



Rôle du scannage 3D dans l'étude monographique de l'arc Caracalla de Djemila (Algérie)

Role of 3D scanning in the monographic study of the Caracalla Arch of Djemila (Algeria)

Dr. MAHDADI Noureddine, Enseignant-chercheur ; Université de Sétif1, Institut
d'architecture & science de terre, département d'architecture (Algérie) iast@univ-setif.dz

Reçu le: 28/04/2022

Accepté le 07/12/ 2022

Publié le : 30/04/2023

Résumé

En 2009, le laboratoire architecture méditerranéenne (LAM)¹ sous couvert de l'université de Sétif1 en collaboration avec l'équipe de recherche Zamani project² de l'université cap Town ont entrepris deux campagnes de terrain sur le site de Djemila. En usant de l'aide du balayage laser et de la photogrammétrie, ainsi que la photographie panoramique et des images satellitaires. Cette expérience unique était fructueuse et a permis de mettre au jour une série de modèles 3D³ de haute qualité. Le présent travail s'inscrit dans cette même dynamique, dans le but de faire connaître et promouvoir l'inédite documentation visuelle et spatiale réalisée sur Djemila⁴ et en même temps, vulgariser l'usage de cet ensemble d'outils liés aux nouvelles techniques performantes. L'intérêt serait donc avant tout d'ordre pédagogique contenu de notre domaine d'activité, ensuite stratégique pour tous les acteurs potentiels opérant dans le domaine du « patrimonial archéologique »⁵.

Mots clés : Données numériques (visuelles & spatiales); photogrammétrie; scanner laser terrestre (SLT); Djemila (Sétif); patrimoine archéologique.

¹ Institut d'architecture et des sciences de la terre, département d'architecture de Sétif.

² Zamani : Un groupe de recherche de l'université Cape Town (Afrique du Sud), qui acquiert, modélise, présente et gère des données spatiales provenant de sites du patrimoine culturel. Le groupe «Zamani project» se concentre actuellement sur l'Afrique, avec pour objectif principal de développer «La base de données des sites et paysages du patrimoine culturel africain» in Wikipédia.

³ Le Baptistère, l'arc de Caracalla, le Marché, le temple Septime-servus et le Théâtre.

⁴ Notre cas d'étude sera la monographie de l'arc Caracalla.

⁵ Notamment : le domaine de la recherche scientifique, le domaine éducatif, le domaine de la préservation et le développement du site, etc.



Abstract

In 2009, the Mediterranean Architecture Laboratory (LAM) under the auspices of the University of Setif¹ in collaboration with the Zamani project² research team of Cape Town University undertook two fieldwork campaigns on the site of Djemila. Using laser scanning and photogrammetry, as well as panoramic photography and satellite images. This unique experiment was successful and resulted in a series of high quality 3D models³. The present work is part of this same dynamic, with the aim of publicizing and promoting the unprecedented visual and spatial documentation produced on Djemila⁴ and, at the same time, popularizing the use of this set of tools linked to the new high-performance techniques. The interest would therefore be first of all pedagogical in the content of our field of activity, and then strategic for all potential actors operating in the field of "archaeological heritage"⁵.

Key words: Digital data (visual & spatial); photogrammetry; terrestrial laser scanner (SLT); Djemila (Setif); archaeological heritage.

¹ Institute of Architecture and Earth Sciences, Department of Architecture, Setif.

² Zamani: A research group at the University of Cape Town (South Africa), which acquires, models, presents and manages spatial data from cultural heritage sites. The Zamani project is currently focusing on Africa, with the main objective of developing "The African Cultural Heritage Sites and Landscapes Database" in Wikipedia.

³ The Baptistery, the Arch of Caracalla, the Market, the Septimius-Servus Temple and the Theatre.

⁴ Our case study will be the monograph of the Caracalla Arch.

⁵ In particular: the field of scientific research, the field of education, the field of preservation and development of the site, etc.



