

Topographie et Archéologie, du cordeau au tout numérique : plus de 40 ans d'interactions

■ Bertrand CHAZALY

La topographie et l'archéologie sont intimement liées depuis des décennies. De la station totale au scanner laser 3D, du redressement simple d'images à la photogrammétrie numérique et au drone lidar, les progrès dans les moyens et les méthodes de mesure ont accompagné le développement des stratégies de fouille et apporté à l'archéologue de plus en plus de solutions pour analyser et restituer le site qu'il étudie.

Fin 2018, l'Institut national de l'information géographique et forestière proposait dans ses locaux de Saint-Mandé l'exposition "Cartes Mémoires", consacrée à ses opérations d'expertise menées à travers le monde au service de la préservation de monuments prestigieux. Parmi les réalisations les plus spectaculaires, on pouvait admirer les restitutions photogrammétriques du temple d'Abou Simbel, issues d'une mission menée dès 1955 en Égypte dans le cadre du sauvetage du temple de Ramsès II des eaux du lac Nasser, après la construction du barrage d'Assouan (figure 1). Un film a été réalisé à l'époque par l'Institut : Nubie 64 [IGNcommunication, 2012]. Son visionnage nous fait réaliser que sur le fond, rien n'a fondamentalement changé : les besoins exprimés par Christiane Desroches Noblecourt, immense archéologue à qui l'on doit ce sauvetage, ont poussé les géomètres et photogrammètres à produire des rendus en courbes de niveau d'une finesse et d'une densité remarquables (précurseurs de nos modèles 3D maillés ?), que l'Institut a exploité en réalisant des moulages à échelle réduite à l'aide de la technique des cartes en relief (ancêtre de l'impression 3D ?). Les moyens ont changé, moins que les attentes et la volonté pour y répondre. Cette opération en Nubie reste excep-

■ MOTS-CLÉS

archéologie, fouilles, prospection, détection, bâti, élévation, grotte ornée, art pariétal, topographie, photogrammétrie, orthophotographie, numérisation 3D, scanner 3D, LiDAR, drone, maillage 3D, clone numérique.

tionnelle, mais depuis plus de 40 ans, en France comme à l'Étranger, l'interaction entre la Topographie et l'Archéologie est continue.

Si l'Historien exploite des archives les plus souvent écrites pour appuyer son interprétation de l'Histoire, l'Archéologue exhume des sols qu'il fouille

les informations nécessaires à ses recherches scientifiques. Nos ancêtres n'ayant eu la présence d'esprit d'inventer l'écriture qu'il y a environ 5 500 ans, et les traces écrites qu'ils ont ensuite laissées ne témoignant pas de tout, ce sont plus de 2 millions d'années que l'archéologue étudie et tente de restituer. Pour mener sa quête, il analyse de nombreux indices : vestiges, ossements, traces, empreintes, gravures, peintures, outils, etc.

L'étude de ces "archives du sol" exige une documentation exhaustive, d'abord enregistrée sur le terrain, puis traitée, analysée et interprétée, pour aboutir au rapport et au bilan. Cette documentation est d'autant plus essentielle que pour progresser dans l'étude de son site, l'archéologue est bien souvent obligé

