



HAL
open science

L'apport de la stéréophotogrammétrie à l'étude de la dégradation des pierres monumentales

Franck Vautier, Olivier Voldoire, Nicolas Duracka

► To cite this version:

Franck Vautier, Olivier Voldoire, Nicolas Duracka. L'apport de la stéréophotogrammétrie à l'étude de la dégradation des pierres monumentales. Bulletin de l'Association de géographes français, 2008, 85, pp.119 - 126. 10.3406/bagf.2008.2604 . hal-04819737

HAL Id: hal-04819737

<https://hal.science/hal-04819737v1>

Submitted on 17 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

L'apport de la stéréophotogrammétrie à l'étude de la dégradation des pierres monumentales (*Contribution of stereophotogrammetry to the study of monumental stones weathering*)

Franck Vautier, Olivier Voldoire, Nicolas Duracka

Abstract

Stereophotogrammetry is used as a method to quantify and spatialize weathering processes affecting stones monument to compensate for the imprecision of conventional methods. Tests are executed on alveolar erosion of gneiss stones of the Manglieu church (Puy-de-Dôme). Advantages and limits of the field work, level of the data precision and capacity of the 3D restitution are evaluated. Application fields of the method are also discussed as well as the potential technical alternatives.

Résumé

La stéréophotogrammétrie est testée comme méthode de quantification et de spatialisation de l'érosion des monuments historiques afin de pallier des techniques traditionnelles trop imprécises. Les tests sont réalisés sur les gneiss de l'église de Manglieu (Puy-de-Dôme) caractérisés par une forte alvéolisation. Les avantages et les limites de la méthode sont évalués sur trois points : la mise en œuvre sur le terrain, le niveau de précision des données restituées et la qualité du rendu infographique. Les champs d'application potentielle de la méthode sont alors discutés ainsi que les alternatives possibles.

Citer ce document / Cite this document :

Vautier Franck, Voldoire Olivier, Duracka Nicolas. L'apport de la stéréophotogrammétrie à l'étude de la dégradation des pierres monumentales (*Contribution of stereophotogrammetry to the study of monumental stones weathering*). In: Bulletin de l'Association de géographes français, 85e année, 2008-1 (mars). Petites villes françaises / Pierre monumentale. pp. 119-126;

doi : <https://doi.org/10.3406/bagf.2008.2604>

https://www.persee.fr/doc/bagf_0004-5322_2008_num_85_1_2604

Fichier pdf généré le 08/09/2020

L'apport de la stéréophotogrammétrie à l'étude de la dégradation des pierres monumentales

(CONTRIBUTION OF STEREOPHOTOGRAMMETRY TO STUDY THE MONUMENTAL STONES WEATHERING)

Franck VAUTIER*, ***Olivier VOLDOIRE****, ***Nicolas DURACKA****

RÉSUMÉ. - La stéréophotogrammétrie est testée comme méthode de quantification et de spatialisation de l'érosion des monuments historiques afin de pallier des techniques traditionnelles trop imprécises. Les tests sont réalisés sur les gneiss de l'église de Manglieu (Puy-de-Dôme) caractérisés par une forte alvéolisation. Les avantages et les limites de la méthode sont évalués sur trois points : la mise en œuvre sur le terrain, le niveau de précision des données restituées et la qualité du rendu infographique. Les champs d'application potentielle de la méthode sont alors discutés ainsi que les alternatives possibles.

Mots clés : stéréophotogrammétrie, quantification de l'érosion, monuments historiques, évaluation méthodologique.

ABSTRACT. - Stereophotogrammetry is used as a method to quantify and spatialize weathering processes affecting stones monument to compensate for the imprecision of conventional methods. Tests are executed on alveolar erosion of gneiss stones of the Manglieu church (Puy-de-Dôme). Advantages and limits of the field work, level of the data precision and capacity of the 3D restitution are evaluated. Application fields of the method are also discussed as well as the potential technical alternatives.

Key words : stereophotogrammetry, weathering quantification, monument stones, methodology evaluation.

