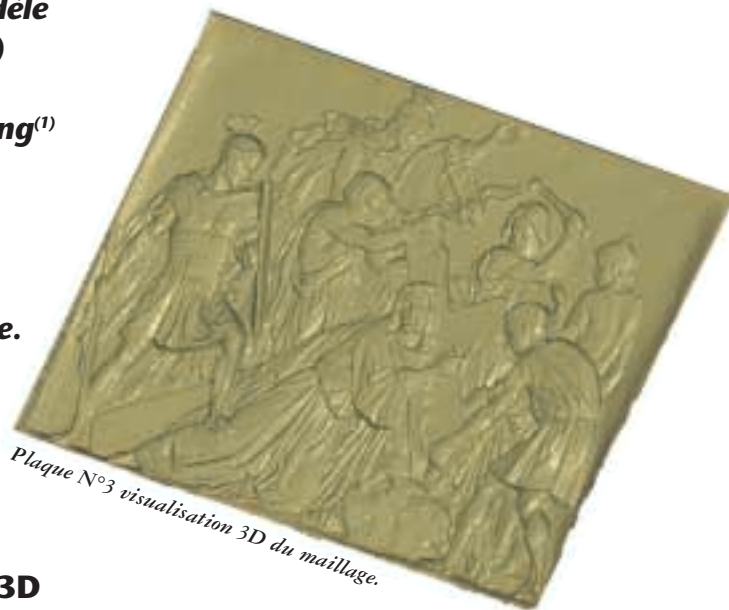


Numérisation 3D du Chemin de Cr

Quels sont les objectifs d'une telle prestation ?

La Ville de Lorgues (83) a récemment confié la restauration des 14 plaques en fonte de son Chemin de croix au Centre Archéologique du Var. Parallèlement aux travaux de restauration des métaux, ces deux partenaires nous ont demandé de créer un modèle numérique surfacique fidèle de chaque original (68 x 48cm, reliefs 3 cm) pour atteindre les objectifs suivants :

- **Valider un relevé de précision par scanning⁽¹⁾ sur un objet archéologique.**
- **Archiver une empreinte numérique des plaques.**
- **Disposer d'un modèle numérique en vue de futures reproductions à échelle réduite.**
- **Réaliser des études sur objet virtuel.**
- **Visualiser un objet virtuel 3D (site Internet).**



Plaque N°3 visualisation 3D du maillage.

Outils et méthode de saisie numérique 3D

Outil d'acquisition 3D

L'acquisition 3D a été réalisée grâce au scanner laser 3D SOISIC (Technologie EDF). On utilise notamment ce scanner en milieux industriels afin de créer des modèles TQC d'unités (Tel Que Construit) en vue

de modifications ou de maintenance. La précision et les caractéristiques du capteur, associées à des mesures métrologiques de calage des points de vue, en font un outil performant de relevé 3D de formes

complexes dans de nombreux domaines :

- **Péto-chimie** Retrofit⁽²⁾
- **Industriels** Relevé de pièces, d'outils de production, prototypage rapide
- **Métrologie** Contrôle de prototypes
- **Culturel, patrimoine** Relevé de statues, grottes, visites virtuelles
- **Archéologie** Anastylose, relevé de sites, d'objets
- **Multimédia** Modèles virtuels pour des jeux
- **Design** Création de modèles C.A.O. à partir de maquettes ou prototypes



Photos : Cabinet Guy PERAZIO - ELF - MENSI

des 14 plaques oix de Lorgues

David Faverge, Cabinet Guy Perazio

Principe de mesure des points 3D.

Ce capteur réalise des mesures point à point sur l'objet à numériser par balayage dans un plan de triangulation. Les coordonnées des points sont exprimées dans un référentiel lié à chaque position du capteur.

Le plan de triangulation est formé par :

- le point d'émission d'un spot laser projeté et focalisé sur l'objet (mesure angle d'émission S)
- la pupille d'entrée d'un objectif CCD de réception (mesure angle de réception C)
- une base étalonnée entre point d'émission du laser et objectif de réception (b)

Ce plan de triangulation pivote d'un pas élémentaire à la fin de chaque ligne de balayage (mesure de l'angle de rotation A).

