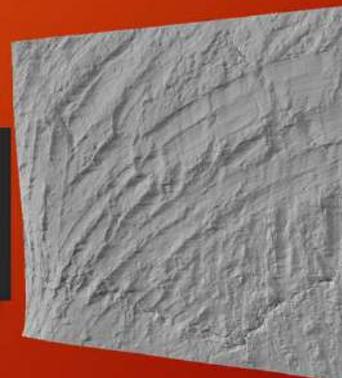


Colloque Corpus « Imagerie scientifique et objet archéologique »
8-10 mars 2023, Caen, France

Antoine LAURENT, Jean MÉLOU, Carole FRITZ, Jean-Denis DUROU

**Projet Archaeoroom : numérisation du patrimoine
archéologique et développement de la suite
logicielle open-source AliceVision Meshroom**



Le projet de thèse Archaeoroom est lauréat de l'Allocation Doctorale Interdisciplinaire 2021. Il est financé par la Région Occitanie et l'Université de Toulouse. Il est dirigé par Jean-Denis Durou (MCF HDR, INP de Toulouse, UMR 5505 IRIT) et par Carole Fritz (DR HDR, CNRS, MSHS de Toulouse et UMR 5608 TRACES). Il est encadré par Jean Méloù (Post-Doc, INP de Toulouse, UMR 5505 IRIT).

Les sujets d'étude vont de l'étude des grottes ornées aux petits objets en passant par la statuaire néolithique. Les illustrations s'appuient sur les travaux menés depuis un an et demi.

I/ Projet ArchaeoRoom : problématiques

2



- Captation du 3D surfacique
- Détection des gravures fines
- Protocoles de numérisation 3D adaptés
- Intégration dans AliceVision Meshroom

Les problématiques d'Archaeoroom sont :

- Appliquer de nouvelles méthodes de captation 3D surfacique à partir de reconstruction par vision dans le champ du visible
- Détecter la géométrie des gravures fines (autour du dixième de millimètre)
- Elaborer des protocoles adaptés en fonction des objets / vestiges archéologiques
- Intégrer les chaînes de traitement open-source dans la suite AliceVision Meshroom

II/ Outils actuels d'acquisition *in situ*

3



- Lasergrammétrie

Grotte Chauvet-Pont-d'Arc (MC, Perazio Engineering / Cloud Compare)

Parmi les techniques actuellement utilisées *in situ*, nous pouvons citer la lasergrammétrie à partir de scanner 3D. La résolution et la précision dépendent de la distance du capteur à l'objet d'étude. Pour l'étude des grandes têtes de lions, la résolution du nuage de points devient millimétrique ou supérieure ne permettant pas une analyse des tracés.

II/ Outils actuels d'acquisition *in situ*

4



- Lasergrammétrie
- Scanner à main

Les technologies de scanner « à main » par lumière structurée / pulsée sont efficaces sur de petits objets. Ils sont limités sur l'alignement des cartes de profondeur par la géométrie ou la couleur des objets.

II/ Outils actuels d'acquisition *in situ*

5



Dame de Saint-Sernin, Musée Fenaille (Rodez)



Metashape, QGIs, RVT

- Lasergrammétrie
- Scanner à main
- Photogrammétrie

La reconstruction 3D par photogrammétrie est la plus répandue sur le terrain. Elle permet une numérisation de la plupart des objets archéologiques. Lors du programme de numérisation de 140 statues-menhirs, cette technique a été la solution retenue.

La photogrammétrie nécessite cependant des objets qui soient texturés pour une reconstruction de qualité. Pour les états de surface, nous utilisons souvent un éclairage rasant lors de la captation afin d'observer les détails fins sur la texture et non sur la géométrie.

II/ Outils actuels d'acquisition *in situ*

6



Saumecourte 1, Musée Fenaille (J. Masson-Mourey)

- Lasergrammétrie
- Scanner à main
- Photogrammétrie
- Reflectance Transformation Imaging (RTI)

La RTI est une technique d'imagerie computationnelle permettant un ré-éclairage dynamique d'une scène à partir d'un point de vue. La carte des normales produites correspond au maximum de la fonction. Quelque soit le logiciel utilisé (RTI builder, Relight, et.) la RTI ne permet pas d'avoir ni une carte de profondeur ni une 3D. Son emploi est intuitif car il correspond à l'usage courant de l'éclairage rasant pour la visualisation des gravures fines.