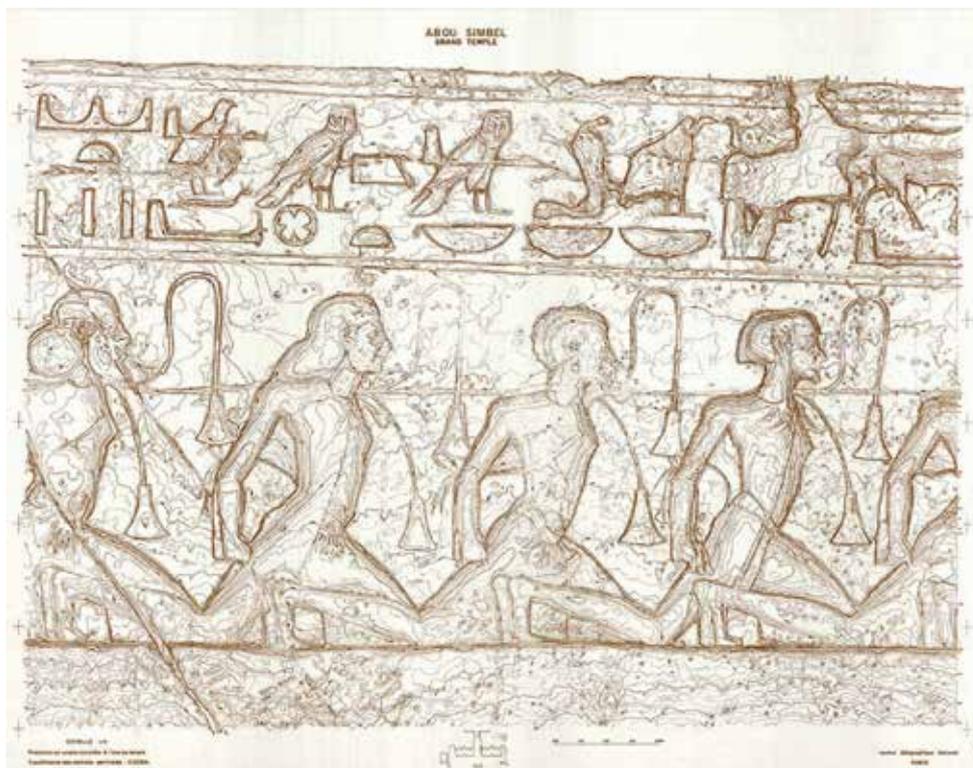


Figure 1. Restitution photogrammétrique à l'échelle 1/4 d'un fragment du grand temple d'Abou Simbel.



de détruire. Un site archéologique n'est pas que le témoignage d'une période particulière, figée dans le temps par les sédiments, mais une accumulation de couches, de strates, qu'il faut enregistrer puis dégager au fur et à mesure.

Pour acquérir, analyser et comprendre cette masse d'informations toujours plus abondantes, l'archéologue s'est entouré de spécialistes, notamment ces 40 dernières années [Demoule, 2002]. Et s'il en est un qui l'a toujours accompagné, c'est le topographe.

Les deux professions partagent de nombreux points communs : l'image de l'aventurier voyageur, un métier de terrain à l'emploi du temps très varié, exercé dans des conditions souvent difficiles, une pratique parfois ingrate au quotidien, avec au bout de la mission la satisfaction d'avoir contribué au progrès de la connaissance.

La contribution de la topographie à l'archéologie est indiscutable. La carte, le plan, les repères implantés forment la colonne vertébrale qui structure le site archéologique et sa documentation. Depuis les années 80, l'évolution des techniques de mesure a bouleversé la pratique de la Topographie (apport du laser, passage au numérique, automatisation) [Courbon, 2013]. L'Archéologie en a immédiatement bénéficié. Ces progrès ont aussi accompagné sa "professionnalisation", marquée par la structuration de l'archéologie préventive¹, la réalisation d'opérations d'envergure comme la fouille de la cour Napoléon au Louvre, la création de nombreux services archéologiques au sein de collectivités territoriales puis de l'INRAP, et enfin l'émergence, parfois dans la douleur, d'opérateurs privés. La profession s'est structurée, étoffée, au point d'assimiler les disciplines qui l'épaulent : la Topographie

¹ L'archéologie préventive, d'abord appelée archéologie de sauvetage, rassemble toutes les opérations menées en amont d'un projet d'aménagement (projet routier, bâtiment, carrière, etc.) pour réaliser un diagnostic sur les vestiges du sol, et le cas échéant étudier et « sauvegarder » ces informations du passé avant leur destruction. La loi du 17 janvier 2001 a rendu ces opérations obligatoires et fixé leurs modalités de financement. Les autres opérations, pour lesquelles l'urgence de documentation n'est pas primordiale, sont appelées fouilles programmées.

est aujourd'hui l'une des spécialités de l'Archéologie. En retour, la seconde continue d'enrichir la première, en sollicitant régulièrement des développements qui contribuent au progrès technique et peuvent être mis en œuvre par le topographe dans d'autres domaines.

Par le prisme de quelques exemples d'application, voyons comment les progrès de la topographie ont pu satisfaire l'appétence d'une science toujours passionnante.

La fouille : du carroyage au site ouvert

Dès le XIX^e siècle, l'archéologie a développé des méthodes pour la collecte des informations sur le terrain. Au milieu du XX^e siècle, une approche scientifique plus rigoureuse se distingue, proposée par Mortimer Wheeler, pionnier de l'archéologie moderne.

Afin de consolider l'approche stratigraphique, la méthode Wheeler propose d'implanter un carroyage régulier, permettant une fouille dite en carrés. La matérialisation est réalisée au cordeau, tendu entre des piquets régulièrement plantés en périphérie. La descente dans les strates successives, remontant les époques, est réalisée dans chaque carré. Les bermes séparant les carrés permettent de conserver la géométrie du carroyage et leurs élévations témoignent de la stratigraphie du site (*figure 2*).

Il est ainsi très facile d'assurer une cartographie précise des structures, chaque détail étant triangulé depuis les sommets du carré. L'assemblage des carrés aboutit à la cartographie complète du site, couche après couche. Cette approche permet une étude fine du site archéologique, même quand les moyens humains, techniques et finan-



Figure 2. Fouilles archéologiques à Maiden Castle par Mortimer Wheeler, 1937

ciers sont limités. Le travail de relevé et de restitution est réalisé par l'archéologue, sur planchette à une échelle allant du 1/5 au 1/20, de même que le nivellement des informations stratigraphiques, à la mire et au niveau.