Dans cet exposé, la photogrammétrie est présentée comme moyen de mesure pour la dégradation des pierres monumentales. Rappelons tout d'abord que c'est une technique qui permet de définir précisément les formes, les

* GEOLAB – UMR6042 CNRS - MSH Clermont-Ferrand

dimensions et la position spatiale d'un objet quelconque, en utilisant des mesures faites sur plusieurs photographies de cet objet (Bonneval, 1972). Elle constitue aussi une source de texture destinée à la restitution réaliste de l'aspect final du modèle. L'idée est de relayer les techniques d'acquisition traditionnelles (Fitzner, 1990 ; Mottershead, 1994) qui souffrent de limites d'application sur le terrain et de lacunes dans la précision et dans la restitution infographique de la donnée (Augeyre, 2006). L'usage de la stéréophotogrammétrie pour ce projet paraît donc approprié. L'objectif de ce travail est méthodologique, il consiste à évaluer les potentialités de la technique en pesant les avantages et les inconvénients sur le terrain (rapidité, facilité de mise en œuvre) et sur la qualité des résultats, c'est-à-dire le niveau de précision obtenu et la capacité à restituer l'intégralité de l'information 3D de l'objet. L'évaluation consiste à tester la méthode sur un site expérimental et à en mesurer les surfaces altérées, les épaisseurs de retrait ainsi que les volumes érodés. Le site sélectionné est l'ancienne abbatale Saint-Sébastien de Manglieu dans le Puy-de-Dôme (sud-est de Clermont-Ferrand). Datée du XI^e siècle, cet édifice présente des phénomènes d'altération significatifs de pierres monumentales en gneiss. Encadrées par des granites sains ou très peu altérés, ces pierres gneissiques sont soit coalescentes, formant ainsi des surfaces alvéolisées parfois supérieures au mètre carré, soit isolées avec des profondeurs d'altération de plusieurs centimètres. Le test est réalisé sur une pierre présentant une altération profonde et une morphologie complexe caractérisée par une forte alvéolisation (photo 1).

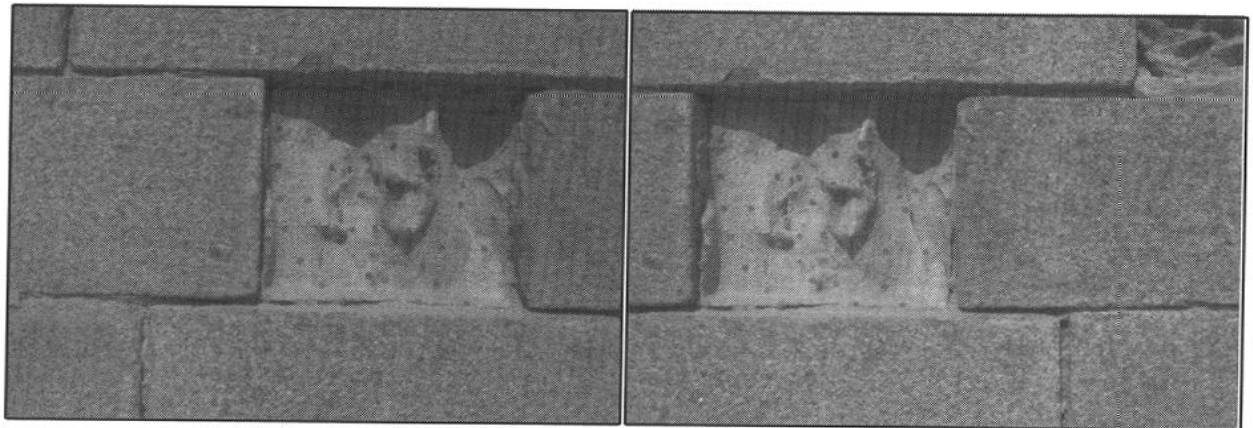


Figure 1 - Couple stéréoscopique de la pierre monumentale (les points sombres correspondent aux points d'appui mesurés à la station totale)

1. La technique photogrammétrique

L'objet n'est pas de traiter dans le détail la technique photogrammétrique mais d'en présenter les grands principes de fonctionnement.