Introduction :

État de la question

Dans une note rédigée en 1964, sur le développement urbain en Afrique du Nord, P. A. Fervier¹ a survolé l'essentiel des difficultés qui ont entravé sa recherche et son travail d'observation et d'analyse sur le site archéologique de Djemila. Il a évoqué surtout l'incertitude qui plane jusqu'à aujourd'hui, sur une bonne partie des travaux menés depuis 1909², qui se sont vus accompagnés de conflits, d'erreurs et de fragmentation, il cite « (...) sans grande chance d'erreur, on peut dire que tous ces plans sont faux ou, dans le cas le plus fortuné, imprécis [...] les descriptions sont sommaires ; quant aux élévations, elles ne sont jamais, ou presque jamais, données [...] Ajoute à cela les importantes restaurations qui ont défiguré les monuments, sans que le plus souvent on sache quel fut l'état de l'édifice lors de la découverte »³ ; il poursuit en disant « fréquemment, ces plans nous donnent une image simplifiée du réel. Cela n'est pas trop grave lorsque le monument est encore visible. Mais trop souvent la fouille a fait disparaître des traces d'un passé qui n'a pas intéressé le fouilleur [...] La documentation qui existe donc actuellement est très partielle et elle ne donne du réel qu'une image faussée par les

¹ Un historien, archéologue et épigraphiste français spécialistes de l'Antiquité tardive, il reste un des chercheurs les plus éminents dans ces domaines, qui a travaillé sur Sétif ; parmi ces publications de référence : Le développement urbain en Provence, de l'époque romaine à la fin du XIV^e siècle : Archéologie et histoire urbaine, Paris, éd. De Boccard, 1964. Djemila, Alger, éd. Direction des musées, de l'archéologie et des monuments et sites historiques, 1975. La Nécropole orientale de Sétif (Sétif, Algérie), Paris, éd. CNRS, 1985. Approches du Maghreb romain, 2 volumes, Aix-en-Provence, éd. Édisud, 1989. L'édifice appelé « Maison de Bacchus » à Djemila, Paris, éd. CNRS, 2019 (publication posthume).

² Date qui marque la période qui a permis la mise au jour d'une grande partie de la ville antique Djemila (ce qu'elle était devenue aujourd'hui).

³ Notes sur le développement urbain en Afrique du Nord. Les exemples comparés de Djemila et de Sétif, Publications de l'École française de Rome, vol. 225, no 1, 1996, p653.



conditions mêmes de la fouille ou de la conservation »¹ ; Il termine en disant « ces remarques préalables n'ont point pour but de décourager la recherche — au contraire même elles incitent à vaincre la difficulté- elles aident à bien marquer les limites des connaissances »².

Sur ce bref arrière-plan se dessine la finalité de la présente thématique, et son apport dans la mise en place d'une base de données numériques fiables sur les biens historiques et archéologiques du pays et, particulièrement ceux de Djemila. De facto, la fiabilité et l'exactitude de l'information d'un tel travail s'imposent plus que jamais, compte tenu du progrès et les moyens performants que nous offrent les TIC aujourd'hui (particulièrement le scannage 3D).

1.. Hypothèse

Notre hypothèse serait donc de se placer dans une perspective d'inventaire avec les moyens d'aujourd'hui. D'où cette préoccupation majeure d'acquisition numérique des données devenue de nos jours une activité habituelle incontournable ; l'enregistrement des caractéristiques physiques de ces sites et monuments a pris une importance capitale pour leur conservation. Par ailleurs, il est évident qu'une bonne maîtrise de ces outils d'acquisition numérique permettra de renforcer encore plus et d'une manière efficace et sereine leurs opérations d'inventaire ou celle de leurs (ré) inscriptions au plan de sauvegarde et de mise en valeur (PSMVSA)³; empêchant ainsi leur destruction et dégradation rapide. Nous mettons l'accent ici sur l'importance de l'évaluation de leur état de conservation en tenant compte du degré potentiel de vulnérabilité aux menaces et risques successifs (érosion, tremblement de terre, pollution, vandalisme, etc.).

¹ Notes sur le développement urbain en Afrique du Nord..., Op.Cit.

² ibidem

³ Le faire bénéficier de moyens financiers conséquents.



Nul ne doute que cette documentation avec le temps, sera le moyen le plus fiable afin d'appréhender ces sites et monuments, aussi bien pour les acteurs directs que pour le grand public, dans le but d'augmenter la connaissance de ses lieux, mais aussi, un outil pour la promotion de l'action citoyenne et collective pour leur conservation et enfin, pour un tourisme culturel responsable et de développement économique de leur territoire.