Le topographe intervient en amont, pour dresser une cartographie générale du site et assurer le géoréférencement des repères sur lesquels le carroyage sera appuyé. Il peut revenir afin de maintenir et de compléter le réseau de points de référence [Glutz, 1985]. Il est alors le seul à pouvoir mettre en œuvre les méthodes et les moyens qui font son expertise : implantation et levé de réseaux de triangulation au théodolite (dont le Wild T2), chaînages puis à partir des années 80 mesures au distancemètre électro-optique (Kern DM500 ou Wild Di1000 par exemple), nivellement de précision. Les observations sont notées à la main dans les carnets d'observation, les calculs faits après chaque sortie sur le terrain, et les points reportés à l'encre de chine sur les feuilles polyester que l'archéologue utilise ensuite.

La gestion d'une fouille en carré est assez complexe, l'interprétation de cette approche diachronique n'étant possible qu'après synthèse des plans. Elle est peu compatible avec les opérations de fouilles préventives, souvent menées dans l'urgence. Cela a mené les archéologues à proposer une approche synchronique, la fouille extensive, qui consiste à fouiller chaque strate sur toute l'étendue du site.

Or les années 80 voient apparaître une nouvelle génération d'appareils topographiques intégrant distancemètre, carnet électronique, programmes de mesures et de calculs : les stations totales. L'informatisation se développe aussi beaucoup, avec la démocratisation des logiciels de cartographie assistée par ordinateur et des moyens de traçage. Le topographe va donc permettre à l'archéologue de s'affranchir des carrés de fouille et "d'ouvrir" son site dans son approche extensive. Pour cela, il doit être présent sur toute la durée de l'opération, produisant plus rapidement et quotidiennement les fonds cartographiques sur lesquels l'archéologue reporte ses observations et appuie son levé de détail (*figure 3*).

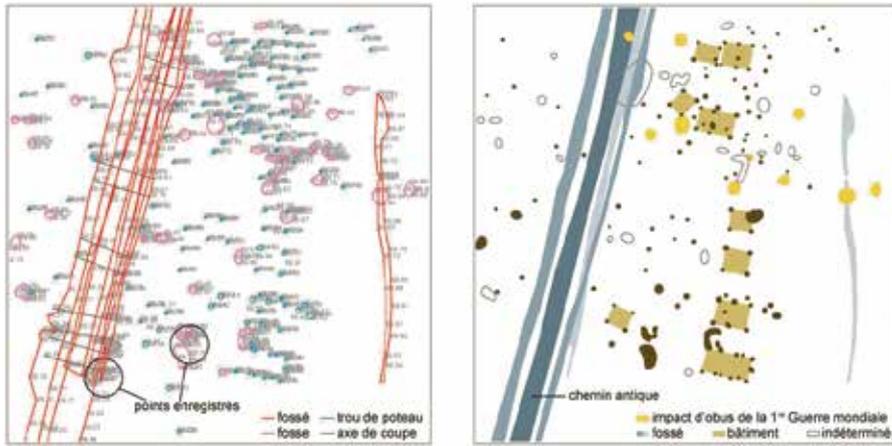


Figure 3. À gauche, calcul et dessin automatisé ; à droite plan de fouille issu de l'interprétation des données. Sauchy-Lestrée, (Pas-de-Calais), 2012.

Dès lors, la topographie devient une discipline au cœur de la démarche scientifique de l'archéologue. Les organismes, publics ou privés, multiplient les offres d'emploi et investissent dans la formation et le matériel. Les premiers récepteurs GNSS font leur apparition sur les opérations de diagnostic et de fouille au début des années 2000, de même que les premiers scanners 3D, même si la lourdeur de cette technologie limite son développement dans un premier temps. Il faudra attendre les années 2010, la miniaturisation des capteurs et la baisse de leur coût pour voir se multiplier les opérations de numérisation 3D sur les sites archéologiques.

Aujourd'hui, avec la simplification des moyens d'acquisition numérique (capteurs photographiques et drones) et l'automatisation des traitements informatiques, la photogrammétrie reprend la première place [Grussenmeyer, 2016] et intègre l'arsenal de l'archéologue topographe. Les relevés 3D de sites entiers et leurs rendus orthophotographiques pierre à pierre sont réalisés en quelques jours, voire quelques heures. Si les données sont plus denses, plus précises et acquises plus rapidement, elles ne restent que des images, qui ne prennent sens qu'avec l'interprétation de l'archéologue.

L'Archéologie du bâti : l'élévation dans les méthodes de relevé

L'archéologie du bâti se développe avec l'archéologie médiévale [Arlaud,

1993]. Comme les vestiges fouillés, les bâtiments conservent les traces de leur histoire : extension, ouverture, exhaussement, bouchage, démontage, traces d'outils, etc. Cette richesse d'information témoigne des époques que le bâtiment a traversé. Prenant conscience de l'intérêt archéologique de ces informations, les archéologues vont développer à partir des années 80 des méthodes d'étude des murs des bâtiments anciens, ce qu'on appelle les élévations. Ces méthodes s'inspirent des méthodes de fouilles : l'élévation est décomposée en strates, chacune correspondant à un état du bâtiment, révélée par un ou plusieurs éléments (couche d'enduit, peinture, type de matériau, méthode de construction).

