

Reconstruction de maillages 3D

Stefka GUEORGUIEVA
stefka.gueorguieva@labri.fr

Plan

- 1 Motivation
- 2 Consolidation d'un nuage de points
- 3 Évaluation des normales
- 4 Reconstruction d'un maillage 3D
- 5 Questions ouvertes

Reconstruction à partir de scans CT

Acquisition CT -> Images 3D -> Nuages de points |
Maillages 3D

DCMTK - DICOM Toolkit (<https://dicom.offis.de/dcmtk.php.en>)

- Prétraitement : filtrage de bruits
- Segmentation par seuillage
- Reconstruction de l'image 3D à partir des 2D slices (les images radiographiques).
- Exportation au format .xyz

Base de données CQ500

[Chilamkurthy,S. et al. 2018]

Reconstructions à partir de DICOM

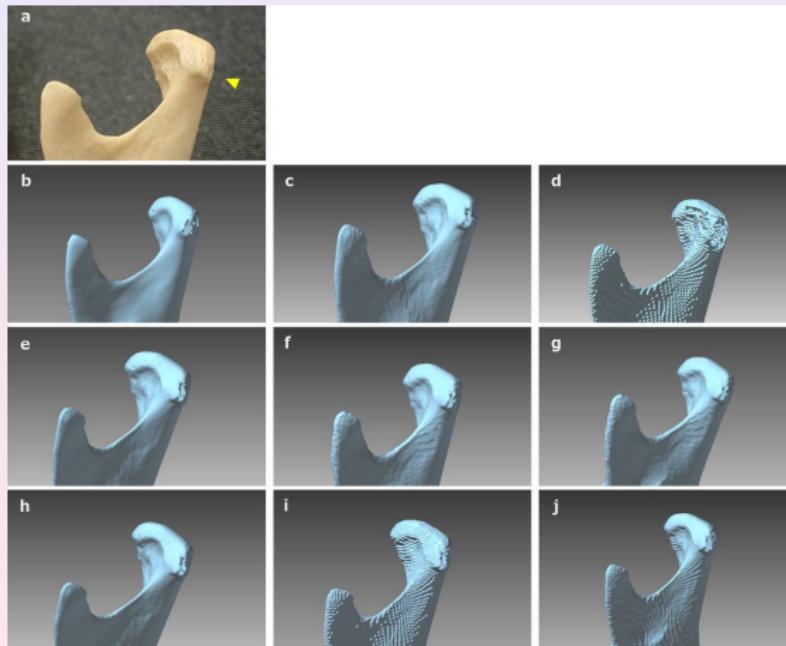
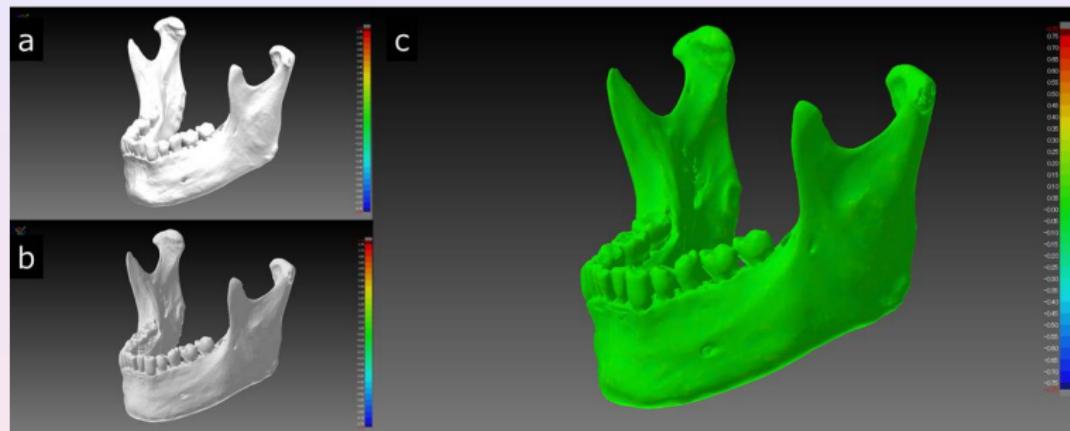


Fig.7 [KAMIO20],
(a) Modèle original ;
(b) 3D Slicer ;
(c) 3DView ;
(d) ImageJ ;
(e) InVesalius 3 ;
(f) Mimics ;
(g) Medical Imaging Interaction Toolkit ;
(h) OsiriX Lite ;
(i) Seg3D ;
(j) Volume Extractor 3.

