il se compose de deux parties :

- **Volume Rendering** contrôle l'étape de conversion des niveaux de gris à travers la **Colormap** (voir section 3.8). Par défaut, l'intégralité des niveaux de gris est convertie en transparence. La gamme des niveaux de gris peut être réduite en insérant de nouvelles valeurs minimum et maximum (figure 31). Utiliser l'histogramme pour connaître les valeurs minimum et maximum permettant de décrire au mieux l'objet (voir section 3.3).
- **Volume Rendering Settings** permet d'améliorer la qualité du rendu, de modifier l'éclairage de la scène et d'augmenter la description des contours de l'objet.

### 3.8 Colormap

La colormap permet d'attribuer une couleur à chaque voxel en fonction de son niveau de gris. Elle est construite sur l'ensemble des valeurs de l'image par défaut. Il faut dans un premier temps choisir les valeurs minimum et maximum à visualiser (cerclées de rouge sur la figure 31). L'onglet **Edit** permet ensuite de modifier les couleurs utilisées en chargeant un fichier .col. D'autres colormaps sont disponibles dans Avizo et accessibles via le menu **Edit/Options/Load colormap...**. Le curseur **Alpha scale** gère la transparence du rendu.

Pour créer une colormap personnalisée, utiliser l'outil **Create/Data/Colormap**. Renseigner le champ **Datafield** pour relier la colormap à un jeu de données. Dans les propriétés de la colormap, l'outil **Colormap Editor** permet de construire une nouvelle fonction de colorisation.

À partir de l'objet colormap, créer un objet **Colormap Legend** pour ajouter l'échelle à l'image (figure 31). Préciser les limites min et max dans l'objet Colormap.

Plusieurs options sont disponibles pour éditer la légende :

- Data : le type de colormap utilisé
- Options : custom text édite la légende, vertical modifie l'orientation, font gère la police de caractères et bg color la couleur de fond
- Position : place l'échelle sur l'image
- Size : gère la taille
- Custom Text : modifie la légende, conserver les / pour distinguer les valeurs affichées
- Title : ajoute un titre

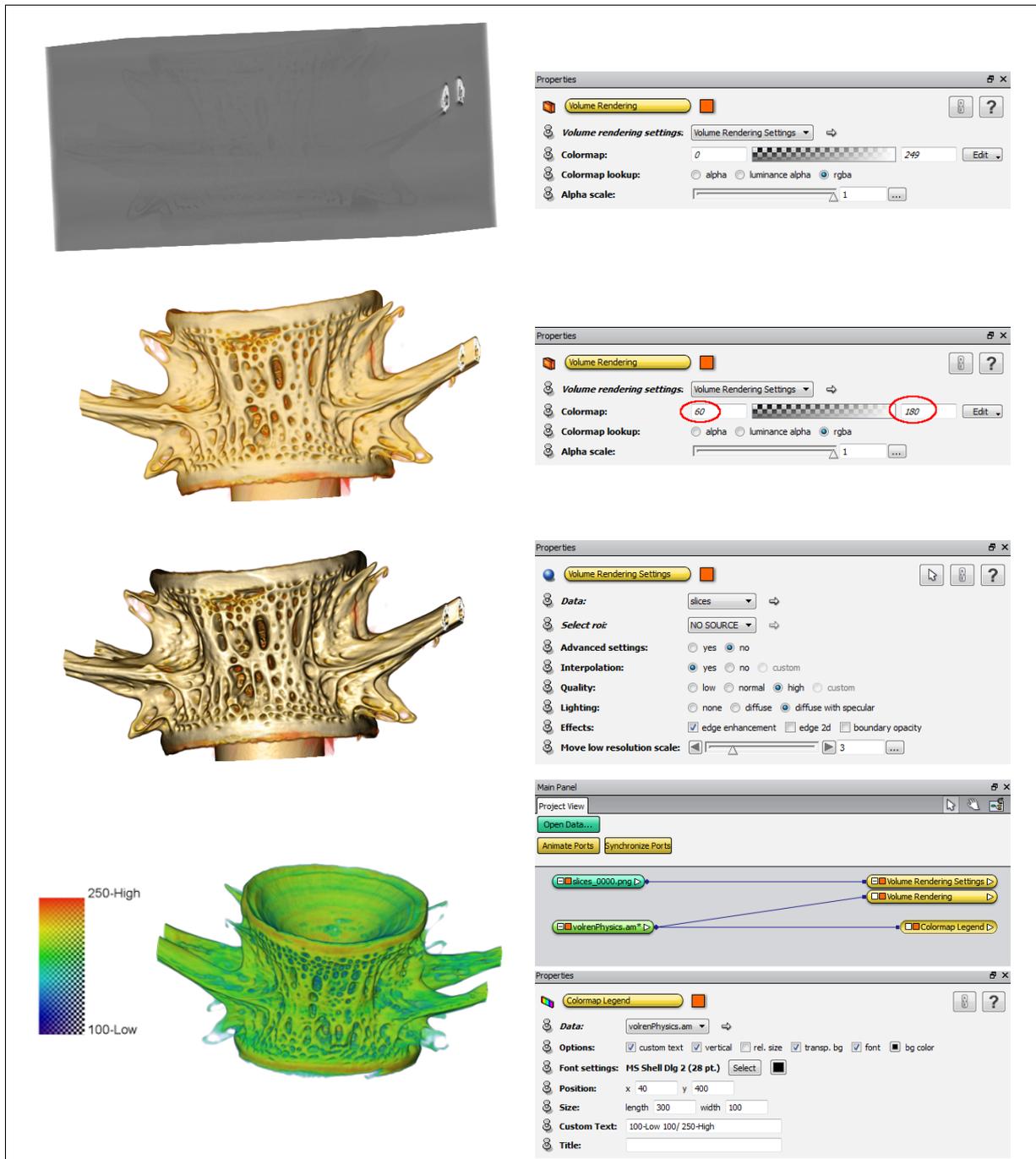


FIGURE 31 – Visualisation du volume avec Volume Rendering. Rendu par défaut (haut), avec modification de la colormap en vorenRed.col (milieu) et avec modification des lumières et amélioration du rendu des contours (bas). Création d'une colormap et de sa légende associée pour un rendu volumique.

## 4 Extraire des surfaces

### 4.1 Isosurface

L'outil **Display/Isosurface** construit la surface englobant les parties du volume dont le niveau de gris est supérieur à un seuil donné. C'est l'équivalent d'un isocontour en trois dimensions. L'isosurface est donc l'outil le plus rapide pour [visualiser](#) la forme extérieure d'un objet ou les contours d'une structure. La figure 32 illustre le principe de construction des isosurfaces avec le cas synthétique d'un cylindre contenant deux autres cylindres de niveaux de gris inférieurs.

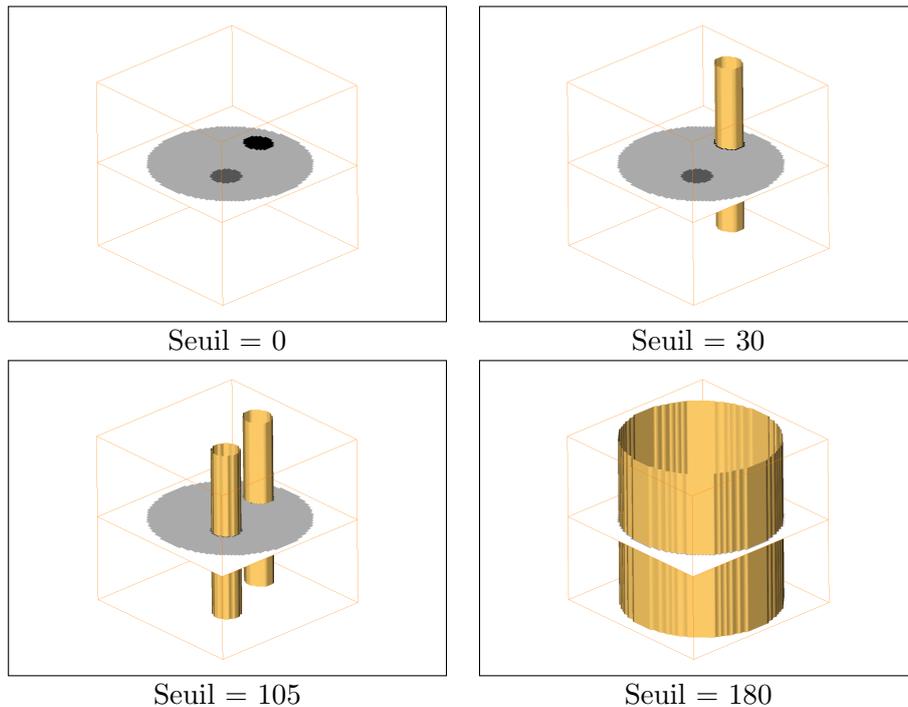


FIGURE 32 – Exemple d'isosurfaces réalisées sur un modèle. Les niveaux de gris des cylindres sont de 180 pour le grand cylindre et 30 et 105 pour les petits respectivement. La valeur du seuil utilisée pour les isosurfaces est indiquée en-dessous de chaque figure.

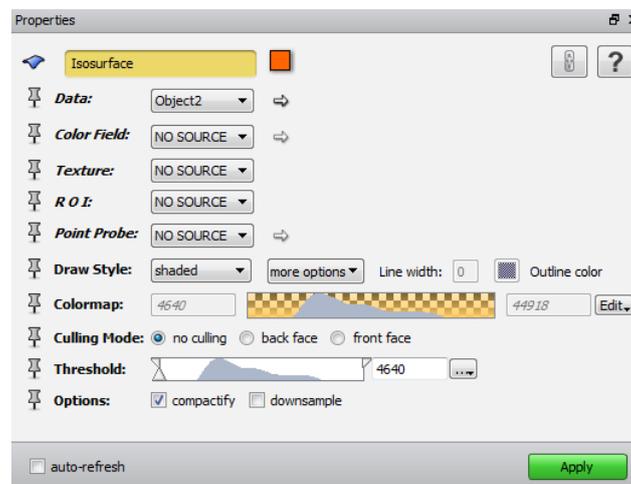


FIGURE 33 – Outil de génération d'isosurfaces.

La valeur du seuil dépend de la structure à isoler. Dans les propriétés de l'isosurface (figure 33), choisir le seuil avec le curseur **Threshold** et cliquer sur **Apply**. Pour les options d'affichage, voir la section 4.2.

Pour créer une surface manipulable à partir d'une isosurface, sélectionner l'outil **Extract Surface** et cliquer sur Apply. Le résultat est une surface triangulée contenue dans un objet .surf (figure 34). Les dimensions de la surface sont affichées dans ses propriétés en termes de nombre de points et de faces. Les sections suivantes présenteront les outils d'édition (4.3) et de simplification (4.4). L'outil de transformation géométrique est similaire à celui contrôlant l'objet et présenté en section 3.6.

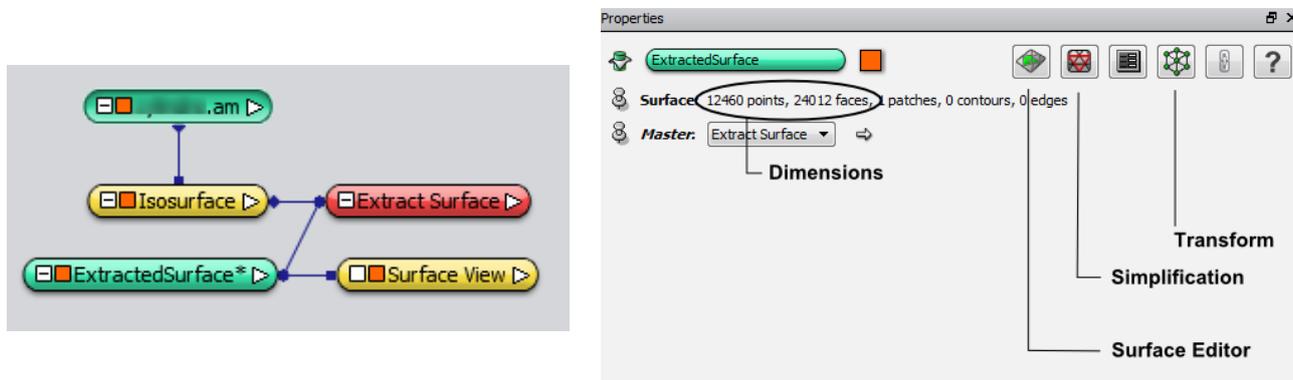


FIGURE 34 – Génération d'une surface à partir d'une isosurface avec l'outil Extract Surface.

## 4.2 Visualiser les surfaces

Pour visualiser la surface, utiliser l'outil **Display/Surface View** à partir de l'objet .surf. La surface apparaît dans la fenêtre principale. Par défaut, la surface contient chacune des régions définies par les labels. Le menu **Draw Style** permet de modifier l'apparence de la surface et de la rendre transparente notamment avec le champ **transparent**. Le champ **Base trans** apparaît et permet de modifier la transparence en réglant le curseur pour une valeur entre 0 et 1. La figure 36 illustre un exemple de surface traitée en transparence.

Pour appliquer un traitement à une région en particulier, sélectionner le label correspondant dans la liste **Materials**. Puis sélectionner dans le menu **Buffer** la fonction appropriée pour ajouter (Add), retirer (Remove) ou redessiner (Draw) cette région.

