

LA 3D AU SERVICE DE L'OBSERVATION ARCHÉOLOGIQUE ET DE SON ILLUSTRATION SCIENTIFIQUE

1. INTRODUCTION

Le présent article s'intéresse à quelques usages de levés en 3D de vestiges archéologiques à des fins scientifiques rencontrés dans des publications ou lors de communications dans des colloques récents. L'usage du levé 3D étant encore souvent expérimental, il demeure difficile d'en tirer des certitudes. Aussi l'objectif de cette brève étude se limite à constater en quoi le levé 3D, et le modèle numérique qui en découle, peuvent aider à l'observation archéologique, et comment ils sont utilisés dans les publications scientifiques.

Dans la majorité des cas rencontrés, le modèle numérique sert de support à la restitution archéologique. Au mieux, car cela reste rare, plusieurs hypothèses de restitution sont testées, qu'elles soient architecturales, constructives ou fonctionnelles. La restitution n'est pas ici un but en soi, mais elle est le moyen d'arriver à poser des interrogations plus difficiles (voire impossibles) à imaginer sans elle. En cela elle est un outil de la recherche archéologique¹.

Outre le test d'une restitution des volumes grâce à la maquette 3D, quelques usages de celle-ci permettent de simuler les mouvements et les forces qui les régissent, ou d'expérimenter les possibilités physiques des matériaux ainsi que la faisabilité technique de telle ou telle machine².

La maquette virtuelle est également utilisée comme support de présentation de l'état de la connaissance relative à un lieu donné, à une période précise, et dans ce cas, elle est en général associée à une base de données détaillant les sources des connaissances rassemblées en elle et sur quelles informations se fondent d'éventuelles hypothèses de restitution³.

En dehors de ces utilisations du modèle numérique qui participent à une démarche scientifique de restitution, une utilisation plus immédiate se rencontre aussi: celle qui participe à l'observation, voire à la compréhension du vestige, d'une manière beaucoup plus intuitive que par le biais des plans et coupes traditionnels. Pour cela le levé 3D brut est utilisé, c'est-à-dire le nuage de points plus ou moins travaillé, maillé puis nappé par des clichés numériques.

Dans ce sens, le levé 3D offre une visualisation particulièrement efficace des vestiges excavés ou souterrains, et permet d'enregistrer puis de représenter des vestiges autrement très difficiles à juxtaposer, en restituant une vision

¹ http://varjournal.es/doc/varj02_004_18.pdf.

² <http://www.ifporient.org/en/node/929>.

³ http://archeovision.cnrs.fr/pdf/vr09_pdf/09_Bernard.pdf.

d'ensemble continue impossible à obtenir pendant la fouille, en particulier en milieu instable ou humide⁴.

À une toute autre échelle, la modélisation en 3D de mobilier tel que la céramique ou le lithique est expérimentée afin de contribuer à l'élaboration de typologies, et les premières collections virtuelles investissent le net, en particulier les collections d'ossements humains, en attendant des collections virtuelles de référence plus spécifiques à l'archéologie.

À travers la documentation existante sur les expérimentations de la 3D en archéologie, deux discours différents sur le levé 3D se dégagent, celui des archéologues et celui des ingénieurs spécialistes de ces techniques numériques:

- L'archéologue bâtit un projet scientifique et définit des objectifs justifiant le recours (ou non) à un levé en 3D;
- L'ingénieur met en avant le fait que le relevé 3D propose un enregistrement objectif des aspects visuels (couleur et géométrie), pour que des chercheurs de tous bords puissent réaliser par la suite les études qu'ils souhaitent.

Des questions élémentaires comme "Qu'est ce que l'on attend d'un levé 3D?" ou "Comment utiliser ce modèle numérique?" devraient pourtant rapprocher archéologues et ingénieurs et renforcer leur collaboration. Afin d'essayer ici quelques pistes dans ce sens, le modèle 3D va être, dans un premier temps, considéré comme un support de l'observation qui décrit et questionne, et dans un second temps comme un pourvoyeur d'images scientifiques.

