

Traitement de données photogrammétriques pour la gestion du patrimoine bâti: Exemple de Tindouf sud-ouest algérien

I. Zeroual*, D. Zenati* & Z. A. Bentaleb*

*département des sciences de la terre, centre Universitaire de Tindouf

Courriel : zeroual_ib@yahoo.fr - zenatidjelloul@yahoo.fr

ملخص : القياسات القائمة على الصورة الفوتوغرافية (2D) تولد بيانات كمية يجب معالجتها في الفضاء ثلاثي الأبعاد للكائن (3D). أحد التطبيقات المثيرة للاهتمام للمسح التصويري الرقمي هو تجميع الوثائق حول التراث المبني. غالباً ما تُستخدم أدوات التخطيط وتخطيط المدن على المستوى المحلي بناءً على بيانات قديمة لا تعكس بأي حال الواقع على الأرض. ابحت عن الحلول والأدوات المناسبة لتقوية قواعد البيانات الحضرية للمدن من أجل تحقيق إدارة أفضل للمدينة الجزائرية من خلال إشراك الجيوماتكس. تهدف هذه الدراسة إلى تجميع طرق المعالجة التصويرية المطبقة على إدارة المدينة. يتم عرض أمثلة على طرق التحويل المختلفة بين مساحة الصورة / الكائن. تتم مناقشة بعض الجوانب المرتبطة بالتوجهات المختلفة ويتم التعامل مع الاسترداد على كائنات الاختبار التي تمثل الجوانب الحضرية. يعد تقييم جودة الوثائق المرتبطة مصدر قلق كبير في عملية صيانة التراث المبني والحفاظ عليه. لذلك، تتضمن المقالة أيضاً وصفاً للأخطاء التي تغير القيمة النهائية لنتيجة إعادة البناء ثلاثي الأبعاد (3D).

الكلمات الأساسية: المسح التصويري الرقمي، إدارة المدينة، تيندوف.

Résumé : Les mesures basées sur l'image photographique (2D) génèrent des données quantitatives qui doivent être traitées dans l'espace tridimensionnel de l'objet (3D). La confection d'une documentation sur le patrimoine bâti s'avère une des applications intéressantes de la photogrammétrie numérique. Les instruments d'aménagement et d'urbanisme sont souvent utilisés au niveau local en se basant sur des données obsolètes et qui ne reflète en aucun cas la réalité du terrain. Rechercher les solutions et les outils adéquats pour renforcer les banques de données urbaines des villes dans un souci d'arriver à une meilleure gestion de la ville algérienne par l'implication de la géomatique. Cette étude a pour objectif une synthèse des méthodes de traitement photogrammétrique appliquées à la gestion des villes. Des exemples sur différentes méthodes de transformation entre l'espace image/objet sont exposés. Quelques aspects liés aux différentes orientations sont discutées et une restitution sur des objets test représentant des aspects urbains est traitée.

L'évaluation de la qualité de la documentation restituée

est un souci majeur dans le processus de la maintenance et de la conservation du patrimoine bâti. Par conséquent, l'article inclut également une description des erreurs qui altèrent la valeur finale du résultat de la reconstruction en trois dimensions (3D).

Mots clés : photogrammétrie numérique, gestion des villes, Tindouf.

Abstract : The measurements based on the photographic image (2D) generate quantitative data that must be processed in the three-dimensional space of the object (3D). One of the interesting applications of digital photogrammetry is the compilation of documentation on the built heritage. Planning and town planning instruments are often used at the local level based on obsolete data which does not in any way reflect the reality on the ground. Look for the appropriate solutions and tools to strengthen the urban databases of cities in order to achieve better management of the Algerian city through the involvement of geomatics. This study aims to synthesize photogrammetric processing methods applied to city management. Examples of different transformation methods between image / object space are exposed. Some aspects linked to the different orientations are discussed and a restitution on test objects representing urban aspects is treated. Evaluating the quality of the returned documentation is a major concern in the process of maintenance and conservation of built heritage. Therefore, the article also includes a description of the errors that alter the final value of the three-dimensional (3D) reconstruction result.

Key words : digital photogrammetry, city management, Tindouf.