Évaluation de l'erreur de la reconstruction



Superposition, recalage et calcul de la différence signée

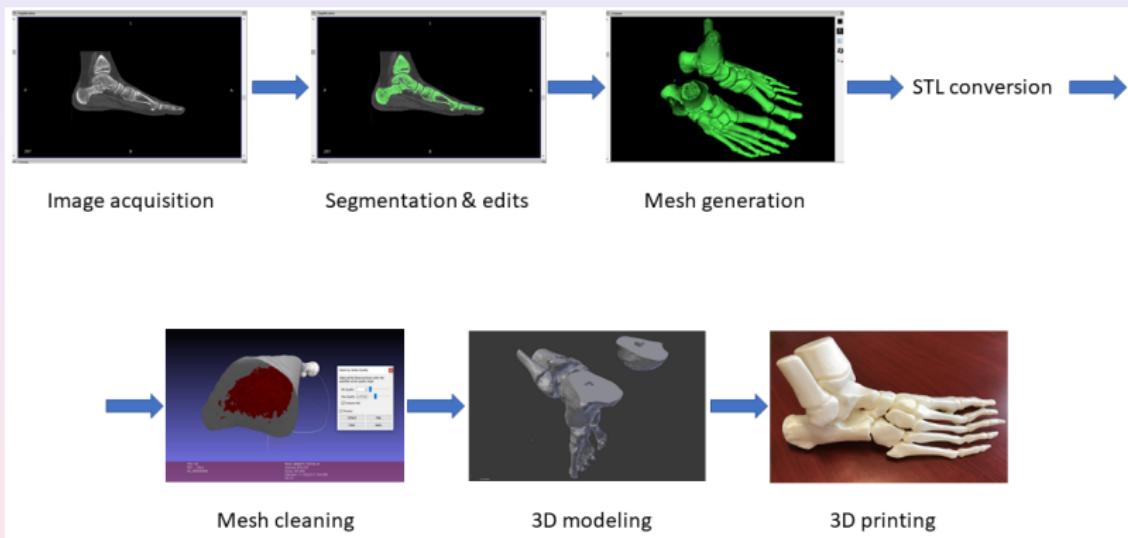
Fig.10 [KAMIO20], Maillages au format STL, InVesalius 3

(a) $F = 200\ 000$ (b) $F = 1\ 247\ 962$

"DICOM segmentation and STL creation for 3D Printing"

T.Kamio et al., 3D Print Med, 2020 Jul 31.

Flux de transformations



"CT Conversion Workflow for Intraoperative Usage of Bony Models : From DICOM Data to 3D Printed Models."
F. Osti et al., Appl. Sci. 2019, 9, 708

Reconstruction de Maillages 3D

Acquisition-> Nuages de points -> Maillages 3D

Base de données CQ500

[Chilamkurthy,S. et al. 2018]

