



HAL
open science

L'imagerie 3D en archéologie : de l'enregistrement de terrain à l'aide aux relevés

Sébastien Gaime

► **To cite this version:**

Sébastien Gaime. L'imagerie 3D en archéologie : de l'enregistrement de terrain à l'aide aux relevés. Archéologie : imagerie numérique et 3D, Sylvie Eusèbe; Théophane Nicolas; Valérie Gouranton; Ronan Gaugne, Jun 2018, Rennes, France. 10.34692/n2n6-6g17 . hal-02124883

HAL Id: hal-02124883

<https://inrap.hal.science/hal-02124883v1>

Submitted on 12 Jul 2019

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.

Copyright

L'imagerie 3D en archéologie : de l'enregistrement de terrain à l'aide aux relevés

Depuis 2012, plusieurs expériences ont été menées par l'Inrap, sur l'utilisation de l'imagerie 3D dans le cadre d'opérations d'archéologie préventive et programmée. Ce sont trois d'entre elles, concernant des opérations aux contextes particuliers, qui sont présentées ici. La première étude qui concerne des carrières souterraines de sarcophages, en Auvergne, a été réalisée dans des conditions d'intervention particulièrement difficiles (problème d'accès, manque de luminosité). La deuxième correspond à une opération d'archéologie du bâti réalisée au Maroc, sur un village médiéval comportant deux minarets, une enceinte et des portes d'accès (sur ce site la hauteur et/ou la configuration des monuments ne permettaient pas l'usage d'un échafaudage). La troisième expérience a été menée lors d'une fouille archéologique classique associée à une étude de bâti portant sur un grand four de potier moderne, encore en élévation, à Sadirac, près de Bordeaux (structure complexe). Sur chaque site, différentes méthodes et différents logiciels ont été expérimentés avec différentes perspectives : enregistrement des données de terrain, constitution de la documentation primaire (et obligatoire) nécessaire à la compréhension du site et à l'élaboration du rapport d'opération, production de nouvelles images à destination de publications scientifiques ou de présentations auprès du grand public. Les modélisations 3D permettent, après avoir quitté le terrain, de revenir au site et aux états antérieurs déjà fouillés, ce qui modifie complètement l'approche archéologique. Il ne faut pas oublier, pour autant, qu'il ne s'agit que d'outils qui ne remplaceront jamais l'observation directe sur le terrain réalisé par l'archéologue.

1 Contexte de l'expérimentation

Les différentes expériences menées sur l'utilisation de la photogrammétrie et de l'imagerie 3D, dans le cadre d'opérations d'archéologie préventive et programmée, ont été réalisées au sein d'équipes pluridisciplinaires associant des archéologues de l'Inrap et des universitaires¹.

Les premiers essais ont été effectués en 2012, lors des sondages réalisés sur les pentes du château de Murol (Bascoul *et al.*, 2012)². Il s'agissait alors de comparer un rendu photogrammétrique de stratigraphie à une coupe réalisée de manière traditionnelle. À cette époque, la qualité des photographies numériques et des rendus n'égalait pas encore celle des relevés manuels. Toutefois, la construction de modèles 3D avec le logiciel PhotoScan (Agisoft) permettait déjà d'obtenir un enregistrement intéressant des données de terrain, en permettant un retour à celles-ci, après rebouchage du sondage.

Depuis cette première expérience, les techniques et les outils informatiques (appareils photographiques, ordinateurs, logiciels) ont évolués extrêmement rapidement et, aujourd'hui, la production d'imagerie 3D est devenue pratiquement incontournable en archéologie. Pourtant, des limites subsistent et l'on peut se demander si cette technologie a réellement modifié la pratique archéologique et, si oui, dans quelle mesure et dans quels domaines ?

Les retours d'expérience portant sur 3 sites différents, présentés ci-après, permettent de répondre en partie à ces questionnements. L'usage de l'imagerie 3D a changé l'approche des sites, a parfois conditionné la réussite des opérations et a rendu possible des études spécifiques. La pratique archéologique a été impactée dans trois domaines :

Mots clés

Archéologie préventive, carrières de sarcophages, minarets, relevé 3D, relevé pierre à pierre, volumétrie

Informations de publication

Publié le 10 mai 2019

<https://sstinrap.hypotheses.org/1232>

Gaime (Sébastien). – L'imagerie 3D en archéologie : de l'enregistrement de terrain à l'aide aux relevés. In : Eusèbe (S.), Nicolas (T.), Gouranton (V.), Gagne (R.) dir. – *Archéologie : imagerie numérique et 3D* : actes du 3^e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 26-27 juin 2018, Rennes.

- 1 – L'enregistrement des données de terrain, avec la production de modèles et d'images en trois dimensions, en vue de constituer la documentation primaire nécessaire à la compréhension du site et à l'élaboration du rapport d'opération ;
- 2 – La production des documents graphiques obligatoires, tels que les relevés pierre à pierre, les plans, les coupes... ;
- 3 – La production de nouvelles images à destination du rapport d'opération, de publications scientifiques, ou encore de présentations auprès du grand public.

