



HAL
open science

Photogrammétrie appliquée à l'étude architecturale et archéologique, exemples de quelques chantiers récents

Laurent Borel, Yves Egels, Emmanuel Laroze

► To cite this version:

Laurent Borel, Yves Egels, Emmanuel Laroze. Photogrammétrie appliquée à l'étude architecturale et archéologique, exemples de quelques chantiers récents. 3èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris - JIAP 2012, L. Costa,; F. Djindjian; F. Giligny, Jun 2012, Paris, France. pp.137-148. hal-02947346

HAL Id: hal-02947346

<https://hal.science/hal-02947346>

Submitted on 23 Sep 2020

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

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



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

PHOTOGRAMMÉTRIE APPLIQUÉE À L'ÉTUDE ARCHITECTURALE ET ARCHÉOLOGIQUE, EXEMPLES DE QUELQUES CHANTIERS RÉCENTS EN ÉGYPTE

1. INTRODUCTION

L'application de la photogrammétrie à l'étude architecturale est ancienne. Cette technique sophistiquée de relevé est traditionnellement attachée à des contextes d'inventaire, de restauration, d'auscultation, voire de sauvegarde (BARTHELEMY, CARBONNELL 1985). Il y a peu de temps encore, elle était mise en œuvre exclusivement par des ingénieurs spécialisés.

En raison de coûts élevés, l'intervention des photogrammètres était plutôt orientée vers des édifices et des programmes prestigieux. Le spectre des interventions est aujourd'hui beaucoup plus large puisqu'on constate des implications de la photogrammétrie dans des domaines à la fois plus modestes et variés. Avec le développement conjoint du matériel informatique, des appareils photographiques numériques et des algorithmes de calcul, elle est devenue un outil accessible aux professionnels de l'archéologie (ALMAGRO 1999). L'abaissement considérable du prix de l'équipement et la mise à disposition d'interfaces ouvertes aux utilisateurs expliquent en partie ces changements.

Les outils sont par ailleurs devenus très performants; à titre d'exemple la technique dite "de corrélation dense d'images" permet de produire des modèles 3D d'un objet à partir d'un jeu de photographies. Les techniques d'analyse des images étant en plein essor, les développeurs se sont multipliés, ce qui a eu pour conséquence l'apparition de plusieurs logiciels d'utilisation gratuite ou en open source. Il s'agit là d'un aspect particulièrement intéressant car il autorise une grande liberté créative. Dans ce contexte, l'échange entre les différents acteurs – dans notre cas, le développeur "l'ingénieur" et l'utilisateur "l'archéologue" – ouvre des perspectives de recherche inédites.

Les "transferts de compétence" en matière de relevé, qui peuvent s'opérer au bénéfice des intervenants en archéologie, semblent tout à fait intéressants et prometteurs. Pour l'architecte par exemple, la maîtrise de nouveaux outils de relevés, qu'il mettra en œuvre ou non au gré de son programme d'étude, lui confère des capacités d'analyse inédites. L'accroissement des performances, qu'elles concernent le gain de temps ou la précision, impliquent des changements dans les stratégies d'interventions. Par exemple, la capacité à traiter, dans un certain laps de temps, un plus grand nombre de données permet de s'intéresser à des sujets qu'il n'était autrefois pas concevable d'aborder; l'efficacité modifie le point de vue et ainsi l'intérêt qu'on peut porter à un sujet d'étude.

Afin de mesurer ces enjeux et d'évaluer l'intérêt des techniques de photogrammétrie dans la recherche architecturale, cet article propose de relater l'expérience de quelques chantiers actuellement menés en Égypte: la porte de Tibère à Médamoud, la citerne el-Nabih à Alexandrie, les installations d'Ayn-Soukhna, l'étude d'épaves, etc.

2. LES PROGRÈS DE LA PHOTOGRAMMÉTRIE

Depuis que la photogrammétrie a été inventée (au milieu du XIX^e siècle), elle a été utilisée dans le domaine de la conservation et l'étude du patrimoine architectural et archéologique. Tant qu'elle a nécessité des investissements en matériel et en personnels très lourds, s'est posée la question de la pluridisciplinarité nécessaire: photogrammètre ou archéologue? Alternative abordée, suivant les périodes et les pays, sous deux angles: sous-traitance des travaux à des entreprises de photogrammétrie, ou formation de départements spécialisés au sein des organismes de recherche archéologique. Les deux approches ont montré leurs limites, manque de connaissance archéologique pour les premiers, poids des investissements pour les seconds.