Reconstruction du maillage 3D et visualisation

CGAL : <https://www.cgal.org/project.html>,

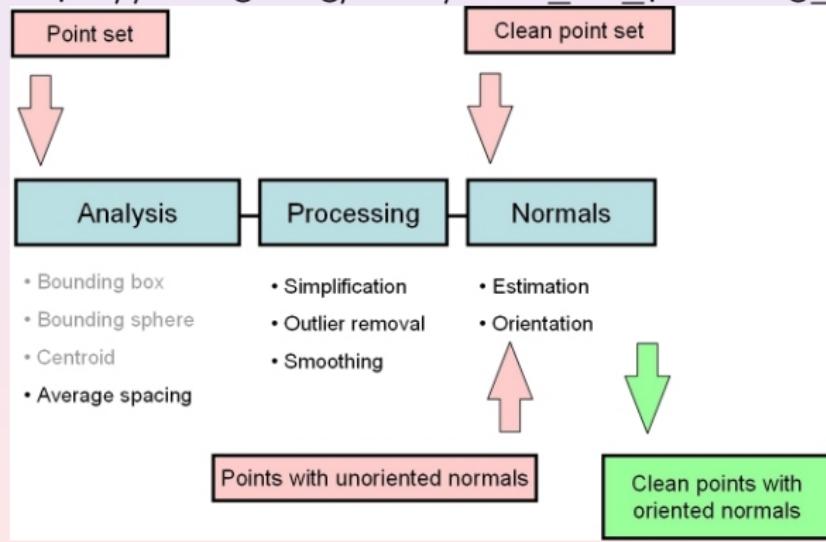
MeshLab : <https://www.meshlab.net/>,

Blender : <https://www.blender.org/>

Prétraitement et consolidation d'un nuage de points en vue d'une reconstruction

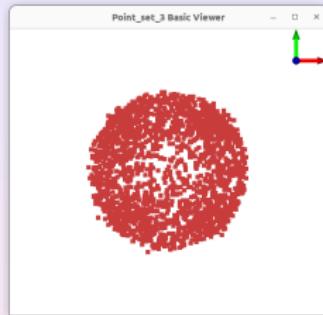
CGAL - "Point Set Processing"

https://doc.cgal.org/latest/Point_set_processing_3/

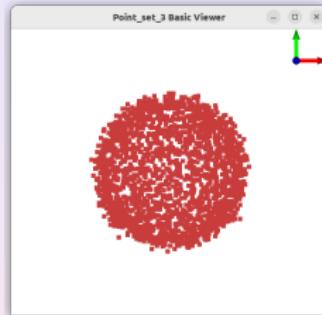


CGAL - "Point Set Processing" Simplification

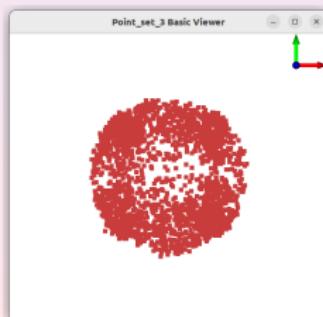
- Suppression aléatoire jusqu'à l'obtention du coefficient de simplification choisi [HECKBERT97]
random_simplify_point_set()
- Fusion de points appartenant à une seule et même cellule d'une grille régulière [HECKBERT97]
grid_simplify_point_set()
- Simplification hiérarchique [PAULY02]
hierarchy_simplify_point_set()
- Simplification et consolidation par projection optimale [HUANG09]
wlop_simplify_and_regularize_point_set()
- Simplification par d'échantillonnage de disques de Poisson [YUKSEL2015]



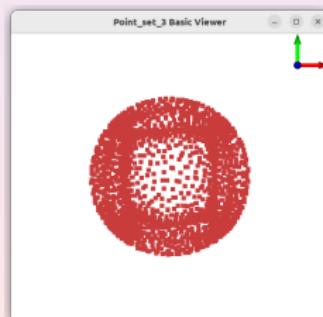
"random"



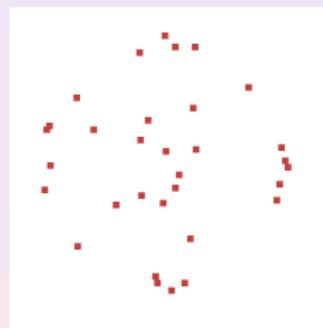
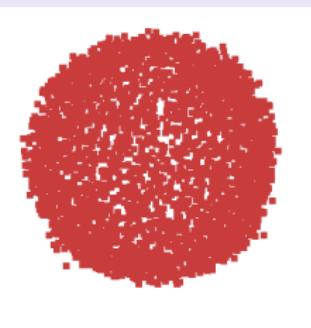
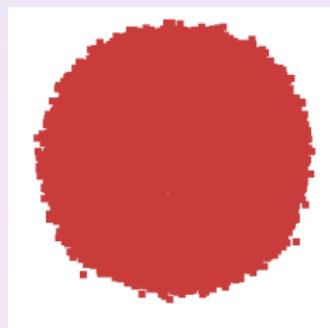
"grid"



"hierarchy"



"wlop"



Évaluation des normales

Klasing et al.