2 Carrières souterraines du premier Moyen Âge, en Auvergne : le Grand Sarcouy et le Clierzou

Dans le cadre du PCR « Puy-de-Dôme. Le trachyte en Auvergne : exploitation, utilisation et diffusion de l'Antiquité à l'Époque moderne », coordonné par Pierre Boivin et Bertrand Dousteysier (Boivin *et al.*, 2017³ ; Boivin *et al.*, 2018⁴), des opérations de fouille ont été menées par l'Inrap sous la responsabilité de Guillaume Martin, avec la collaboration de Daniel Parent et Sébastien Gaime (Martin *et al.*, 2017⁵ ; Martin *et al.*, 2018⁶ ; Martin & Gaime, 2018⁷).

La difficulté était double, du fait du contexte particulier et du sujet d'étude : des souterrains peu éclairés et peu propices à la photographie (fig. 1), des carrières où les négatifs de sarcophages apparaissent dans tous les sens sur les différents parois visibles, rendant obsolètes les rendus dessinés habituels (fig. 2). Dans ces conditions, il semblait extrêmement difficile de procéder à un relevé archéologique traditionnel et un rendu en 2 dimensions ne permettait pas la prise en compte exhaustive de la complexité des traces. Par ailleurs, il était extrêmement difficile d'enregistrer, sous la forme de fiches, la grande quantité d'informations disponibles sur les parois et de les hiérarchiser. Ainsi, le recours à l'imagerie 3D est apparu comme une des solutions possibles.

Fig. 1 : Vue des carrières du Clierzou.
G. Martin, Inrap, 2017.

Fig. 2 : Sarcophage en cours de taille au Clierzou.
S. Gaime, Inrap, 2016.



C'est le logiciel PhotoScan (Agisoft) qui a été choisi. Chaque portion de carrières a fait l'objet d'une couverture photographique systématique, avec et sans cibles topographiques, afin de pouvoir construire un modèle 3D suffisamment précis. Comme sur un chantier traditionnel, ce travail d'enregistrement a été complété par l'observation directe réalisée par les archéologues (notes écrites, croquis, etc.). L'usage de la 3D a permis l'enregistrement complexe des données et des observations (fig. 3, 4 et 5) et la prise de toutes les mesures nécessaires (distance, volumétrie) en vue d'élaborer une compréhension détachée des contingences strictes du terrain.

Fig. 3 : Modèle 3D réalisé avec PhotoScan. Vue extérieure.
S. Gaime et G. Martin, Inrap, 2019.

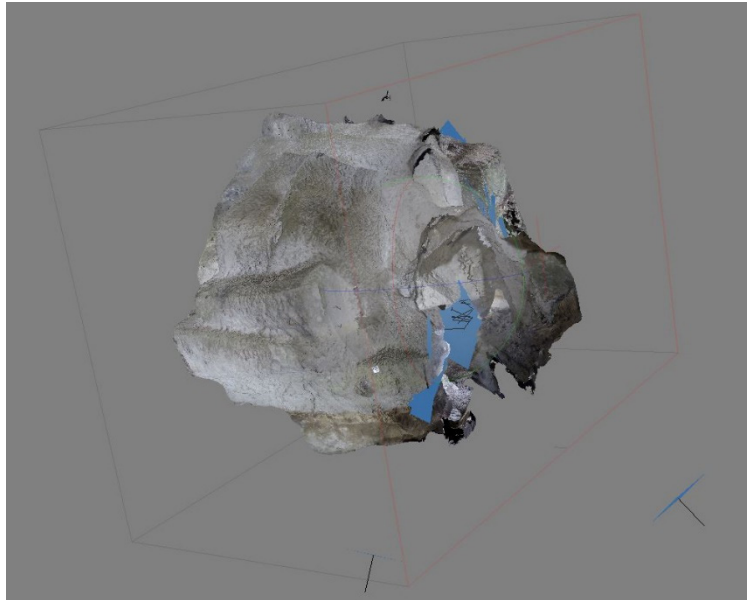


Fig. 4 : Modèle 3D réalisé avec PhotoScan. Vue intérieure.
S. Gaime et G. Martin, Inrap, 2019.

