



HAL
open science

Les nouvelles techniques de relevés appliquées à l'archéologie du bâti et à l'archéologie urbaine

Elen Esnault

► To cite this version:

Elen Esnault. Les nouvelles techniques de relevés appliquées à l'archéologie du bâti et à l'archéologie urbaine. Archéologie : imagerie numérique et 3D, Sylvie Eusèbe; Théophile Nicolas; Valérie Gouranton; Ronan Gaugne, Jun 2018, Rennes, France. hal-02020092v1

HAL Id: hal-02020092

<https://inrap.hal.science/hal-02020092v1>

Submitted on 9 Jul 2019 (v1), last revised 12 Jul 2019 (v2)

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

Les nouvelles techniques de relevés appliquées à l'archéologie du bâti et à l'archéologie urbaine

Les technologies de relevé 3D font partie des nouveaux outils de l'archéologie, sur le terrain mais également en phase de post-fouille puis de restitution. Le recours à la photogrammétrie et/ou au scanner 3D s'avère utile, voire indispensable, dans des cas précis pour lesquels il est nécessaire d'adapter la méthodologie aux objectifs à atteindre. Le gain de temps dans l'acquisition des données est également très appréciable. Pour autant, ces nouvelles techniques ont leurs limites qu'il est primordial de connaître pour mener à bien une opération archéologique. Les résultats présentés ici proviennent de cas d'études récents et variés, menés en Bretagne et en Normandie : opérations archéologiques en milieu urbain, études de bâti, contextes complexes. Ils illustrent les possibilités offertes par la photogrammétrie tout au long de la chaîne opératoire d'une opération mais aussi les écueils à éviter.

1 L'acquisition des données par photogrammétrie

1.1 L'obtention de supports d'enregistrement fiables

La phase de terrain d'une opération archéologique consiste en grande partie à la récolte de données et il s'avère nécessaire d'utiliser des supports d'enregistrement fiables. Les relevés manuels ou topographiques sont particulièrement bien adaptés dans le cadre de fouilles classiques où les vestiges sont mis au jour progressivement. En revanche, en ce qui concerne les études de bâti, les délais d'étude sont de plus en plus courts et il est indispensable de bénéficier très rapidement des relevés d'élévation imprimés sur papier pour noter les observations et procéder à l'enregistrement des données. S'il est possible d'obtenir des plans au démarrage de l'opération, notamment des plans anciens ou ceux liés au futur projet d'aménagement, ces derniers sont souvent inexploitable par l'archéologue.

Dans le cadre de l'étude de bâti de l'âtre. Saint-Maclou à Rouen (Esnault, 2016)¹, l'agence Mouffle avait mis à disposition les plans, élévations et coupes dressés en 2000. Ces documents faisaient état de mètres, surfaces et matériaux sans prendre en compte la dimension archéologique. Ainsi, les entraxes des fermes étaient supposés réguliers, les murs d'aplomb et les planchers parfaitement horizontaux. Les détails de mise en œuvre des pans de bois, les reprises de maçonnerie, les différences d'épaisseurs des murs n'étaient pas indiqués. Comme ce sont ces détails qui permettent de détecter les différentes phases de travaux et d'élaborer le diagramme stratigraphique, il s'est avéré indispensable de reprendre l'intégralité des relevés. Si des relevés manuels ont été réalisés de façon ponctuelle pour des détails significatifs, c'est le relevé par photogrammétrie qui a été privilégié en raison du type d'édifice, des délais très courts d'intervention, de l'ampleur des levés à réaliser et du niveau de détail attendu. En effet, les quatre façades extérieures de 50 mètres de long sont ornées de décors macabres de la Renaissance. Le relevé par photogrammétrie, réalisé par la société Dendrotech, a porté sur ces façades mais également sur tous les intérieurs permettant l'obtention rapide d'un modèle 3D (fig.1). Le poste de traitement des données a été installé sur place afin de générer au jour le jour les orthomosaïques et orthophotographies qui ont servi de support à l'enregistrement.