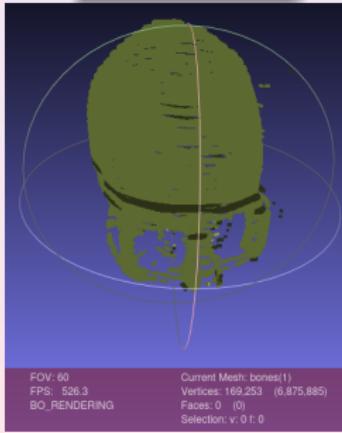
"Comparaison of surface normal estimation methods for range sensing applications", IEEE Int Conf on Robotics and Automation, 2009

- Calcul et optimisation de vecteurs et plans tangents, et de la courbure discrète :
Décomposition en valeurs singulières (SVD) [R.Hoffman et al., 1987 ; J.Huang et al, 2001]
Analyse en composantes principales (PCA), [C.Wang et al., 2001 ; K.Kanati et al. 1996]
- Calcul de moyennes pondérées par :
- Angle, superficie, centroïde et gravité [H.Gouraud, 1971 ; S.Jin et al. 2005]

Évaluation des normales aux points

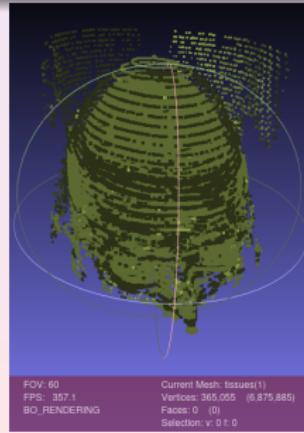
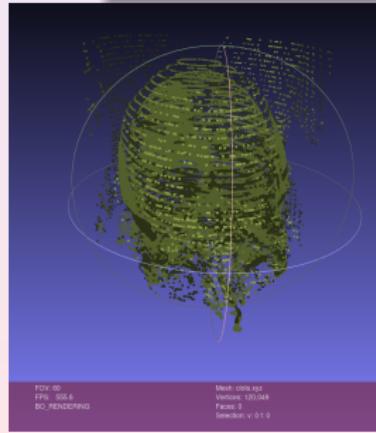
Dcmtk

Variation du seuillage



MeshLab

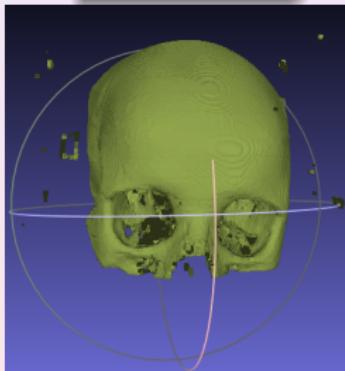
Importation de .xyz et calcul des normales aux points



Évaluation des normales aux points

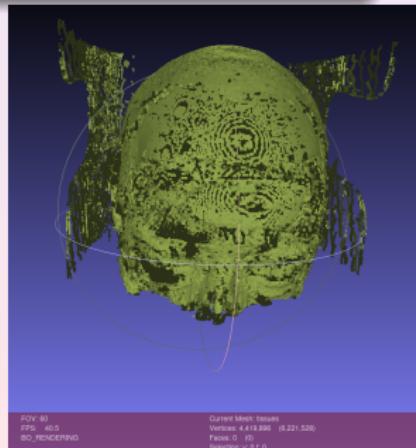
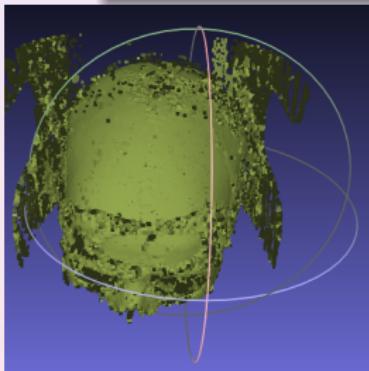
Dcmtk

Variation du
seuillage



MeshLab

Importation de .xyz et calcul des
normales aux points



Évaluation d'une surface définie par un nuage de points

Soit P nuage de points non structuré,

N_p voisinage d'un point p , $p \in P$, $N_p = \{p_i, p_i \in P, \|p - p_i\| \leq r\}$, où r est le rayon de la sphère englobante des k plus proches voisins de p .

Soit $\bar{p} = \frac{\sum_{p_i \in N_p} p_i}{k}$.