III/ StéréoPhotométrie (PS)

7



Dame de Saint-Sernin, Musée Fenaille (Rodez)

- Modèle lambertien :

$$I^i = \rho \cdot s^i \cdot n(z) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

- Niveau de gris = Albédo x Ombrage

- Avec m images I^i prises sous m éclairages s^i , on peut estimer l'albédo ρ et la carte des normales n (liées à z).

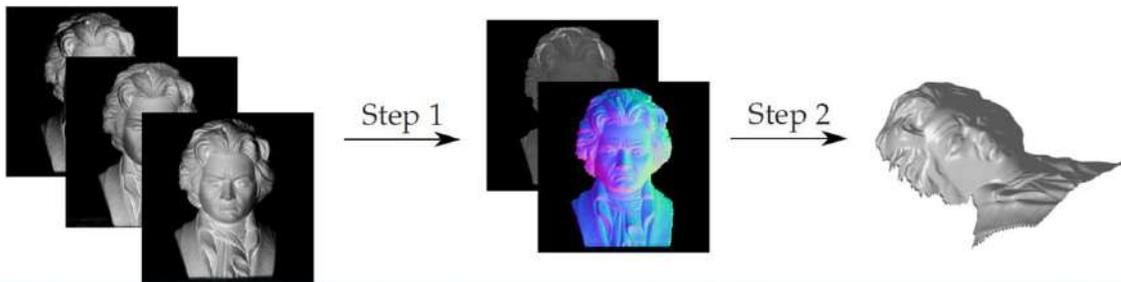
Nous proposons avec le projet Archaeoroom d'adapter les techniques de stéréophotométrie pour le patrimoine archéologique. En faisant l'hypothèse du modèle lambertien (réflectance diffuse de la surface), nous pouvons décomposer le niveau de gris d'une image comme le produit de l'albédo et de l'ombrage. A partir d'un même point de vue pris avec des éclairages différents, nous estimons la couleur intrinsèque de surface et une carte des normales.

Cette méthode a été utilisée par Yvain QUÉAU et Matthieu PIZENBERG pour la numérisation de la tapisserie de Bayeux.

III / Stéréo-Photométrie (PS)

8

- Two-step pipeline: normal and albedo maps estimation, then normal integration.



III/ StéréoPhotométrie (PS)

9



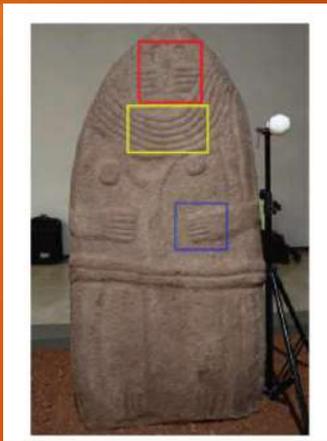
Dame de Saint-Sernin, Musée Fenaille



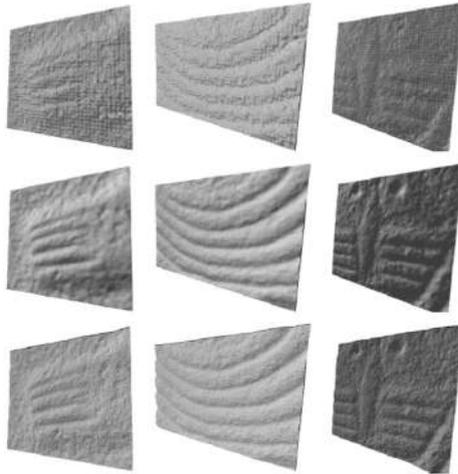
La stéréophotométrie a été appliquée sur certaines statues-menhirs. L'appareil est sur pied en mode manuel, une sphère est positionner dans le cadre. Sur l'image de droite nous obtenons avec une vingtaine de photographies la couleur de surface et la carte des normales. La résolution est dépendante du capteur, du grossissement et de la distance à l'objet.