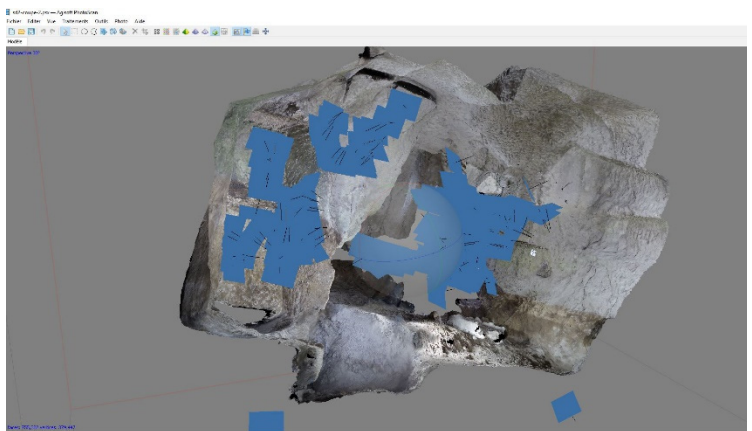


Fig. 5 : Modèle 3D réalisé avec PhotoScan. Vue intérieure avec les négatifs.
S. Gaime et G. Martin, Inrap, 2019.

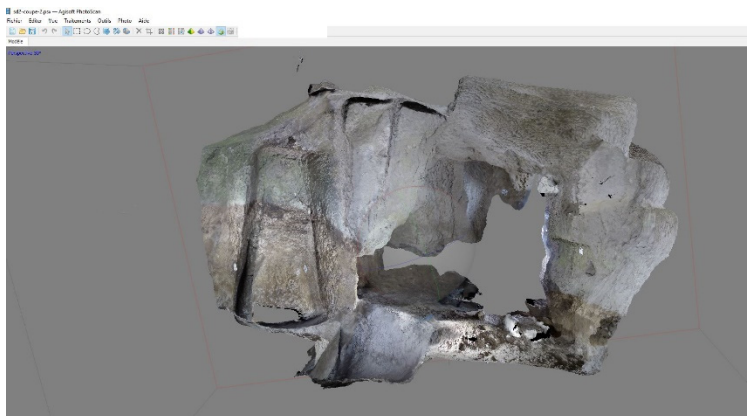


Fig. 6 : Orthophotographie réalisée avec PhotoScan. Vue de la salle 1 du Clierzou avec la Vénus.

S. Gaime et G. Martin, Inrap, 2018.

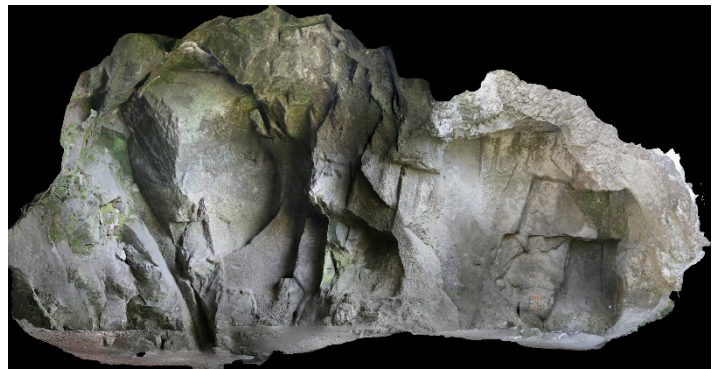
Fig. 7 : Coupe réalisée avec PhotoScan dans la grande salle du Sarcouy.

S. Gaime et G. Martin, Inrap, 2016.

Fig. 8 : Relevé stratigraphique et orthophotographie (PhotoScan et Adobe Illustrator), à Sarcouy.

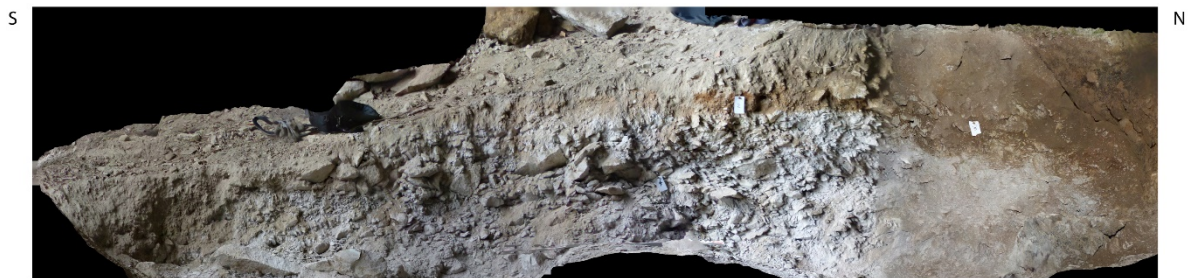
S. Gaime et G. Martin, Inrap, 2016.

Les modèles numériques obtenus ont servi de support et de référence lors de l'étude réalisée en post-fouille et du travail de synthèse, tout comme les minutes de terrain et les photographies 2D (fig. 6). Qui plus est, la possibilité de naviguer dans les images a permis de compléter les observations de terrain et de comprendre le travail des carriers ayant abouti aux traces actuelles, de manière régressive. À partir de ces modèles, il était facile d'obtenir toutes les coupes et tous les plans nécessaires à la compréhension du discours archéologique (fig. 7 et 8). Dans ce premier cas, le retour d'expérience est donc très positif, l'imagerie 3D ayant rendu possible la réalisation d'une étude complexe qui n'avait jamais été entreprise auparavant.

