

Imagerie 3D au service de la restauration de l'Obélisque de la Concorde, Paris

David GIOVANNACCI, Jean-Didier MERTZ, Yannick MELINGE

Laboratoire de recherche des Monuments Historiques (LRMH), Ministère de la culture, Champs sur Marne
CRC-LRMH, CRC – UAR3224, CNRS, Paris

RESUME

L'obélisque de la Concorde est érigé depuis 1836 sur son piédestal en granite breton. Restauré en 1962, il fait l'objet d'une intervention encore en cours pour célébrer le bicentenaire de la découverte de Champollion. Soumis à la pollution atmosphérique et aux agressions du climat parisien, une campagne de restauration a été programmée pour le premier trimestre 2022. En amont de cet opération d'envergure, des tests ont été nécessaires afin de déterminer les techniques optimales de nettoyage et de consolidation de l'épiderme du granite constituant le monolithe. Dans cet étude, l'accent est mis sur les méthodes d'évaluation et de contrôle mises en œuvre, où les techniques non destructives ou non invasives occupent une place privilégiée, dans un contexte patrimoniale sensible et de suivi sur le long terme.

Mots-clefs Obélisque de la Concorde, restauration, granite, imagerie 3D

I. INTRODUCTION

Le bicentenaire du déchiffrement des hiéroglyphes par Champollion à l'aide de la pierre de Rosette est célébré cette année. Pour rappel, le vice-roi d'Égypte Méhémet Ali offre à la France, en signe de reconnaissance, les deux obélisques qui ornaient le temple de Louxor. Malheureusement, un seul parviendra à destination : l'obélisque de la Concorde. Ce monolithe taillé il y a 3300 ans dans les carrières de granite d'Assouan, est érigé en 1836 sur son piédestal en granite breton. Restauré en 1962, il fait l'objet d'une intervention encore en cours. A la demande de la Direction Régionale des Affaires Culturelles (DRAC) d'Ile de France, des évaluations des procédés de nettoyage ont été réalisés et une phase de calibration des opérations de restauration a été conduite en collaboration avec les restaurateurs impliqués dans les travaux.

Comme spécifié dans la norme relative à l'évaluation analytique des procédés de nettoyage sur les matériaux minéraux poreux du patrimoine bâti [1], la caractérisation de l'état de surface des matériaux est un des paramètres pouvant servir de critère de sélection d'un procédé de nettoyage. L'utilisation d'une mesure non destructive et *in situ* étant à privilégier pour ce faire, nous avons réalisé des campagnes de numérisation 3D haute résolution sur différentes parties du monument. Pour ce travail, le système mis au point par la société Creaform, le système GO-scan a été retenu.

A partir du relevés 3D, la caractérisation de la rugosité, définie par la hauteur d'un intervalle de surface par rapport à sa forme générale, sera alors faite puis comparée entre les différentes zones d'étude avant et après l'opération de nettoyage.

Les techniques de nettoyage évaluées sont des micro abrasion par pulvérisation sous pression, ou micro sablage, à l'aide de trois différents minéraux (carbonate de calcium, corindon et silicate d'aluminium).

II. METHODE D'ANALYSE ADOPTEE

Le dispositif permet d'imager le volume, la couleur et la texture des objets avec une résolution allant jusqu'à $100\mu\text{m}$ et une exactitude de $50\mu\text{m}$. Pour une résolution inférieure à 1 mm , des cibles sont collées à la surface de l'objet à scanner. Ces pastilles n'endommagent pas la surface de l'objet et sont retirées à l'issue de la mesure. Un compromis doit être trouvé entre la résolution nécessaire sur une surface représentative pour avoir l'information pertinente et le nombre de points enregistrés (et donc le volume du fichier de données à traiter).

Dans le cadre de cette étude, le choix a été porté sur une résolution de $400\mu\text{m}$, pour des surfaces de l'ordre de $1,5\text{m}^2$ (une surface comprenant un cartouche complet avec un débord pluri centimétrique autour du cartouche), les fichiers à traiter comportent en ce cas un nombre de points compris entre 20 et 30 millions, ce qui est compatible avec les capacités des outils informatiques associés (logiciels, puissance de calcul).

Les prises d'images ont été réalisées avant et après nettoyage, en vue de déterminer l'impact du nettoyage sur la surface.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A) Comparaison directe des surfaces par ligne de niveau

Une première étape d'analyse a consisté en une comparaison directe des reconstructions 3D des surfaces imagées. Cette vision est similaire à une courbe de niveau géologique, avec l'image prise avant nettoyage comme référence. Avant de pouvoir faire cette comparaison, un alignement des images est nécessaire, c'est à dire de positionner le point origine de l'espace des différentes images au même point.