On définit C , la matrice de covariance de p .

$$C = \begin{bmatrix} p_{i1} - \bar{p} \\ p_{i2} - \bar{p} \\ \dots \\ p_{ik} - \bar{p} \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} p_{i1} - \bar{p} \\ p_{i2} - \bar{p} \\ \dots \\ p_{ik} - \bar{p} \end{bmatrix}, i \in N_p$$

Évaluation d'une surface définie par un nuage de points

Soit v_l et λ_l , $0 \leq l \leq 2$, les vecteurs et les valeurs propres de C ,

$$C \cdot v_l = \lambda_l \cdot v_l$$

λ_l mesure la variation des points p_i , $p_i \in N_p$, le long de l'axe défini par v_l . La variation totale est

$$\sum_{p_i \in N_p} \|p_i - \bar{p}\|^2 = \lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2$$

Si on suppose $\lambda_0 \leq \lambda_1 \leq \lambda_2$ alors
 $T(x)$ le plan tangent dans p est défini par :

$$T(x) : (x - \bar{p}) \cdot v_0 = 0$$

La normale n_p est colinéaire à v_0 .

Évaluation des normales par ajustement du plan tangent

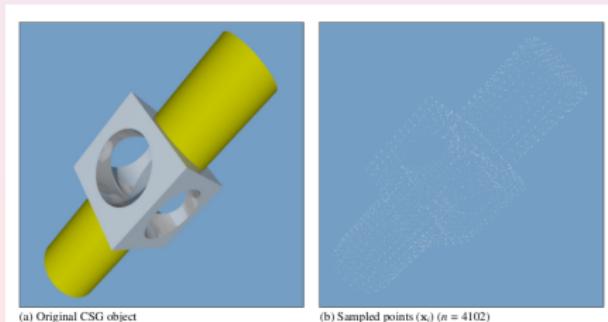
"Surface Reconstruction from Unorganized Points"

Hoppe et al., Proc of ACM SIGGRAPH, 1992

- Définition du voisinage pour chaque point du nuage
- Approximation du plan tangent par le plan qui minimise la distance aux voisins du point
- Propagation de l'orientation à l'aide de l'arbre recouvrant minimal euclidien ("Euclidean Minimum Spanning Tree")

Fig.1

- (a) Objet original
(b) Nuage de points



Évaluation des normales par ajustement du plan tangent

"Surface Reconstruction from Unorganized Points"

Hoppe et al., Proc of ACM SIGGRAPH, 1992

- Définition du voisinage pour chaque point du nuage
- Approximation du plan tangent par le plan qui minimise la distance aux voisins du point
- Propagation de l'orientation à l'aide de l'arbre recouvrant minimal euclidien ("Euclidean Minimum Spanning Tree")

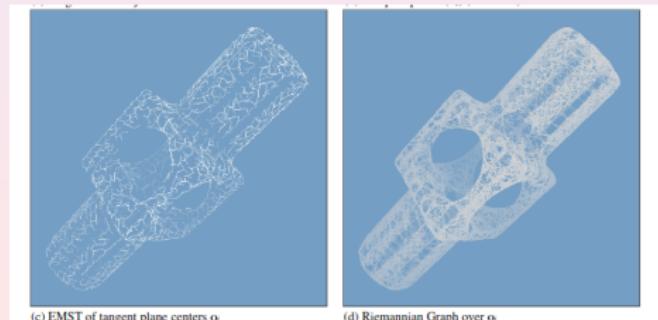


Fig.1

(c) EMST

(d) graphe de Riemann

Évaluation des normales par ajustement du plan tangent

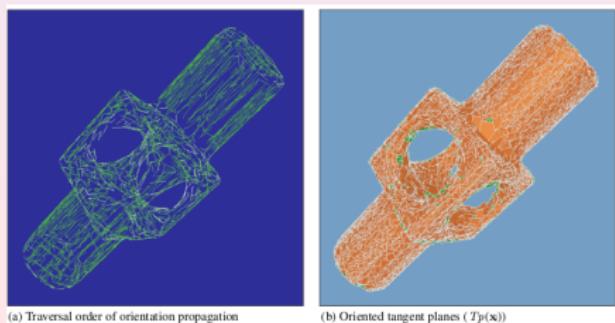
"Surface Reconstruction from Unorganized Points"

Hoppe et al., Proc of ACM SIGGRAPH, 1992

- Définition du voisinage pour chaque point du nuage
- Approximation du plan tangent par le plan qui minimise la distance aux voisins du point
- Propagation de l'orientation à l'aide de l'arbre recouvrant minimal euclidien ("Euclidean Minimum Spanning Tree")