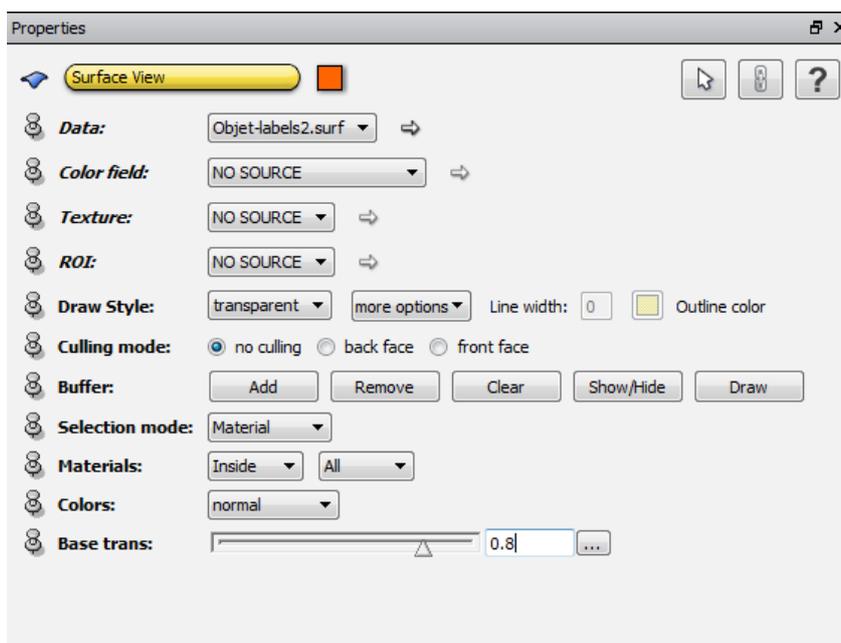


FIGURE 35 – Outil Surface View.

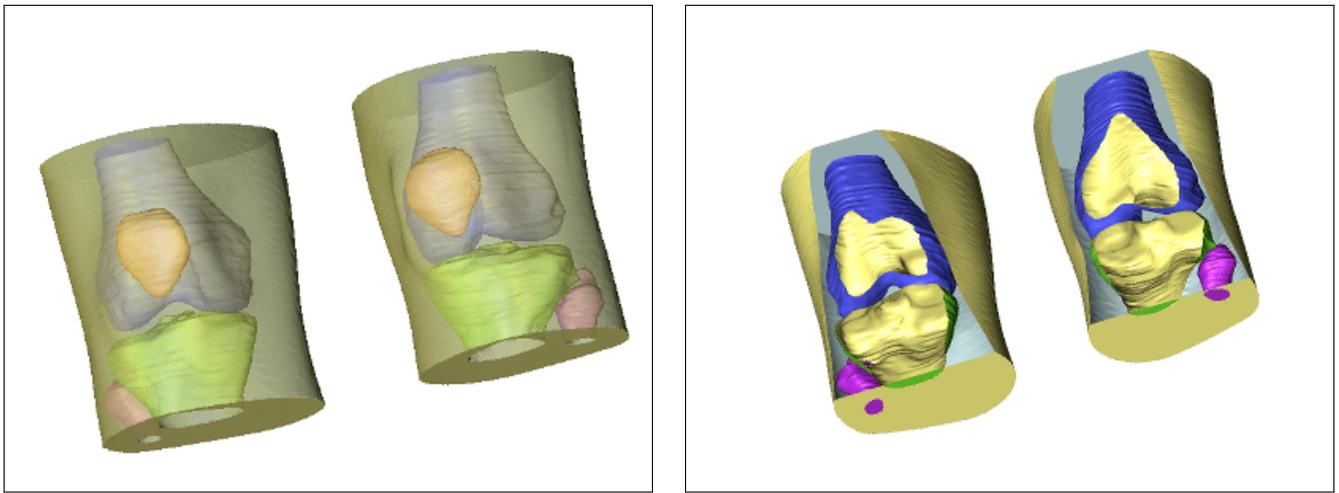


FIGURE 36 – Visualisation de la surface avec un effet de transparence (gauche) et découpée selon un plan oblique (droite).

L'outil **Ortho Slice** permet d'accéder à une coupe de la surface. Dans les propriétés de l'outil, cliquer sur l'outil Clip, voir figure 37. La surface est réduite au niveau du plan de coupe. Pour obtenir l'autre moitié de la surface, cliquer à nouveau plusieurs fois sur Clip. La même démarche est possible avec l'outil **Slice** présenté dans la section 3.1 pour découper la surface selon un plan oblique.

Ne pas afficher les outils Ortho Slice ou Slice en cliquant sur le carré orange pour voir à travers. Un exemple de coupe d'une surface est présenté en figure 37.

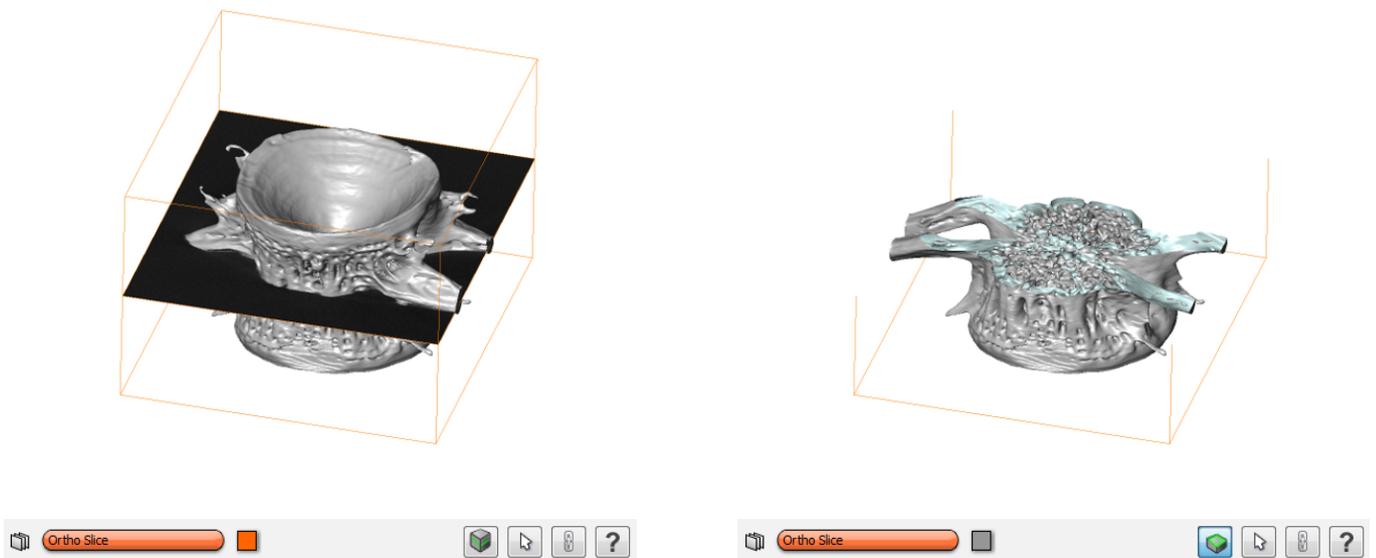


FIGURE 37 – Visualisation de la surface depuis un plan de coupe.

### 4.3 Éditer les surfaces

Avant de modifier les surfaces, veiller à sauvegarder le fichier .surf original et éventuellement simplifier la surface en amont (voir section 4.4).

Dans les propriétés de l'objet surface, sélectionner l'outil **Surface Editor**. Cet outil permet de corriger localement les surfaces et de supprimer une partie de celles-ci. Une nouvelle barre d'outils composée de trois modules apparaît au-dessus de la fenêtre principale. Un nouveau menu intitulé **Surface** apparaît dans la barre de menus.

Pour appliquer un changement à un triangle, il faut que celui-ci soit sélectionné. La sélection d'un triangle est indiquée par une couleur rouge.



FIGURE 38 – Sélection de la surface à éditer.

Le premier module permet de choisir la surface sur laquelle les traitements vont être appliqués. Le plus simple est de réaliser une sélection par matériau. Pour cela, choisir le matériau d'intérêt dans la liste déroulante. Par défaut, la surface est labellisée Inside et la sélection est vide. Plus précisément, la sélection contient les triangles du label Exterior.



FIGURE 39 – Ajout et suppression de triangles.

Le second module permet d'attribuer les triangles sélectionnés au buffer, de les retirer du buffer et de vider le buffer.



FIGURE 40 – Manipulation des triangles.

Le troisième module permet de modifier localement la surface. L'outil **Draw contour to highlight faces** propose de sélectionner des triangles en les entourant directement dans la vue 3D. Pour cela, veiller à avoir sélectionné l'outil **Interact** (la flèche de la figure 15). Par défaut, tous les triangles dans la profondeur du contour dessiné sont sélectionnés. Pour n'ajouter que les triangles visibles, cliquer sur **visible triangles only** dans le menu déroulant de cet outil.

Lorsque la sélection convient, choisir dans le menu **Surface/Edit** le traitement à réaliser sur les faces. La figure 41 illustre l'opération **Surface/Edit/Delete highlighted faces**.

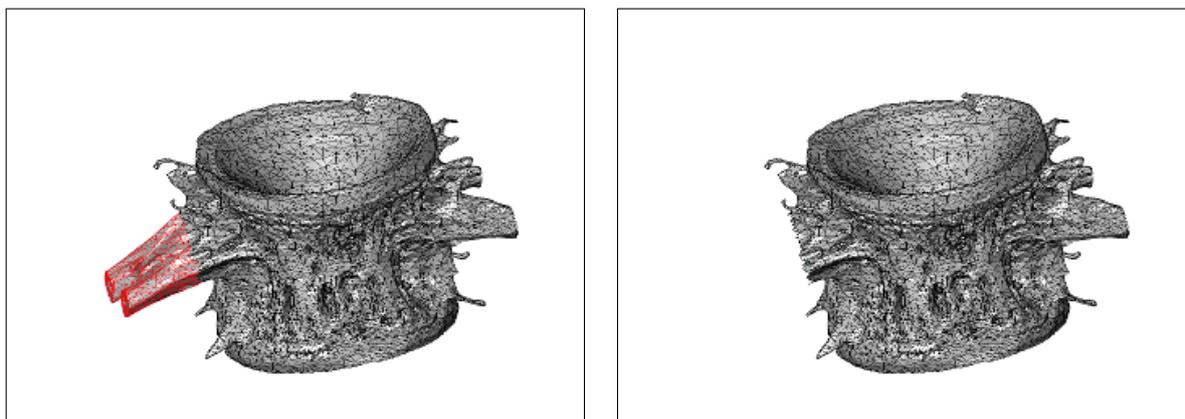


FIGURE 41 – Suppression d'une partie de la surface. Sélection des triangles avec l'outil Draw contour (gauche) et résultat de l'opération (droite).

## 4.4 Simplifier les surfaces

L'onglet propriétés de l'objet .surf indique le nombre de points et de triangles (faces) constituant la surface. Le nombre de points sera d'autant plus élevé que la résolution des images est grande. Cependant, un grand nombre de triangle peut rendre la manipulation de la surface laborieuse. Il est parfois nécessaire de simplifier la surface obtenue avant de l'exporter. Pour cela, utiliser l'outil **Simplification Editor** de l'onglet Properties (figure 42).

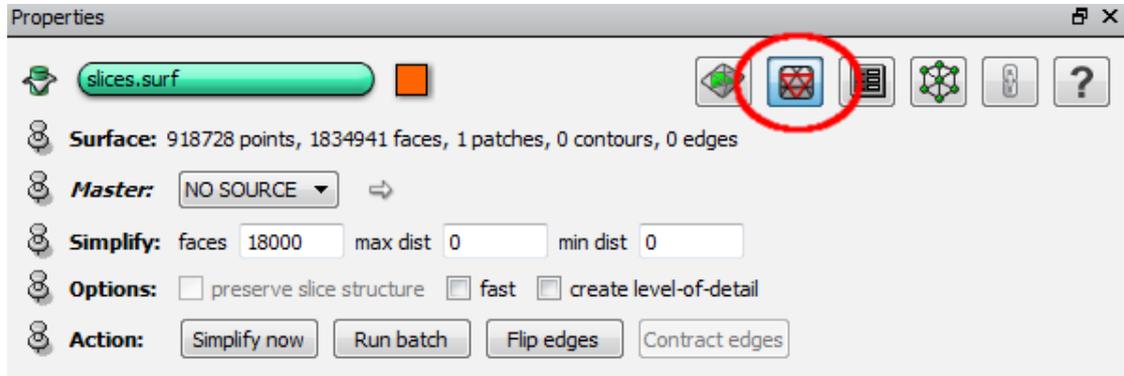


FIGURE 42 – Module de simplification de la surface accessible depuis les Properties de l'objet .surf via l'icône Simplification Editor (entourée en rouge).

Dans le champ **Simplify**, préciser le nombre de faces de la nouvelle surface. Puis, cliquer sur **Simplify now**.

## 5 Segmenter les données

Pour définir différentes régions dans le volume du scan, il faut segmenter les images. Cela consiste à attribuer un label à chaque pixel pour le classifier dans une région donnée. Le label se caractérise par un nom et une couleur. Pour contrôler la segmentation, il faut manipuler l'objet Labels créé à partir de l'outil **Image Segmentation/Edit New Label Field**.

L'objet Labels est une image 3D de mêmes dimensions que les données et dont les voxels sont codés en 8bits (entre 0 et 255). Chaque voxel de l'image Labels va contenir un entier (0,1,2...) correspondant à une structure définie par l'utilisateur.  
L'image de labels est visualisée dans l'environnement de segmentation par la superposition d'un calque de couleur sur l'image 3D originale.

L'environnement de segmentation se présente sous la forme d'une fenêtre d'outils, le Segmentation Editor et de quatre fenêtres de visualisation. La fenêtre 3D interactive est à nouveau disponible en haut à gauche. Les trois autres fenêtres sont des vues orthogonales (selon les plans xy, yz et xz) de l'image3D dont on peut faire défiler les coupes avec un curseur situé en bas de chaque fenêtre ou la molette de la souris.