Les signaux, comme une légère brisure d'axe, sont parfois très faibles. L'archéologue a donc besoin d'appuyer son étude sur un relevé pierre à pierre détaillé et précis de l'élévation, au 1/10 ou 1/20. Les premières méthodes emploient fil à plomb, cordeau et décamètre : l'équivalent d'un carroyage est matérialisé sur l'élévation, sur lequel l'archéologue appuie son relevé détaillé. C'est long, et l'élévation doit être physiquement accessible au moyen d'une échelle ou d'un échafaudage.

La photographie va d'abord permettre d'accélérer la phase de relevé. Quelques points remarquables sont relevés sur l'élévation (décamètre ou théodolite), les prises de vues argentiques sont développées, redressées sur redresseur mécanique, puis les tirages sont décalqués avant d'être assemblés. La chaîne,



Figure 4. Le Leica DISTO, monté sur la lunette d'un tachéomètre électronique, permet les premières mesure de distance sans prisme.

appliquée par exemple au relevé épigraphique, reste cependant fastidieuse et anecdotique. Les techniques de relevé photogrammétrique restent quant à elles plutôt réservées aux architectes des monuments historiques, et leur restitution est faite à l'époque par des spécialistes, les photogrammètres, qui n'ont pas la même lecture du bâtiment que l'archéologue.

Dans la deuxième partie des années 1980, deux évolutions vont faciliter la mesure des élévations : le distomètre laser Leica à mesure sans prisme, et l'émergence de la photographie numérique. En 1997, il est en effet possible de monter le DISTO sur un tachéomètre électronique. Après une phase de réglage du montage, la visée se fait à l'œil, laser allumé et pointant le coin ou l'arête à relever (figure 4).

Le topographe peut donc travailler seul face à l'élévation, sans avoir besoin d'y accéder physiquement. Pour les surfaces situées en hauteur, c'est un progrès considérable, d'autant que les stations totales intègrent

toutes rapidement la visée sans prisme. Parallèlement, la puissance des ordinateurs personnels permet de traiter l'image numérique à une définition compatible avec des restitutions au 1/20. Les premières solutions simples de redressement orthophotographique numérique apparaissent : seule la perspective est corrigée, d'où quelques problèmes persistants quand l'optique n'est pas de bonne qualité ou quand le relief de l'élévation est particulièrement prononcé.

L'élévation est fournie à l'archéologue vierge de toute interprétation. Il n'a qu'à vectoriser sous Adobe Illustrator par exemple l'orthophotographie mise à l'échelle pour produire sa restitution. Cela va contribuer à faire de l'orthophotographie le rendu par excellence des élévations architecturales.

L'archéologie du bâti s'intéresse aussi aux édifices dont les élévations présentent un relief très irrégulier, les bâtiments en ruine par exemple. Dans ce cas, le redressement simple ne suffit plus. Il faut procéder à une orthorectification vraie des prises de vues, utilisant un modèle numérique du relief. À la fin des années 1990, ce besoin pousse le topographe à densifier son levé de points. C'est d'abord fait "manuellement" : des milliers de points sont patiemment mesurés à la surface des élévations au tachéomètre à visée sans prisme, complétés par le levé des lignes de rupture de relief. Même si la motorisation des stations totales facilite un peu la tâche, les mesures prennent des jours et doivent être interpolées pour produire un modèle numérique suffisant pour l'orthorectification (figure 5).

Au début des années 2000, l'arrivée du scanner 3D va transformer les jours en heures. Elle va aussi changer la stratégie d'acquisition. La mesure est tellement rapide qu'elle permet un enregistrement global du bâtiment, le choix des élévations et des paramètres de rendus (plans de projection, emprise, cartographie ou non de l'environnement de l'élévation) étant fait *a posteriori*. Reste cependant un gros verrou : l'inaccessibilité des parties hautes. Le scanner reste cloué au sol, et sa résolution étant angulaire, la densité des mesures décroît rapidement quand on s'éloigne du capteur. Le topographe va bien tenter de percher son appareil au sommet d'un mât télescopique, ou de le hisser au sommet d'un camion nacelle, mais la démarche est hasardeuse.

La démocratisation de la photogrammétrie numérique va définitivement libérer l'archéologue, appuyée par l'utilisation de perches télescopiques, de drones et de capteurs photographiques haute résolution. L'acquisition et le traitement sont aujourd'hui réalisés directement par l'organisme qui réalise l'étude archéologique du bâti, que ce soit une unité de recherche CNRS, une équipe INRAP ou le service d'une collectivité territoriale.

Prospection aérienne : quand le couvert végétal aide, ou pas

Pour comprendre l'histoire de l'occupation du territoire étudié, et identifier des structures avant de déclencher une éventuelle fouille, une phase de reconnaissance est parfois nécessaire.