2. LE MODÈLE 3D AU SERVICE DE L'OBSERVATION ARCHÉOLOGIQUE

Le modèle virtuel peut permettre de voir des structures ou des éléments auxquels on n'avait pas accès avant de bénéficier de cet outil (certains microreliefs grâce au LIDAR) ou dont l'accès est particulièrement difficile (les parties hautes d'un édifice, et ce qui est difficile à traduire et lire en plan et coupe: grottes et souterrains aux formes souvent irrégulières).

Le modèle numérique d'un objet archéologique, qu'il soit lourd ou fragile, morphologiquement complexe, distant ou détruit, permet également de le manipuler virtuellement, en tous sens, n'importe quand, n'importe où et sans limite, en dehors de celles imposées par la résolution. De la manipulation de ce support visuel découle l'observation puis l'analyse descriptive: quelle forme, quelle dimension, quels matériaux, quelles techniques de fabrication ou de construction, etc., c'est-à-dire la collecte d'informations qui font partie de la démarche archéologique. La maquette numérique est ainsi un support de l'observation.

⁴ http://archeovision.cnrs.fr/pdf/vr09_pdf/09_Raymond.pdf.

Mais peut-on cerner en quoi ce modèle numérique apporte quelque chose de novateur au raisonnement archéologique? Qu'est-ce qu'il change dans le rapport à l'objet, et qu'est ce que cela change dans l'analyse archéologique que l'on en fait? Doit-on utiliser le modèle comme l'objet réel, doit-on vouloir en tirer les mêmes analyses, doit-on les exprimer ou les représenter de la même façon? Est-ce que la fonction heuristique de la maquette virtuelle diffère de celle de la maquette réelle (en bois ou en carton par exemple) ou de la vue axonométrique? On ne peut certainement pas encore répondre à toutes ces interrogations, alors tentons de partir de ce qui est le plus visible.

Le changement le plus évident produit par le levé 3D et le modèle qui en découle est la tentation de reporter certaines observations en post-fouille, alors que le terrain (ou l'objet) n'est plus accessible. Par conséquent, l'interprétation et l'analyse archéologique peuvent dépendre – dans des proportions qui restent à déterminer – du modèle virtuel et non plus uniquement de l'objet réel. Quelles précautions doivent être prises pour ne pas manquer une observation sur le terrain qui ne serait pas visible sur le modèle numérique?

Le modèle issu du levé 3D, que le nuage de points vienne d'un scan laser ou de la corrélation dense d'images, est fréquemment utilisé pour le mesurage et la description, et ces usages peuvent donner quelques indications sur les précautions.

En phase étude, l'utilisation du modèle numérique pour le mesurer est perçue comme une avancée importante par rapport à la prise de mesures sur le terrain, toujours un peu fastidieuse. Celle-ci est réalisée une seule fois, si on ne l'oublie pas bien sûr, et les mesures sont soumises à l'imprécision des outils et aux erreurs de lecture et d'écriture. Ces erreurs peuvent aussi être commises avec un modèle numérique, mais la prise de mesures peut être répétée autant de fois que nécessaire, et cela bien après la disparition des vestiges réels.

L'avancée est également notable dans la facilité offerte pour le calcul des volumes, les irréguliers en particulier, et qui peuvent être archéologiquement significatifs⁵. Une réserve cependant peut être faite à l'utilisation du modèle numérique pour le mesurage: il conviendrait en effet de connaître la justesse et la précision des mesures qu'il autorise. Un travail de comparaison entre les différentes méthodes (laser-scanner/photogrammétrie) serait à réaliser, et au sein de chaque méthode, il faudrait également évaluer les algorithmes et le traitement de l'information des nombreux logiciels disponibles, qu'ils soient de redressement, d'assemblage, ou encore de calcul de nuages de points. Et avant tout cela, il est fondamental de se mettre d'accord sur la précision nécessaire (et suffisante) pour chaque usage identifié. Le recours à des technologies non