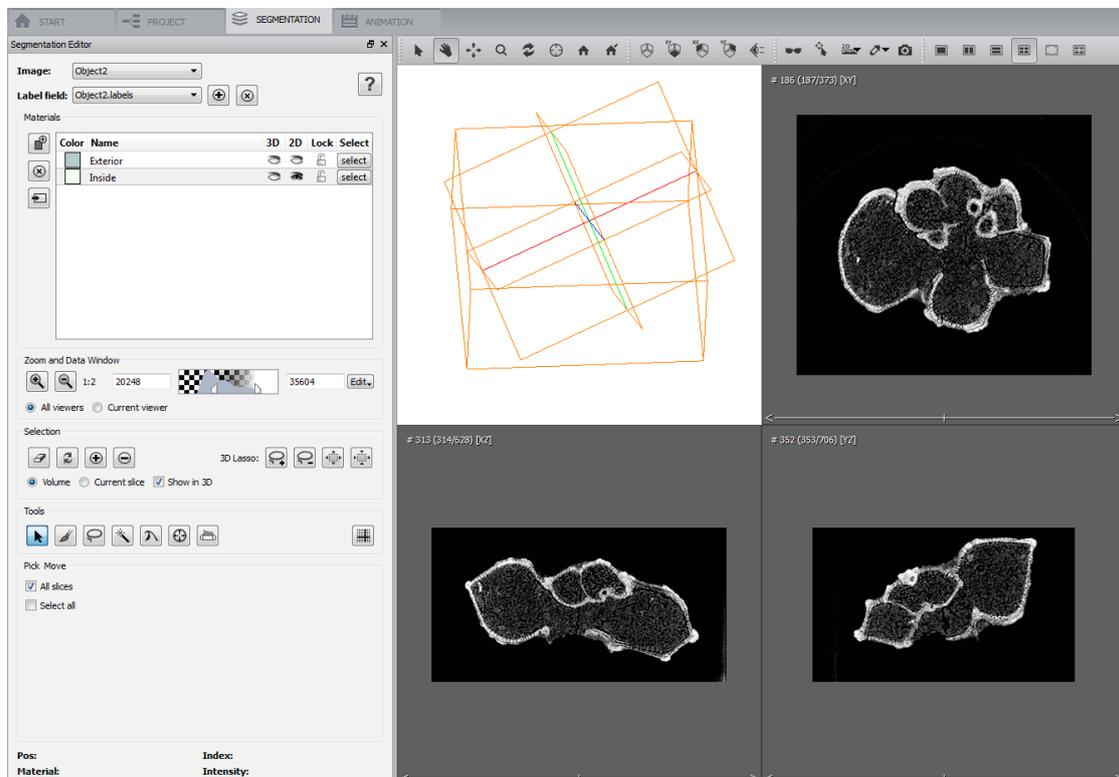


FIGURE 43 – Environnement de segmentation.

### 5.1 Éditer la segmentation

Dans l'outil **Segmentation Editor**, les matériaux Exterior et Inside sont définis par défaut et les voxels sont labélisés Exterior. Plusieurs modules permettent le traitement de la segmentation.

#### – le module Materials

Il permet de gérer la liste des matériaux (ou régions) définis, figure 44. On peut ajouter un nouveau matériau en cliquant sur Add a new material, ou en supprimer en le sélectionnant dans la liste et en cliquant sur Remove. Les matériaux peuvent être affichés ou masqués en cliquant sur l'icône de l'oeil et verrouillés avec le cadenas. À partir d'un clic droit sur un matériau, il est possible de le renommer et de modifier sa couleur. La couleur du label sera affectée à la région générée. Pour le confort de la segmentation, il est plus facile de travailler avec des matériaux dont les couleurs sont vives. Les couleurs pourront être modifiées ultérieurement pour un rendu plus esthétique.

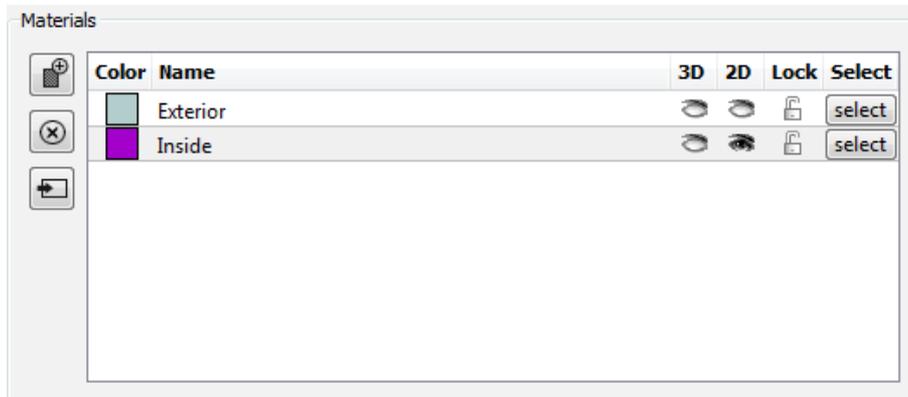


FIGURE 44 – Module Materials.

– le module Zoom and Data Window

Ce module contrôle le niveau de zoom et permet de régler le contraste dans les fenêtres de visualisation des coupes orthogonales (voir section 3.4). Pour faciliter le travail de segmentation, ne pas hésiter à basculer la fenêtre dans laquelle on agit en plein écran (avec l’outil de la figure 18) et zoomer au maximum.

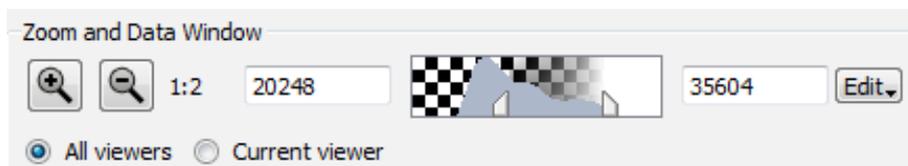


FIGURE 45 – Module Zoom and Data Window.

Les modifications sont affectées à chacune des vues ou à celle sélectionnée seulement en choisissant All viewers ou Current Viewer.

– le module Selection

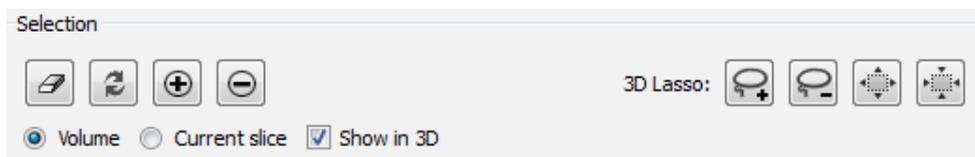


FIGURE 46 – Module Selection.

Segmenter l’image avec Avizo consiste à colorier une zone d’intérêt et à l’attribuer à un matériau. La zone d’intérêt est définie à l’aide d’outils proposés dans le module Tools et s’affiche en rouge dans les différentes vues. Cet ensemble de pixels est appelé sélection.

L’outil gomme efface **toute** la sélection. Le signe + permet d’ajouter la sélection au matériau choisi dans la liste et le signe - de l’enlever. Les outils 3D lasso sont utiles pour dessiner une zone d’intérêt directement dans la vue 3D et l’ajouter ou la soustraire à la sélection. Les outils Grow (resp. Shrink) sélection étendent (resp. restreignent) la sélection d’un voxel.

La sélection peut être affichée sur le volume entier ou seulement sur la coupe de travail. La case Show in 3D permet de visualiser la sélection dans la vue 3D. Cela s’avère pratique pour avoir une idée du rendu surfacique de la sélection mais peut être gourmand en terme de ressources. Aussi, pour alléger les calculs lorsque la sélection est importante, décocher cette case pour désactiver le rendu volumique.

– le module Tools



FIGURE 47 – Module Tools.

- l’outil **Pick and Move** retrace la sélection d’un matériau donné en cliquant à l’intérieur d’une région déjà labélisée et la déplace. La case All slices permet d’effectuer la manipulation sur l’ensemble des coupes de la région.
- l’outil **Brush** dessine directement la sélection à l’aide d’une brosse circulaire (ou carrée en cochant Square brush) dont la taille est paramétrable (figure 49). C’est l’outil de base d’édition de la segmentation. La case Limited range only permet de contraindre le dessin en fixant des seuils min et max pour les niveaux de gris sélectionnables. Cela s’avère très pratique lorsque la région d’intérêt est bien contrastée avec les régions qui l’entourent.

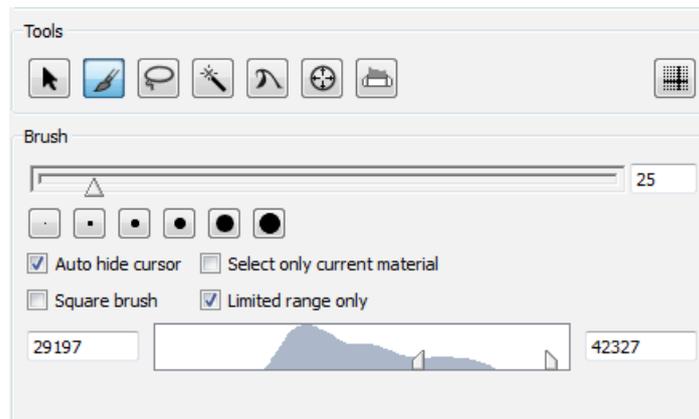


FIGURE 48 – L’option Limited range only contrôle les niveaux de gris des pixels qui seront sélectionnés par la brosse.

La case Same Material only permet d’empêcher la sélection d’une zone déjà labélisée.

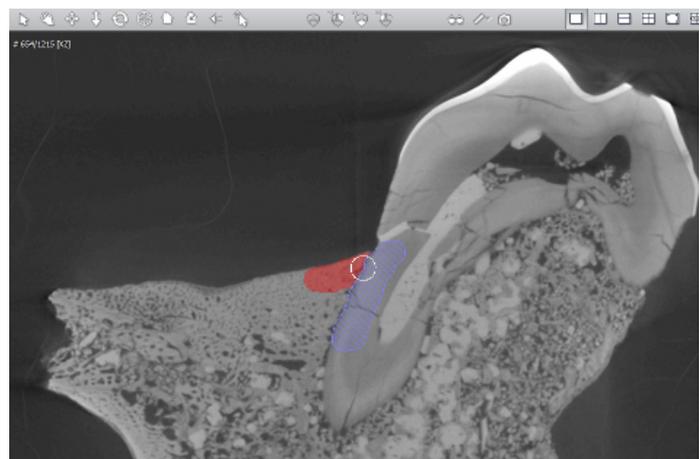


FIGURE 49 – Exemple d’utilisation de l’outil Brush lorsque l’option Same material only est cochée. La nouvelle sélection (en rouge) ne peut pas dépasser sur une région déjà attribuée à un matériau (hachures en violet).

En maintenant la touche CTRL appuyée, l’outil Brush est une gomme.

- l’outil **Lasso** définit une sélection en traçant son contour manuellement (freehand) ou à partir de formes prédéfinies (ellipse ou rectangle). L’option Auto trace adapte le dessin aux contours de l’image mais ne fonctionne que lorsque le contour est très net.
- l’outil **Magic Wand** permet de sélectionner une structure à partir d’un point donné et en procédant par seuillage. Les pixels voisins rejoignent la sélection s’ils sont compris entre des bornes min et max définies par l’utilisateur. La sélection peut s’étendre en 3D, l’outil magic wand permet ainsi d’extraire rapidement des régions dont les niveaux de gris sont homogènes.

Cliquer dans un premier temps sur un point à l’intérieur d’une région d’intérêt. Le niveau de gris du point sélectionné apparaît en rouge dans l’histogramme (figure 50).

Utiliser les curseurs pour réduire la portion d’histogramme à la gamme de niveau de gris comprise entre les seuils min et max et correspondant à la structure désirée.

Cocher la case All slices pour étendre la sélection aux coupes proches. L’outil Show in 3D du module Selection permet de visualiser la zone sélectionnée dans la vue 3D.

La case Same Material only permet d’empêcher la sélection d’une zone déjà labélisée, voir section 6.1.

La case Fill interior sert à remplir des trous dans la zone sélectionnée et ne fonctionne qu’en 2D.

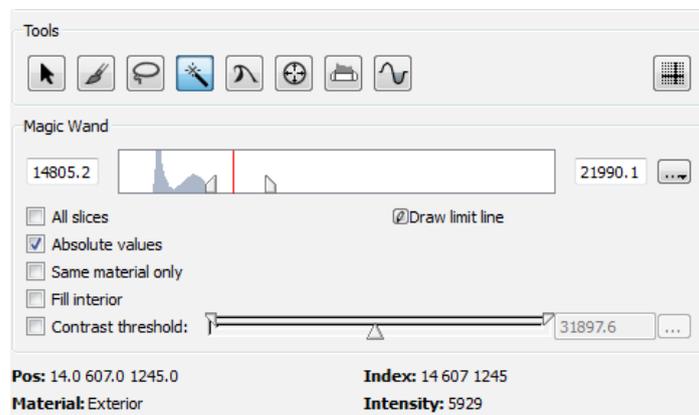
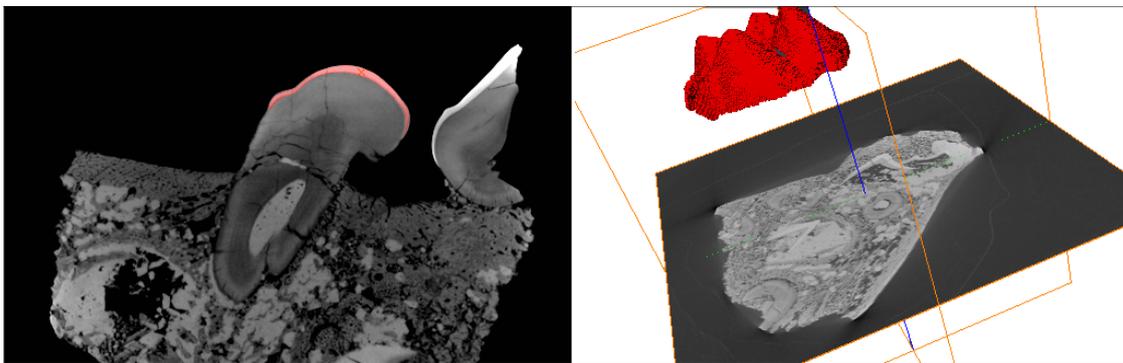


FIGURE 50 – Exemple d’utilisation de l’outil Magic Wand. Le point sélectionné sur l’image apparaît sous la forme d’une croix rouge (haut à gauche) et d’une barre rouge dans l’histogramme (haut à droite). Réduire ensuite la zone de sélection de l’histogramme pour isoler la structure voulue. L’outil All slices étend la sélection et extrait la structure.