Différentes méthodes de prospections peuvent être employées : prospection pédestre avec recensement des artefacts trouvés au sol, sondage géophysique, carottage.

Au début des années 1960, l'activité de prospection de sites archéologiques par moyens aériens devient une discipline reconnue et le premier colloque international d'archéologie aérienne est organisé en France par Raymond Chevallier en 1963 [Agache, 1999]. Cette discipline exploite plusieurs types d'anomalies, révélatrices d'une occupation passée du sol, dont les principales sont la croissance des cultures, l'humidité ou la couleur des sols.

Lors de l'occupation ancienne d'un site, l'Homme a organisé son territoire, en y édifiant des structures (habitations, ateliers, ouvrages défensifs) et en y réalisant quelques aménagements (fossés, enclos). Après l'abandon du site, les structures vont progressivement disparaître, les constructions arasées et les fossés comblés étant enfouis sous une nouvelle couche de sédiments. Les restes de fondations vont avoir tendance à assécher le sol qui les recouvre. Les fosses comblées vont au contraire retenir l'eau. Lorsque des cultures sont plantées, leur croissance et leur couleur vont être influencées par l'humidité des sols (figure 6).

Ce sont ces anomalies de croissance que de grands prospecteurs aériens comme Roger Agache et René Goguy vont repérer et inventorier pendant plus de 35 ans. La position des structures aperçues sont reportées sur une carte et photographiées lors de leur survol (figure 7).

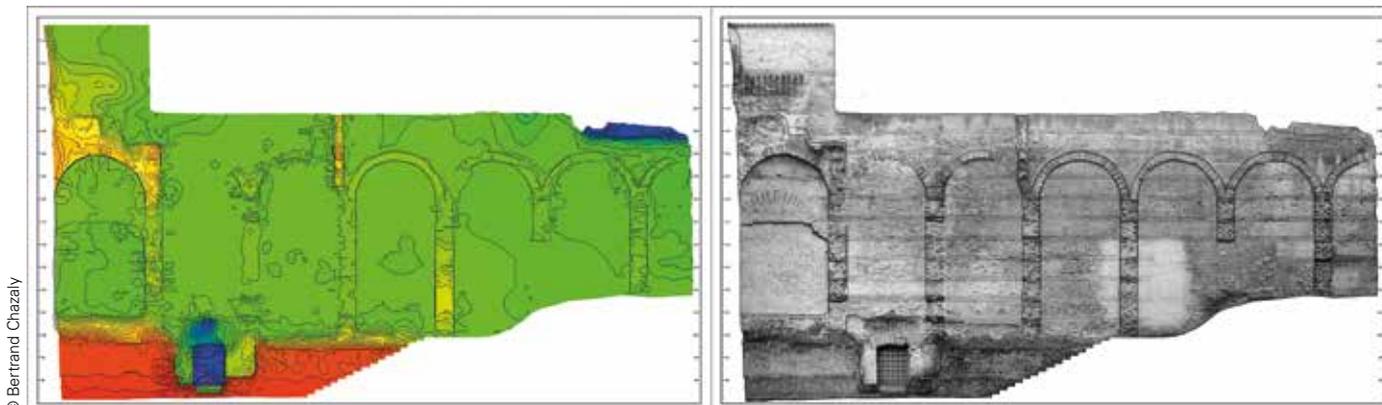


Figure 5. Élévation nord de la palestre des thermes antiques de Cluny à Paris. Modèle numérique d'élévation produit à partir d'un levé à la station totale. Prises de vues sur plaque de verre numérisées, ortho-rectifiées et assemblées au 1/20, 2002.



Dans les années 90, certaines photographies sont numérisées et géoréférencées, à l'aide des premières solutions de redressement orthophotographique numérique. Le résultat peut être intégré à un SIG avec d'autres sources de prospection, afin de constituer des cartes de potentiel archéologique, ou "risque archéologique" si on se place du point de vue d'un aménageur [Chazaly, 1997].

Lorsque les cultures font place aux forêts, les anomalies disparaissent malheureusement sous le couvert végétal. Depuis les années 2000, la mise en œuvre de la technologie du LiDAR aéroporté va permettre de pousser les moyens de détection.

Le LiDAR est développé dans le milieu des années 1990 pour la cartographie haute résolution du sol et des infrastructures (modèles numériques de terrain, projets linéaires, urbanisme) et l'étude des zones forestières (cartographie, caractérisation de la canopée). L'une de ses caractéristiques est la capacité du laser à passer à travers la végétation : la taille de la tache lumineuse émise depuis l'avion permet à quelques photons de passer dans les trous laissés entre les branches et les feuilles et d'atteindre le sol. La forte densité de mesures conduit à la production d'un semis de points 3D dont il est possible, si le couvert forestier n'est pas trop dense, d'extraire une cartographie du sol nu.