1. Introduction

Il est convenu que la photogrammétrie est une méthode de reconstruction 3D de scène ou d'objets photographiés. Les aspects photométriques et géométriques sont très corrélés pour une bonne mise en correspondance dense entre une paire d'images ou plusieurs images. Le travail implique implicitement les quatre contraintes bien connues dans l'appariement stéréoscopique : épipolaire, continuité, unicité et contraintes d'ordre. La calibration et la recons-

truction tridimensionnelle sont des étapes incontournables pour produire l'objet en 3D. Les paramètres internes des appareils photographiques sont exigés pour être utilisés dans le processus photogrammétrique et une importance capitale est donnée au bon choix des images sur le plan qualitatif et quantitatif. D'un autre côté, l'opérateur doit arranger la scène pour être assez hétérogène, pour prendre des photos appropriées avec des points non-coplanaires placés dans la scène de manière uniforme. Les points marqués dans les images (Target) sont la base de tout traitement en photogrammétrie : leur identification est indispensable pour les calculs. L'objectif de cette communication est de rassembler les éléments permettant de reconstruire fidèlement un objet 3D en analysant chaque phase du traitement. Le calcul photogramétrique étant fait avec différentes versions de systèmes de mesure, on présentera les résultats selon le protocole de traitement et quelques commentaires suivront les paragraphes présentations. La discussion autour des paramètres internes et externes permettra de conclure sur les conditions à réaliser une bonne métrologie pour une documentation sur le patrimoine. Mais en parallèle, les développements au sein de la communauté de vision par ordinateur, destinés essentiellement à des applications de robotique, ont capitalisé depuis une décennie l'essentiel des efforts de recherche dans ce même domaine. C'est cette communauté qui, actuellement, est principalement porteuse de l'avenir de la photogrammétrie.

2. Le patrimoine architectural

Dès 1933, lors de la conférence Internationale d'Athènes sur « 1^{ère} tour des biens culturels à leur pays d'origine », l'idée de sauvegarder les valeurs architecturales du patrimoine historique des villes fait son apparition. En 1964, le Conseil International des Monuments et des Sites (ICOMOS) a été créé en vue de mettre en valeur le patrimoine architectural au niveau international[1]. Aujourd'hui, la volonté de conserver et de valoriser le patrimoine architectural est toujours présente, d'autant plus que l'évolution des techniques de relevé et l'apparition de nouveaux outils comme le scanner laser apportent de nombreuses solutions techniques pour représenter les monuments historiques de manière exhaustive.

Les techniques de relevé utilisées pour représenter le patrimoine architectural sont la topométrie, la photogrammétrie, qui existe depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, et plus récemment, la laser grammétrie ou numérisation laser, à savoir l'utilisation du scanner laser.

En fonction des besoins, ces techniques peuvent être utilisées séparément ou conjointement.

Les projets de recherche sur le patrimoine architectural peuvent s'articuler en thèmes suivants :

- Les outils numériques et le patrimoine architectural,
- Le paysage comme totalité construite,
- Le processus de construction de bâtiments,

- Le processus d'auscultation de l'espace bâti.
- Le partage d'information sur des réseaux de communication et de distribution pour l'architecture.

Dans cet article on aborde le thème concernant les outils numériques pour le patrimoine architectural. Cet axe de recherche possède plusieurs objectifs comme l'amélioration de l'acquisition des données 3D sur le terrain, l'archivage de celles-ci ainsi que leur consultation et leur diffusion. En ce qui concerne l'acquisition, plusieurs techniques sont utilisées. Il s'agit notamment de la photogrammétrie aérienne et terrestre ainsi que du scanner laser.

Ainsi, le sujet de ce travail portera sur l'analyse de la phase de relevé du patrimoine architectural et sur l'archivage des données recueillies. Dans un premier temps, un certain nombre d'éléments sont à prendre en compte pour le relevé du patrimoine architectural. Il s'agit des besoins liés aux relevés et des produits issus de ceux-ci. Dans un second temps, des recommandations sont exprimées sur le relevé et la structuration des données issues de la photogrammétrie et du couplage «topométrie-photogrammétrie». Enfin, une expérimentation est évoquée avec 1^{ère} levé d'une façade du fort de l'est à Mostaganem. Il s'agit d'une expérimentation qui met en oeuvre la topométrie, la CAO et la photogrammétrie. Cette étude porte notamment sur l'acquisition et l'archivage des données ainsi que sur l'analyse des résultats obtenus.

2.1 Les besoins

Les besoins en termes de relevé du patrimoine architectural concernent principalement la conservation et la valorisation des monuments. La conservation consiste à archiver les numérisations, en vue de garder une trace des formes d'un édifice étudié. La valorisation permet de visualiser un site plusieurs fois et sur différents supports.