Depuis une décennie, la situation a été totalement retournée: l'augmentation de la puissance de calcul disponible, la généralisation de la photographie numérique, et le développement de logiciels open source ont rendu envisageable la mise en œuvre directe de la photogrammétrie par chaque chercheur, les investissements nécessaires étant devenus quasi nuls.

Cette révolution amène à se poser plusieurs questions:

- En premier lieu, celle de la formation des archéologues, non seulement à la technique elle-même, mais surtout à la façon d'intégrer les nouvelles possibilités qu'elle offre dans le corpus méthodologique de l'archéologie, comme cela s'est déjà produit par exemple pour les bases de données et les systèmes d'information géographique;
- D'autre part, du côté des développeurs de logiciels de photogrammétrie, celle du développement de logiciels adaptés au travail de l'archéologue.

Tout d'abord, la spécificité de l'application (appareils photo standards, courte distance, axes de prise de vues variés) interdit l'emploi de logiciels généralistes de photogrammétrie cartographique. D'un côté, de nombreux logiciels issus de la recherche sont disponibles, mettant en œuvre des algorithmes très élaborés, mais présentant une ergonomie assez fruste, une documentation succincte et peu d'aide en cas de problème. Se sont également développés des logiciels (ou des services web), très simples d'emploi, mais sans aucun contrôle possible de la qualité du résultat, et produisant un modèle 3D, qui n'est (pas encore) un produit que les archéologues peuvent utiliser dans leur pratique quotidienne.

Entre ces deux extrêmes, il nous a semblé utile de développer une solution intermédiaire, permettant, à partir de plusieurs sources (photographie, station totale, scanner laser), de produire des documents directement utilisables: des redressements photographiques (les plus immédiatement intégrables dans la pratique de l'archéologue), des dessins, coupes et plans vectorisés à partir de photos et de nuages laser, des orthoimages pour les objets plus complexes, des modèles 3D si nécessaire. Ces logiciels, interconnectés, disposent d'une ergonomie simple et efficace, et de nombreux moyens de contrôle de la qualité. Ils seront très prochainement mis à disposition en open source par l'École Nationale des Sciences Géographiques, qui proposera également des moyens de formation spécifiques, dans la continuité des écoles d'été qui se sont tenues ces deux dernières années.

On peut espérer que, en dehors du domaine des recherches archéologiques, ces méthodes pourront se développer de façon importante dans la conservation et surtout dans l'inventaire du patrimoine, qui est un chantier considérable à l'échelle du globe. Les outils existants permettent d'envisager la mise en place d'un inventaire participatif du patrimoine, alliant les techniques d'acquisition basées sur les images à un fonctionnement de type wiki.

Les exemples qui suivent montrent plusieurs applications réalisées en Égypte en mettant en œuvre les différentes possibilités évoquées ci-dessus.

3. LA PORTE DE TIBÈRE À MÉDAMOUD¹

Le chantier de la porte de Tibère, sur le site de Médamoud en haute Égypte, a fait l'objet de deux courtes missions qui se sont concentrées sur l'étude architecturale du monument. L'occasion s'est présentée d'y expérimenter plusieurs techniques de photogrammétrie, en adéquation avec chacun des contextes, des cas et des problématiques liés au relevé de la porte monumentale. Selon les cas, l'une ou l'autre application a pu se révéler plus performante ou plus rentable.

L'édifice construit sous le règne de Tibère, à l'époque de l'occupation romaine en Égypte, se serait effondré assez soudainement au XVIII^e siècle. Jusque là, il était sans doute resté dans un état de conservation excellent. Contrairement aux autres monuments du site donc, qui ont été largement pillés au cours des siècles suivant leur abandon, la plupart des blocs provenant de la porte ont été retrouvés, chus au sol. Les archéologues contemporains ont pu les stocker à proximité du monument, les inventorier, les relever et les photographier (VALBELLE 1979). Une hypothèse d'anastylose a pu être produite, qui s'est appuyée principalement sur les décors – chacun des blocs est orné sur l'une de ses faces, au moins. Plus encore, la méthode et la

¹ La mission archéologique de Médamoud est dirigée par Dominique Valbelle (Université de Paris IV/UMR 8167/Labex RÉSMED-IFAO: <http://www.ifao.egnet.net/archeologie/medamoud/>).

patience des chercheurs d'alors a permis de retrouver les positions relatives de bon nombre de blocs, et de restituer ainsi l'ensemble des scènes qui couvraient les deux faces principales Est et Ouest, ainsi que le passage intérieur. Bien évidemment les lacunes sont nombreuses, que les blocs manquent ou que leur face de parement soit endommagée. Pourtant, le caractère plutôt conventionnel et normalisé des scènes représentées – caractéristiques d'un certain standard de l'époque – a permis de dresser un tableau assez complet du programme décoratif.