Fig.2

- (a) propagation
(d) plans tangents avec
normales orientées

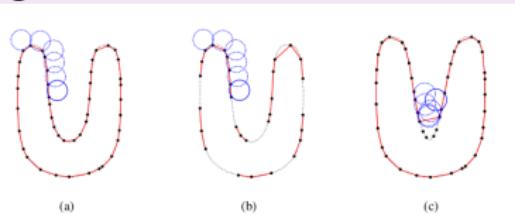


Reconstruction par BPA

"The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction"

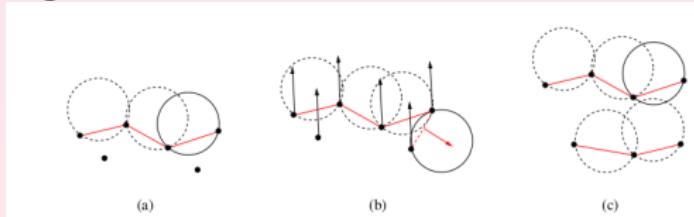
Bernardini et al., IEEE ToV and CGR, V 5, No 4, 1999

Fig.3



Soit $S = \{\sigma_I\}_{I=0}^n$, $s_\rho = (c_{ijo}, \rho)$,
 $(\sigma_i, \sigma_j, \sigma_o) \in s_\rho \# I, I \neq i, j, o$ tq $\sigma_I \in s_\rho$
 $\tau = (\sigma_i, \sigma_j, \sigma_o)$
 $s_\rho = (c_{ijo}, \rho) \xrightarrow[\text{autour } e_{ij}]{} \text{pivoter} s'_\rho = (c_{ijk}, \rho)$
 $\tau' = (\sigma_i, \sigma_j, \sigma_k)$

Fig.4



Reconstruction par Poisson

"The Poisson surface reconstruction"

M. Kazhdan et al., Eurographics 2006

Soit M un solide et ∂M sa surface frontière, représentée par \vec{V} , un nuage de points avec normales.

Pour construire ∂M il suffit de trouver une fonction caractéristique χ de M telle que son gradient $\nabla \chi$ se rapproche le plus au \vec{V} i.e.

$$\min_{\chi} \|\nabla \chi - \vec{V}\|$$

Cela revient à résoudre

l'équation de Poisson

$$\Delta \chi = \nabla \nabla \chi = \nabla \vec{V}$$

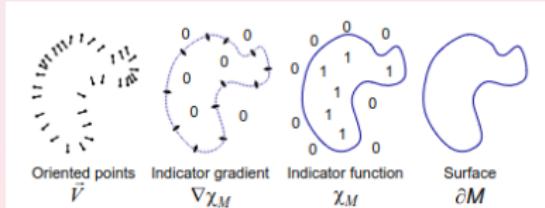


Fig.1

Reconstruction par Poisson

[KAZHDAN2006]

- Calcul de la fonction caractéristique
- Extraction de la surface
- Étude de cas

CGAL 6.1 - Poisson Surface Reconstruction

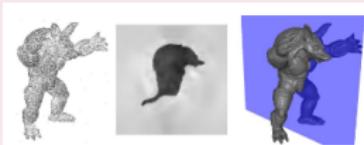


Figure 2: Points from scans of the "Armadillo Man" model (left), our Poisson surface reconstruction (right), and a visualization of the indicator function (middle) along a plane through the 3D volume.

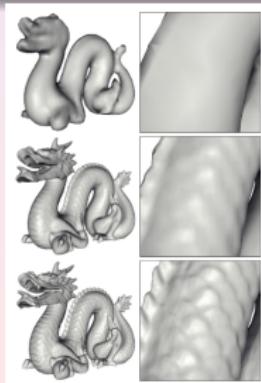
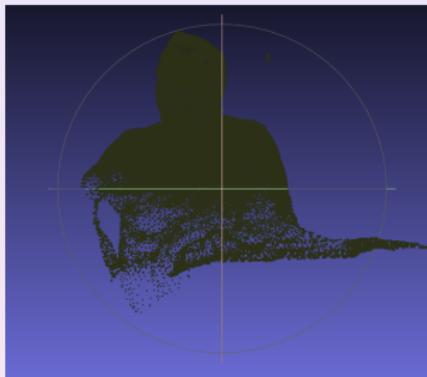
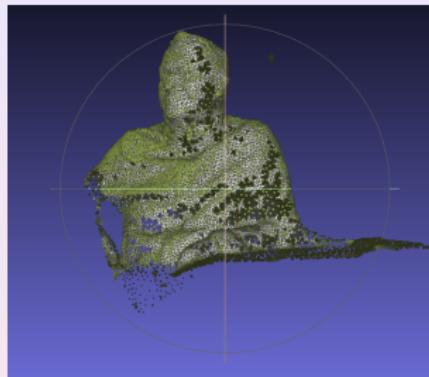