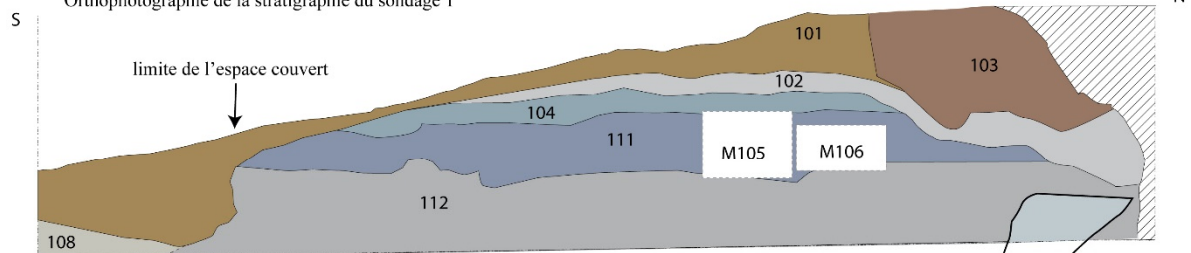


7

6



Orthophotographie de la stratigraphie du sondage 1



Proposition d'interprétation stratigraphique 0 1 m

1/20 1cm = 20 cm

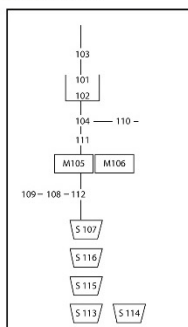


Diagramme stratigraphique

8

3 Nouvelles recherches archéologiques sur le ribât de Tît (Moulay Abdallah Amghar, Province d'El Jadida, Maroc)

La commune de Moulay Abdallah se situe à une douzaine de km au sud de la ville d'El Jadida, sur la côte atlantique du Maroc. Elle abrite les vestiges de l'un des plus célèbres ribâts (lieu de retraite spirituelle) du Maroc médiéval : Tît-n-Fitr, désigné plus couramment sous le seul nom de Tît. Outre une enceinte médiévale en pierres percée de quatre portes principales et scandée de 21 tours, ce site a conservé deux minarets médiévaux. Une politique de restauration des vestiges encore en élévation motivait l'urgence d'une étude archéologique des bâtis médiévaux avant que les travaux ne les masquent définitivement (Van Staevel *et al.*, 2017)⁹.

Initiée en 2012, une première étude *in situ* des monuments encore en élévation a abouti à l'élaboration d'un programme de coopération scientifique entre la France et le Maroc. Celui-ci s'inscrit dans le cadre d'une convention de partenariat scientifique entre la Faculté des Lettres d'El-Jadida de l'Université Chouaib Doukkali d'El Jadida et son laboratoire « Le Maroc et les Pays Méditerranéens », la Direction du Patrimoine Culturel du Royaume du Maroc, la composante « Islam médiéval » de l'UMR 8167 « Orient et Méditerranée », l'Inrap et la Commune de Moulay Abdallah. La codirection de cette opération pluriannuelle est assurée par Sébastien Gaime (Inrap, UMR 6042 GEOLAB), Jean Pierre Van Staevel (Université Panthéon-Sorbonne Paris I, UMR 8167 Orient & Méditerranée) et Abdallah Fili (Université El Jadida, Maroc). Les relevés au scanner 3D sont réalisés par Grégory Chaumet (Université Paris-Sorbonne Paris IV).

L'étude archéologique du bâti était contrainte par l'impossibilité d'avoir recours à des échafaudages pour étudier les 2 minarets, une muraille toujours en place et la présence de portes fortifiées. Le travail de terrain a donc associé l'observation directe des vestiges, y compris grâce à des descentes en rappel pratiquées depuis les sommets (fig. 9), à des relevés topographiques, de la photogrammétrie et des relevés au scanner 3D (Plémo 3D). Les différentes méthodes utilisées ont permis de comparer leurs avantages et inconvénients.

Il s'est avéré que si le scanner 3D permettait d'obtenir des mesures exactes et extrêmement précises des monuments (fig. 10 et 11), il ne permettait pas, en revanche, d'obtenir avec suffisamment de précision le détail des pierres. Ainsi, il a fallu utiliser conjointement les deux techniques pour produire des orthophotographies suffisamment précises des élévations.

Fig. 9 : Phase d'acquisition des images photographiques et études des mortiers. El Jadida, Maroc.

a : Prise de vue ;

b, c : Prélèvements de mortier.

S. Gaime, J.-P. Van Staevel et A. Fili, 2014.



Fig. 10 : Rendu au scanner 3D du petit minaret avec mesures. El Jadida, Maroc.