«Dans la plupart des cas, il ne s'agit pas uniquement de reproduire en trois dimensions l'objet relevé, il faut ensuite extraire les informations capables de décrire les formes architecturales et de les représenter en fonction des codes graphiques propres aux professionnels de l'archivage, de l'analyse et de la diffusion du patrimoine : architectes, archéologues, conservateurs, administrateurs, etc. »[2].

Concrètement, ces besoins se traduisent par des extractions d'informations dimensionnelles sous forme de coordonnées à partir desquelles il est possible de faire des mesures de distance. Il est aussi possible de faire des représentations bidimensionnelles (plans, élévations, coupes, etc.). Les commanditaires ont aussi besoin de reconstructions géométriques tridimensionnelles. Un autre besoin concerne la restitution de l'apparence visuelle des surfaces. Enfin, plusieurs besoins peuvent être exprimés en même temps. Dans ce cas, ils s'agit de faire une restitution de plusieurs aspects à la fois [2].

2.2 Les produits

2.2.1 L'ortho-image

L'ortho-image est une image redressée qui utilise des points de recalages lorsque les paramètres de prise de vue sont inconnus ou un MNT lorsque ces paramètres sont connus. En photogrammétrie terrestre, l'ortho-image permet de créer des orthophoto-plans pour produire des plans de façade et des représentations graphiques des éléments architecturaux.

2.2.2 Les images panoramiques

Une image panoramique est un assemblage de plusieurs photographies prises depuis un même point de vue. En effet, les photographies sont prises avec des angles verticaux différents et un angle horizontal de 360°, de manière à obtenir des bandes qui couvrent tout l'objet à représenter. Ensuite, ces photographies sont assemblées et projetées sur une surface ou sur un nuage de points. Par exemple, une image panoramique permet de visualiser un espace intérieur de manière intégrale sur un même document.

2.2.3 La carte de profondeur

La carte de profondeur permet de donner les écarts d'une surface par rapport à un plan ou à une surface de référence (cylindre, sphère, surface paramétrée...). Les écarts sont représentés par un dégradé de couleurs en fonction de l'importance de l'écart. Un avantage de ce produit est de pouvoir mettre en évidence les déformations d'une surface.

2.2.4 Les modèles 3D texturés

Les modèles 3D texturés correspondent à la projection, d'une ou plusieurs images, sur une surface ou un modèle 3D pour reconstituer la scène observée. La qualité du modèle varie en fonction des besoins et des techniques utilisées. Par exemple, une image redressée peut être plaquée sur un modèle géométrique simplifié, ou une image non redressée sur un modèle 3D détaillé.

2.2.5 Les mosaïques d'ortho-images

Il est possible de fusionner plusieurs ortho-images pour créer une mosaïque d'ortho-images. Tout d'abord, cet assemblage des ortho-images possède l'avantage de pouvoir couvrir une surface étendue, à condition de posséder un Modèle Numérique de Terrain, c'est-à-dire une information altimétrique de la surface à couvrir.

2.3 Les paramètres des produits

2.3.1 Les zones à acquérir

Les zones d'un édifice à acquérir peuvent être classées en deux catégories : les espaces intérieurs et les espaces extérieurs. En ce qui concerne les espaces intérieurs trois zones principales sont identifiables : le sol, les façades et le plafond. Par exemple, un relevé du sol peut être mis en œuvre

pour un chantier archéologique dont l'édifice est réduit à ses fondations enfouies dans le sol. Enfin, un bâtiment peut être relevé de manière exhaustive, c'est-à-dire que les espaces intérieurs et extérieurs sont relevés.

2.3.2 Le niveau de détail

Les attentes en termes de relevé peuvent concerner le niveau de détail des éléments architecturaux. Le niveau de détail est lié à la complexité de l'objet à relever. En effet, plus la complexité de l'objet est grande, plus le niveau de détail est important. Il peut aussi varier en fonction de l'état de conservation du bâtiment. En effet, un édifice en bon état de conservation des éléments architecturaux bien distincts comme une moulure ou une colonne peuvent être facilement représentés et discernable ; un grand niveau de détail n'est donc pas nécessaire.

2.3.3 La précision attendue en fonction des dimensions de l'objet

Différents niveaux de précisions peuvent être obtenus en termes de relevé du patrimoine architectural. Un niveau centimétrique est attendu pour les modélisations 3D des édifices d'un ordre de grandeur est la dizaine de mètres, et des édifices de grande taille souvent accompagnés de leur domaine pour lesquels l'ordre de grandeur est le kilomètre.