C'est sur cette base documentaire que D. Valbelle s'est appuyée pour réaliser une étude complète de l'épigraphe du monument. Afin de rendre les résultats de la recherche publiables, il convenait de développer un volet supplémentaire, centré sur la question architecturale. L'idée n'était pas de produire une nouvelle analyse exhaustive de la porte, mais d'en fournir l'image globale et cotée, qui accompagnerait efficacement le propos égyptologique. Nous disposions alors de peu de temps à consacrer à cette tâche sur le terrain, de peu de moyens aussi: l'équipe était réduite à un seul opérateur, qui n'était pas équipé d'échafaudage. Compte tenu de ces conditions, les techniques de photogrammétrie ont semblé les plus appropriées.

Nous nous sommes d'abord intéressés au relevé des structures encore en place, les vestiges des deux montants de la porte. Le plus haut d'entre eux atteint aujourd'hui encore une douzaine de mètres. Les quatre premières assises de ces montants étaient déjà enfouies au moment de l'effondrement: elles sont donc intégralement conservées. Les suivantes sont en revanche très dégradées: seule une partie du remplissage interne est conservée, ainsi que le parement non décoré des faces Nord et Sud. Il s'agissait donc de relever une sorte d'écorché, à la volumétrie plutôt complexe. La stratégie adoptée a été la suivante: on s'est appliqué à dessiner manuellement un plan de coupe situé à deux mètres du sol, sur un canevas de points topographiques; les surfaces globalement planes des faces Nord et Sud ont été relevées par un redressement photographique que l'on a effectué à l'aide d'un objectif calibré, de six points d'appuis topographiques et du logiciel Redresseur. Pour le reste, la technique de corrélation dense d'image s'est imposée pour sa rentabilité dans ce contexte précis: elle réalisait une acquisition rapide des données, tout en permettant de relever des volumes complexes. Le monument étant bien dégagé, on a pu réaliser une série homogène de photographies, comptant une quarantaine de prises de vue convergentes autour du vestige. Seules quelques vues en plongée des faces internes ont pu être réalisées depuis le monument lui-même; l'ensemble des autres clichés ont été pris depuis le sol. On aurait pu envisager de fixer l'appareil photographique à un mât afin d'obtenir un plus grand nombre de clichés plongeants: cela aurait amélioré le croisement des faisceaux, donc la qualité des résultats. Malgré la déficience de la couverture photographique et grâce à la combinaison des

logiciels 123Dcatch² et MeshLab³, nous sommes parvenus à produire un calcul d'aéro-triangulation ainsi qu'un modèle numérique coloré.

Le modèle obtenu est resté imparfait – en cause les innombrables effets de masques consécutifs aux conditions des prises de vue – bien que tout à fait exploitable: il nous a permis de réaliser une orthoimage de chacune des quatre façades (Fig. 1) ainsi qu'une série de sections des 24 assises de la maçonnerie. Nous avons par ailleurs appliqué la même procédure au relevé des corniches de portes monumentales contemporaines de celle de Tibère, encore sur pied à Karnak. En effet, faute de références graphiques ou bibliographiques suffisantes sur ce sujet, l'établissement d'un corpus comparatif nous était indispensable pour entreprendre l'anastylose de nos deux corniches effondrées. Là encore, les conditions d'acquisition "à la volée" n'ont pas permis d'obtenir des documents extrêmement rigoureux, mais leur qualité était satisfaisante pour ce qui nous intéressait alors: étudier des rapports de proportion et dégager des règles de composition. Nous ne recherchions alors pas tant la précision des données: la technique employée devait nous aider à produire très rapidement des documents comparables (vue orthonormée, échelle identique, etc.).

L'outil de photogrammétrie tel qu'il a été mis en place ici, et la méthode qui en a découlé, ont été aisément transposables à l'étude d'objets de plus petites dimensions: c'est l'un des intérêts majeurs pour nous, qui avons dû procéder, toujours dans le cadre de la restitution des deux immenses corniches, au relevé d'un certain nombre de blocs. En effet, le décor des blocs de couronnement est spécifique: les motifs sont presque exclusivement géométriques, ce qui ne facilite pas les rapprochements – d'autres parties architecturales portant des scènes figuratives ou narratives seraient plus facilement recomposables. Aussi, la géométrie même des blocs ne facilite pas le travail du chercheur qui tente d'en réaliser les assemblages: les volumes sont très hétérogènes et la surface du parement sur laquelle s'imprime la courbure de la gorge n'est pas plane. Cette face décorée restant néanmoins la plus riche en termes de données, il était essentiel de la relever.