G. Chaumet, 2016.



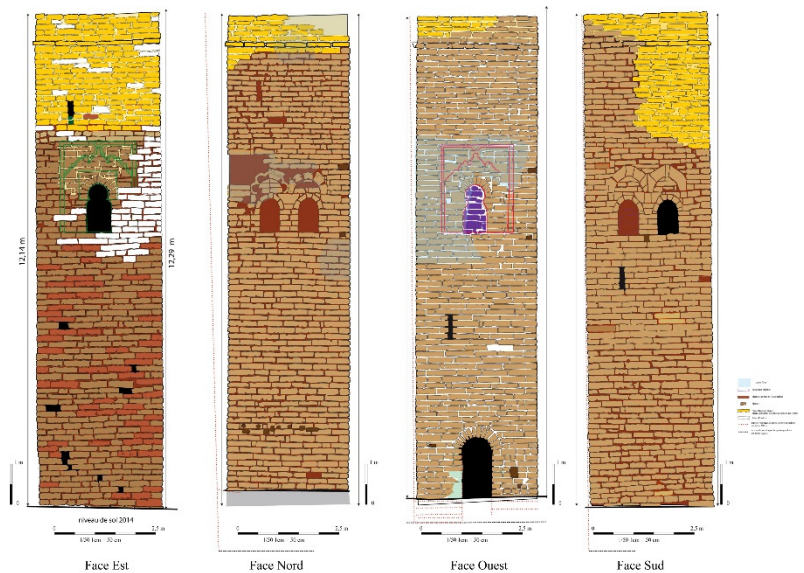
Fig. 11 : Rendu au scanner 3D du grand minaret. El Jadida, Maroc.

G. Chaumet, 2016.



Fig. 12 : Relevé pierre à pierre du petit minaret avec proposition de phasage. El Jadida, Maroc.

S. Gaïme, J.-P. Van Staebel et A. Fili, 2017.



Lors d'une deuxième campagne, ces documents imprimés ont servi de support à l'enregistrement archéologique. La réalisation du relevé pierre à pierre final, avec le phasage chronologique proposé, a ainsi été réalisé en post-fouille (fig. 12). L'avantage principal de l'utilisation du scanner 3D est l'obtention de mesures précises mais aussi d'écorchés du bâtiment, montrant tout à la fois l'aspect extérieur et l'escalier intérieur (fig. 13). À partir de ces différentes informations, une première restitution 3D de l'état d'origine du petit minaret a été proposée par Grégory Chaumet, grâce au logiciel SketchUp (fig. 14 et 15).

Fig. 13 : Écorché du sommet du petit minaret (scanner 3D) avec mesures. El Jadida, Maroc.

G. Chaumet, 2016.

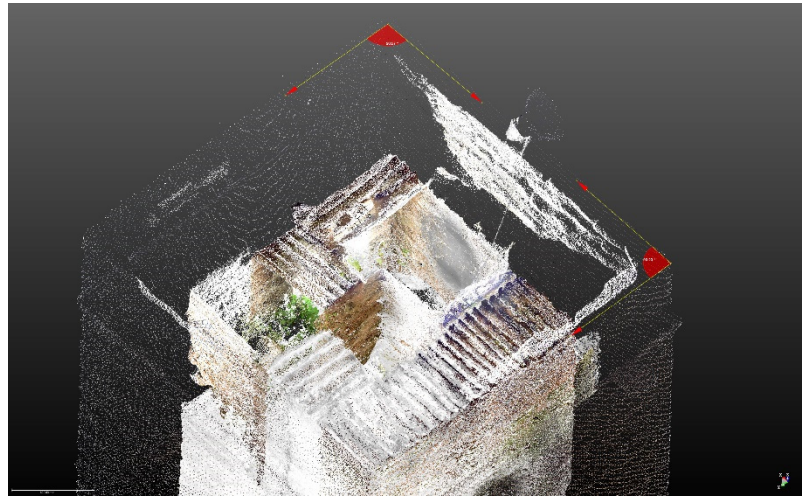


Fig. 14 : Restitution du petit minaret avec SketchUp. El Jadida, Maroc.

G. Chaumet, 2016.

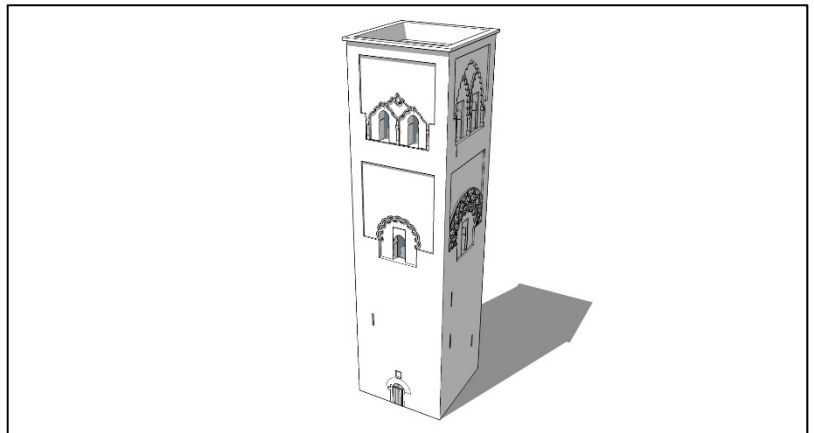


Fig. 15 : Modèle 3D du petit minaret.