L'interpolation du semis aboutit à un modèle numérique de terrain, qu'il

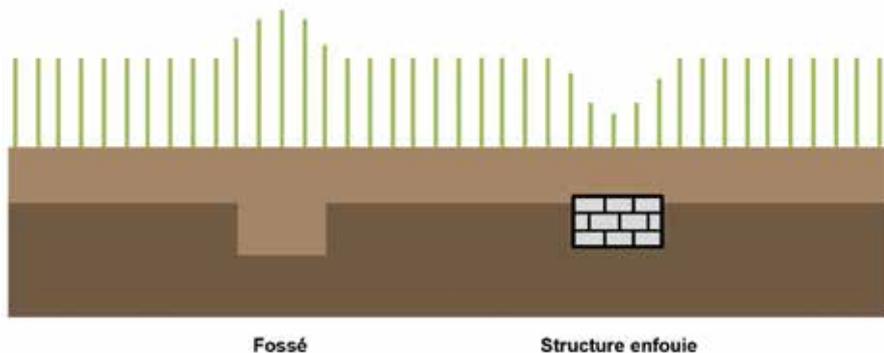


Figure 6. Anomalies de croissance des plantes au droit de structures archéologiques enfouies



Figure 7. Deux carrés et ligne en créneau pouvant correspondre à l'ancienne ligne du siège d'Henri IV à Blangy-Tronville (Somme).

est possible d'exprimer sous forme de carte ombrée. Si les structures archéologiques enfouies ont légèrement modifié le relief du sol en surface, l'ombrage peut les révéler. Certaines

sont ainsi révélées presque par hasard, lors de vols LiDAR réalisés pour des campagnes d'inventaire forestier. Ces images offrent à l'archéologue une vue d'ensemble, dans laquelle il peut

© Bertrand Chazaly, ATM3D et Pôle Archéologie et Patrimoine Culturel de l'ONF

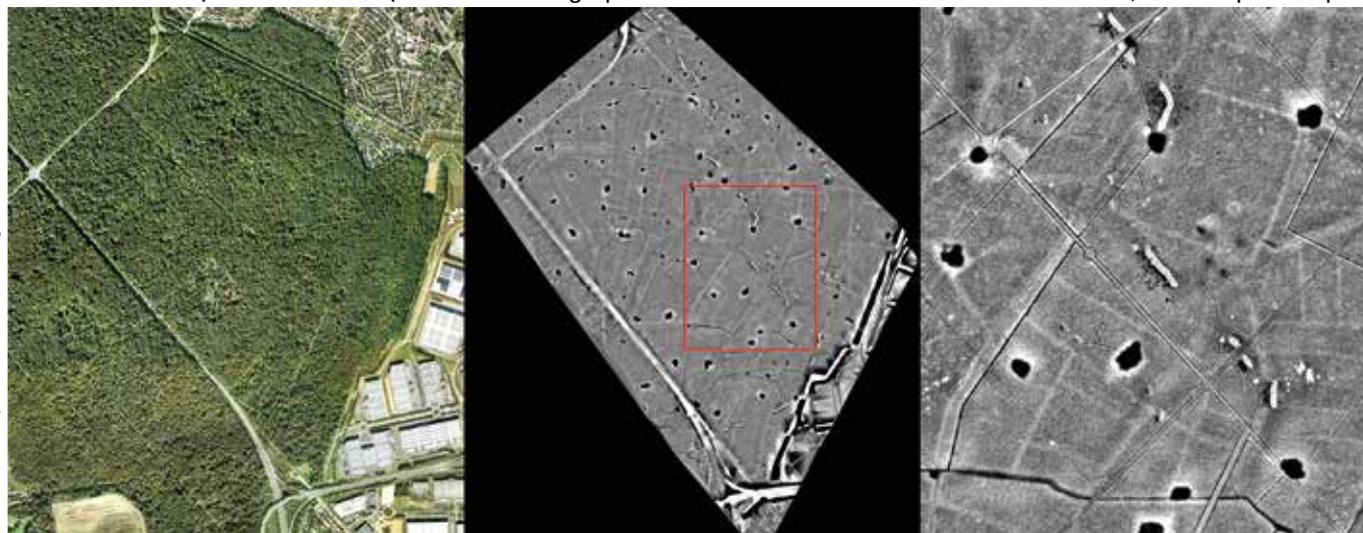


Figure 8. Cartographie à partir d'un levé LiDAR en forêt de Sénart. Détection de tranchées datant de la guerre 14-18 et révélation d'un cadastre médiéval.

© Roger Agache, Ministère de la Culture





étudier la morphologie du site, repérer et positionner de nouvelles structures (figure 8).

Les relevés LiDAR ont d'abord mobilisé des moyens lourds : avions, hélicoptères, système de mesure nécessitant l'adaptation des carlingues. Les opérations menées spécifiquement pour l'archéologie sont peu courantes, réalisées par des prestataires spécialisés. Depuis 2012, la miniaturisation des capteurs embarqués a permis la mise au point de drones LiDAR. Les interventions, plus ciblées, plus simples et moins coûteuses ouvrent des perspectives. Il ne serait pas étonnant de voir un opérateur de fouilles s'équiper dans les mois à venir.