- l’outil **Propagating Contour** est basé sur le principe des contours actifs. À partir d’un point initial, la sélection va s’étendre itérativement pour remplir une structure en respectant ses contours. La déformation du contour actif à chaque itération va lui permettre de s’adapter aux contours de l’image. La propagation du contour est contrôlée par des paramètres de sensibilité aux contours, d’intensité de l’image, de courbure et d’attraction aux contours de l’image. Ces paramètres se règlent à partir de l’onglet Menu (voir 51). La propagation a lieu au niveau du volume 3D ou d’une coupe seule. Cliquer sur DoIt pour lancer les itérations. Lorsque le calcul est fini, faire défiler les itérations à l’aide du curseur Time. Si le résultat n’est pas satisfaisant, modifier les paramètres du contour. Pour changer le point initial, cliquer sur Clear.

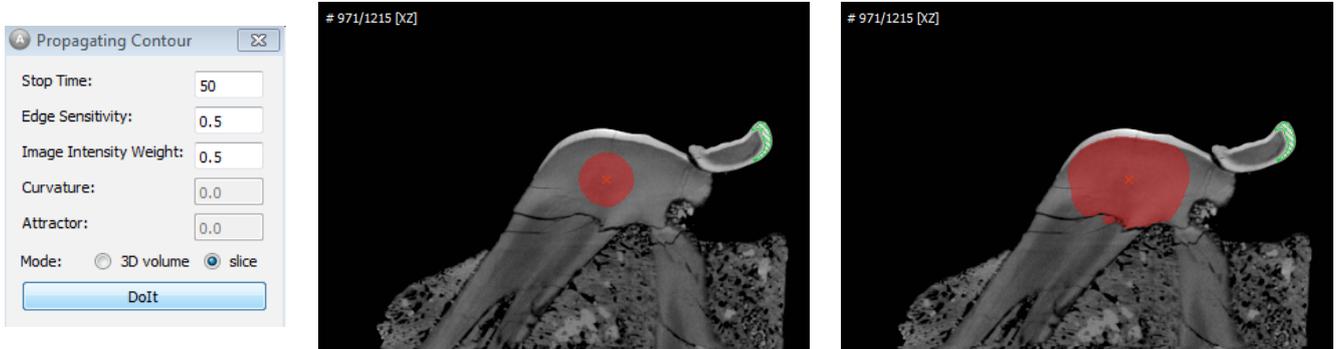


FIGURE 51 – Propagation du contour actif. Gestion des paramètres (gauche) et résultat après 5 itérations (milieu) et 11 itérations (droite).

- l’outil **Blow Tool** étend la zone de sélection à partir d’un point par contrôle à la souris (figure 52). Les paramètres de Tolerance influe sur le contraste nécessaire aux contours de l’image pour contraindre le contour à ne pas les franchir. Avant le calcul, un filtrage est réalisé et le paramètre Gauss width contrôle le lissage du filtre.

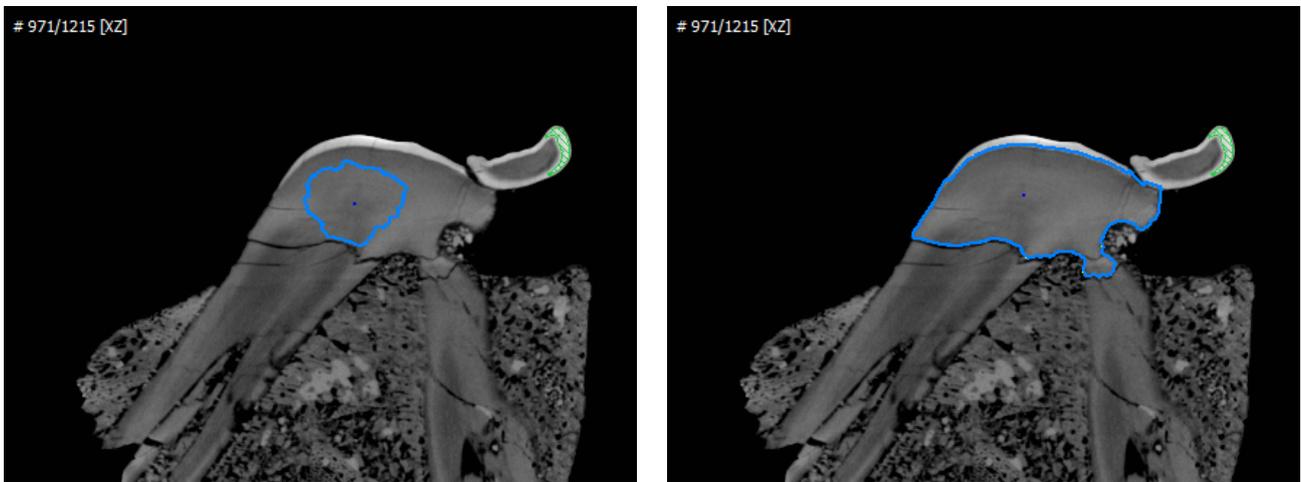


FIGURE 52 – Étapes intermédiaire (gauche) et finale (droite) de propagation à l’aide de l’outil Blow.

- l’outil **Threshold** permet de seuiller globalement l’image. La case All slices propage le seuillage à l’ensemble des coupes et la case same Material only permet d’empêcher la sélection d’une zone déjà labélisée.
- l’outil **Watershed**
- l’outil **Display a crosshair** affiche la position du curseur dans chacune des vues en indiquant les coupes par des lignes de couleur.
- le module d’information situé en-dessous du module Tools renseigne sur le niveau de gris et le matériau attribué au point désigné par le curseur.

## 5.2 Seuillage global

Lorsque les données sont suffisamment contrastées pour que les différentes régions puissent être séparées automatiquement par leurs niveaux de gris, il suffit de définir des seuils globaux. Dans le menu Image Segmentation, choisir l'outil **Multi-Thresholding** (figure 53).

Par défaut, Avizo définit deux régions, Exterior et Inside. Pour définir plusieurs régions, il faut ajouter les noms de matériaux dans la case **Regions** en les séparant par un espace. Il faut les classer dans l'ordre des niveaux de gris. Le bouton **Histo** permet d'accéder à l'histogramme et de visualiser la répartition des niveaux de gris pour mieux définir les seuils.

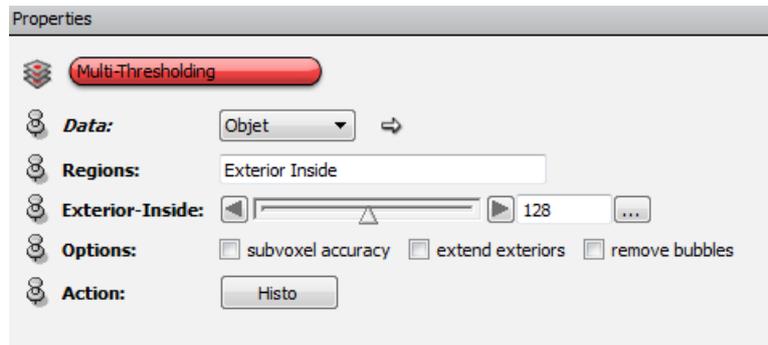


FIGURE 53 – Outil de seuillage global Multi-Thresholding.

Par exemple, pour créer trois régions dans le cas du scan des restes dentaires de la figure 50, on peut caractériser les régions selon leurs seuils respectifs (figure 54). En cliquant sur Apply, un objet de type Labels est créé dans le Project View.

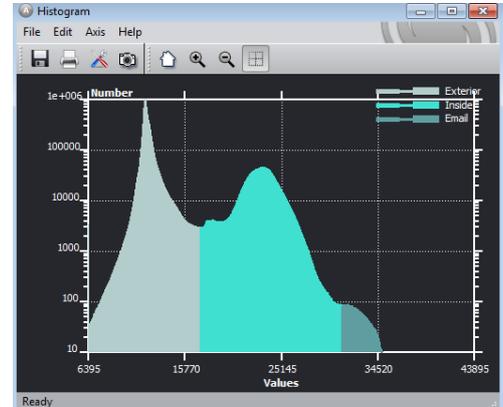
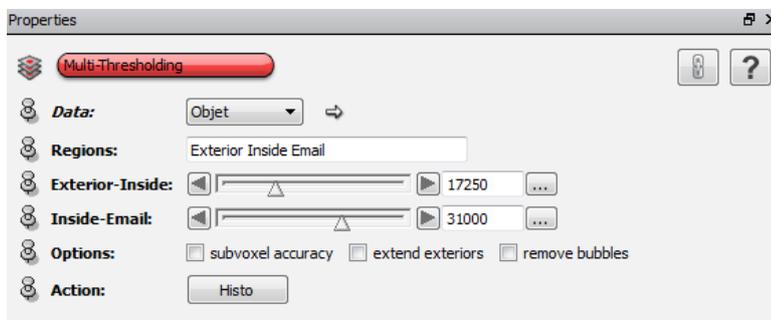


FIGURE 54 – Exemple d'utilisation de l'outil Multi-Thresholding pour segmenter trois régions.

Cette méthode procède à une première étape de classification des voxels en labels. Les matériaux ainsi créés sont ensuite éditables dans l'environnement de segmentation.

### 5.3 Créer les surfaces correspondant à la segmentation

La surface correspondant à la région labélisée peut être visualisée à tout moment de la segmentation. Pour cela, sélectionner l'outil **Generate Surface** depuis les labels dans Project View. Le logiciel considère l'image 3D des labels et construit les surfaces 3D correspondantes selon l'algorithme des marching cubes <sup>1</sup>.

Si plusieurs labels sont définis, les surfaces issues de chaque label sont créées.

Veiller à modifier les couleurs de label pour qu'elles correspondent au type de rendu souhaité avant de générer les surfaces.

Le paramètre **Smoothing** contrôle le lissage de la surface : none procure la surface brute et les commandes unconstrained ou constrained smoothing incluent une étape de lissage des labels avant la création de la surface. Attention, si le lissage est trop élevé (paramètre smoothing extent), les détails de la surface seront perdus.

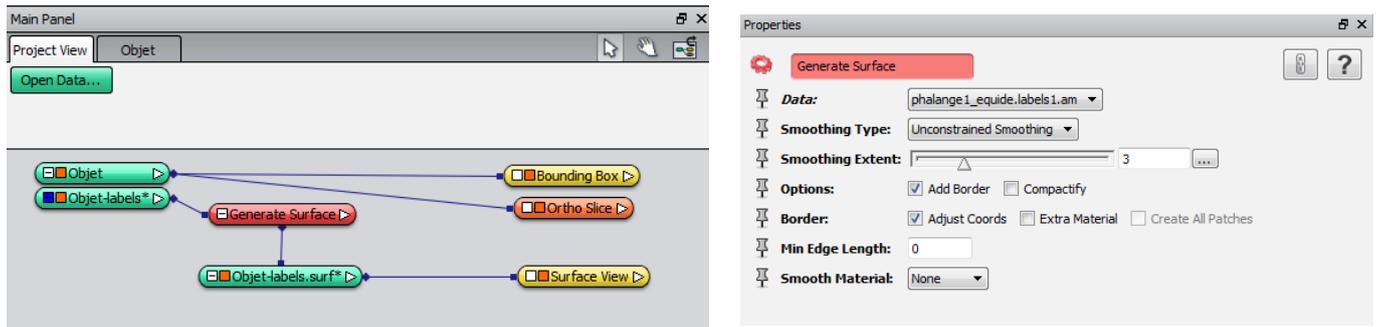


FIGURE 55 – Création et visualisation des surfaces segmentées.

Lorsque la surface générée est trop grande (en terme de nombre de triangles générés), il est possible que le logiciel soit très lent pour générer la surface et/ou qu'il n'y parvienne pas. Un message d'erreur du type de celui de la figure 56 apparaît. Parfois, le logiciel parvient dans des temps raisonnables à calculer la surface, tenter en appuyant sur Continue.

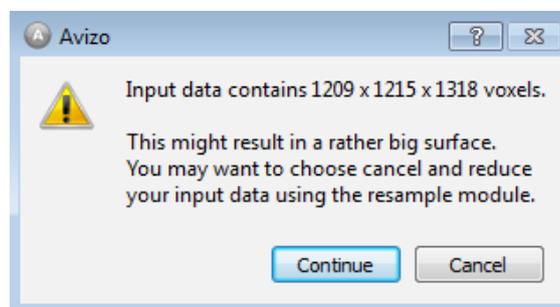


FIGURE 56 – Message d'avertissement incitant à sous-échantillonner les labels.

Dans le cas où cela ne fonctionne pas, il faut alors sous-échantillonner les labels. Pour cela, utiliser l'outil **Compute/Resample** à partir de l'objet labels. Cet outil permet de moyenner les labels sur plusieurs voxels. Le facteur de réduction est spécifié dans le champ **Average**, voir figure 23.

Le résultat est stocké dans un objet de format .surf et on le visualise avec un module **Surface View**, voir section 4.2.

Les surfaces générées peuvent être sauvegardées au format Avizo (.surf) ou exportées dans d'autres formats (STL, PLY, etc).

1. Lorensen, William and Harvey E. Cline. Marching Cubes : A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm. Computer Graphics (SIGGRAPH 87 Proceedings) 21(4) July 1987, p. 163-170)

## 6 Trucs et astuces pour la segmentation

### 6.1 Restreindre une sélection de l'outil Magic Wand

L'outil **Magic Wand** étend la sélection d'une région d'intérêt à partir des niveaux de gris d'une image mais ne peut pas appréhender la notion de contours. Il arrive bien souvent que la structure à isoler soit adjacente à d'autres structures de niveau de gris similaire. L'exemple de la figure 57 montre le cas de la segmentation d'un fémur. Les valeurs de seuillage nécessaires à la sélection de l'os impliquent de sélectionner l'ensemble du squelette lors de la commande **All slices**.