Les coordonnées XYZ de chaque position du spot sur l'objet sont calculées à partir de trois mesures d'angles (C, S et A) et d'une distance de base (b issue d'un étalonnage).

Méthode de Scanning⁽¹⁾.

Compte-tenu de la hauteur des reliefs à scanner (3 cm environ), nous réalisons 3 points de vue de saisie 3D à 120° par plaque afin d'obtenir un modèle complet et de s'affranchir des zones de masque.

La distance oblique Scanner/Plaque est de 3 m environ afin de conserver une bonne précision au nuage de points.

La maille maximum de chaque point de vue est de 1 mm environ à 3 m, et nous effectuons des saisies plus denses sur les zones de détail (visages,...)

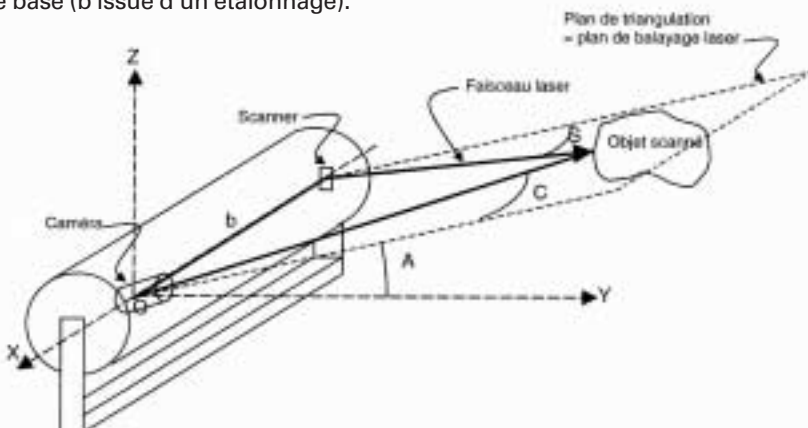
La saisie d'une plaque correspond à une durée globale de 8 heures.

Le recalage des 3 nuages de points est effectué par l'intermédiaire d'un référentiel de 8 sphères, lié à chaque plaque durant l'acquisition.



Les caractéristiques du capteur :

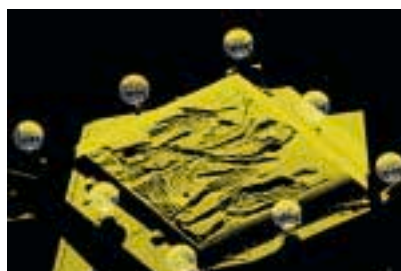
- Grande rapidité d'acquisition (100 pts/seconde)
- Saisie 3D sans contact (objets inaccessibles, fragiles)
- Portée de 0,8 m à 30 m
- Champ de 46° x 320°
- Natures de surfaces variées
- Précision nominale : 0,3 mm à 2,5 m
- Résolution : 0,2 mm à 1 m
- Visualisation immédiate du nuage 3D
- Acquisition de clichés numériques couleur géoréférencés





Plaque d'essai fixée sur son référentiel.

Dans chaque point de vue, nous réalisons donc une saisie complète de la plaque, ainsi que la saisie des 8 sphères.



1 point de vue :
- nuage de la plaque
- nuages des 8 sphères

Contrôle de la précision du scanning⁽¹⁾.

Afin de contrôler la précision de chaque nuage de points, nous déterminons les positions XYZ des centres des 8 sphères de calage par intersections spatiales et nivellement de préci-



sion.

Ces mesures métrologiques sont réalisées à l'aide d'un théodolite de précision WILD TC2002, d'un niveau

WILD NA2 avec lames à faces parallèles, et d'une mire invar.

La précision de détermination du centre de chaque sphère dans l'espace est de 0.1 mm.

Logiciel de traitement

Logiciel 3D IPSOS

Le traitement des nuages de points 3D est réalisé grâce au logiciel 3D IPSOS (EDF). Ce logiciel a été développé afin de pouvoir traiter des projets allant jusqu'à 65 millions de points. Il inclut toutes les fonctions de consolidation, segmentation, reconnaissance de primitives géométriques et reconstruction (applications industrielles), lissage, maillages et exports des modèles vers les outils CAO.