⁵ Citons l'exemple de la carrière de Roquefraise à St Jean de Védas dans l'Hérault, dont le modèle numérique a servi (entre autres) pour le calcul des volumes excavés, et donc pour estimer le nombre de blocs extraits: <http://www.cepam.cnrs.fr/spip.php?article2053>.

encore, ou pas encore assez comparées aux techniques traditionnelles de relevé, entraîne un travail de fond qui paraît aujourd'hui bien peu compatible avec la pression économique et l'esprit du temps.

Outre l'utilisation du modèle 3D à des fins de mesurage, son utilisation à des fins d'observation est de plus en plus répandue. Le modèle comme support de l'observation et les précautions qui en découlent sont particulièrement bien illustrés par le relevé de bâti qui demande une observation très détaillée. Il est peu probable que l'on puisse remplacer par la vue du modèle virtuel l'observation nécessaire à la réalisation d'un relevé classique de terrain. Dessiner nous oblige à interpréter et vérifier à la pointe de la truelle ce que l'on observe. Il faudrait donc pouvoir effectuer sur le modèle numérique cette interprétation qui se matérialise actuellement par le dessin – ou plus exactement – par le choix de contours archéologiquement signifiants. Essayer de faire une description uniquement avec le modèle virtuel, c'est un peu comme faire une description à partir d'une photo ou même d'un dessin détaillé et légendé: sans le vestige réel sous les yeux, c'est insuffisant pour déterminer ses matériaux, son mode de construction, ses reprises, sa chronologie, son histoire. Il faudrait donc que l'on puisse non seulement observer ce niveau de détail sur le modèle numérique, mais aussi en identifier la nature.

De rares retours d'expériences rendent compte de ce qu'il permet d'observer pour pouvoir être compris et dessiné lorsque cela est nécessaire (cf. *supra* FLAMMIN). Le nuage de points seul n'est pas toujours suffisant pour voir les limites des moellons ou des blocs, cela dépend de la couleur de la pierre et de celle des joints, et sans doute aussi de la densité des points. Dans ce cas, il convient de plaquer sur le nuage de points une photo du mur, qui permet alors de mieux discerner les limites des moellons. Cependant, même le modèle numérique photo-réaliste n'offre pas une visualisation assez nette pour permettre la détermination de certaines limites, comme celles des enduits, des traces de pigments ou d'outils, des marques de tâcherons, des différents joints entre les pierres. Seule l'observation directe du vestige peut fournir ce type d'informations.

On peut également tout à fait s'affranchir du dessin en pierre à pierre, loin d'ailleurs d'être toujours utile au propos archéologique, du moment que l'interprétation est issue de l'observation sur le terrain. Dans ce cas, une orthophotographie peut par exemple servir de fond à un dessin illustrant la stratification d'une maçonnerie⁶.

Au-delà des réserves d'usage quant à la justesse et la précision des outils et méthodes utilisés, un levé 3D rend indéniablement compte de la géométrie générale du vestige et de certains détails d'architecture. Néanmoins, il est à compléter par l'observation directe (dessin des traces et marques diverses,

⁶ http://varjournal.es/doc/varj02_003_completo.pdf, 124, fig. 5.

notation de la superposition des enduits, nature des pierres, des mortiers, etc.). Un levé automatique sans intervention de l'archéologue pour relier le modèle numérique au vestige réel par ses observations n'est certainement pas souhaitable. En revanche, un levé automatique comme support de l'interprétation, c'est-à-dire complété par la notation des observations, peut être compatible avec les exigences de l'enregistrement archéologique. De la même façon, des orthophotographies issues du modèle 3D peuvent servir de fond "visuel" à la description, et des orthophotos "décalquées" dans un logiciel de DAO peuvent produire un dessin traditionnel et d'usage identique, si toutefois l'expérience accumulée ces dernières décennies en archéologie, notamment préventive, ne remet pas en cause l'utilité de certaines représentations du type "pierre à pierre". L'idéal serait de pouvoir exploiter le modèle numérique sur le terrain, comme on le fait déjà avec les clichés, en l'annotant et en l'enrichissant d'observations faites sur le vestige réel.