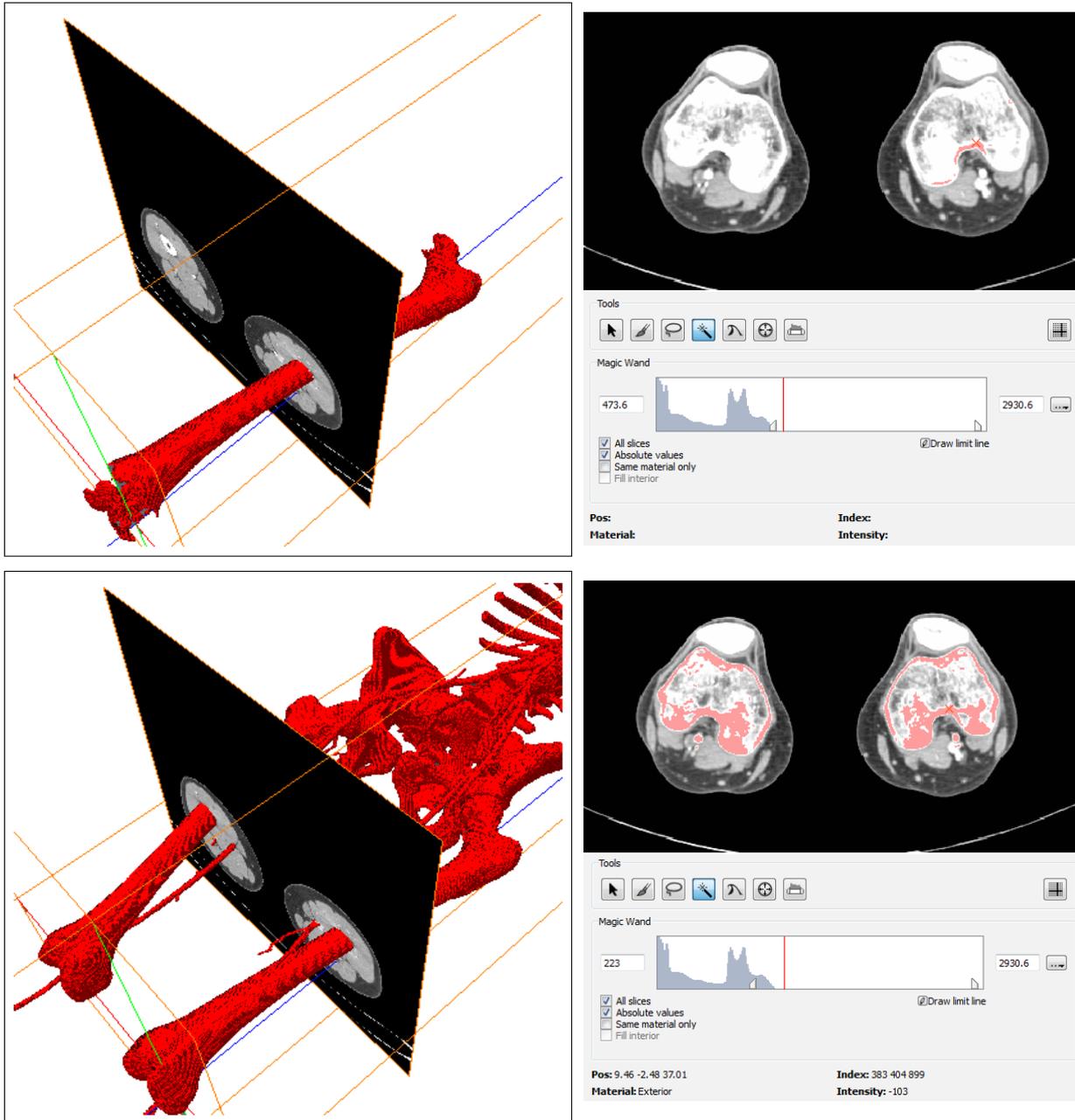


FIGURE 57 – Un seuillage restreint des niveaux de gris ne suffit pas à sélectionner entièrement la structure du fémur, (images du haut). Cependant, un seuillage plus étendu entraîne la sélection de structures non souhaitées (images du bas).

Plutôt que de venir compléter manuellement la sélection des images du haut de la figure 57, il est possible de contrôler la propagation de la sélection en isolant la structure choisie.

### 6.1.1 En créant un matériau frontière

Pour cela, définir un nouveau matériau qui servira de frontière lors de l'utilisation de la baguette magique. Repérer sur les coupes 2D les zones où le contact se fait entre la structure d'intérêt et les autres. Attribuer les voxels posant problème au nouveau matériau sur l'ensemble des coupes où il y a contact.

La figure 58 illustre cette méthode. Le matériau représenté en vert a été créé pour empêcher la propagation de la sélection à l'os voisin. Lorsque l'on utilise la baguette magique, l'option **Same material only** permet de contenir l'expansion de la sélection.

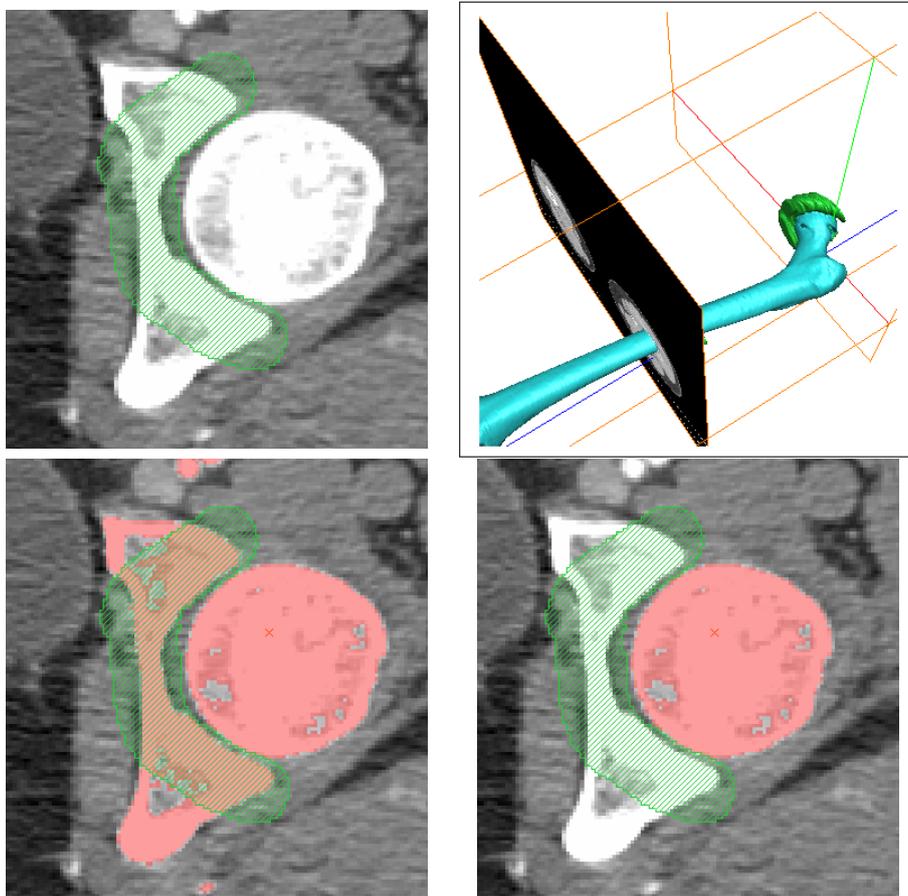


FIGURE 58 – Délimitation de la structure par un autre matériau (en vert). Propagation avec All slices sans (bas à gauche) et avec (bas à droite) l'option Same material only.

### 6.1.2 Sur une coupe avec Draw limit line

L'option **Draw limit line** de l'outil Magic Wand permet de venir éditer une frontière à l'aide d'un crayon directement sur une coupe. La figure 59 présente le cas de la séparation de deux os. L'étendue de la baguette magique est limitée par la ligne dessinée.

Noter que cette frontière n'est réalisée qu'en 2D et doit être décrite sur chaque coupe avant de propager en 3D avec l'option All slices.

## 6.2 Générer la surface correspondant à un matériau en particulier

Si l'on souhaite visualiser la surface correspondant à un matériau, l'étape de rendu surfacique est inutilement alourdie par la génération de l'ensemble des surfaces. Pour isoler un matériau d'intérêt, utiliser l'outil **Compute/Arithmetic** à partir de l'objet labels. Dans les propriétés du module Arithmetic, vérifier que l'input A est la carte de labels, voir figure 60.

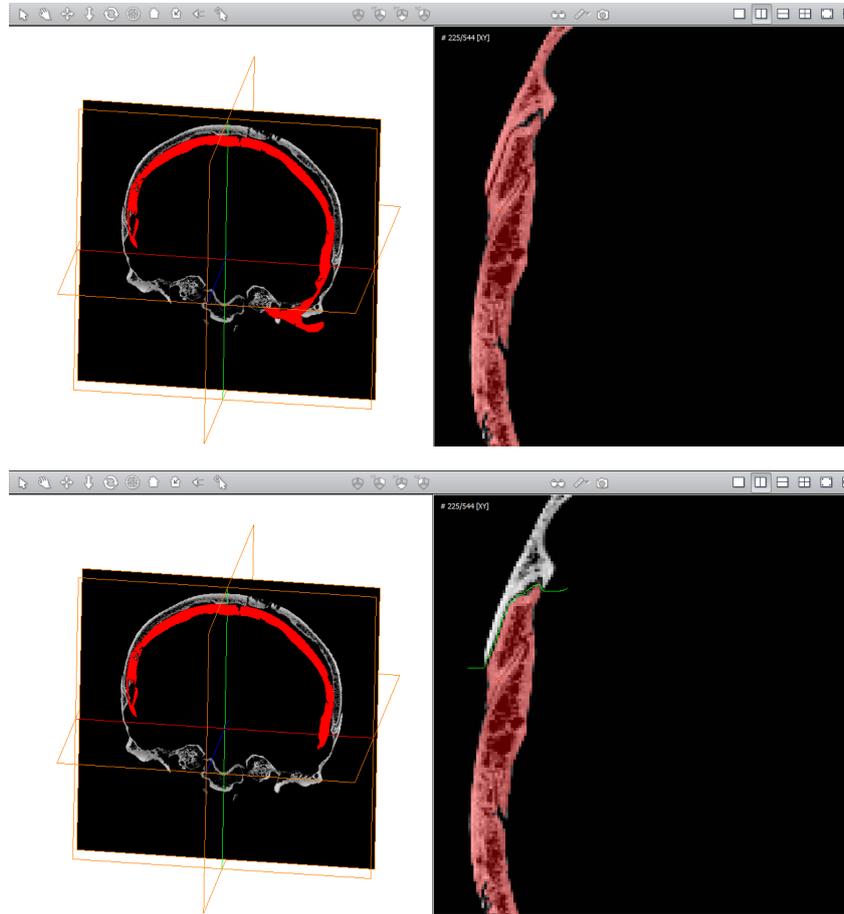


FIGURE 59 – Il n’y a pas de valeurs de seuils pour la baguette magique permettant à la fois de sélectionner tout l’os et d’exclure l’autre (image du haut). Aussi, il faut venir dessiner la séparation avec l’outil Limit line avant de procéder à la propagation.

La carte de labels possède des valeurs entières numérotées 0 pour l’extérieur puis 1 pour le premier matériau de la liste, 2 pour le second etc. Pour extraire un matériau (par exemple le troisième) renseigner le champ **Expr** par une formule de type  $A==3$ . Pour en extraire plusieurs, utiliser l’opérateur logique OU représenté par le signe  $\|$  (AltGr+6). Par exemple, pour isoler les matériaux 2 et 4, l’expression est  $(A == 2)\|(A == 4)$ .

Cette manipulation permet de créer une carte de labels pour générer une surface. Par contre, cette carte n’est plus attachée à un jeu de données, il n’est donc pas possible de l’éditer. Pour générer une carte de labels éditable, voir la section 6.3.

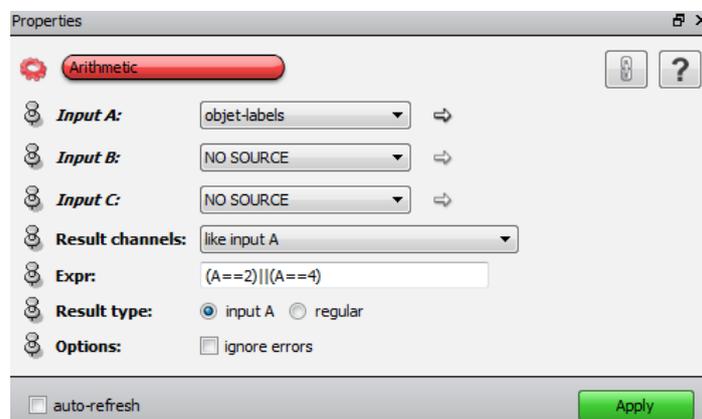


FIGURE 60 – Module Arithmetic pour l’extraction d’un ou plusieurs matériaux donnés.

### 6.3 Réduire le nombre de labels aux matériaux d'intérêt

Lorsque de nombreux matériaux "de travail" sont créés, ceux-ci deviennent superflus. Bien entendu, il est possible de les supprimer. Mais si l'on souhaite les conserver pour des modifications ultérieures, il vaut mieux extraire les matériaux d'intérêt.

Pour cela, utiliser l'outil **Compute/Arithmetic** qui permet de générer un nouvel ensemble de labels à partir d'une opération arithmétique ou booléenne. Le module Arithmetic réalise une opération entre 1 à 3 objets. Pour séparer des labels, il faut lier le module aux images (input A) et aux labels (input B). Ces liens sont définis à partir de l'arborescence dans la fenêtre Project View où dans les propriétés, voir figure 61.