3. Les traitements photogrammétriques

3.1 Principe et méthodes

Le monde tridimensionnel se projette dans deux images bidimensionnelles ; c'est une application d'un espace de dimension 3 dans un espace de dimension 2 par réciprocity de la stéréoscopie. Pour les vues multiples [3], le principe est basé sur la corrélation dense entre images. La généralisation des concepts de la géométrie épipolaire et l'application de la théorie des invariants apporte plusieurs solutions relatives aux applications de la photogrammétrie rapprochée : ortho photographies, birapport et redressement, restitution mono image, etc.

Le principe de la méthode de traitement en photogrammétrie se décompose en deux étapes :

- L'étalonnage de l'appareil photographique (ou de plusieurs appareils) et définition des éléments internes,
- Reconstitution et restitution de l'objet en utilisant les principes de corrélation.

La formulation qui suppose pouvoir est imerconjointement la position de chaque vue, la structure du modèle et les paramètres de l'appareil photographique eslargement utilisée en photogrammétrie. L'approche, du fait qu'elle requiert un modèle approximatif de la mire, est en retrait par rapport aux travaux d'étalonnage 3D mais garde l'avantage important d'intégrer un vecteur de paramètres internes de caméra complexe apte à prendre en

compte des déformations d'image importantes (figure3). Des techniques d'étalonnage incluant la prise en compte des déformations d'images ont été introduites par les photogrammètres utilisant des caméras nonétalonnées [4][5] (Luhmann et al. 2006).

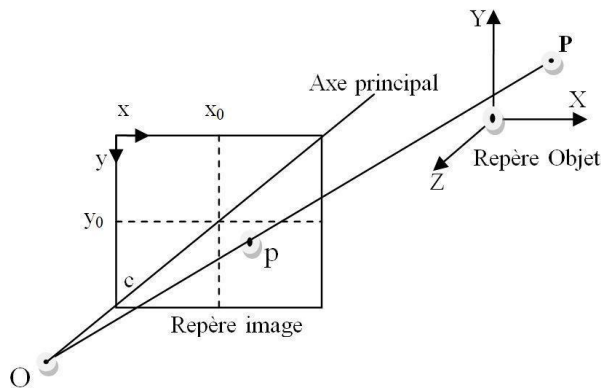


Fig. 1 Méthode des faisceaux.

L'optimisation d'un processus d'étalonnage se base sur la méthode des faisceaux et la formulation(1) de l'expression de l'équation de colinéarité est de la forme :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} = k.R. \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

Avec:

(x,y) coordonnées image du point p c : distance principale de la camera,

k : facteur d'échelle,

R: rotation entre système image et système objet, (XYZ): coordonnées objet du point p,

(Xo Yo Zo):Translation et coordonnées objet de O (origine).

3.2 Expérience photogrammétrique

Des appareils photographiques ainsi que le matériel EOS Systems est utilisé dans ces traitements. Il s'agit d'appareils photographiques Canon de focale 20mm, 28mm, 50mm et d'une mire A0 utilisée pour l'étalonnage (figure2). Le test pilote est un espace du laboratoire topographique dont le volume 10x10x3.5 m³. Les points de contrôles sont des cibles codées 12 bits. La définition du système de référence est celui du laboratoire de topographie (figure 3).



Fig. 2 Matériel d'acquisition.



Fig. 3 Laboratoire métrologie.

Les observations dans le système objet ont été faites par des opérations topométriques et au scanner 3D Trimble GX et la détermination des coordonnées des cibles en utilisant l'outil RealWorks.

L'étalonnage et orientation des caméras:

Les informations géométriques sur les caméras sont le point de départ pour une reconstruction complète de la scène en 3 dimensions. Les méthodes d'étalonnage ont diversifiées et font l'objet de recherche dès que l'objet à reconstruire est complexe. Les mires 3D, 2D et autres supports pour la détection automatique sont utilisées pour différentes applications; dans cette étude la mire 2D est utilisée pour le calcul des paramètres internes des caméras [4]. Globalement, le processus d'acquisition comprend les prises de vues pour l'étalonnage et les prises de vues pour la restitution. La mire de format A0 contenant quatre points de contrôles et 100 cibles détectables par le système d'étalonnage. Les paramètres de transformations entre l'espace image et l'espace objet relatifs à la caméra sont fournis par un calcul dans le système local. Une bonne orientation exprime une bonne exactitude sur l'intersection de rayons homologues (figure 5,6)[6].