C. Bascoul, S. Gaime, J.-P. Van Staebel et A. Fili, 2014.



Bien que le travail soit encore en cours, les premiers documents obtenus ont déjà pu servir de supports de présentation auprès du public, comme à l'université d'El Jadida (2017). Contrairement aux plans et aux coupes en 2D, la lecture des documents 3D ne nécessite aucun apprentissage. Ces derniers sont immédiatement compréhensibles, ce qui les rend particulièrement efficaces pour des restitutions à destination d'un public non averti (fig. 16).

Nous avons tenté le relevé intégral d'un monument (le grand minaret) au sein de son environnement (fig. 17), afin de le positionner le plus justement possible. Si cet exercice a été assez simple à réaliser, le traitement des données obtenues reste difficile, à ce stade de l'expérience. En effet, la multiplication des points et la nécessité d'utiliser un ordinateur puissant doté d'un logiciel spécifique, n'offrent pas une souplesse de travail suffisante pour l'instant. Bien que plus simple d'utilisation, le logiciel PhotoScan (Agisoft) nécessite également un ordinateur portable dédié. Cela

pose donc la question de la dotation en équipement informatique des équipes, surtout dans l'optique d'une confrontation immédiate des résultats numériques au réel, ce qui paraît beaucoup plus adapté au travail de terrain réalisé par les archéologues.

Dans le cas de Moulay Abdallah, ce sont trois missions sur le terrain qui ont permis de confronter les documents produits avec les vestiges in situ. Ce retour au terrain est absolument essentiel. L'impression des documents sur papier (photogrammétries, coupe, plan) permet de les annoter directement, ces derniers constituant alors l'enregistrement même des données archéologiques. Évidemment, il convient de se poser la question de la conservation et de la pérennité de ce type de documents.

Avec ces méthodes, un seul échec est à signaler. Il s'agit du relevé de petites carrières de pierres situées en périphérie du bourg, avec très peu de dénivelé. Que ce soit au scanner 3D ou en photogrammétrie, le rendu n'a pas été optimal et suffisamment précis (peut-être une luminosité trop importante).

Au final, sur le site du Ribat de Tît, c'est bien l'alliance des méthodes traditionnelles d'archéologie du bâti avec les techniques de relevés 3D actuels qui a permis : l'étude archéologique des monuments, l'enregistrement des données de terrain, le dessin pierre à pierre, la réalisation de propositions stratigraphiques et le phasage des vestiges médiévaux.

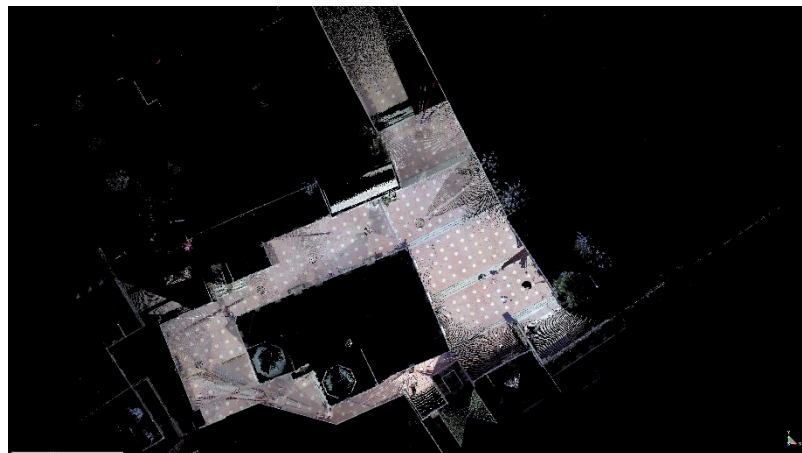
Fig. 16 : Modèle 3D (PhotoScan) de la porte de Bab' Qibli.

S. Gaime, J.-P. Van Staevel et A. Fili, 2014.



Fig. 17 : Environnement du grand minaret (scanner 3D). El Jadida, Maroc.

G. Chaumet, 2016.



4 Sadirac, lieu-dit Blayet (Grand Sud-Ouest, département de la Gironde)

L'opération de Blayet, à Sadirac, sous la direction de Sébastien Gaime (Inrap), mêlait une fouille archéologique sédimentaire classique à l'étude de bâti d'un grand four de poterie d'époque moderne, encore en élévation (fig. 18). Cette structure, de plan quadrangulaire, mesurait un peu plus de 4 m de côté et était conservé sur une hauteur maximale de 3,80 m. Il était constitué d'une chambre de combustion auquel on accédait par une porte étroite, surmontée d'une chambre de cuisson, les deux étant séparés par une sole en briques.