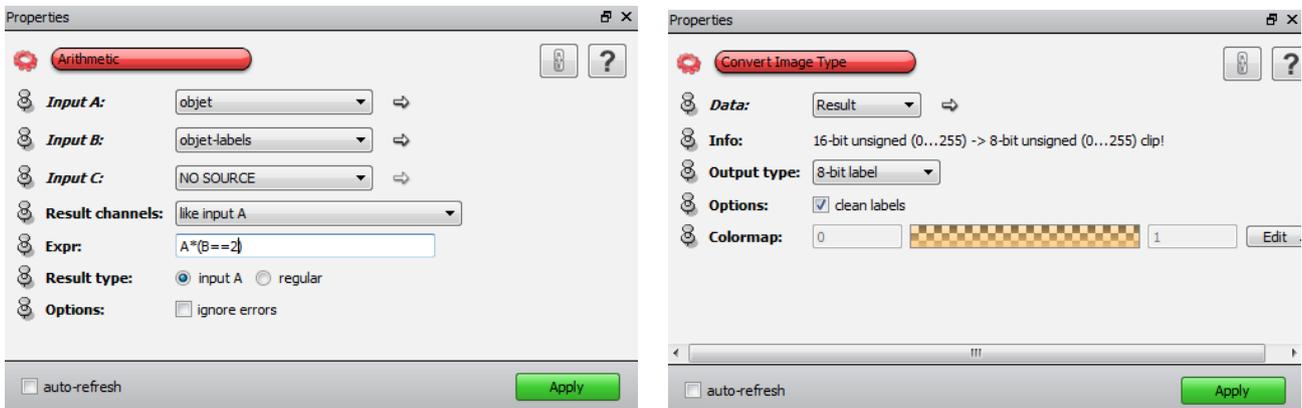


FIGURE 61 – Propriétés de l'outil Arithmetic et l'outil ConvertImageType

L'opération est définie dans le champ **Expr** par une formule impliquant l'objet et les labels. Le détail de la construction de la formule est présenté dans la section 6.4.

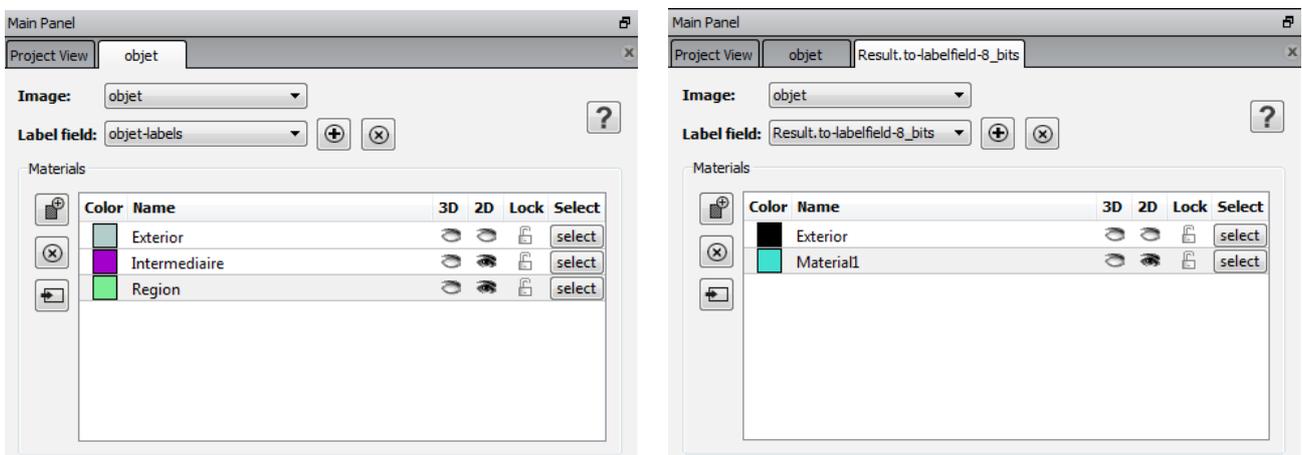


FIGURE 62 – Module Materials de la segmentation de l'objet (objet-labels à gauche) et du résultat de l'opération arithmétique (Result.to-labelfield-8\_bits à droite).

Pour obtenir une nouvelle carte de label, il faut convertir le résultat de l'opération avec l'outil **Convert/Convert Image Type** (figure 61) en modifiant le champ **Output Type** en 8-bit label. L'option **Clean labels** permet de supprimer ceux qui sont vides. Le résultat de cette conversion se comporte comme une nouvelle carte de labels. L'arborescence de cette manipulation est représentée dans la figure 63.

### 6.4 Opérations arithmétiques et booléennes sur les labels

Pour manipuler les labels, il faut partir d'un ensemble d'images en entrée A et d'une carte de labels en entrée B. L'objet créé sera du même type que A à savoir des images en niveaux de gris codées sur 16bits. La carte de labels possède des valeurs entières numérotées 0 pour l'extérieur puis 1 pour le premier matériau de la liste, 2 pour le suivant etc.

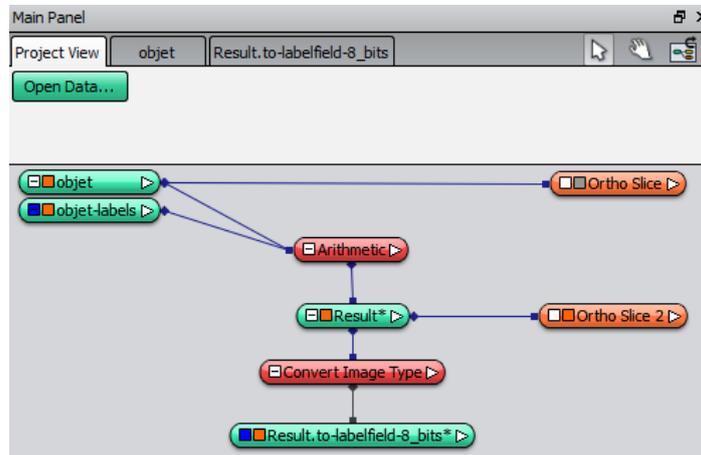


FIGURE 63 – Étapes de la création d’une nouvelle carte de labels à partir d’une première segmentation contenant des matériaux à ne pas conserver.

Pour trier les pixels de A à conserver, on réalise une multiplication entre A et un mask de valeurs 0 ou 1. Le pixel conserve sa valeur pour  $A \times 1$ . Il prend la valeur 0 pour  $A \times 0$ .

Dans l’exemple de la figure 62, la segmentation de la région d’intérêt a nécessité la construction d’un label intermédiaire que l’on ne souhaite pas conserver. Ici, le seul matériau à conserver est celui indexé 2. La formule permettant de l’extraire (figure 61) consiste à ne conserver que les pixels labélisés 2. L’équation logique  $B == 2$  aura pour résultat 1 (true) pour les pixels labélisés 2 et 0 (false) pour tous les autres. Ainsi l’expression complète de cette opération arithmétique est  $A \times (B == 2)$ .

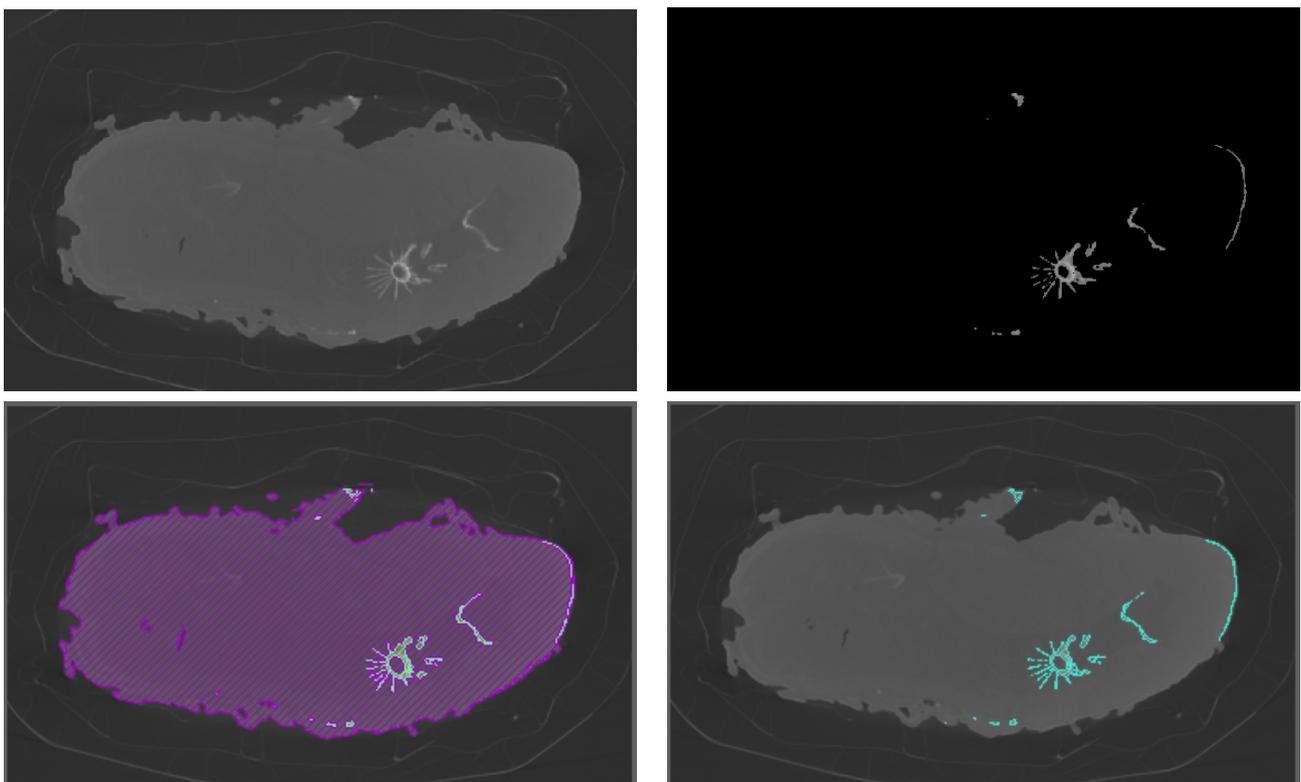


FIGURE 64 – Effet de l’opération Arithmetic présentée sur la figure 63. Image originale (haut à gauche) et image de résultat (haut à droite). Labels originaux (bas à droite - intermédiaire en violet et région en vert) et Labels issus de résultat (bas à droite - matériel en bleu).

Il est possible de réunir deux matériaux au sein d’un même label. Pour cela, il faut utiliser l’outil Arithmetic présenté dans la section 61 et l’opération booléenne OU représenté par le signe  $\parallel$  (AltGr+6). Pour créer un nouveau label en unissant les labels 1 et 3 de B, l’expression est  $A \times (B == 1) \parallel (B == 3)$ . Pour le cas où les labels à unir sont indexés à la suite (par exemple 3,4 et 5), les opérateurs  $>$  et  $<$  sont également proposés. L’expression sera de type  $A \times (B > 2)$ .

## 7 Exploiter les résultats

### 7.1 Réaliser des mesures

L'outil de mesure est accessible depuis le menu **Create/Measure/Measurement** ou depuis la barre d'outils de la figure 17. L'onglet Properties propose d'éditer des distances ou des angles 3D. Le pick mode doit être **Accurate** plutôt que Fast et le **Snapping** (l'aimant) doit être désactivé (figure 65).

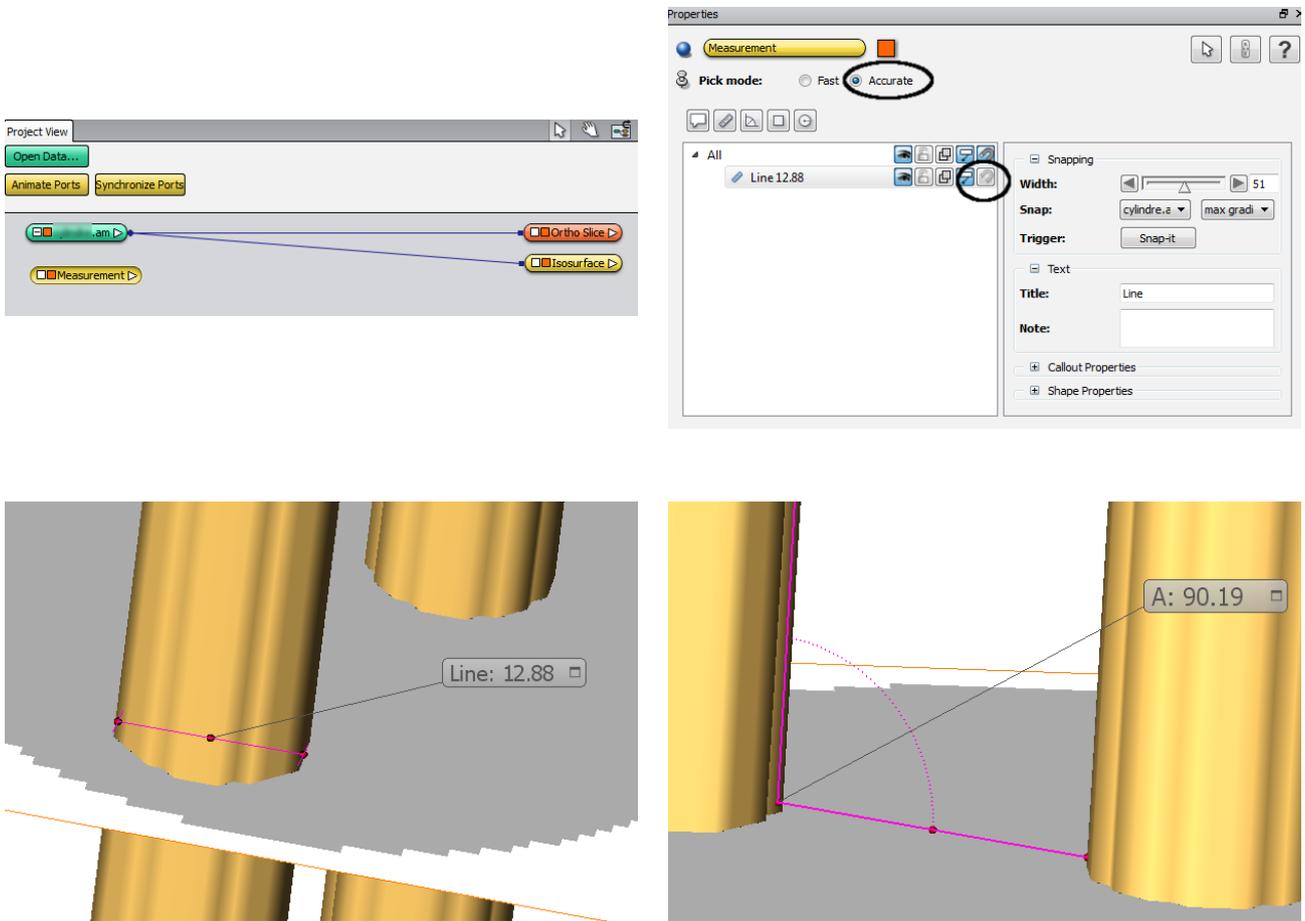


FIGURE 65 – L'outil Measurement (haut) et des calculs de distance 3D sur une isosurface (bas à gauche) ainsi que d'un angle 3D (bas à droite).