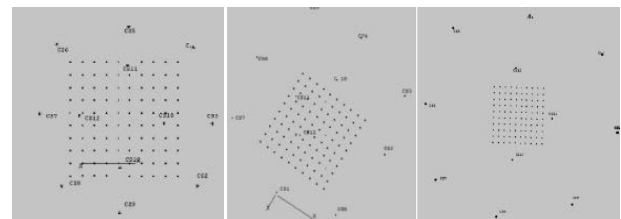


Fig. 5 Etalonnage de trois camera Canon de focale 20-28-50 mm.

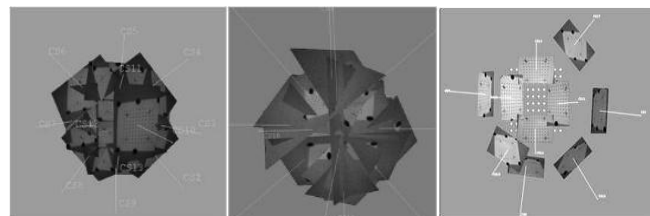


Fig. 6 Orientation des objectifs, 20mm, 28mm, 50mm.

Le graphe des résidus ou erreurs sur la définition des points observés pour les trois caméras exprime une similarité sur la distribution et l'intersection des rayons homologues ayant servis au calcul. La figure 7 fournit une courbe des résidus en fonction de la position du point sur l'image.

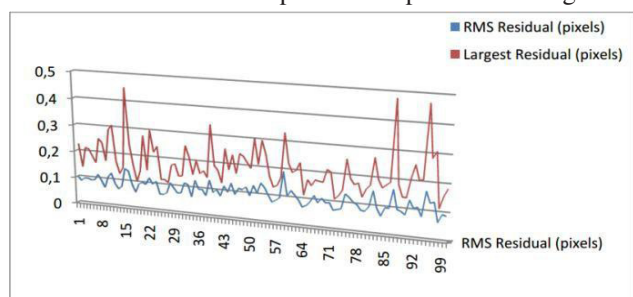


Fig. 7 Graphe canon 20mm.

Cette étape du traitement est réalisée en deux versions exprimant chacune une configuration des caméras. Les résultats du traitement sur les orientations sont résumés dans les tableaux 1 et 2 :

Tab 1. Calcul 3D version 1.

Rapport qualité	Canon 20mm	Canon 28mm	Canon 50mm
Nombre de photographies	13	11	12
Nombre d'itérations	2	2	3
Résidu traitement	0.827 pixel	1.260 pixel	3.65 pixel
Résidu marquage	0.106 pixel	0.162 pixel	0.477 pixels
Précision intersection rayon	0.00035-0.000089 m	0.00027 - 0.000062	0.0011 - 0.00034
Précision longueur	3.62 10-5 m	3.48 10-5 m	1.16 10-4 m
Position X (m)	1.48 - 1.81 10-5	1.34 - 1.52 10-5	5.84 - 6.33 10-5
Position Y (m)	1.47 - 1.75 10-5	1.5 - 2.38 10-5	5.83 6.38 10-5
Position Z (m)	2.81 -2.94 10-5	2.21 - 2.81 10-5	7.78 - 8.19 10-5

Tab 2. Calcul 3D version 2.

Rapport qualité	Canon 20mm	Canon 28mm	Canon 50mm
Nombre de photographies	13	12	12
Nombre d'itérations	4	3	3
Résidu traitement	2.875 pixels	1.31 pixel	3.64 pixels
Résidu marquage	19.265 pixels	0.168 pixels	0.463 pixels
Précision intersection rayon	0.067 - 0.000012 m	0.00053 - 0.000091m	0.0011 - 0.00033m
Précision longueur	5.4 10-5 m	6.81 10-5 m	1.47 10-4 m
Position X (m)	2.48 - 40 10-5	2.63 - 3.11 10-5	6.47 - 8.9 10-5
Position Y (m)	2.31 - 61 10-5	2.65 - 3 10-5	6.2 - 10. 10-5
Position Z (m)	7.05 - 429 10-5	5.39 - 5.75 10-5	1 - 1.5 10-5

On constate que pour certains paramètres la différence du résultat est appréciable (ex:erreur de position) il est donc nécessaire d'établir un contrôle préliminaire permettant d'optimiser le processus d'acquisition.