Mots clés

Archéologie du bâti, archéologie urbaine, édifice religieux, espace funéraire, habitat, modélisation 3D, orthophotographie, photogrammétrie

Informations de publication

Publié le 14 février 2019

<https://sstinrap.hypotheses.org/501>

Esnault (Elen). – Les nouvelles techniques de relevés appliquées à l'archéologie du bâti et à l'archéologie urbaine. In : Eusèbe (S.), Nicolas (T.), Gouranton (V.), Gaugne (R.) dir. – *Archéologie : imagerie numérique et 3D* : actes du 3^e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 26-27 juin 2018, Rennes.

Fig. 1 : Nuage de points issu de la photogrammétrie. Aître Saint-Maclou, Rouen (76).

A. Marais, Dendrotech, 2016.

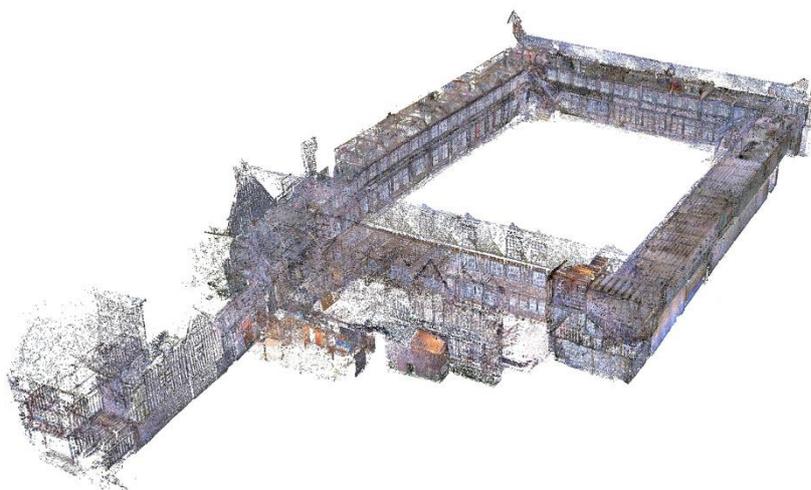


Fig. 2 : Modèle 3D du manoir du Boberil, à l'Hermitage (35).

P. Leblanc, Inrap, 2017.



Il a été procédé de la même façon pour l'étude de bâti du manoir du Boberil à L'Hermitage, en Ille-et-Vilaine (Esnault, 2018)². Hormis l'obtention d'un nuage de points qui a permis de documenter l'intégralité de l'édifice, avant une phase importante de restauration, la photogrammétrie réalisée par Pierrick Leblanc (Inrap) a été utilisée pour alléger le travail d'enregistrement. Les orthophotographies réalisées ont complété les fiches d'enregistrement en faisant état, notamment, des matériaux, de l'appareil ou encore de la mise en œuvre. Elles ont permis de faire l'économie de longues descriptions, souvent répétitives, pour chaque élévation (fig.2).

1.2 La rapidité d'intervention

Le recours à la photogrammétrie est bien adapté lorsqu'il s'agit d'intervenir rapidement sur le terrain en évitant des relevés manuels chronophages et bien souvent inutiles pour des phases homogènes de construction. Il est ainsi possible d'effectuer des choix stratégiques sur le terrain en consacrant un minimum de temps aux relevés.

Dans le cadre de l'étude de bâti du cloître au Mont-Saint-Michel (Esnault, 2018)³, l'intégralité de la colonnade participant à une phase unique de travaux a été relevée à l'aide de la photogrammétrie. Ce travail a été en grande partie réalisé par Art Graphique et Patrimoine à la demande du Centre des monuments nationaux. Il a été complété par l'Inrap lors de l'étude archéologique (fig.3).