Figure 3: Reconstructions of the dragon model at octree depths 6 (top), 8 (middle), and 10 (bottom).

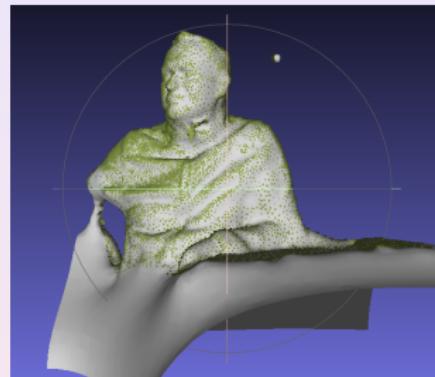
Reconstruction



bg.xyz
Polycam 3D
acquisition par
M.Ocafrain



BPA



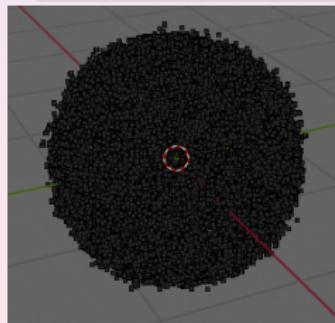
Poisson

Simplification et reconstruction

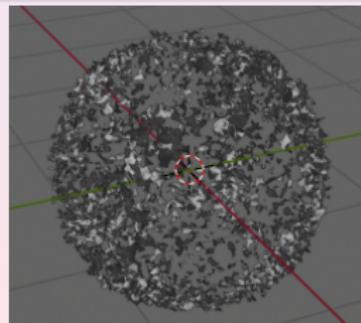
Simplification et reconstruction

CGAL 5-3, simplification par "clustering" sur une grille régulière et par "WLOP" [Huang et al., 2009]

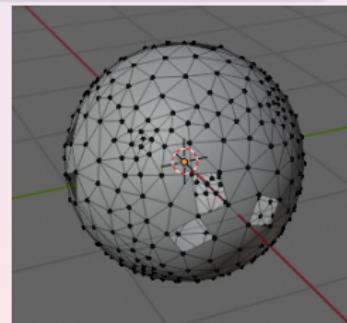
Meshlab, reconstruction par "Ball Pivoting Algorithm" [Bernardini et al., 1999]



$V = 21000 F = 0$



"clustering",
 $V = 21000 F = 15049$

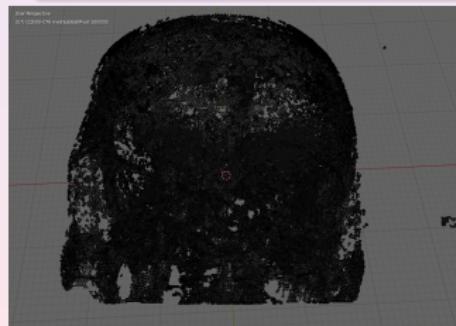


"WLOP",
 $V = 420 F = 815$

Simplification et reconstruction

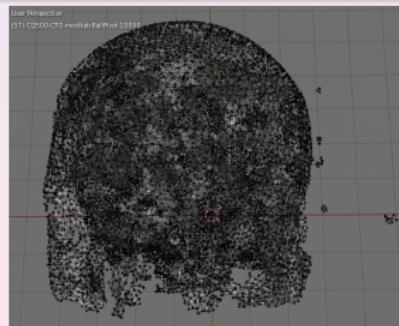
Simplification et reconstruction

Meshlab, reconstruction par "Ball Pivoting Algorithm" [Bernardini et al.,1999]