L'existence de plusieurs états démontrés par la fouille, la hauteur des vestiges, ajoutés à la difficulté d'obtenir des coupes et des plans pertinents, a conduit à l'utilisation d'un enregistrement en 3 dimensions avec le logiciel PhotoScan d'Agisoft (photogrammétrie 3D réalisée par Frédéric Vinolas, Inrap).

À l'aide de prises de vues multiples, il a été possible de construire plusieurs modèles 3D des différentes parties du four, malgré les conditions d'obscurité de la chambre de combustion. Dans un deuxième temps, ces différentes parties ont été réunies en une seule, de manière à avoir un modèle 3D complet du four. Conjugués à des levés topographiques, ces modèles ont été positionnés précisément dans l'espace (X, Y, Z). À partir de ces relevés en 3D, il a été possible de réaliser de multiples orthophotographies (fig. 19 et 20), des plans et des coupes. La comparaison avec des anciens relevés du four, réalisés en 1980 par Pierre Regaldo (fouille du SRA Aquitaine), a montré l'exactitude de la méthode. Dans cet exemple de structure complexe, le recours à l'imagerie 3D a permis un enregistrement complet et précis de la structure, au fur et à mesure de la fouille, pour les différents états. En outre, c'est un modèle 3D complet du four qui a été réalisé.

5 Conclusions provisoires

La pratique archéologique détruit l'objet de son étude, au fur et à mesure de l'avancement de la fouille. Cette évidence a conduit les archéologues à réfléchir et à organiser au mieux l'enregistrement des données, de leur production sur le terrain à leur restitution dans les rapports d'opération. L'État a, quant à lui, fixé les modalités d'une présentation harmonisée de ces données, dans le cadre de la section des « inventaires techniques » des rapports (art. 7, arrêté du 27 septembre 2004⁹).

Aujourd'hui, grâce aux techniques d'imagerie 3D, un nouveau pas a été franchi dans la collecte, le traitement, l'analyse et la restitution des données. Il s'agit d'un progrès à la fois qualitatif et quantitatif. Le gain est notable pour les structures complexes ou lorsque les conditions météorologiques sont difficiles. Grâce aux modèles 3D, le retour à des états antérieurs, qui ne sont plus visibles sur le terrain, est possible tout au long de l'opération ainsi qu'en phase de post-fouille. Pour autant, ces nouvelles technologies ne changent pas fondamentalement la manière d'aborder un site archéologique, qui reste avant tout stratigraphique et chronologique.

La technologie 3D est un outil, certes performant, mais qui pose encore des problèmes et suscitent de nouveaux questionnements face, notamment, à la grande quantité d'informations récoltées sous forme numérique. Qu'est-ce qui constitue l'enregistrement d'un site ? Est-ce le document final ? Ou faut-il conserver les étapes intermédiaires, incluant les données brutes, avant de réaliser des traitements à l'aide de logiciels propriétaires ? Si oui, quelles stratégies de conservation doit-on mettre en place sur le long terme ? Avons-nous les capacités intellectuelle et matérielle permettant de traiter, de comprendre et d'exploiter cet important lot d'informations ?

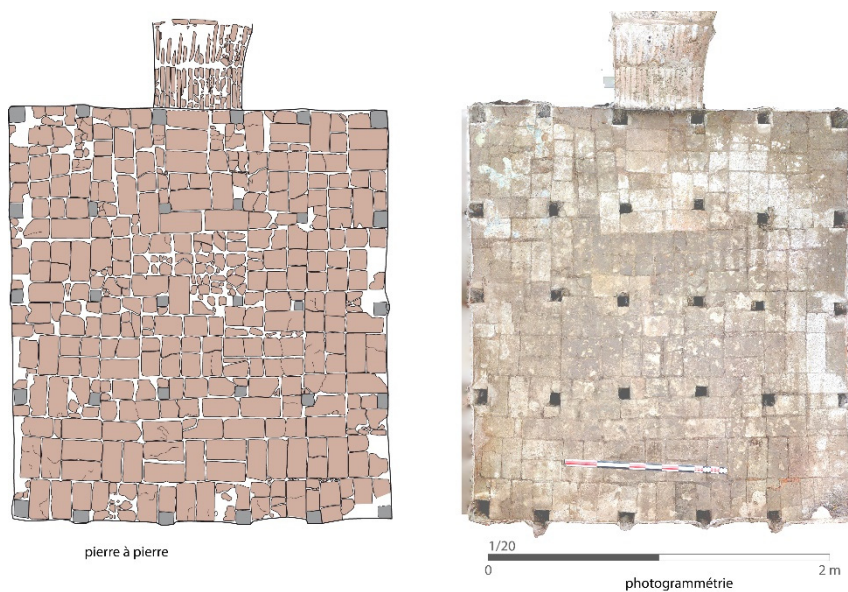
Fig. 18 : Vue du four de Blayet à Sadirac, Aquitaine.
S. Gaime, 2017.