La Reconstruction 3D

Les résultats de cette modélisation photogrammétrique permettent de contrôler les paramètres de restitution en fonction de la distribution des points cibles et de définir la meilleure position de la chambre photographique par rapport à la scène et à l'objet. Dans cette optique, l'évaluation des paramètres externes pour chaque faisceau et l'interprétation des indicateurs du calcul 3D permet de connaître les éléments influant sur la restitution. Les méthodes développées pour la restitution élargie la notion de points pour les traitements, on distingue alors :

- Les points de contrôles,
- Les points marqués,
- Les points corrélés ou de liaison,
- Les points restitués concernant le détail.

Cet ensemble permet de générer un nuage référencé pour produire et reconstruire l'objet ou une partie de l'objet 3D (figure 8).

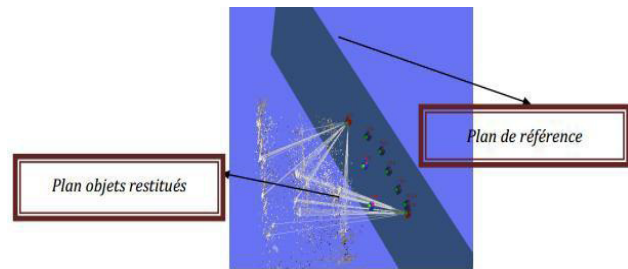


Fig. 8 Restitution et génération d'un nuage de points.

Il est bien connu que la reconstruction 3D suit un processus itératif intégrant la densification sur la base de nuage de point et le nombre de prise de vues utilisées. Pour rechercher la solution optimale, on doit retenir l'image trois (3D) la plus proche de la réalité.

4. Expérience à Tindouf

4.1 Le levé topographique d'encadrement

Généralement, le relever topographique signifie d'abord «encadrer» l'objet architectural dont il est question à l'intérieur d'un réseau topographique, avoir ou créer une polygonale de référence. Après cette approche de « premier contour », plus ample et générale, un deuxième niveau de levé, plus détaillé, doit avoir lieu : les divers éléments qui entourent de plus près l'objet architectural dont il est question et pouvant représenter un point de repère significatif sont relevés et traités (Lever célimétrique «de détail»). Plus précisément, un deuxième niveau de levé, plus détaillé et concernant tout ce qui entoure de plus près l'objet architectural dont il est question et pouvant représenter un point de repère significatif pour une meilleure étude de ce dernier, doit être à ce point réalisé.

4.2 Le levé photogrammétrique

La photogrammétrie implique le levé de détail des entités remarquables du site historique. La consolidation des différents niveaux de levés est obtenue dans un référentiel unique. La précision et la qualité du travail et, en particulier, le choix, le positionnement et la réalisation des points de calage qui serviront pour orienter plus tard les blocs photogrammétriques revêtent donc une importance considérable. Généralement, le travail photogrammétrique est conçu selon les lignes générales et essentielles indiquées par le CIPA (Comité International de la Photogrammétrie Architecturale) [<http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/wgv/3x3.htm>] se résumant à ces trois groupes de règles :

-3 règles géométriques. Il faut : a) préparer des informations de contrôle ; b) réaliser un relevé multi-images tout autour de l'objet ; c)procéder à créer des blocs pour la restitution ;

-3 règles photographiques. À savoir : a) la géométrie interne de la chambre doit être constante pour l'ensemble de clichés ; b) les conditions d'exposition doivent être homogènes ; c) la chambre sélectionnée doit être la plus

stable et avoir le plus grand format disponible;
-3 règles d'organisation. Il faut : a) faire des croquis adéquats ; b) écrire des protocoles adéquats ; c) ne pas oublier la vérification finale.

En ce qui concerne l'acquisition, plusieurs techniques sont utilisées. Il s'agit notamment de la photogrammétrie aérienne et terrestre ainsi que du scanner laser. En ce qui concerne le scanner laser, les travaux portent sur l'automatisation de la numérisation 3D et le traitement des nuages de points (Haggrén, H., et al. 2005), (Humbert, J.-B. 2010). Ainsi, le sujet de ce travail portera sur l'analyse de la phase de relevé du patrimoine bâti et architectural et sur l'archivage des données recueillies. Pour cette première approche un certain nombre d'éléments sont à prendre en compte