De plus, 3D IPSOS permet de recalculer et projeter un ou plusieurs clichés couleurs issus du scanner (ou externes) sur le modèle 3D, afin de lui donner sa texture d'origine. Peu utilisée en domaines industriels, cette fonction est primordiale dans les secteurs culturels et du patrimoine pour des objets tels que des peintures rupestres, statues...

Consolidation

La consolidation consiste à assembler les 3 points de vue de chaque plaque en réalisant pour chacun d'eux :

- une reconnaissance de sphère mathématique calée sur chacun des 8 nuages de points, le contrôle du rayon reconnu par rapport au rayon exact.
- un calcul de similitude 3D à 6 paramètres (3 translations, 3 rotations) afin de ramener les 8 sphères reconnues sur les 8 sphères du référentiel métrologique.

La redondance apportée par les 8 sphères permet de supprimer celles dont la reconnaissance est la moins

précise, et donc d'affiner ce calcul. L'erreur moyenne de position des sphères reconnues par rapport aux sphères métrologiques est de 0.4 mm, avec un écart type de 0.1 mm.

A l'issue de ce calcul, le nuage 3D du point de vue est recalculé sur le référentiel. En faisant de même sur les 2 autres points de vue, nous obtenons un nuage de 1 800 000 points 3D pour chacune des plaques, dont la maille la plus fine est de 0.3mm.

Traitement du nuage de points, lissage.

Le traitement consiste à :

- extraire le nuage 3D de la plaque seule (supprimer les points relevés sur l'environnement de la plaque)
- supprimer les quelques points faux (points tangents sur arêtes)
- lisser le nuage de points 3D dans un compromis permettant de conserver la précision et les détails, tout en améliorant le rendu ultérieur du maillage.

Maillage.

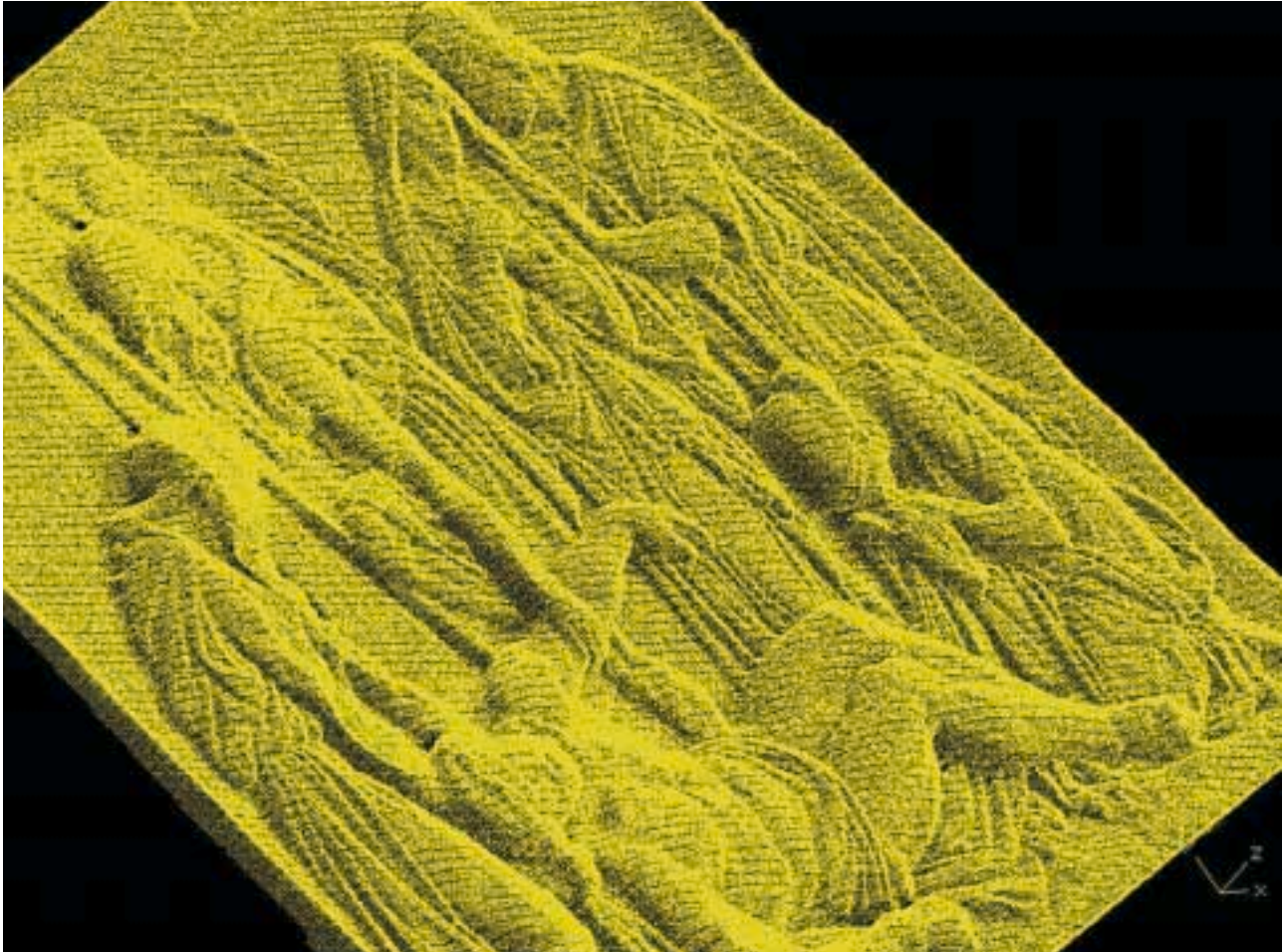
La dernière opération est le maillage du nuage de points 3D épuré afin de créer la surface du modèle 3D.