Le curseur d'interaction affiche un M pour indiquer qu'il est possible de placer un point. Pour modifier un point déjà existant, cliquer sur celui-ci et le déplacer en maintenant le bouton gauche appuyé. Dans le cas de la mesure d'un angle, manipuler les points situés au milieu des segments pour ne déplacer qu'un point à la fois.

À tout moment, basculer dans l'environnement Trackball (la main) pour manipuler l'objet et l'orienter dans la configuration où le point est le plus accessible.

La couleur et les dimensions du label de la mesure sont éditables à partir des menus Text, Callout Properties et Shape Properties.

L'outil **SurfaceThickness** calcule l'épaisseur d'une surface en chaque triangle en mesurant la distance au triangle le plus proche dans une direction normale.

Le résultat de cette mesure est un scalaire pour chaque triangle de la surface et est stocké dans un objet portant le nom de la surface et une extension `.Thickness`.

Visualiser cette mesure à l'aide d'un module **Surface View** et en adaptant la Colormap aux valeurs min et max d'épaisseur.

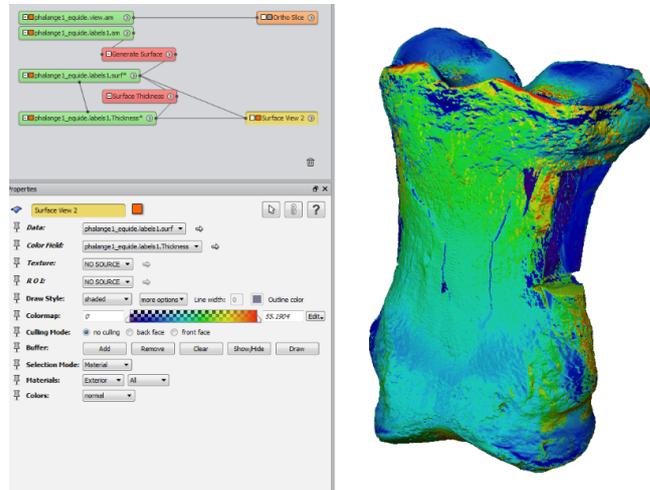


FIGURE 66 – Outil SurfaceThickness de mesure d'épaisseur d'une surface et sa visualisation avec SurfaceView.

L'outil **SurfaceStatistics** donne des informations sur une surface sous la forme d'un tableau.

## 7.2 Poser des landmarks

Le logiciel propose une interface pour poser interactivement des points d'intérêts (landmarks) sur une surface et sauvegarder leurs coordonnées 3D.

Faire un **clic droit** dans le fond de la fenêtre ProjectView, puis choisir la commande **Create Object**. Choisir de créer un objet **Points and Lines / Landmarks**.

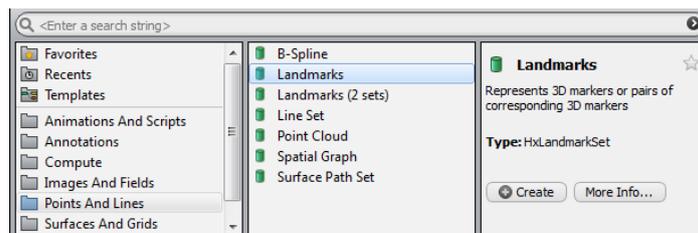


FIGURE 67 – Outil de création d'un jeu de données de type Landmarks.

L'édition des landmarks est contrôlée par le **Landmark editor** accessible depuis les propriétés du module Landmarks (figure 68).

Pour ajouter de nouveaux landmarks, sélectionner le **Edit mode Add** et poser les points sur la surface avec l'outil Interact (la flèche de la barre d'outils 15) actif dans la fenêtre de visualisation 3D.

Utiliser l'outil Trackball (la main de la barre d'outils 15) pour positionner la surface de façon à poser le landmark précisément. Il sera toutefois possible d'affiner la position du landmark par la suite en le déplaçant. Noter qu'un landmark ne peut qu'être placé en contact avec un triangle de la surface.

Pour modifier ou supprimer les landmarks, choisir le mode d'édition correspondant (Move ou Remove) et suivre les instructions affichées en bas de la fenêtre du logiciel.

L'apparence des landmarks est configurable avec un module **Landmark-View** associé au module Landmarks.

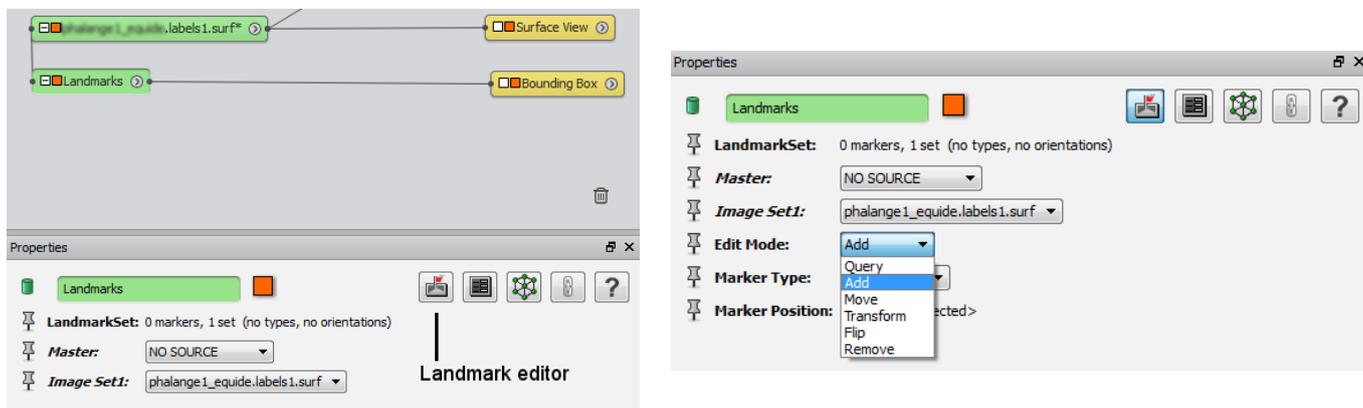


FIGURE 68 – Outil Landmarks Editor.



FIGURE 69 – Modifier l'apparence des landmarks avec l'outil Landmark-View.

Décider de l'ordre dans lequel les landmarks sont placés sur la surface avant de les poser. L'option Move ne change pas la position du landmark dans la liste.

Les données associées aux Landmarks sont exportables au format ascii et se présentent sous la forme d'une liste de coordonnées 3D. Ce fichier est exploitable par un éditeur de texte.

### 7.3 Exporter des captures d'écran

Pour sauvegarder l'image de la fenêtre principale, utiliser l'outil **Snapshot** de la barre d'outils en figure 17. La vue peut être exportée vers un fichier, une imprimante ou copiée dans le presse-papiers. Les dimensions de l'image sont liées à la résolution de l'écran par défaut mais il est possible de les modifier dans **Offscreen width et height**.

Choisir un nom de fichier et une destination ainsi qu'un format. Noter que le format PNG accompagné d'un export de type **rgb alpha** permet de rendre le fond transparent. Cela rend l'image plus facile à importer dans des documents de type présentations ou posters.

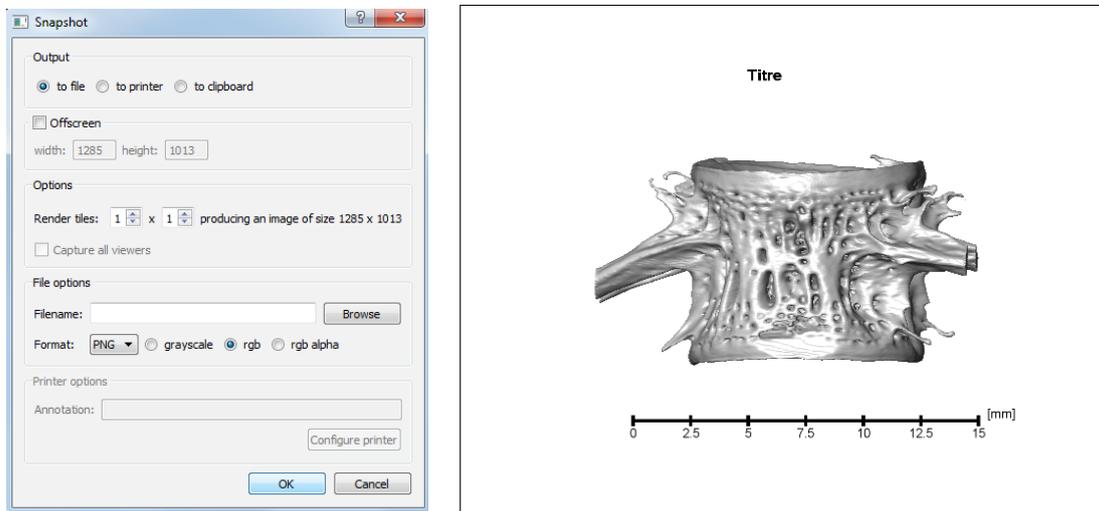


FIGURE 70 – Enregistrer une vue de la fenêtre principale.

Les informations sur l'image exportée de la figure 70 ont été ajoutées avec les outils suivants :

L'outil **Create/Scalebars** permet d'ajouter une échelle à l'image. Les propriétés de l'échelle sont éditables dans les propriétés, voir figure 71.

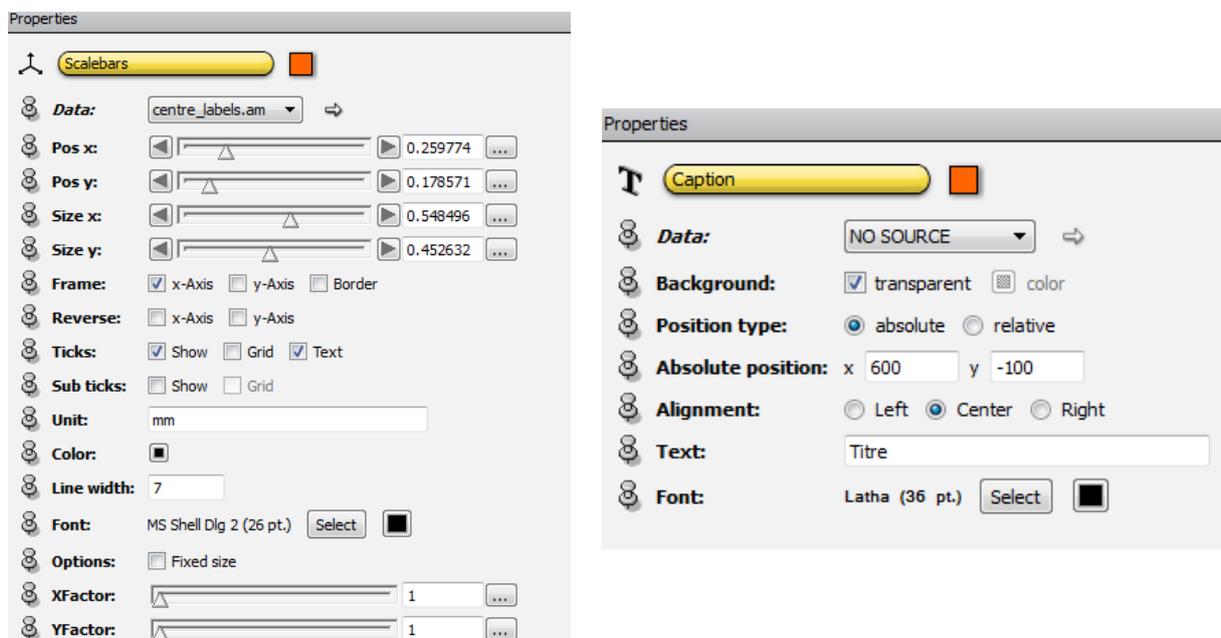


FIGURE 71 – Outils Scalebars et Caption d'édition des images pour l'export.

- **Data** : renseigne les données à caractériser par l'échelle
- Pos x, Pos y : place l'origine de l'échelle de l'image
- Size x, size y : modifie la longueur de l'échelle
- Frame : indique les axes renseignés par l'échelle
- Reverse : permet de graduer à l'envers
- Ticks et Sub-ticks : modifie les graduations
- **Unit** : renseigne l'unité (en mm).
- Color, Line width, Font : modifie la police de l'échelle. Ne pas hésiter à augmenter sa taille pour qu'elle soit bien visible sur l'image exportée car celle-ci sera probablement réduite.
- Fixed size, XFactor, Yfactor : ces paramètres influent sur la taille de l'objet. Ne pas les modifier.