Le résultat peut être observé sur la **Erreur! Source du renvoi introuvable.** Les bandes abrasées apparaissent légèrement en dessous des bandes non nettoyées, mais sans différence significative entre les trois bandes.

A la résolution choisie ($400\mu\text{m}$), il n'apparaît donc pas de différences significatives entre les 3 méthodes utilisées. Cette méthodologie macroscopique n'apparaît donc pas adaptée, une méthode moins globale est donc à favoriser, avec le calcul de la rugosité de surface.

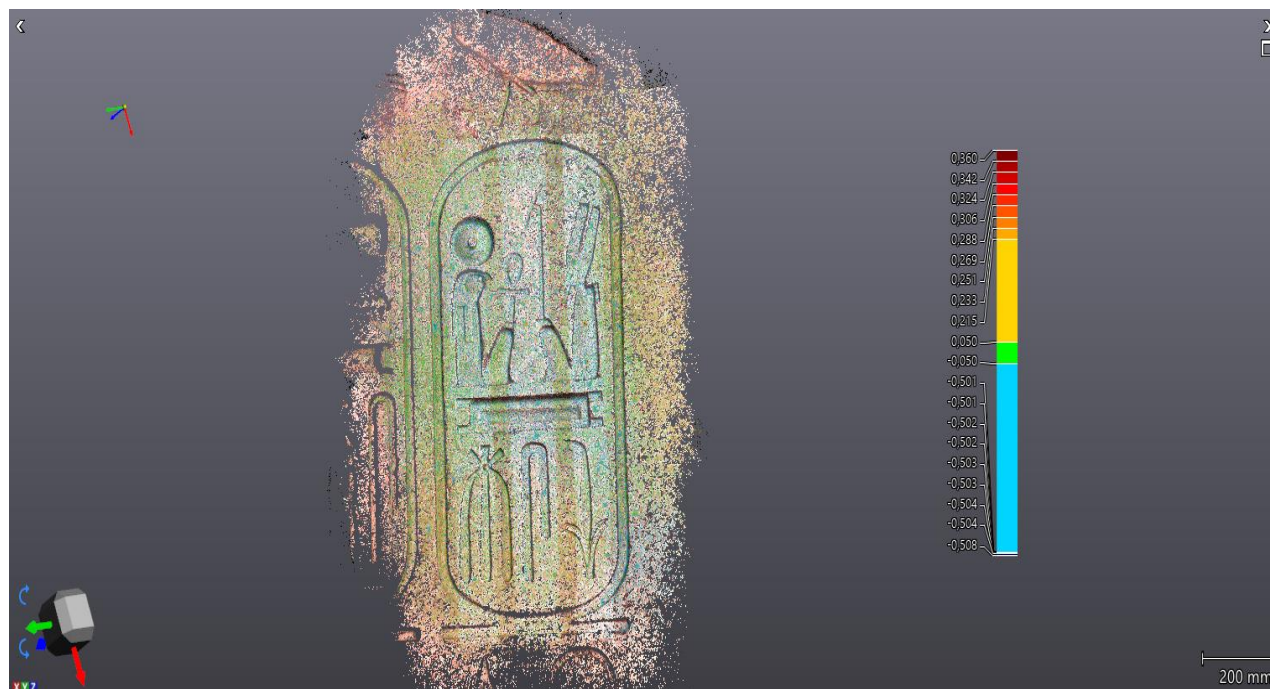


Figure 1 : Comparaison directe par courbe de niveau avant et après nettoyage

B) Calcul des paramètres de rugosité

Les mesures ont été réalisées sur la reconstruction 3D d'un cartouche de la face nord de l'Obélisque.

La présente étude visant à évaluer la rugosité, il a donc fallu s'affranchir de la forme complexe du cartouche, avec notamment les parties sculptées dans le volume du granite. Pour ce faire et afin de garantir une statistique fidèle et juste, les paramètres de rugosité ont été calculés selon les lignes rouges, noires et bleues, correspondant à la partie supérieure, médiane et inférieure du cartouche comme illustré sur la Figure 2.