Le maillage effectué dans le cadre de cette mission peut être qualifié de "standard". En effet, nous calculons ce maillage selon une logique de projection sur le plan général de la plaque, ce qui permet d'obtenir un premier résultat très fidèle.

Cependant, certaines zones de liaison du fond de plaque et des personnages peuvent être améliorées en effectuant une découpe du nuage de points et son maillage selon une logique différente.

Le traitement complet des nuages de points issus du scanner jusqu'à l'image 3D du maillage représente 2 à 3 heures par plaque.

Le traitement des nuages de points 3D est réalisé grâce au logiciel 3D IPSOS (EDF). Ce logiciel a été développé afin de pouvoir traiter des projets allant jusqu'à 65 millions de points. Il inclut toutes les fonctions de consolidation, segmentation, reconnaissance de primitives géométriques et reconstruction (applications industrielles), lissage, maillages et exports des modèles vers les outils CAO.



Photos : Cabinet Guy PERAZIO - ELF - MENSI

Nuage de points 3D après consolidation.

Conclusion

Cette mission nous permet de confirmer la capacité du scanner laser SOL-SIC à réaliser une numérisation de précision sans contact d'un objet archéologique.

La suite de ce travail sera le "matching⁽³⁾" d'une photographie couleur de chaque plaque sur son maillage, afin d'obtenir un modèle 3D dont les textures sont exactement celles de l'objet source. On peut alors disposer à distance (Internet) d'un objet virtuel 3D parfaitement conforme en géométrie et couleur à l'original.

Plus généralement, la précision de ce capteur associée à une métrologie de recalage et les fonctionnalités du logiciel de traitement forment un ensemble performant d'acquisition de modèles numériques 3D.

Ces modèles 3D de l'existant sont la base de travail indispensable des bureaux d'étude, et ils sont très souvent une solution rapide et fiable dans de multiples domaines d'application. ●

La suite de ce travail sera le "matching⁽³⁾" d'une photographie couleur de chaque plaque sur son maillage, afin d'obtenir un modèle 3D dont les textures seront exactement celles de l'objet source. On pourra alors disposer à distance (Internet) d'un objet virtuel 3D parfaitement conforme en géométrie et couleur à l'original.

Contact

Cabinet Guy PERAZIO
Géomètre Expert D.P.L.G.
ZA Centr'Alp
137 Rue Mayoussard
38430 MOIRANS
Tél : 04.76.35.51.69
Internet : www.perazio.com

- (1) scanning : balayage laser
- (2) Retrofit : modification de l'existant
- (3) Matching : application des textures réelles de l'objet sur son modèle numérique.