Depuis l'apparition de la photographie, les caractéristiques géométriques des prises de vue ont été utilisées comme sources d'information sur l'objet photographié (Drap, 1995). Historiquement, c'est d'abord en architecture que la photogrammétrie a été appliquée (Drap, 1995 ; Grussenmeyer, 2003 ; Anonyme, s.d.). En 1861, le capitaine Laussédats réalise le premier levé topographique complet sur le village de Buc près de Versailles à l'aide de huit prises de vue. Parallèlement, en Allemagne, l'architecte Albert Meydenbauer utilise la photographie pour des travaux de rénovation de la cathédrale de Wetzlar. En 1893, il introduit le terme « photogrammétrie » utilisé depuis dans toutes les langues. Meydenbauer enregistre jusqu'en 1945, 76 000 clichés, assurant ainsi la mémorisation du patrimoine architectural allemand. Jusqu'au milieu des années 1980, la photogrammétrie nécessitait des investissements importants et restait réservée à quelques spécialistes. Le matériel mis en œuvre était en général impressionnant, qu'il s'agisse des chambres de prise de vues métriques ou encore des stéréorestituteurs. L'obtention de coordonnées précises à partir d'images nécessitait des méthodologies très élaborées fondées sur la mécanique, l'optique et l'informatique. Avec le développement rapide de la technologie numérique, on peut maintenant obtenir des images de très haute résolution et les détails 3D d'un objet en utilisant un simple appareil photo numérique, un ordinateur et un logiciel de traitement photogrammétrique.

On distingue généralement deux types de photogrammétries, la photogrammétrie multi-images et la stéréophotogrammétrie. La photogrammétrie multi-images permet la restitution par l'usage de plusieurs points de vue différents qui peuvent être fortement convergents. Elle est particulièrement intéressante pour des structures à morphologie complexe, ou possédant un recul insuffisant pour une prise de vue perpendiculaire à la structure (Fuchs et *al.*, 2003). Cette technique est surtout utilisée par les architectes (Grussenmeyer, 2003) en vue de la restitution de plans vectoriels de bâtiments et des calculs de métrés. Dans le cas de la stéréophotogrammétrie, technique appliquée ici, le principe est de travailler à partir de seulement deux prises de vue dont les axes sont parallèles. Pour réaliser un couple stéréoscopique, les conditions suivantes doivent être respectées (Guillot, 1997) :

- les prises de vue doivent être parallèles ou très peu convergentes,
- la distance entre les deux prises de vue doit être généralement de 1/5 de l'éloignement de la structure photographiée,

- pour pouvoir être restitué, un objet doit apparaître sur les deux clichés d'un couple,
- pour les petites structures, un seul couple est nécessaire, pour des structures plus importantes, plusieurs couples stéréoscopiques permettront une couverture photogrammétrique convenable.

Un appareil photographique de modèle canon 400 EosD à focale fixe, dont les paramètres de calibration ont été déterminés (Guillot, 1997), est utilisé. Il possède un capteur à très haute résolution de 3 888*2 592 pixels. Le temps de réalisation est fonction du nombre de clichés, eux-mêmes dépendants de la taille de la structure étudiée. Le procédé de relevé permet un grand nombre de prises de vue, parfois chevauchantes. Les clichés pour le traitement sont sélectionnés *a posteriori*. Une préparation initiale est nécessaire en mesurant, à la station totale, les coordonnées XYZ de points d'appui qui servent à positionner les clichés dans un référentiel métrique et orienter les modèles photogrammétriques dans un système 3D. Il faut noter que la précision théorique de la station totale est de 1.5 mm, ce qui introduit initialement une erreur dans le modèle. De manière à les localiser facilement sur les clichés lors du traitement informatique, ces points sont marqués sur la structure à l'aide de repères : des cibles de 50 cm² lorsque la taille de l'objet est de plusieurs m², des gommettes de couleur pour des structures de petites dimensions (quelques dizaines de cm²). Un seul opérateur est nécessaire, muni d'une station totale et d'un simple appareil photo calibré éventuellement monté sur trépied.