Fig. 19 : Vue zénithal du four de Blayet à Sadirac, Aquitaine (PhotoScan).
S. Gaime et F. Vinolas, 2017.



Fig. 20 : Relevé et orthophotographie de la sole du four de Blayet, à Sadirac, Aquitaine.
M. Brizard, 2018.



Pierre à Pierre

photogrammétrie

Un autre problème, à ne pas minimiser dans le cadre de l'archéologie préventive, est le temps que l'on est en mesure ou pas d'allouer au traitement de ces données (très chronophage) qui nécessite, par ailleurs, un équipement informatique spécifique (outils puissants et réactifs).

Enfin, et surtout, c'est habituellement l'archéologue qui fait des choix sur le terrain, qui définit ce qui est pertinent ou non d'être fouillé, enregistré et, éventuellement, démonté. Il ne faudrait pas que ces nouvelles technologies, qui permettent un retour à l'ensemble des informations, dédouanent l'archéologue de son jugement. En outre, quelle que soit la qualité des documents numériques produits, ces derniers ne remplacent pas l'observation directe réalisée par ce dernier, sur le terrain, à l'aide d'outils plus conventionnels.

Il semble encore un peu tôt pour évaluer pleinement l'impact de l'utilisation de la vision en 3 dimensions in situ sur la pratique archéologique, mais gageons que cela va amener les archéologues à organiser autrement leur travail.

¹ Sébastien GAIME (Inrap, UMR 6042 GEOLAB), Christophe BASCOUL (SIGMA Clermont-Ferrand), Dominique ALLIOS (Université Rennes 2, UMR 6566 CReAAH), Guillaume MARTIN (Inrap), Daniel PARENT (Inrap), Frédéric VINOLAS (Inrap), Jean Pierre VAN STAEEVEL (Université Panthéon-Sorbonne – Paris I, UMR 8167 Orient & Méditerranée), Abdallah FILI (Université El Jadida, Maroc), Grégory CHAUMET (Université Paris-Sorbonne – Paris IV).

² BASCOUL (C.), ALLIOS (D.), GAIME (S.). – Photonumérisation 3D : théorie et application quotidienne en archéologie. Présentation réalisée dans la cadre du séminaire du réseau ISA Information Spatiale et Archéologie, MSH de Clermont-Ferrand et de Besançon, 19-20 nov. 2012, Université Clermont Auvergne. Vidéo mise en ligne le jeudi 29 novembre 2012.

<<https://vimeo.com/54516007>>.

³ BOIVIN (P.), DOUSTEYSSIER (B.), MIALLIER (D.). – Puy-de-Dôme. Le trachyte en Auvergne : exploitation, utilisation et diffusion de l'Antiquité à l'Époque moderne [notice archéologique]. *Archéologie médiévale* [En ligne], 47, 2017, mis en ligne le 15 février 2018, consulté le 24 mars 2019. <<http://journals.openedition.org/archeome/d/7108>>.

⁴ BOIVIN (P.), DOUSTEYSSIER (B.), MIALLIER (D.), ARBARET (L.), DACKO (M.), GAIME (S.), MARTIN (G.), ROGER (J.). – Les sarcophages mérovingiens en trachyte. Des carrières aux lieux d'enfouissement (Massif central). *CIST2018 – Représenter les territoires / Representing territories*, mars 2018, Rouen, France. <<hal01854507>>.

⁵ MARTIN (G.), GAIME (S.), PARENT (D.). – *Orcines. Puy de Dôme. Sondages archéologiques dans le centre carrié du Grand Sarcouy : rapport d'opération*. Bron : Inrap Auvergne-Rhône-Alpes, 2017.

⁶ MARTIN (G.), GAIME (S.), PARENT (D.). – *Orcines. Puy de Dôme. Sondages archéologiques dans le centre carrié du Clierzou : rapport d'opération*. Bron : Inrap Auvergne-Rhône-Alpes, 2018.

⁷ MARTIN (G.), GAIME (S.). – Les carrières de Sarcophages du premier Moyen Âge dans la chaîne des Puys, premiers éléments de recherches. *In : Histoires de carrières, Archéologia*, hors-série n° 23, 2018, p. 62-65.

⁸ VAN STAEEVEL (J.-P.), FILI (A.), GAIME (S.), MASURE (C.). – Nouvelles recherches archéologiques sur le ribat de Tit (Moulay Abdallah Amghar, province d'El Jadida, Maroc). *Hespéris-Tamuda*, LII (3), 2017, p. 109-134.

⁹<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT0000062872>