2.. Environnement du travail

Dès le départ, la morphologie du site ainsi que volumes et échelles de la majorité des monuments scannés ¹ se sont imposées comme des impératifs essentiels pour le choix de la méthode de relevé par la numérisation 3D ², auxquels vient s'ajouter un autre argument supplémentaire, celui de leurs situations dans le site assez aéré qui facilite le positionnement de l'ensemble des stations et les différents cheminements pour les prises de photos et panoramas nécessaires.

3.. Méthodologie

Nous tenons à dire que cette opération purement d'ingénierie (technique d'utilisation du scanner 3D) pour l'acquisition de données pertinentes dans le domaine de l'archéologie, comme celui de l'architecture et des monuments historiques, nécessite une équipe d'opérateurs qualifiés afin d'estimer : la précision de chaque point levé, les caractéristiques qui peuvent influencer la qualité des données produites par l'appareil, savoir reconnaître et corriger les différentes sources d'erreurs et enfin la maîtrise des étapes de prétraitement, de consolidation et recalage, de segmentation, de modélisation et enfin de texturage.

Au cours de ladite campagne sur le site de Djemila, l'équipe Zamani Project avait procédé à la saisie des données spatiales métriques aux

¹ Nous faisons allusion aux cinq monuments étudiés.

² Dans notre situation, le scannage 3D laser terrestre (SLT) est celui qui était retenu.



moyens du balayage laser et de la photogrammétrie (photos terrestres) ainsi que la photographie panoramique assistée par la technologie GPS/GNSS¹.

Par ailleurs, nous avons pris comme échantillon d'illustration à cette phase technique l'arc de Caracalla et son environnement immédiat.

3.1.. Outil : (scanner laser 3D/SLT)

On ne peut pas parler des caractéristiques techniques de l'outil d'acquisition (scanner 3D terrestre -SLT-) sans évoquer la question de la « précision » de la mesure, qui lui est intimement liée. Sur cette question T. Landes & P. Grussenmeyer² nous renseignent qu'elle ne dépend pas uniquement de la qualité de l'appareil (comme le laisse entendre souvent les constructeurs), mais aussi d'autres facteurs influents selon l'étude effectuée en 2003 par le groupe (W. Boehler, M. Bordas Vicent, A. Marbs)³ à savoir :

1. Précision angulaire
2. Précision & exactitude sur les mesures de distances
3. Résolution spatiale
4. Taille de l'empreinte laser (spot)
5. Portée
6. Vitesse de balayage
7. Sécurité (par rapport à l'opérateur)
8. Champ de vision
9. Logiciel(s) de post-traitement

L'objet ici n'est pas de donner les définitions respectives de chacun de ces facteurs, mais beaucoup plus monter leur importance dans le processus

¹ Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites : un récepteur pour le calcul des coordonnées géographiques tridimensionnelles d'un point précis.

² Lasergrammétrie : Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre : systèmes et caractéristiques.

³ Sur « Les questions relatives à la qualité et à la précision des points 3D enregistrés par les scanners laser ». Institut pour la technologie de l'information spatiale et de la topographie, FH Mainz (Allemagne).



d'acquisition d'une donnée numérique de « qualité » et donc plus fiable. Ce sont donc des manipulations et des comportements professionnels à qui revient ce genre d'opération de saisie et de traitement.

3.2.. Technique : (mode opératoire)

Il n'y a pas longtemps, la technique de scannage 3D appliquée à l'archéologie comme à l'architecture du monument était une opération particulièrement complexe ; une technologie qui s'appuie essentiellement sur les nouvelles générations d'équipements de mesures utilisés dans divers domaines industriels¹. L'appareil du scannage 3D², dont la capacité d'acquérir rapidement un grand volume de points 3D³, ne pouvait pas fournir directement à l'opérateur un résultat exploitable ; le nuage de points tridimensionnels obtenu devait être donc associé ou traité par un logiciel approprié⁴, livré généralement avec le capteur. Lors de cette opération d'acquisition et de traitement, il a été procédé au relevé de la totalité du monument, compte tenu de la densité fixée au départ, qui devait se rapprocher sensiblement de l'échelle souhaitée et où l'opérateur s'était assuré dès le début d'une couverture totale de l'objet (un maximum de stations pour effacer le maximum de masques).