Numérisation 3D et art pariétal : la quête du clone numérique

Nous l'avons vu, la numérisation 3D est aujourd'hui régulièrement mise en œuvre sur site de fouille et pour le relevé détaillé d'élévations. Au sol, elle utilise deux techniques, le scanner 3D et la photogrammétrie numérique, qu'elle combine parfois.

Les premiers capteurs laser 3D haute densité sont conçus à la fin des années 80 dans le but de faciliter le relevé en milieu industriel. L'objectif est clairement de ramener au bureau le maximum d'informations tridimensionnelles acquises en un minimum de temps, afin de réduire l'exposition du personnel aux risques (industrie nucléaire, pétrochimie) et de pouvoir restituer des géométries assez complexes (tuyauteries, vannes). En France, le capteur Soisic est développé par la société Mensi (acquise ensuite par Trimble) qui collabore activement avec EDF sur les traitements des premiers nuages de points. L'appareil numérise 200 points par seconde dans un rayon de 10 mètres, à une précision millimétrique (figure 9).

Dès le départ, l'idée est donc d'enregistrer la copie numérique d'un volume. L'étude de ce volume et l'extraction d'information et de géométries ne sont plus faites sur le terrain mais devant l'ordinateur. Une discipline de l'archéologie va saisir les avantages de cette



Figure 9. Le scanner laser 3D Soisic

technologie et immédiatement solliciter les ingénieurs R&D d'EDF : l'art pariétal.

L'étude et le relevé des peintures et gravures des grottes ornées n'est effectivement pas commode. L'environnement est souvent obscur, parfois difficile d'accès. Les œuvres sont fragiles, réalisées sur des parois aux surfaces irrégulières, les détails peuvent être infimes, la symbolique complexe. Leur conservation est souvent menacée. Dans les années 60, le relevé graphique des œuvres consiste à plaquer sur la paroi un film plastique et à copier directement les traces, à l'échelle 1. Vingt ans plus tard, le contact direct avec les œuvres est de moins en moins pratiqué. Les panneaux ornés sont plutôt photographiés, leurs restitutions étant reportées sur les tirages papier, toujours sur le terrain.

Une grotte réunit toutes les difficultés d'accès : la grotte Cosquer. Découverte en 1985 dans les Calanques de Marseille, elle est constituée de deux salles dans lesquelles des centaines de peintures et de gravures ont été réalisées par l'Homme il y a plus de 20 000 ans. On accède à ces deux salles en remontant un long tunnel de 170 m, noyé et dont l'entrée est située 40 m sous la mer. Après la dernière glaciation, la remontée du niveau des eaux a scellé l'accès à la grotte, dont l'étude par les spécialistes de l'art pariétal est aujourd'hui sinon impossible, du moins extrêmement périlleuse.

Le Ministère de la Culture décide de faire relever le monument avec le maximum de détails possible. Le capteur Soisic, encore à l'état de prototype, est mobilisé. L'opération de numérisation de la grotte Cosquer de 1994 est une première [Paramythioti, 1996]. Elle va mobiliser de lourds moyens logistiques, et sera couplée à une campagne de prises de vues photogrammétriques. Après 67 heures de numérisation et 15 jours de photographie, un nuage de 5 millions de points et 1115 prises de vues argentiques seront enregistrés. Ces données vont être traitées par la cellule R&D d'EDF, qui va produire les premiers modèles maillés texturés haute résolution. Les conditions de mesure (2/3 des salles sont noyées), la vitesse de numérisation et la lourdeur des moyens limitent cependant la couverture de la grotte.

Cette opération ouvre la voie des développements de la 3D dans l'art pariétal, à Cosquer plus particulièrement. En 2010, une deuxième mission est organisée, réalisée par les sociétés ATM3D, Art Graphique et Patrimoine et Immadras. Elle vise à densifier la numérisation 3D de la géométrie de la grotte, et tente de relever quelques œuvres à un degré de finesse infra millimétrique [Billaud, 2014]. Le scanner laser Faro Photon 120, le scanner à main Noomeo et un appareil photo numérique sont employés. L'autonomie et la relative légèreté de ces outils de mesure permettent de simplifier les moyens logistiques et de réduire la taille de l'équipe présente. 650 millions de points sont enregistrés dans la grotte, complétés par un modèle maillé texturé à une résolution de 0.2 mm couvrant le panneau des chevaux. Cette approche multi-scalaire permet d'étudier les gravures fines du panneau : positionnement et orientation dans la grotte, surface développée, restitution orthophotographique à 250 dpi à l'échelle 1, profondeur des gravures, orientation de l'outil utilisé pour graver, position probable de l'artiste, dessin 3D des contours, etc. (figure 10).