III/ Stéréo-Photométrie (PS)

10



Dame de Saint-Sernin, Musée Fenaille



- Stéréoscopie multi-vues
- Photogrammétrie
- Stéréophotométrie

Nous pouvons évaluer qualitativement le gain de la géométrie par rapport à une carte de profondeur par stéréoscopie multi-vues, au maillage photogrammétrique et à la stéréophotométrie.

<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLVIII-2-W1-2022/145/2022/isprs-archives-XLVIII-2-W1-2022-145-2022.html>

III/ Stéréo-Photométrie (PS)

11

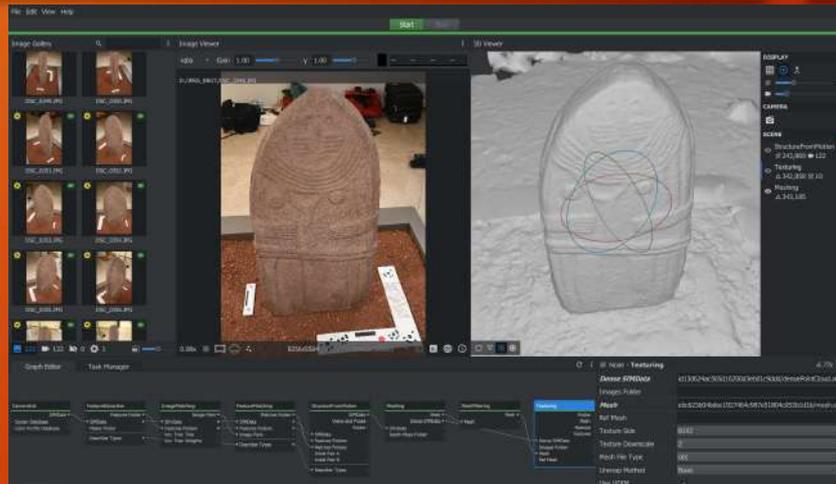


Dame de Saint-Sernin, Musée Fenaille

- Avantages :
 - Applicable aux surfaces peu ou pas texturées
 - Résolution = taille du pixel x grandissement
 - Technique très rapide (parallélisable)
 - Permet de dissocier la couleur de la géométrie
- Inconvénients :
 - Nécessité de contrôler l'éclairage
 - Reconstruction 2.5D, et non pas réellement 3D
 - Difficulté à restituer les discontinuités de profondeur
 - Reconstruction à un facteur d'échelle près