Le résultat, c'était traduit en un véritable clone numérique « exploitable » en imagerie de synthèse. Ce modèle dit « tel que saisi », représente le monument tel qu'il existe au moment de l'acquisition de ses données, c'est donc une construction conforme à l'objet en l'état (Jaillet, Ployon, & Villemin, 2011). De facto, cette technologie performante avait apporté un archivage 3D et une documentation inédite sur ledit

¹ Comme la Métrologie : employée souvent comme moyen pour vérifier la conformité des dimensions.

² Nous faisons allusion au scanner laser terrestre (SLT)

³ C'est-à-dire : mesurer et enregistrer plusieurs millions de points tridimensionnels avec une précision et une densité assez élevées

⁴ Ces algorithmes (logiciels) utilisent les récentes avancées en informatique en matière de gestion de données denses et de modélisation.



monument dont les données acquises pourront dorénavant être exploitées avec précision même s'il venait à disparaître ou à être endommagé.

Le scanner 3D était équipé d'un appareil photogrammétrique bien calibré, lui permettant une connexion avec n'importe quel point scanné dans l'ensemble des vues qui couvrent le champ numérisé sur une distance allant de 80 à 100 m et d'une précision de 6 mm. La phase la plus longue du processus d'acquisition reste celle du recalage¹. Les résultats sous forme d'un nuage dense couplé aux différentes prises de vues avaient permis un enregistrement précis et l'éclosion d'un premier modèle maillé surfacique du monument. Ce modèle 3D brut d'acquisition avait rendu possible la perception en trois dimensions de l'arc de Caracalla, avant le texturage .

Un aspect important du travail sur le modèle 3D brut consiste à redresser les principales arrêtes puis à soulager le maillage couvrant les surfaces planes, afin d'obtenir un fichier le moins encombrant possible, tout en conservant un maximum de précision géométrique. Après cette phase, l'opérateur peut livrer un rendu en utilisant une texture réelle tirée directement des images numériques, ou bien en utilisant des motifs choisis dans une banque de textures disponible. Ledit modèle 3D réalisé (dit photo réaliste) pourra être délivré aux professionnels aux formats informatiques de CAO/DAO usuels, ou encore sous forme d'une maquette BIM² pour son exploitation directe et intelligente.

4..Résultat

Monographie de l'Arc Caracalla de Djemila

Une fois l'acquisition de la donnée faite, l'idée était de faire en sorte qu'elle soit exploitable d'une manière objective et intelligente. C'est ce qui

¹Dans notre situation sur l'arc Caracalla, cette phase (dite aussi de consolidation) ne s'était pas imposé, le champ de vision du scanner3D était suffisant pour envelopper l'objet et, le recours à plusieurs stations pour couvrir toutes ces faces n'était pas nécessaire.

² Building Information Modeling (modélisation des données du bâtiment)



nous a amenés à travailler sur la « monographie ». Un travail d'articulation entre une analyse historique (interprétation de la source : archive, manuscrit, récit, rapport de fouille ; etc.) et une lecture minutieuse du monument par le texte et l'image, afin de synthétiser au mieux ses propriétés (de Montclos, 2003). L'image est donc cette donnée numérique acquise, qui va servir de support fiable pour un descriptif raisonné de l'ouvrage et c'est ce qui donne à ladite étude « monographique » une place de premier plan dans le processus de l'inventaire.

Dans cette démarche, c'est l'étude approfondie du caractère singulier du monument qui est visé, une objectivité traitée selon deux critères : le premier relevant d'un corpus avéré et le second relevant d'une approche typologique (de Montclos, 2003) ; laissés-pour-compte pour des raisons méthodologiques¹. Le but ici n'était pas d'arriver à tout prix à cette monographie, mais plus monter la place qu'occupait cette donnée numérique élaborée en amont, ensuite comment s'était faite son exploitation et dorénavant le travail du chercheur (archéologue, architecte, historien, etc.) se fera en aval sur le modèle obtenu².