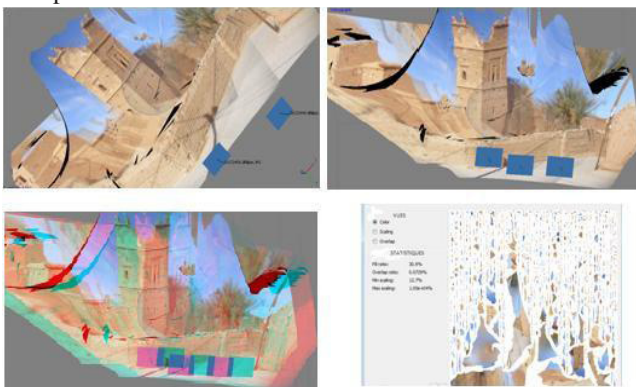


Fig. 9 Traitement photogramétrique du site religieux «El Atik».

pour le relevé du patrimoine architectural. Il s'agit des besoins liés aux relevés et des produits issus de ceux-ci. Enfin, une expérimentation est évoquée avec le relevé d'une façade intérieure de la casbah de belamech. Il s'agit d'une expérimentation qui met en œuvre la topométrie, la CAO et la photogrammétrie.

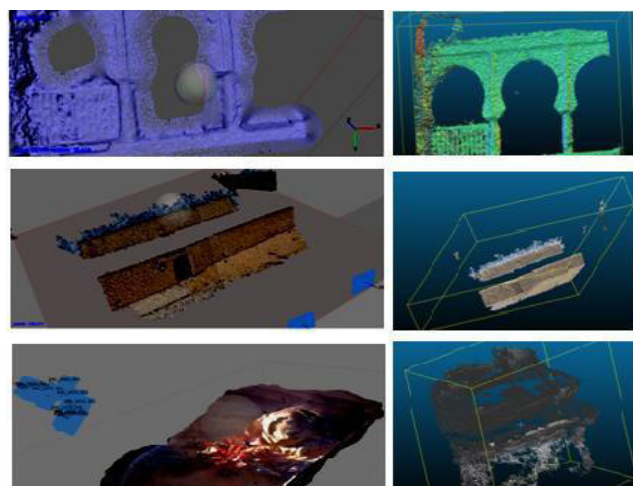


Fig. 10 Façade intérieure du Ksar avec la vectorisation de l'image et traitement cartographique (MNS) de la façade pour définir les irrégularités (en rouge).

5. Analyse et discussion

Les recommandations concernant le relevé du patrimoine architectural dépendent des besoins exprimés pour le site. Les recommandations issues du cahier des charges ont pour but d'obtenir un produit qui répond au mieux aux attentes de celui-ci. Les produits diffèrent selon les techniques d'acquisition utilisées (laser grammétrie, photogrammétrie, topométrie), le traitement des données et leur archivage. En ce qui concerne la photogrammétrie, les recommandations concernent principalement les différents types d'acquisition (une image, un couple stéréo, un bloc d'images). Ces recommandations sont complétées par le calcul de la résolution spatiale sur l'objet, celui de la distance de prise de vue et de la précision du relevé. Pour l'acquisition d'une seule image, deux cas de figure sont possibles selon la connaissance de la forme et la surface à restituer, la position, l'orientation et les paramètres internes de l'appareil photographique.

Pour l'acquisition d'un couple stéréoscopique, le recouvrement des deux images doit couvrir tout l'objet et les prises de vue doivent être parallèles : il est recommandé d'utiliser un rapport Base/éloignement inférieur à 0.4. En ce qui concerne l'acquisition des blocs d'images, les prises de vues peuvent être convergentes, horizontales, verticales ou obliques. Le nombre et la position des stations diffèrent selon la zone de l'édifice à acquérir (intérieur ou extérieur). De plus, pour résoudre le problème des parties cachées, au moins deux stations doivent être utilisées. Enfin, trois types de numérisations 3D doivent être réalisés pour chaque station : une numérisation de l'environnement du monument, des numérisations précises de l'édifice et des numérisations des cibles à pleine résolution : une approche d'intégration doit être définie.