Ce projet n'a jamais été entrepris avec les outils traditionnels: il réclamait un investissement trop important. Grâce aux nouvelles applications techniques, l'opération s'est révélée tout à la fois rapide et "rentable". En réalisant entre 5 et 12 clichés, nous avons pu modéliser chacune des faces colorées des blocs de corniche et en produire une orthoimage. Une grande équerre avait été positionnée dans le champ de l'objet, ce qui nous a permis ensuite d'orienter l'objet dans l'espace et d'harmoniser les échelles. Chacune de ces représentations orthonormées a été complétée d'un relevé "schématique" du lit d'attente. Ces dessins comportent un certain nombre d'informations relatives à la localisation de mortaises, à l'existence de trous de pinces ou de traits de scie qui,

² <http://www.123dapp.com/catch/>.

³ MeshLab est un logiciel open source: <http://meshlab.sourceforge.net/>.

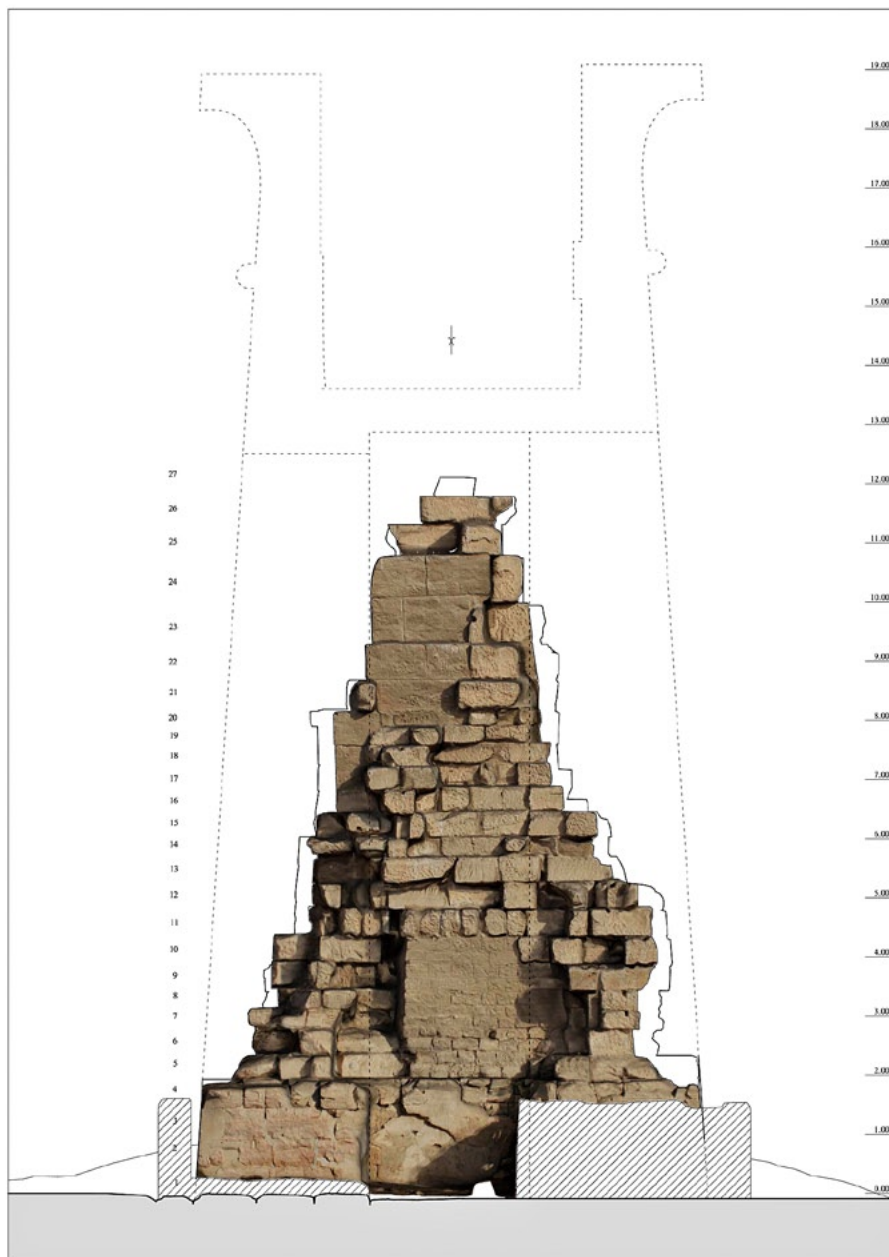


Fig. 1 – Orthoimage de la face Sud du montant Nord de la Porte de Tibère à Médamoud, Égypte (E. Laroze, UMR 8167 du CNRS).