3. L'ILLUSTRATION SCIENTIFIQUE EN 2D À PARTIR DES MODÈLES NUMÉRIQUES 3D

Après cet aperçu de l'usage du modèle 3D comme support de l'observation, voyons son utilisation comme support de la représentation de l'observation, c'est-à-dire comment il vient illustrer visuellement le discours archéologique, qui lui est sous forme textuelle.

D'une façon générale, le modèle numérique permet de visualiser l'objet d'une manière plus naturelle, plus intuitive, que les représentations traditionnelles en plan et coupe. Devant l'écran de l'ordinateur, la représentation en 3D garde tout son sens. Mais les supports qui accueillent actuellement le discours archéologique et ses illustrations sont en 2D. Malgré l'existence du pdf 3D, publications ou rapports archéologiques ont encore pour l'instant l'aspect d'ouvrages sur papier, leur consultation et leur conservation se font d'ailleurs majoritairement sous cette forme. Aussi des images en 2D qui sont des produits dérivés du modèle numérique en 3D se rencontrent de plus en plus souvent dans ces divers ouvrages. Ces images conservent généralement les vues classiques découlant de la projection orthogonale du vestige sur un plan horizontal ou vertical, et permettent ainsi de montrer ses dimensions sans déformation.

L'édition de plan, de coupe, d'élévation à partir d'orthophotographies reste donc dans la logique et les principes des conventions de représentation classiques, connues et partagées par tous. Mais pourquoi faut-il conserver ces conventions? En dehors du fait que l'impression des illustrations se fait toujours en 2D, il ne faut pas oublier que la publication des illustrations est faite (entre autres) pour donner à la communauté scientifique la possibilité de comparer les différents vestiges ou objets, de les mesurer, de les classer selon

de multiples critères, de les organiser dans des typologies. Et pour cela il faut que tous utilisent les mêmes types de vues, orientées et à une échelle donnée. À terme une harmonisation n'est certainement pas impossible à obtenir avec la maquette numérique et ses différents logiciels, mais elle prendra du temps.

Des vues perspectives cavalières ou axonométriques sont également produites à partir du modèle 3D, elles sont sans point de fuite, afin de pouvoir effectuer des mesures justes. À cette fin, une échelle matérialisée par trois axes X, Y, Z gradués doit être associée à la vue, ou à défaut, des cotes doivent tenir lieu d'échelle.

Et précisément, en observant, notamment dans les publications, les images 2D tirées de modèles 3D, on constate que leur nouveauté tend à faire oublier des réflexes pourtant bien acquis dans le domaine de l'illustration scientifique en général, et archéologique en particulier. En effet, toute figure présente des éléments indispensables qui sont une part des exigences attachées à sa valeur scientifique:

- Un titre (quoi, où, quand);
- Une légende;
- Une échelle graphique linéaire ou sous forme de trois axes orthonormés X, Y et Z;
- Une orientation (direction du Nord, orientations cardinales);
- Des sources (à partir de quoi, avec quoi et comment: documents d'origine, matériel, logiciels, méthodes);
- Une signature et une date (qui, quand);
- Une nomenclature (textes dans le dessin);
- Un cadre (limites du dessin/de la représentation);
- La représentation elle-même.

Ainsi, beaucoup d'illustrations tirées de modèles 3D omettent l'échelle et l'orientation, la localisation des coupes sur le plan est également absente. Il est néanmoins très intéressant d'observer le rendu de ces "nouvelles images"⁸: le rendu du vestige est assuré par la variation de la densité des points du levé laser, les parties pleines sont, par exemple, hachurées ou noir, un trait noir ou blanc selon la couleur de fond représente le contour du vestige. On remarque donc qu'en dehors des limites extérieures du vestige, aucune interprétation de ses grands contours intérieurs n'est faite, ce qui complique pour le lecteur l'association mentale du plan et de la coupe.