IV/ AliceVision Meshroom

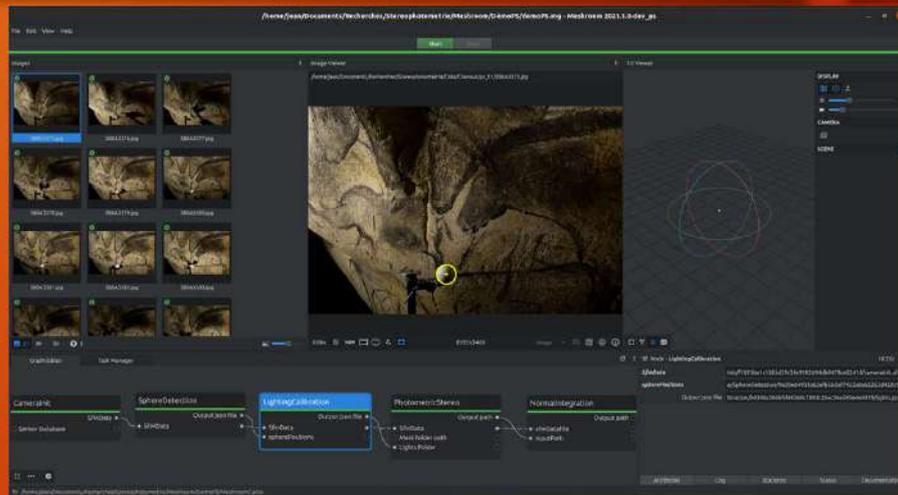
12



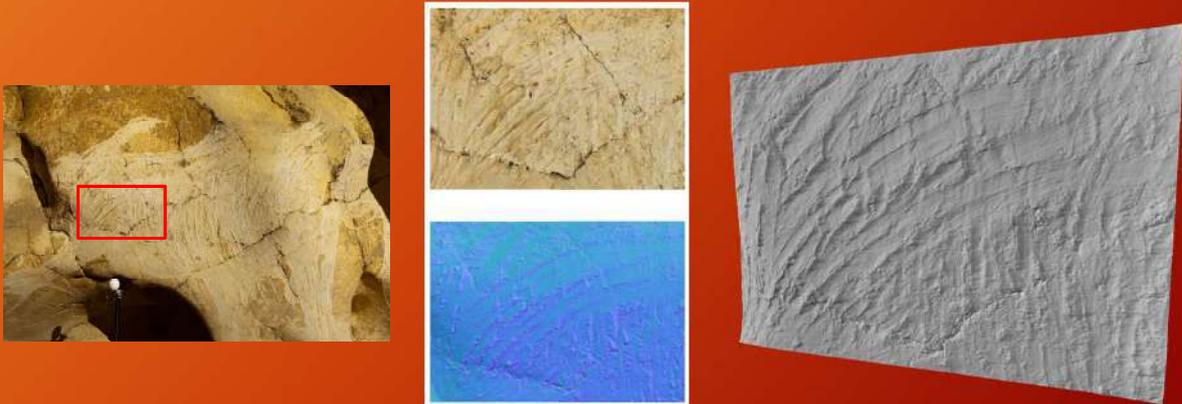
La suite logicielle AliceVision et son interface Meshroom sont efficaces pour la génération de modèle 3D par photogrammétrie.

IV/ AliceVision Meshroom

13



La prochaine version intégrera la stéréophotométrie. L'utilisateur ajoute ses photographies puis sélectionne, pour le moment, la sphère sur les images. Le pipeline décrit la suite des nœuds permettant d'obtenir la carte diffuse, les normales et le modèle 3D.



Grotte Chauvet-Pont-d'Arc (MC, Équipe scientifique)

Le panneau des mammoths raclés présentent des dessins aux doigts. L'objectif est démêlé la chronologie relative des tracés. Ainsi à deux mètres de distance nous obtenons une résolution de 0,3 mm (Canon R5 avec un objectif 50mm).



Musée d'Archéologie Nationale, Saint-Germain-en-Laye

Une étude sur une tablette zodiacale nous a permis d'atteindre les 20 μm de résolution. A ce niveau de détail nous avons la géométrie des gravures des personnages mais également les rayures.



- Etalonnage de l'éclairage sans sphère
- Transformation des données de RTI en données de PS
- Extension de la PS aux données multi-vues
- Collaboration PS / photogrammétrie

Perspectives

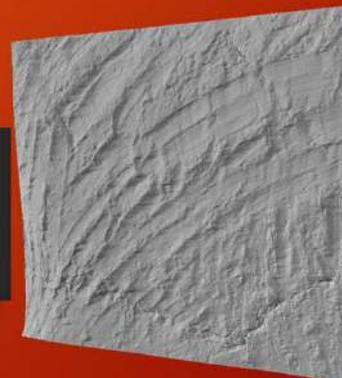
16

- Avoir à terme l'orientation et l'intensité
- Obtenir les données de reflectance et approcher la qualification des matériaux
- Combiner plusieurs acquisitions PS sans perdre la qualité des la carte de normales
- Correction de la précision de la PS par la photogrammétrie puis combiner les deux

Colloque Corpus « Imagerie scientifique et objet archéologique »
8-10 mars 2023, Caen, France

Merci de votre attention.
RDV sur <https://alicevision.org/>
antoine.laurent@univ-tlse2.fr

Antoine LAURENT, Jean MÉLOU, Carole FRITZ, Jean-Denis DUROU



La prochaine version de Meshroom est prévue pour les mois de mars / avril.