Une troisième campagne de mesure est menée depuis 2017 par les sociétés Fugro France et Immadras. Elle vise à finaliser la numérisation 3D de tous les volumes de la cavité à une densité de 2 mm, y compris les surfaces noyées,



Figure 10. Grotte Cosquer - le modèle maillé 3D du panneau des Chevaux

et à assurer la couverture inframillimétrique de toutes les œuvres. Les données sont en cours d'enregistrement : 10 milliards de points 3D ont déjà été recueillis par un capteur Faro Focus X130 HDR, et près de 5 To de prises de vues photogrammétriques enregistrés. Les efforts de développement se concentrent actuellement sur la calibration des sources d'éclairage, et la gestion des couleurs acquises par le scanner et les appareils photo numériques.

L'archive numérique de la grotte permet-elle de s'affranchir de la présence physique dans la grotte ? Non. Il est probable que de nouvelles œuvres aient été détectées dans les données 3D, mais il faut confirmer cela par une visite sur le terrain. De plus, le monument évolue. Ses œuvres sont exposées à des risques qu'il faut surveiller. L'idée d'un clone numérique offrant une restitution parfaite, exploitable à l'infini reste un fantasme.

Conclusion

La topographie a été absorbée par l'archéologie dans la mesure où les opérations de relevé et de traitement sont réalisées par l'archéologue-topographe. Quelle place reste-t-il au topographe ? Il poursuit sa collaboration avec l'archéologue, notamment sur la problématique de la gestion de l'archive numérique 3D. Les prochains enjeux sont certainement le traitement, le partage et la conservation en ligne de données 3D denses et volumineuses, à l'aide de l'informatique "nuagique". Certains travaux de recherche en topographie et photogrammétrie vont dans ce sens, et une partie du traitement des mesures faites dans la grotte

Cosquer est réalisée par Fugro France sur la plateforme cloud d'Amazon. On imagine facilement pouvoir chausser ses lunettes de réalité virtuelle, se connecter à un site internet et s'immerger dans des modèles 3D texturés, produits à une résolution millimétrique et couvrant des hectares ; une sorte de carte archéologique numérique et tridimensionnelle, couvrant le territoire et dans laquelle un chercheur pourrait rejoindre son confrère pour étudier virtuellement avec lui un site qui l'interroge. Gardons cependant à l'esprit les propos d'Andrew Tallon, historien d'art qui avait scanné Notre-Dame de Paris en 2013 : *"Il est tentant de croire que les dernières techniques de modélisation structurelle (...) offrent l'accès, de manière infaillible, à une vérité sur le bâtiment ou sur ses constructeurs. Toutefois, la vérité est à chercher ailleurs : la valeur de telles techniques est au final tributaire de la qualité de l'interprétation qui en est donnée. Ceux qui se chargent de ce travail d'interprétation (...) doivent sans cesse veiller à enrichir – et à questionner – les nouvelles techniques en s'appuyant sur les méthodes traditionnelles permettant d'appréhender un bâtiment dans toute sa multivalence."* Tout est dit. ●

Contact

Bertrand CHAZALY - Fugro France
b.chazaly@fugro.com

Références

AGACHE R. (1999). *L'art de l'archéologie aérienne et ses pièges. La prospection à basse altitude est-elle un jeu ? Un art ? Une science ?* Revue archéologique de Picardie, n° spécial 17, pp. 39-47

ARLAUD C. et BURNOUF J. (1993). *L'archéologie du bâti médiéval urbain*. Les Nouvelles de l'archéologie, n°53-54, pp. 5-69

BILLAUD Y., CHAZALY B., OLIVE M., VANRELL L. (2014) *Acquisition 3D et documentation multiscalaire de la grotte Cosquer : une réponse aux difficultés d'accès et à une submersion inéluctable ?* Karstologia n°64. 2eme semestre 2014. p. 07-16

CHAZALY B., DABAS M. (1997). *SIG et Détection archéologique*. XYZ n°72, pp. 47-51

COURBON P. (2013). *Topographie : un demi-siècle d'évolution technologique*. Hors-série XYZ n° 135bis, 49 p.

DEMOULE J.-P., GILIGNY F., LEHOERFF A., SCHNAPP A. (2002). *Guide des méthodes de l'archéologie*. Éditions de la Découverte, Paris, 300 p. ; réédition augmentée 2005 et 2009.

GLUTZ R. (1985). *La topographie au service de l'archéologie*. Dossiers d'Archéologie n°94, pp.78-79.

GRUSSENMEYER P. (2016). *Photogrammétrie, bilan et perspectives de 150 ans d'histoires*. Colloque Photogrammétrie Numérique et perception 3D : les nouvelles conquêtes. Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection. Paris.

IGN communication (2012, 6 avril). *Nubie 64*. Consulté sur <http://www.ign.fr/webtv/patrimoine/nubie-64>

PARAMYTHIOTI M. (1996). *Grotte Cosquer. Relevé intérieur par le capteur Soisic*. XYZ n° 66, pp. 24-27.

ABSTRACT

For decades, land surveying and archaeology have been connected. Advances in technology and methodologies for measurement have supported the improvement of excavation strategy and ease the archaeologist scientific process.