Le traitement informatique est réalisé avec le logiciel PI-3000 spécialisé dans le traitement stéréophotogrammétrique. Sa fonction principale est, sur la base d'un couple stéréoscopique, la création automatique de modèles filaires ou surfaciques (*Triangulation Irregular Network*) dont le maillage est défini par l'utilisateur. Ces modèles permettent les calculs de surface, de volumes, de coordonnées de points, la production de profils topographiques et de courbes de niveau. Le rendu graphique, le photomodèle, couvre l'intégralité de la structure étudiée et permet une restitution 3D avec drapage de la texture.

2. Résultats : acquisition, traitement, restitution

Le premier résultat concerne l'évaluation des temps d'acquisition et de traitement des données (tableau 1).

Terrain (54 points)	Traitement	Total
40'	40'	80'

Tableau 1 - Valeurs indicatives des temps d'acquisition et de traitement de la donnée

Le temps d'acquisition sur le terrain est dépendant du nombre de points d'appui mesurés à la station totale. Dans le cas de la pierre étudiée, caractérisée par une morphologie complexe, il était nécessaire de multiplier le nombre de points d'appui. Pour des structures à morphologie plus douce, une quinzaine de points sont suffisants. Les temps de traitement sont courts, mais dépendants aussi du nombre de points d'appui intégrés dans le modèle. Un autre résultat concerne la restitution visuelle. Le rendu infographique de l'objet est particulièrement convaincant par sa qualité visuelle et par la finesse des détails de la morphologie (figure 1). La représentation est donc conforme à la réalité de terrain. Ce photomodèle est exprimé sur la base de la production d'un TIN (*Triangular Irregular Network*) qui a également été exploité pour calculer les caractéristiques dimensionnelles de l'objet : surface, volume, retrait moyen, retrait minimal, retrait maximal (tableau 2). Si la restitution semble convaincante aussi bien sur le plan graphique que pour les calculs morphométriques, rien ne permet de connaître le degré de précision des résultats. Celui-ci a été évalué en comparant les coordonnées des points d'appui mesurées à la station totale sur le terrain (photo 1) et les coordonnées de ces mêmes points calculées par PI-3000 après le traitement photogrammétrique (tableau 3). La précision moyenne des trois axes est comprise entre 0.5 et 2 mm et l'erreur maximale enregistrée est de 3 mm. L'axe Y, qui représente l'épaisseur de retrait de la pierre, est de 0.77 mm. L'erreur moyenne quadratique, prenant en compte les 3 axes, est de 1.9 mm. Ces valeurs représentent l'écart au modèle photogrammétrique, elles ne prennent donc pas en compte l'erreur initiale de 1.5 mm introduite sur le terrain lors de la phase de mesures des points d'appui. En intégrant ce paramètre, le niveau de précision moyen dans les trois axes peut donc être estimé entre 2 et 3 mm.

Surface (cm ²)	807
Volume (cm ³)	4955
Retrait moyen (cm)	6.13
Retrait maximum (cm)	10.24
Retrait minimum (cm)	1.36

Tableau 2 - Valeurs d'érosion de la pierre-test

Axes	Moyenne	Ecart-type	Erreur minimale	Erreur maximale
X	1.40	0.71	0.10	3.08
Y	0.77	0.60	0.02	2.29
Z	0.56	0.46	0.03	1.94
Erreur quadratique (XYZ)	1.90	0.66	0.80	3.20

Tableau 3 - Estimation des erreurs (en mm) sur les trois axes XYZ (52 points de mesure)