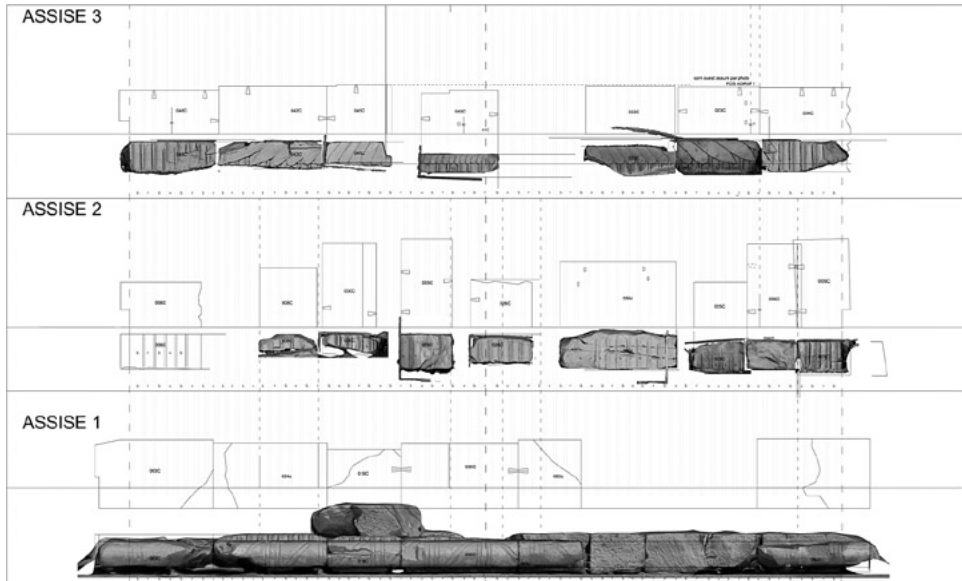


Fig. 2 – Planche analytique d'un corpus de blocs de corniche de la Porte de Tibère à Médamoud (extrait). Chaque bloc, représenté par une orthoimage et une vue en plan est positionné selon ses caractéristiques sur une assise hypothétique. Cette méthode permet de confronter la mitoyenneté entre deux blocs et éventuellement de retrouver sa place d'origine dans la construction (E. Laroze, UMR 8167 du CNRS).

par confrontation, pourront aider à rapprocher certains blocs. Chaque bloc représenté en orthoimage et dessiné en plan, est systématiquement positionné selon ses caractéristiques sur un niveau d'assise potentielle (Fig. 2). Une méthode rigoureuse a donc été mise en place, qui permettra éventuellement de rétablir certaines continuités entre les blocs. L'étude n'est pas terminée mais la procédure a d'ores-et-déjà conduit à valider des connections.

Enfin, toujours sur le même chantier, les techniques de photogrammétrie ont été appliquées à une problématique encore très différente: la réalisation d'un plan de dépôt lapidaire. Il n'est en effet pas rare, sur les sites archéologiques, de se trouver confronté aux problèmes d'inventaire et de localisation des blocs errants. La réalisation de tels plans de dépôt est une entreprise ambitieuse: elle demande des investissements importants que ne peuvent pas toujours se permettre les missions. À Médamoud, la mise à disposition d'une grue a été une opportunité: une trentaine de clichés zénithaux ont été pris rapidement à partir de l'engin positionné au milieu de l'aire de stockage, qui, une fois exploités, ont produit une orthoimage de la zone. L'image est de qualité médiocre, mais reste tout à fait suffisante pour répondre à notre objectif: dessiner un fond de plan sur lequel positionner les numéros des blocs. Une fois ceux-ci numérisés dans un logiciel de dessin, leur géoréférencement permet de les retrouver instantanément par le biais d'une requête.

4. LA CITERNE EL-NABIH À ALEXANDRIE⁴

Située dans les jardins de *Shallalat*, la citerne el-Nabih est l'un des grands réservoirs publics édifiés à la fin de la période médiévale, que compte encore la ville d'Alexandrie (MARCH, BOREL 2009; HAIRY 2009). C'est sur ce chantier, conduit par le Centre d'Études Alexandrines, que notre équipe a expérimenté, dans le courant de l'année 2008, les techniques de la photogrammétrie et de la lasergrammétrie pour compléter et reprendre les levés manuels précédemment réalisés. Cette démarche visait également à mettre en évidence les pathologies et désordres structurels de la citerne dans le cadre de sa conservation.