Pour cela nous nous sommes contenté d'un plan aussi conçu et précis que possible, pouvant conduire à un résultat satisfaisant selon les principes de la monographie citée par de Montclos, en articulant les trois volets: histoire, description et synthèse. Bien entendu, lors de la phase « description » le modèle 3D élaboré sera la base essentielle pour la mener à bien : le « plan » équivaut à une coupe horizontale à travers le modèle ; de même pour les « sections » qui peuvent être produites à tout niveau et direction ; par contre les « élévations » et « vues de dessus » illustrent respectivement, les façades et toits. Toutes ces pièces (dessins) sont à l'échelle et peuvent être exploitées pour connaître directement les différentes mesures.

¹ Vu l'étendue de la question et ses différentes imbrications qu'elle suscite (aire géographique, période historique, nombre important des cas identiques, etc.).

² Dans notre situation il s'agit bien de la monographie de l'arc Caracalla.



Volet historique :

I/ Situation de l'ouvrage dans son environnement général :

- a. Morphologique (naturel, géographique, politique)
- b. Social & économique
- c. Sources (bibliographie, rapports de fouilles, récits, etc.)

Volet Description

- a. Présentation de l'ouvrage
- b. Technique de mise en œuvre & matériaux
- c. Éléments architectoniques

Volet synthèse

- a. Rétrospective des principaux résultats (synthèses partielles)
- d. Recommandations en termes de :
 - Restitution hypothétique de l'ouvrage
 - Préservation et valorisation de l'ouvrage

5.. Perspective

Nul ne doute que la rapidité et les performances de cet outil d'acquisition de données sont devenues capitales et de rigueur. Dorénavant avec le scannage 3D les étapes sont dissociées : le relevé devient plus objectif et tend vers la photographie 3D et même si les méthodes diffèrent le principe reste le même l'observation et l'analyse de l'opérateur scientifique se feront en aval une fois le relevé achevé. Inévitablement cette nouvelle manière de faire, changera notre regard vis-à-vis nos sujets d'étude et, personne ne sait quels seront prochainement les bouleversements qu'apportera l'usage généralisé du scannage 3D. À mesure que ces technologies évoluent et que le traitement des informations s'accélère, nous sommes tous en tant qu'acteurs du patrimoine, appelé à explorer ces technologies de documentation et de visualisation afin d'améliorer notre collection numérique et vulgariser son usage.



6.. Conclusion

En guise de conclusion, il nous a paru utile de regrouper l'ensemble de ces monuments dans une étude qui en un premier temps consisterait une approche relevant des techniques d'information et de communication (TIC)¹. Par voie de conséquence, le fait d'avoir à notre disposition un nombre suffisamment significatif de ces monuments sous forme de « données numériques », qui balisent la ville antique Djemila, nous laisse au-delà de l'inventaire, mettre en place une maquette virtuelle pouvant les capitaliser. Par ailleurs, nous exposons quelques finalités de cette technologie de point d'acquisition de données que nous avons eu l'occasion de vérifier lors de cette opération :

- Une grande liberté d'exploitation des mesures (nul besoin de retourner sur le site)
- Une visualisation en 3D in situ des données acquises
- Une base data révolutionnaire (archive numérique 3D du site comme des monuments)
- Une possibilité d'accessibilité virtuelle, à des parties physiques inaccessibles (comme le baptistère).
- Moins de contraintes au cours de l'acquisition (temps, sécurité, fiabilité)
- Une assurance de ne pas endommager le monument pendant le relevé (moins de contact physique).

7.. La bibliographie :

- Approches du Maghreb romain, 2 volumes, Aix-en-Provence, éd. Édisud, 1989.
- Djemila, Alger, éd. Direction des musées, de l'archéologie et des monuments et sites historiques, 1975.
- La Nécropole orientale de Sitifis (Sétif, Algérie), Paris, éd. CNRS, 1985.

¹ Un travail de relevé, d'acquisition sous forme de data (archive numérique).



- Le développement urbain en Provence, de l'époque romaine à la fin du XIVe siècle : Archéologie et histoire urbaine, Paris, éd. De Boccard, 1964.
- L'édifice appelé « Maison de Bacchus » à Djemila, Paris, éd. CNRS, 2019
- Les exemples comparés de Djemila et de Sétif, Publications de l'École française de Rome, vol. 225, no 1, 1996
- Les questions relatives à la qualité et à la précision des points 3D enregistrés par les scanners laser». Institut pour la technologie de l'information spatiale et de la topographie, FH Mainz (Allemagne).