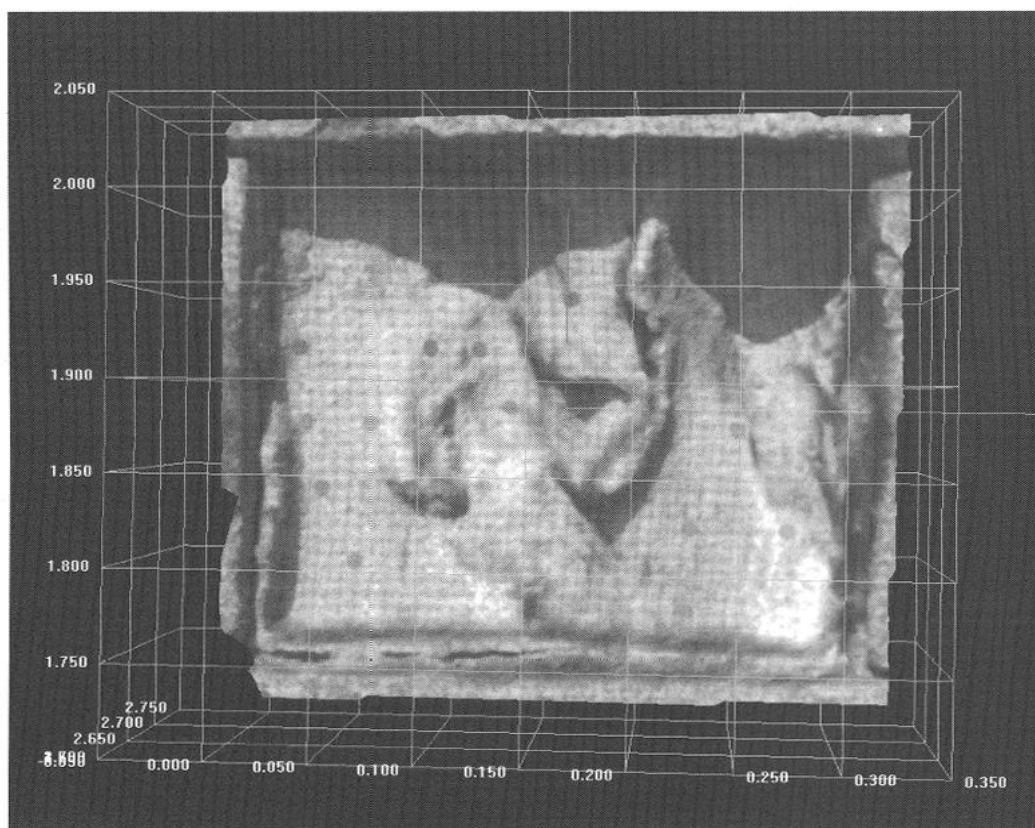


Figure 2 - Restitution 3D après traitement photogrammétrique

3. Bilan de la technique et champs d'application

Les résultats de ce test expérimental rendent possible un premier bilan des apports et des limites de la photogrammétrie appliquée à la mesure de la dégradation des pierres monumentales.

Les apports sont multiples, tout d'abord sur le terrain puisque la mise en œuvre est très légère, un seul opérateur peut suffire, l'acquisition de la donnée

est rapide. Un contact avec l'objet mesuré n'est forcément utile, le marquage de points d'appui par des repères étant facultatif, mais fortement recommandé pour des morphologies complexes. La quantité d'informations enregistrées est bien souvent supérieure à celle nécessaire dans l'instant et la photographie donne de l'objet une représentation complète, sans possibilité d'omission humaine. Elle fournit un document aisément maniable, d'une grande fiabilité dans le temps et disponible à tout moment pour des mesures complémentaires. La précision de la donnée est souvent inférieure à 3 mm, ce qui permet une restitution et des calculs proches de la réalité de terrain. La technique photogrammétrique permet de produire de l'information métrique (mesure de portions, périmètres, surfaces, coordonnées de points de l'objet, restitution de plans vectoriels) et de produire une information visuelle de haute qualité.

On retiendra cependant quelques limites. La photogrammétrie est une mesure indirecte, elle est le résultat de la combinaison de plusieurs clichés et la précision du modèle de restitution est dépendante du nombre de points d'appui sur le terrain et de la qualité de leur positionnement. Elle ne permet donc pas encore de retirer de l'information en temps réel ce qui induit un cumul d'erreurs, d'abord sur le terrain, puis lors de la phase de traitement. Cependant, en comparaison des méthodes traditionnelles, la qualité de l'information obtenue et le gain de temps sont incontestables. Il convient néanmoins de nuancer la qualité du résultat puisque l'erreur moyenne estimée est de 3 mm. Donc, si elle est très largement acceptable pour des calculs de surface ou dans le cas d'une érosion prononcée avec de forts retraits, cette valeur devient contraignante quand il s'agit de travailler dans un contexte d'érosion moins marquée, inférieure au centimètre. Les conclusions quant aux vitesses moyennes de dégradation de la roche risquent alors d'être erronées.