L'outil **Create/Caption** permet d'ajouter une annotation ou un titre à l'image.

## 7.4 Créer un film

L'environnement de création de films est accessible via l'onglet Animation et se présente sous la forme d'une fenêtre de contrôle associée à une échelle de temps (figure 72). Cette interface est similaire à la plupart des logiciels de montage. Il s'agit d'associer des événements (rotation de caméra, effet visuel...) à un moment ou une durée dans la séquence finale.

Les modules de l'environnement Project View ont désormais une icône chronomètre s'affichant à gauche de tous les paramètres pouvant être animés.

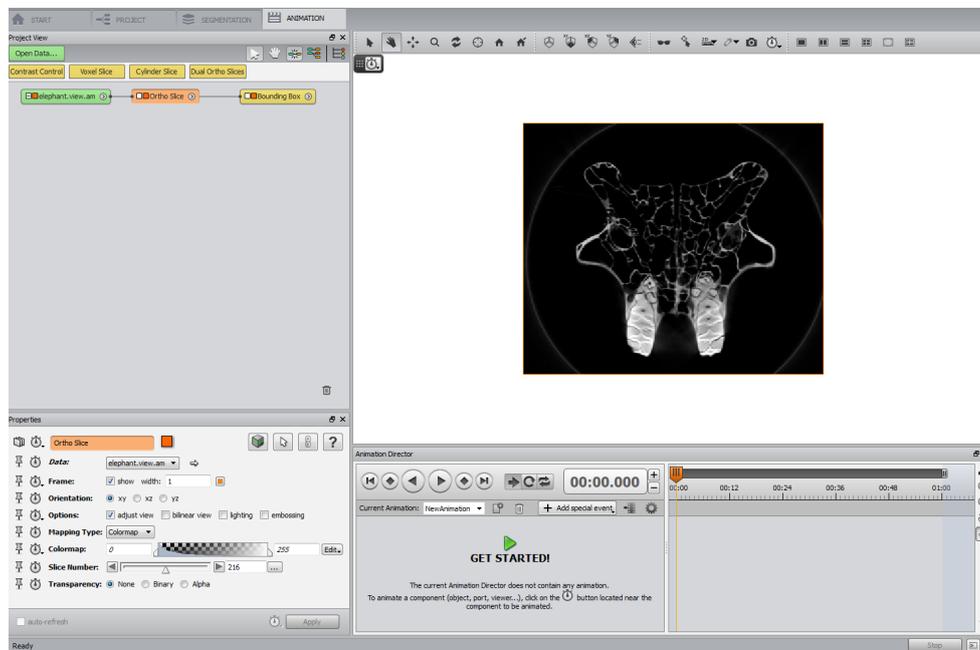


FIGURE 72 – Environnement Animation.

Les différents objets présents dans le Project View doivent être réglés tels que souhaités pour le début de la vidéo en terme de positionnement, couleur, etc. Pour changer la couleur du fond, plusieurs options sont proposées dans **View/Background....** Il est possible d'afficher un repère ou une grille avec l'objet Global Axes depuis le menu **View/Axis**.

Les événements peuvent être ponctuels, d'une durée définie ou se dérouler sur l'ensemble de la vidéo.

### 7.4.1 Parcours des coupes

Pour créer un film de défilé dans les images selon une orientation donnée, le paramètre variant dans la vidéo est le **Slice Number** d'un module Ortho Slice.

Choisir la vue initiale en positionnant le Slice Number sur la première image qui apparaîtra sur la vidéo. Cliquer sur le chronomètre associé. Un événement intitulé Ortho Slice / Slice Number est créé dans la fenêtre Animation Director au temps 00 :00 (figure 73). En passant la souris au-dessus du losange orange symbolisant l'évènement initial, on vérifie que l'évènement a les bons paramètres (dans cet exemple, slice 216 à t=0).

Déplacer le curseur de temps orange jusqu'à la durée de fin de l'évènement (en secondes). Choisir la vue finale en positionnant le Slice Number sur la dernière image qui apparaîtra. Cliquer à nouveau sur le chronomètre. Cela crée l'évènement de fin d'animation avec les paramètres choisis (ici, slice 431 à t=1min).

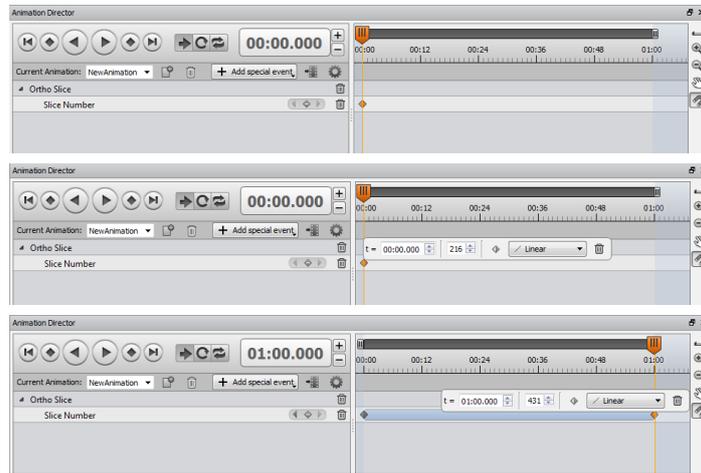


FIGURE 73 – Création d’une animation d’imin pendant laquelle on défile entre les coupes 216 et 431.

#### 7.4.2 Rotation de la caméra

Pour filmer une rotation de l’objet, créer l’objet Camera-Orbit à partir du menu lié au clic droit dans la fenêtre Project View **Create Object/Animations and Scripts/Camera Orbit**. Choisir l’axe de rotation dans le menu déroulant du menu Action. Faire défiler le curseur **Time** pour vérifier que l’axe de de rotation est celui souhaité.

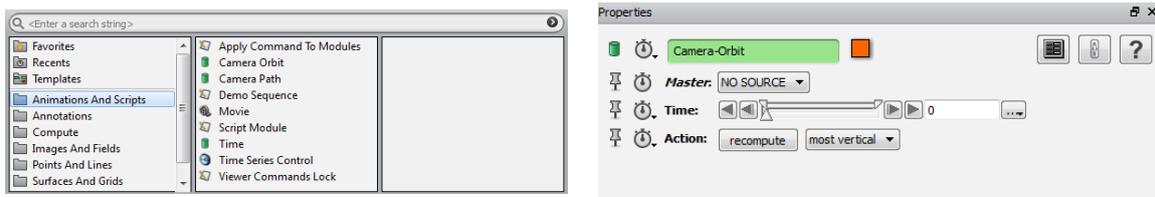


FIGURE 74 – Outil Camera Orbit.

Le paramètre évoluant est l’angle de rotation (entre 0 et 360 degrés) contrôlé par le curseur **Time : Value** et le chronomètre associé génère les évènements pour l’animation.

De la même façon que pour le parcours des coupes, il s’agit de choisir un angle initial pour un temps donné et de créer l’évènement associé en cliquant sur le chronomètre.

Puis, placer le curseur de temps de la timeline au moment choisi pour la fin de la rotation. Régler le curseur Time du module Camera-Orbit sur l’angle final de la rotation. Cliquer à nouveau sur le chronomètre pour créer l’évènement final.

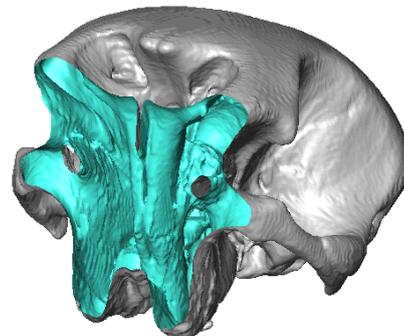
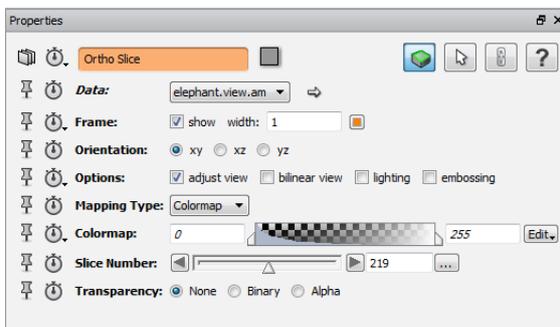


FIGURE 75 – Parcours de la surface 3D.

### 7.4.3 Parcours de la surface 3D

Dans l'objet **OrthoSlice**, la fonction de Clipping découpe une surface 3D selon le plan contrôlé par la slice (figure 37).

Une animation intéressante consiste à afficher une surface graduellement, coupe par coupe. Pour cela, il faut créer l'évènement de parcours des coupes avec SliceNumber tel que décrit précédemment en ayant soin de désactiver l'affichage de l'OrthoSlice et d'activer le clipping (figure 75).

### 7.4.4 Transparence progressive

Pour qu'un objet devienne progressivement transparent pendant l'animation, il faut qu'il soit désigné comme transparent initialement dans le menu Draw Style des propriétés de la surface. Le curseur Base trans permet de régler la transparence entre 0 (normal) et 1 (invisible). Sélectionner alors le chronomètre lié au paramètre **Base Trans** pour faire évoluer la valeur de transparence entre deux instants (figure 76).

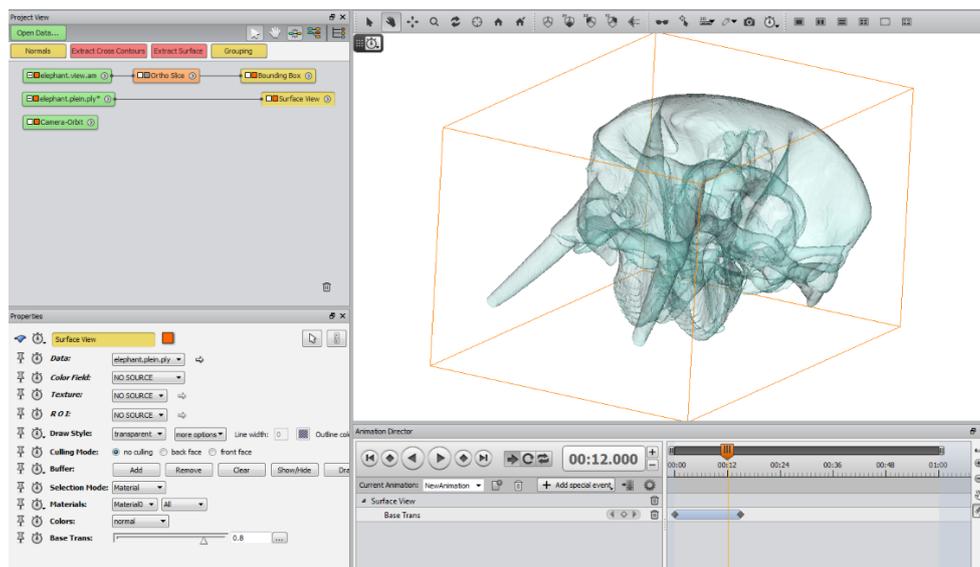


FIGURE 76 – Création d'un évènement qui rend la surface progressivement transparente jusqu'à s'effacer à  $t=15s$ .

### 7.4.5 Exporter la vidéo

Pour exporter la séquence programmée dans l'environnement Animation Director, sélectionner le bouton dont l'icône est une pellicule (figure 77). Choisir le format du film (MPEG ou AVI) ainsi qu'un nom pour le fichier.

Le nombre d'images (frames) va déterminer la longueur finale de la vidéo, cette information est présentée sur la ligne Info. Choisir la définition de la vidéo en nombre de pixels avec les valeurs prédéfinies (dans Size) ou en choisissant Custom pour des valeurs personnalisées.

Le bouton Create Movie permet de lancer l'export.

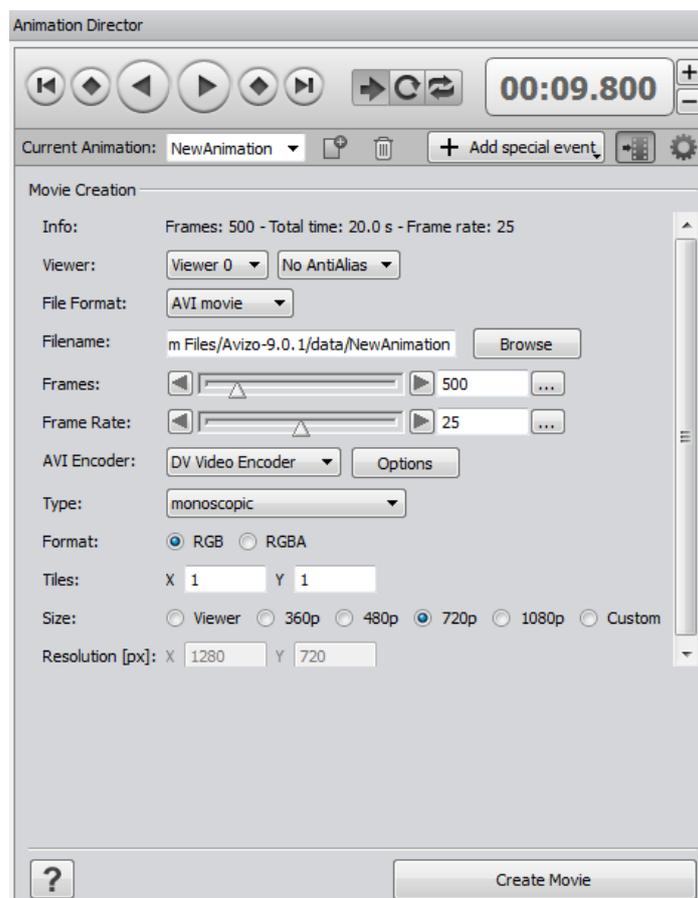


FIGURE 77 – Export de la vidéo.