L'acquisition tridimensionnelle de l'existant, qu'il s'agisse de l'édifice ou des sondages archéologiques, a permis de nourrir de manière exponentielle la documentation de terrain. L'étude architecturale et archéologique s'en est ainsi trouvée enrichie. Au moment où débute la rédaction de la monographie consacrée à cet édifice, nous pouvons dresser le premier bilan de l'apport de ces techniques à notre discipline (BOREL *et al.* 2010; BOREL 2012).

Jusque-là, les représentations graphiques découlaient des choix opérés sur le terrain. Il n'était pas rare, lors de la phase de post-fouille, que l'on regrette de ne pas avoir choisi un autre axe pour une coupe ou que l'on s'aperçoive que l'on avait omis de prendre telle ou telle cote, etc. Avec les modèles tridimensionnels obtenus grâce à l'acquisition par lasergrammétrie⁵ ou par photogrammétrie⁶, et après traitement⁷ des données brutes issues de ces techniques, on peut ainsi disposer d'un fac-similé du monument et de son contexte. On peut alors "interroger" ce fac-similé et, grâce aux outils informatiques, produire de nouveaux documents graphiques loin du chantier (Fig. 3a-b).

La documentation obtenue par ces techniques nouvelles permet d'élargir le champ d'investigation et d'aller plus loin dans la construction du discours de l'étude architecturale.

5. LES BATEAUX CARBONISÉS D'AYN-SOUKHNA⁸

Le site d'Ayn-Soukhna, dont la fouille est dirigée par M. Abd el-Raziq, G. Castel et P. Tallet, se trouve sur la côte Ouest du golf de Suez (ABD EL-RAZIQ *et al.* 2002, 2007). Sur l'invitation de P. Pomey, en charge de l'étude des

⁴ http://www.cealex.org/sitecealex/navigation/FENETR_NAVetudes_F.htm

⁵ Pour ce chantier, le scanner utilisé est un Trimble GX™.

⁶ Les reconstructions tridimensionnelles basées sur la méthode de la corrélation dense de photographies ont été réalisées avec le logiciel MicMac, développé par M.P. Deseilligny (<http://www.micmac.ign.fr/>).

⁷ Les différentes phases de traitement des nuages de points issus du scanner ont été réalisées avec les logiciels Cap, Comp3D, Cumulus et Redresseur. Tous ces logiciels ont été conçus et développés par Y. Egels.

⁸ <http://www.ifao.egnet.net/archeologie/ayn-soukhna/>.