Conclusion et perspectives

Ce travail n'est que le préliminaire d'une véritable recherche sur les techniques nouvelles de quantification de la dégradation de la pierre monumentale proche de celle menée par les Anglo-saxons (Etienne, 2007). Les premiers tests expérimentaux effectués sur les gneiss de l'église de Manglieu permettent de nous positionner sur les réels champs d'application de la photogrammétrie. Si on se réfère à la problématique initiale, la technique répond parfaitement à deux exigences : sa capacité à restituer en 3D une information graphique de grande qualité, sa facilité et sa rapidité de mise en œuvre sur le terrain, puis de traitement informatique. Par contre, elle répond dans une moindre mesure à la capacité de produire de l'information de grande précision puisque l'erreur moyenne est évaluée à 3 mm. Ce niveau d'erreur est contraignant pour de faibles valeurs de retrait ou dans la perspective d'un suivi diachronique de l'érosion à une échelle pluriannuelle. Le bilan global apparaît donc mitigé et nécessite la mise en œuvre d'une méthode de métrologie

complémentaire, plus précise, qui puisse aussi fournir des mesures directes. La lasergrammétrie semble être une alternative intéressante : cette technique permet d'obtenir, avec des scanners à très courte portée (inférieure à 2 m), une précision théorique de l'ordre de 200 microns avec un maillage de 300 000 points. Ces valeurs répondent très largement aux objectifs fixés, mais la lasergrammétrie n'exclura en rien la photogrammétrie. Les deux techniques sont complémentaires, leurs champs d'application respectifs étant dépendants de l'échelle de la structure étudiée et du niveau de précision souhaité.

REFERENCES

- Anonyme, s.d. – Evolution de la photogrammétrie architecturale du XIX^e siècle à nos jours. <http://photogeo.insa-strasbourg.fr/cours/photo.html>, 18 p.
- AUGEYRE M., 2006. – La dégradation du patrimoine funéraire calcaire sur le littoral Atlantique français : l'exemple de l'île de Ré. Mémoire de Master 2^e année, Clermont-Ferrand, Université Blaise Pascal, 96 p.
- BONNEVAL H., 1972. – Photogrammétrie générale. 3 tomes, Coll. Scientifique de l'IGN, Paris Edition : Eyrolles, 232, 361 et 312 p.
- DRAP P., 1995. – La photogrammétrie appliquée à l'architecture. De la photographie d'architecture à un système d'information architectural. Rencontres des doctorants des écoles d'architecture du sud de la France, Ecole d'Architecture de Marseille, 15 p.
- ETIENNE S., 2007. – « Le paysage français de la recherche sur la dégradation et la conservation de la pierre monumentale ». *Géographies-Bull. de l'AGF*, (ce volume).
- FITZNER B., 1990. – Mapping of natural stone monuments – documentation of lithotypes and weathering forms. Advanced Workshop "Analytical Methodologies for the Investigations of Damaged Stones". Pavia (Italy), 14-21 septembre 1990, 1-24.
- FUCHS A., ALBY E., BEGRICHE R., GRUSSENMEYER P. et PERRIN J.-P., 2003. – Confrontation de la lasergrammétrie aux techniques de relevés conventionnelles et développement d'outils numériques pour la restitution architecturale. Actes de colloques : « Pixel et Cité 2003 » SFPT, 12.
- GRUSSENMEYER P., 2003. – « Photogrammétrie architecturale et modélisation 3D du patrimoine ». *Revue de l'Association Française de Topographie*, 95, p.p. 30-36.
- GUILLOTIN X., 1997. – Mise au point d'une méthode photogrammétrique rapide appliquée à l'archéologie. Mémoire de diplôme d'ingénieur E.S.G.T. Conservatoire National des Arts et Métiers, Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, Le Mans.
- MOTTERSHEAD D.N., 1994. – Spatial variation in intensity of alveolar weathering of a dated sandstone structure in a coastal environment, Weston Super Mare, UK. In Robinson D.A., Williams R.G.B. (Eds.), *Rock weathering and landform evolution*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 151-174.