D'autres représentations plus classiques sont davantage conformes aux règles du dessin scientifique⁸: elles ont échelle et orientation, et juxtaposent logiquement plan et coupe afin d'aider le lecteur à comprendre le volume du

⁸ Voir par exemple http://varjournal.es/doc/varj01_002_completo.pdf, pages 118-120, les levés laser de deux complexes funéraires souterrains.

vestige présenté. Les zones non couvertes par le levé sont indiquées, et le rendu de la maçonnerie est laissé comme précédemment au semi de points du laser, sans que des contours aient été “choisis” par l’archéologue. L’inconvénient de ce type de représentation est que les points ne sont pas sélectionnés selon leur appartenance à un plan précis, et leur superposition donne lieu à des représentations conférant au vestige un effet artificiel de transparence pouvant perturber la compréhension de son volume.

Des exemples de représentation d’objets à partir de leur modélisation commencent aussi à se rencontrer dans les publications scientifiques. L’absence d’échelle et de mise en relation des différentes vues (de face, de profil, de dessus, etc.) est encore assez fréquente. Cependant, la DAO permettant le mélange de dessins et de vues issues d’un modèle 3D, la complémentarité du dessin (interprétation subjective indiquant ce qu’il faut voir et comprendre) et du rendu photo-réaliste (objectivité, aspect général de l’objet, sa texture, sa couleur) rend compte visuellement de l’objet d’une façon jusqu’ici inégalée. Cette symbiose du dessin avec l’image virtuelle est une avancée qui semble extrêmement pertinente et prometteuse pour la représentation archéologique. Cependant, ce sont aux céramologues de se prononcer sur l’utilité de ce “mélange” de dessin traditionnel, par exemple à gauche pour la section, et une image numérique pour la partie droite⁹; à eux de nous dire s’ils peuvent s’appuyer sur ces images pour rendre compte de l’identification des céramiques et construire des typologies. De la même façon, ce sont aux lithiciens de dire si les représentations de silex taillé issues de scans peuvent remplacer avec succès le traditionnel dessin à la plume¹⁰.

4. CONCLUSION

L’enthousiasme suscité par l’utilisation de modèles 3D en archéologie est très compréhensible, mais il ne doit pas faire perdre de vue que la construction et les usages du modèle numérique issu du levé 3D doivent suivre quelques règles minimales pour garantir la qualité scientifique des travaux archéologiques et des données produites. Le modèle doit être fiable, exploitable par le plus grand nombre, et ne pas permettre la remise en cause de la pertinence des analyses dont il est le support. Pour cela il faut:

– Une représentation fidèle des caractéristiques géométriques et colorimétriques des vestiges, aucun élément ne doit être ajouté, modifié ou retranché;

⁸ Rapport ANAMUSCAR, juin 2009, sous la direction de D. Binder et K.-Y. Cotto. Voir en page 14, le plan et les élévations du pont antique des Esclapes (Var), relevé au scanner 3D et CAO: K.-Y. Cotto, Service du Patrimoine, Fréjus; DAO: F. Bertoncetto, CEPAM – UMR6130, Valbonne.

⁹ http://varjournal.es/doc/varj01_002_completo.pdf, 134-135.

¹⁰ <http://archaeology.huji.ac.il/depart/prehistoric/leoreg/photo.asp>.