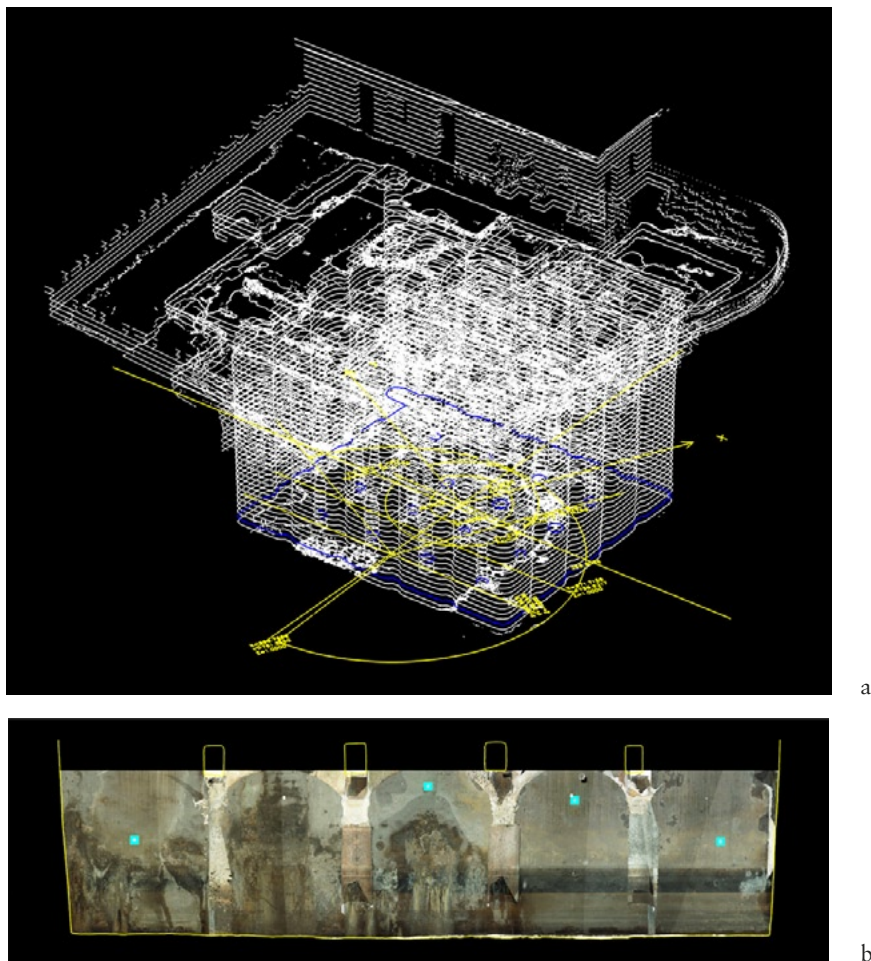
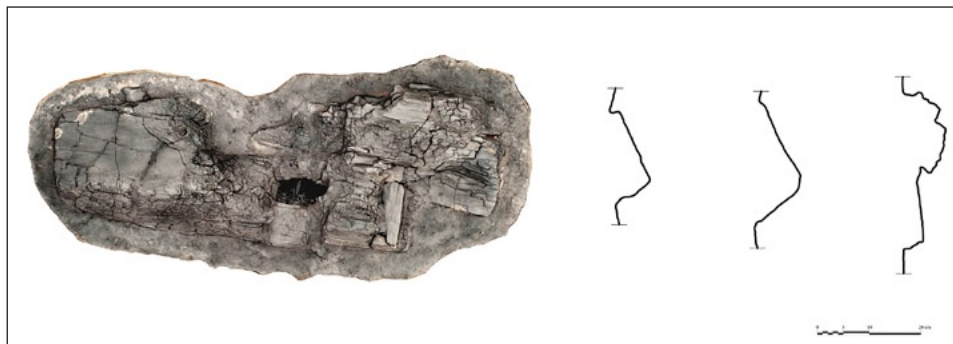


Fig. 3 – a. Sections horizontales tous les 25 cm sur l'ensemble du chantier (L. Borel, CEALex; Y. Egels, IGN); b. Orthoimage partielle de la paroi intérieure Ouest de la cuve montrant l'état de conservation de l'enduit de mortier de tuileau (L. Borel, CEALex; Y. Egels, IGN).

navires (2000 av. J.-C.) retrouvés démontés et entreposés dans les galeries G 2 et G 9, nous avons été amenés à mettre en place un protocole pour effectuer des relevés par photogrammétrie de l'ensemble des vestiges mis au jour.

Dans le cas présent, l'étude d'archéologie navale, qui implique l'analyse des différents éléments constituant ces embarcations et l'organisation de leur stockage, était rendue très ténue du fait de l'état de conservation des bois. Réduits à l'état de charbon, ces derniers ne pouvaient être démontés sans per-



a



b

Fig. 4 – a. Orthoimage et sections d'un des ensembles prélevés dans la galerie G 2 (L. Borel, CEAlex); b. Nuage de points de la galerie G 9 montrant les vestiges carbonisés en place des éléments de bois qui constituaient le navire (L. Borel, CEAlex).

dre la lecture de l'organisation du plan de dépôt. Avant notre intervention, le navire de la galerie G 2 a été relevé manuellement en planimétrie puis déposé en plusieurs ensembles afin d'être étudié plus en détail.

Pour la galerie G 9, il a été convenu de conserver les vestiges en place afin de les mettre en valeur ultérieurement. Le contexte particulier de la galerie ne permettant pas de prise de vue zénithale avec un grand éloignement par rapport aux charbons, notre choix s'est porté sur la technique de la corrélation dense. Les prises de vue ont été effectuées suspendu à la structure de l'échafaudage mis en place pour soutenir le plafond de la galerie. Un grand nombre de clichés a été nécessaire en raison du cadrage serré entraîné par le manque de recul.

Le procédé utilisé a permis d'obtenir un nuage de points de cette volumétrie à la géométrie complexe, et ce, avec une grande résolution. La suite de logiciels open source utilisée se compose de Sift, Bundler, CmvS et Pmvs⁹. La triangulation et l'exploitation de ce nuage ont été réalisées avec MeshLab. Pour répondre aux besoins de l'étude, ce modèle tridimensionnel a permis d'extraire des sections, des élévations, des vues en plan de l'ensemble des bois entreposés. Le plan global des éléments démontés qui composent le navire et du contexte archéologique associé a pu être réalisé (Fig. 4).