Par ailleurs, l'archivage des données concerne les types de formats à utiliser pour chaque technique et la structuration de l'ensemble des données issues d'un relevé. Pour les deux techniques, l'utilité des formats dépend des traitements à effectuer et de la taille de stockage. Un premier niveau de structuration classe les données selon l'instrument utilisé ; un second niveau sépare les données brutes des données traitées ; enfin, un dernier niveau structure les données issues de chaque station. D'autre part, un fichier codé (ex: XML) décrit l'ensemble des données brutes et des traitements, de même que des données importantes comme les paramètres internes de l'appareil photographique utilisé. La manière de procéder nous oriente vers la manipulation de bases de données et donne au système de mesure des moyens de calibration. Le modèle conceptuel établi par Gutierrez et Servigne [7] pour le compte des phénomènes du génie civil et de l'industrie propose des relations sous forme de tables SQL (Select Query Language) entre des données sur le capteur, la mesure et le réseau de mesure. La traçabilité des résultats à l'aide d'un tel modèle est assurée pour le suivi du réseau ou du système de mesure (figure 11).

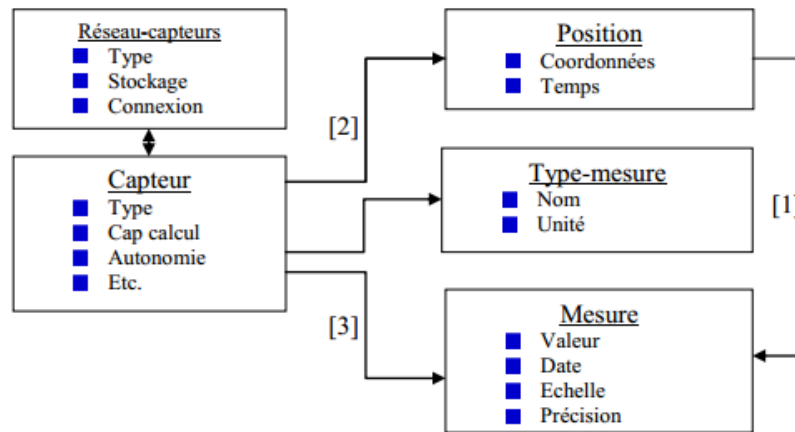


Fig. 11 Organigramme pour un Modèle Conceptuel «Métadonnées».

Le management des espaces bâtis et du patrimoine architectural à besoin de ces métadonnées pour améliorer la réhabilitation et la production par rapport au cahier de charge. Selon cette approche, l'exactitude de la restitution sera respectée pour la confection de document sur l'étude de faisabilité technique dans le domaine de la restauration. Un tel modèle s'articule autour des suivantes :

- [1]: relation:position 'correspond' à mesure,
- [2]: relation:capteur 'défini' par position,
- [3]: relation:capteur 'réalise' mesure.

6. Conclusion

Tous les éléments de cette expérience photogram-metrique ont ainsi permis de consolider et de compléter les méthodes de relevé de dégradation pour un suivi régulier. Ceci laisse envisager de pouvoir fournir un outil opérationnel et qui pourra être présenté aux différents gestionnaires d'ouvrages d'art. De plus, les champs d'applications pour la reconstruction 3D d'un site complet nécessite d'abord une étude de faisabilité. La gestion des données du patrimoine bâti et architectural est un problème à deux facteurs prépondérants :

- La géométrie complexe selon plusieurs champs de vues qui doivent conserver une exactitude homogène.
- Les données sémantiques et descriptives relatives permettant de confectionner et de suivre les ouvrages des sites et monuments historiques.

Références bibliographiques

- [1] ICOMOS, 1964 : « Charte internationale sur la conservation et la restauration des sites et monuments », 1964, ICOMOS, pp 4.
- [2] De Luca Livio, « La photomodélisation architecturale : relevé, modélisation et représentation d'édifices à partir de photographies », 2009, Eyrolles, pp 233-263.
- [3] Hartley, R. and Zisserman, A. (2000), 'Multiple View Geometry in Computer Vision', Cambridge University Press, London.
- [4] Abdelaziz and Karara. Mathematical Formulation in Close Range Photogrammetry, Manual of Photogrammetry—fourth edition-American Society of Photogrammetry, pp.801-803, 1980.
- [5] Luhman, T. and al., (2006), 'Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Application', Whittles editor.
- [6] Fraser, C.V. (2006) 'Evolution of network orientation procedures', journal ISPRS Commission V Symposium-Image engineering and vision metrology IAPRS Vol. XXXVI part 5, pp.114-120.
- [7] Gutiérrez, C. and Servigne, S. (2009), 'Métadonnées et Qualité pour les Systèmes de Surveillance en Temps-Réel', Revue Internationale de Géomatique, Vol. 19, N°2 pp. 151-168.

Ouvrages

- Bopp, H. and Krauss, H. (1980) Non topographic Photogrammetry Manual of Photogrammetry—fourth edition