- Une présentation rigoureuse des objectifs scientifiques qui ont conduit à la réalisation du modèle 3D, dans quels buts il a été fait, pour faire quelles observations, sur quelles parties de l'objet réel, pour répondre à quelles questions, pour tester quelles hypothèses;
- La citation des documents, présentation des méthodes, des techniques et des outils utilisés pour le réaliser, ainsi que des paramètres nécessaires à la connaissance de la résolution de la précision, de la fiabilité, de la qualité, et des limites des usages envisageables;
- Une exploitation du modèle en vues 2D ou perspectives suivant les représentations conventionnelles répondant aux règles de l'illustration scientifique;
- Une attention portée à la pérennité du support du modèle, est-on certain aujourd'hui que les fichiers 3D seront encore lisibles dans dix ou vingt ans?

Lorsque l'usage spécifique d'une nouvelle technologie est encore mal connue, on a toujours tendance à chercher à reproduire par son biais ce que l'on faisait auparavant. Ce fut le cas pour les premiers usages de la photographie d'objet, et c'est encore le cas aujourd'hui lorsqu'un logiciel est conçu pour imiter le rendu d'un dessin manuel¹¹.

Il n'est pas étonnant que la mise en place d'un consensus de représentation qui soit propre à une nouvelle technologie demande du temps; il faut d'abord être certain de ne pas perdre des informations que l'on a l'habitude de recueillir et d'exploiter, ensuite être prêt à remettre en cause l'utilité de certaines de ces informations, et enfin explorer ce qu'apporte cette nouvelle technologie. L'expérience tirée du passé semble toujours difficile à adapter à notre situation présente. Cependant ce qu'a écrit F. Arago en 1839 à propos de la toute jeune photographie résonne avec une acuité porteuse d'espoirs:

“Quand des observateurs appliquent un nouvel instrument à l'étude de la nature, ce qu'ils en ont espéré est toujours peu de chose relativement à la succession de découvertes dont l'instrument devient l'origine”.

Sylvie EUSÈBE

Direction scientifique et technique
Institut national de recherche archéologiques préventives, Paris

BIBLIOGRAPHIE

ARAGO F., *Le Daguerriotype*, Œuvres complètes, éd. J.-A. Barra, VII, 1858, 455-517, 500.

MAZIÈRES F. DE, GRUBERT M. 2011, *Le relevé d'architecture ou l'éternelle quête du vrai*, *Journées internationales d'études (Paris, Cité de l'Architecture et du Patrimoine 2007)*, Lyon, Éditions Lieux-Dits.

ROCHELEAU M., *La modélisation 3D comme méthode de recherche en sciences historiques* (http://ulaval.academia.edu/MathieuRocheleau/Papers/907893/La_modelisation_3D_comme_methode_de_recherche_en_sciences_historiques).

¹¹ Comme pour ces représentations de céramiques ici: http://varjournal.es/doc/varj02_003_completo.pdf, 61-63.

- SEMALI A. 2010, *Moyens informatiques de restitution en archéologie monumentale: cas du temple de Karnak*, Thèse de doctorat (<https://papyrus.bib.umontreal.ca/jspui/handle/1866/3905>).
- SUMERA F. 2010, *Archéologie du bâti, scanner 3D et ortho-photographie. Vraie réponse ou fausse solution* (<http://www.archeo-lattes.cnrs.fr/spip.php?article499>).
- VERGNIEUX R. 2011, *L'usage scientifique des modèles 3D en archéologie. De la validation à la simulation*, «Virtual Archaeology Review», 2, 4, 39-43 (http://varjournal.es/doc/varj02_004_18.pdf).

ABSTRACT

Full graphic documentation finally seems within reach thanks to virtual 3D models of archaeological remains derived from digital photogrammetry or laser acquisition. Considered as a “must” in accuracy, precision, completeness and objectivity, digital models may be used independently of studies planned to be made on these media, unlike a traditional survey specific to the individual study in which it is included. If the technology is well developed, we still need to better distinguish between archaeological observations that are made usable with these digital models and those that are not in reference to direct ground studies. Moreover, in excavation reports and archaeological publications, these virtual models lead to the production of 2D images. Their novelty encourages experimentation by using different renderings, sometimes to the detriment of the scientific value of these images, which has to be guaranteed as a “classical illustration”.