Dans ce cas particulier où il n'est pas possible de toucher les vestiges sans risquer de les endommager, le modèle 3D autorise la prise de cotes. La manipulation de ce dernier dans un logiciel approprié permet d'obtenir des points de vue qu'on ne peut pas avoir dans l'environnement naturel où est entreposé le navire.

6. CONCLUSION

Forts de notre expérience en archéologie terrestre, nous avons eu l'opportunité de mettre en œuvre la technique de la corrélation dense d'images dans le cadre de fouilles sous-marines sur des épaves. Là plus qu'ailleurs, le temps d'intervention sous l'eau étant limité, l'emploi de ces techniques prend tout son sens et ouvre de grandes perspectives dans le domaine de la recherche en archéologie navale.

LAURENT BOREL

USR 3134 CNRS

Centre d'Études Alexandrines, Alexandrie

YVES EGELS

École Nationale des Sciences Géographiques, Marne-La Vallée

EMMANUEL LAROZE

UMR 8167 CNRS

Centre de Recherches Égyptologiques de la Sorbonne, Paris

⁹ <http://grail.cs.washington.edu/software/pmvs/>.

BIBLIOGRAPHIE

- ABD EL-RAZIQ M., CASTEL G., TALLET P., PASSERA N., GOUT T.-F., MENASSA L., ZAZA K. 2002, *Les inscriptions d'Ayn Soukhna*, MIFAO 122, Le Caire, Institut français d'archéologie orientale.
- ABD EL-RAZIQ M., CASTEL G., TALLET P. (eds.) 2007, *L'exploration archéologique du site d'Ayn Soukhna (2001-2004)*, in J.-Cl. GOYON, Chr. CARDIN, *Proceedings of the Ninth International Congress of Egyptologists (Grenoble 2004)*, OLA 150, Louvain, Peeters, 61-68.
- ALMAGRO A. 1999, *Photogrammetry for everybody*, XVII CIPA International Symposium on Architectural Photogrammetry, Recife (Brasil) (<http://digital.csic.es/bitstream/10261/19824/1/SymposiumCI-PAOlinda.pdf>).
- BARTHELEMY J., CARBONNELL M. 1985, *Conservation, restauration et documentation, l'apport de la photogrammétrie architecturale*, Icomos Information n. 2, 3-14 (http://www.icomos.org/publications/ICOMOS_Information/1985-2.pdf).
- BOREL L., CABARROU M., DUBOURG S., EGELS Y. 2010, *D'X, Y à X, Y, Z, de nouveaux outils pour l'étude architecturale et archéologique. Restitution 3D, lasergrammétrie et photogrammétrie: le cas de la citerne el-Nabih à Alexandrie*, in *Actes du Colloque Virtual Retrospect (Bordeaux 2009)*, Bordeaux, Ausonius Éditions, 215-228.
- BOREL L. 2012, *La citerne el-Nabih à Alexandrie: un exemple d'utilisation de la photogrammétrie, de la lasergrammétrie et du modèle 3D sur un chantier de fouille archéologique*, «RFPT», 196, 21-30.
- HAIRY I. 2009, *Du Nil à Alexandrie, histoires d'eaux*, Catalogue d'exposition, Alexandrie, Harpocrates.
- MARCH Chr., BOREL L. 2009, *Citerne el-Nabih, un dispositif remarquable de l'hydraulique alexandrine*, in HAIRY 2009, 420-443.
- VALBELLE D. 1979, *La porte de Tibère dans le complexe religieux de Médamoud*, in *Hommages à la mémoire de Serge Sauneron I*, BiEtud, 81, Le Caire, 73-85.

ABSTRACT

The application of photogrammetry in archaeology has developed greatly in the last ten years. A short while ago, the technique was confined to prestigious operations because it required sophisticated and expensive technical means. Nowadays, it can be used by all operators thanks to the increase in computer hardware and the development of specific software, such as those based on the close-range photogrammetric technique. The democratization in the use of these powerful, fast and accurate tools allows users to increase the number of surveys and opens, at the same time, new research perspectives. In addition, the ability to manage more data in a short time makes it possible to deal with new topics that were previously difficult to face, while their efficiency changes the standpoint and the interest on the subject. Nevertheless, such changes involve developing new intervention strategies and working methods. Photogrammetric processes have been implemented on three recent archeological programs in Egypt: the Tiberius Gate at Medamoud, the el-Nabih cistern in Alexandria, the Ayn-Soukhna charred boat. The efficiency and the interest of photogrammetric solutions have been tested on these various fieldwork contexts.