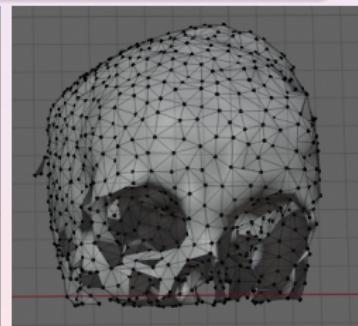
$V = 367420$

$F = 224819$



$V = 33802$

$F = 35408$



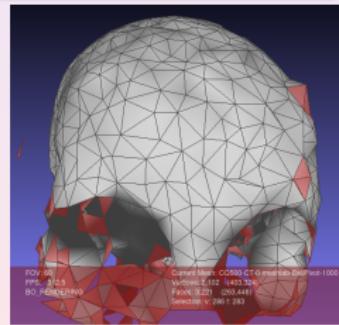
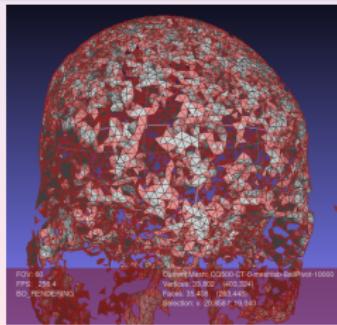
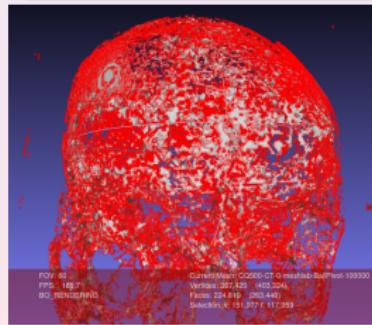
$V = 2102$

$F = 3221$

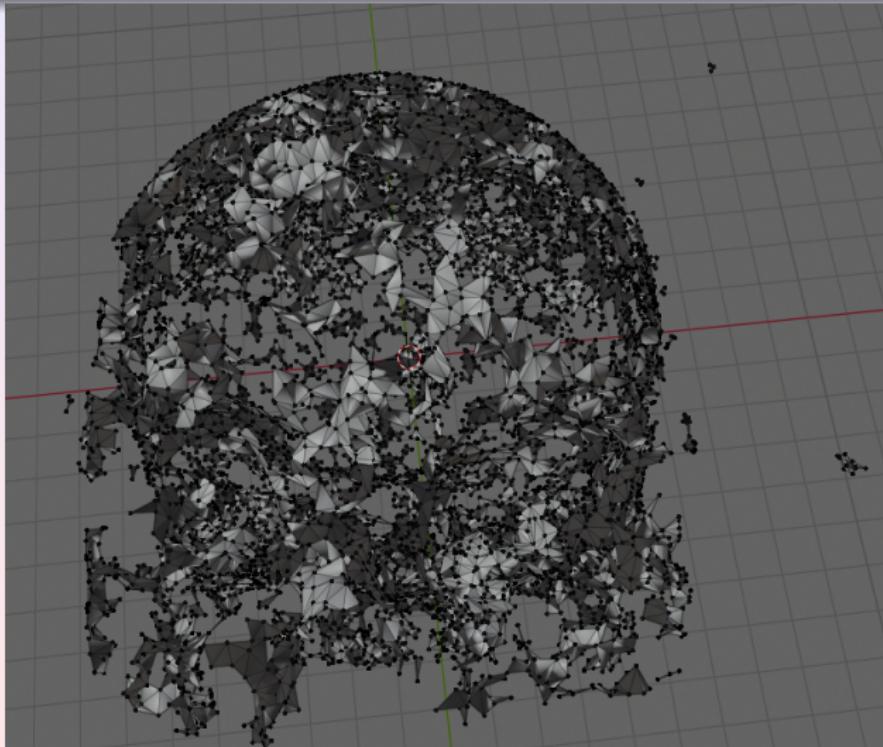
Simplification et reconstruction

Sélection des bords

Meshlab



Maillage 3D : éléments critiques



Maillage 3D : éléments critiques

- Maillage non-connexe à bords multiples
- Orientation des normales non cohérente
- Présence de conditions de non-variété ("Non-Manifold")
- Présence de bruits et données aberrantes ("Outliers")

Expérimentations

All3DP

Applis de scan 3D,

<https://all3dp.com/fr/2/appli-scanner-3d-lidar/>

Polycam 3D