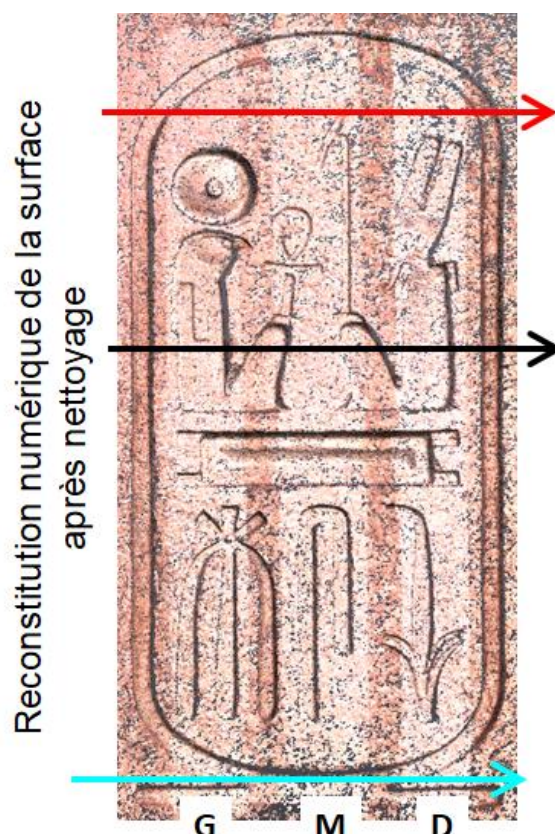


Figure 2 : Représentation des lignes permettant le calcul des paramètres de rugosité

En outre, les faces de l'obélisque n'étant pas parallèles, il a fallu également s'affranchir de l'écart d'altitude que cette forme entraîne le long des segments de droite choisis. Une ligne de base a été donc calculée sur chaque profil. Ainsi, le biais introduit par la géométrie de l'obélisque a pu être soustrait. Les paramètres de rugosité sont alors calculés sur ces intervalles délimités par les lignes pointillées verticales (conformément à la norme en vigueur [2]).

La même procédure est appliquée aux trois profils mesurés. Par zone d'étude, si le nombre total de points est inférieur à 100, les mesures sont considérées comme infructueuses.

Afin de rendre statistiquement l'étude plus juste, les données ont été cumulées sur chaque profil. Ceci se justifie d'autant plus dans la mesure où l'intervention est considérée comme étant uniforme sur l'ensemble des zones.

Par construction ([3]), la moyenne et l'écart type des distributions ne sont pas significatifs. Il est en revanche intéressant de prendre en compte la forme des distributions, qui renseigne sur la rugosité et sa répartition sur la surface ([2]).

Pour les 4 (quatre) zones d'étude, la distribution est relativement symétrique autour de 0 (la valeur médiane). L'asymétrie d'une distribution se mesure à l'aide du coefficient d'asymétrie, ou skewness, les valeurs de ce coefficient sont reprises pour les 4 zones d'intérêt. Lorsque la valeur est nulle, la distribution est symétrique, si elle est positive, la distribution est décalée vers la gauche, avec une queue de distribution plus longue vers les valeurs positives. Il apparaît que pour les trois zones G, M et D, la distribution est plus décalée vers la gauche que la zone référence, ce qui signifie, que ces zones sont plus creusées. La zone D, correspondant au corindon, est la zone la plus « creusée » des 3 (trois). Cette mesure est logique, des 3 (trois) projectiles utilisés, le corindon est le plus « dur ».

Tableau 1 : Valeurs des coefficient d'asymétrie (skewness) et d'aplatissement (kurtosis) pour les 4 (quatre) zones d'étude

	Skewness	Kurtosis
Zone G (carbonate de calcium)	0,36	3,26
Zone M (silicate d'aluminium)	0,30	3,40
Zone D (corindon)	0,56	2,88
Zone sale (référence)	0,22	3,45

Ce point est d'ailleurs confirmé avec l'étude de l'aplatissement de la distribution, évalué à l'aide du Kurtosis. En effet, pour le corindon, ce paramètre est très inférieur aux 3 autres valeurs. La surface est donc plus uniformisée avec le corindon, comme si elle perdait de son « grain ».

Concernant les deux autres projectiles, il apparaît que la zone M est la plus proche de la zone référence au niveau de ces deux paramètres, avec un kurtosis quasi égal.

IV. CONCLUSION

Finalement, pour préserver au mieux l'intégrité de la surface de l'obélisque, le corindon est le projectile le plus abrasif et serait donc à éviter. Entre le carbonate de calcium et le silicate d'aluminium le silicate d'aluminium est le projectile préservant le mieux l'état de surface et conservant donc son « grain ».

Pour ces raisons, le projectile à favoriser est le silicate d'aluminium.

V. REFERENCES

[1] NF EN 1748 juin 2021, Conservation du patrimoine culturel - Procédure pour l'évaluation analytique et le choix des méthodes de nettoyage des matériaux inorganiques poreux dans les bâtiments d'intérêt patrimonial, AFNOR

[2] NF EN ISO 25178-2 Mai 2012 Spécification géométrique des produits (GPS) - État de surface : surfacique - Partie 2 : termes, définitions et paramètres d'états de surface, AFNOR

[3] Tom R. Thomas, Rough Surfaces, second edition, Imperial College Press, 278 p. 1999