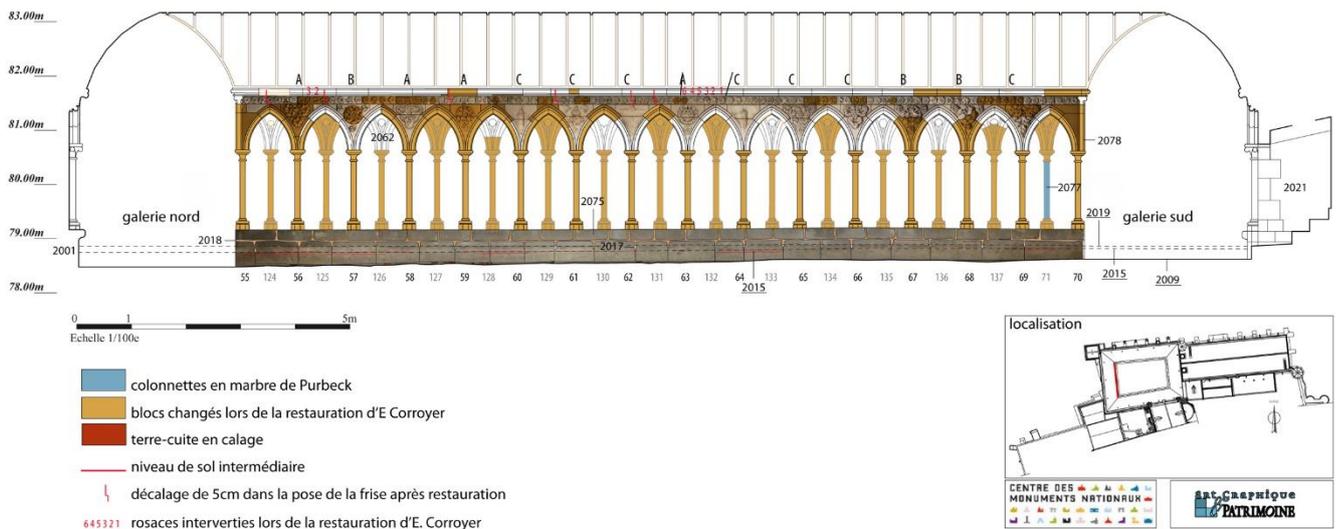


Fig. 3 : Élévation de l'aile ouest du cloître, au Mont-Saint-Michel (50). D'après un fond de plan d'Art Graphique et Patrimoine.

P. Leblanc et E. Esnault, Inrap, 2017.

1.3 Pallier les contraintes de terrain

Le relevé par photogrammétrie s'applique bien aux milieux urbains complexes ou aux lieux difficilement accessibles. Des études de bâti sont régulièrement réalisées en vue de futurs travaux, parfois en collaboration avec des entreprises, et l'emprise d'intervention est souvent encombrée (échafaudages, engins de chantiers...). La photogrammétrie permet de s'affranchir de ces obstacles même si certains endroits encombrés peuvent ne pas être couverts, tels les zones de stockage de matériaux ou de gravats. Il est parfois nécessaire d'intervenir en deux temps. Un premier relevé peut être réalisé sur une élévation « en l'état » : mur non dévégétalisé, présence de résidus d'enduits ou d'autres matériaux masquant les vestiges. Dans un second temps, la mise en place d'un échafaudage permet de retirer ces éléments gênants et des relevés ponctuels, par photogrammétrie, peuvent alors être effectués. L'échafaudage reste en place jusqu'à l'intervention des entreprises de rejointoiement puis il est démonté, révélant un mur restauré qui ne présente plus d'intérêt pour l'archéologue.

Des relevés ponctuels par photogrammétrie ont été effectués lors de **travaux de voirie au Mont-Saint-Michel**. Lors de cette fouille, les contraintes étaient nombreuses : temps d'intervention très limité, espace très encombré en raison de l'étroitesse de la rue et de la présence de réseaux, coactivité avec les entreprises de terrassement, passages fréquents des riverains, dénivelés en tous sens, présence de pointes rocheuses régulières. De fait, des relevés archéologiques manuels à partir d'axes ou un relevé topographique complet étaient peu envisageables. En revanche, la prise de clichés photogrammétriques a pu se faire au fur et à mesure, sur le terrain, sans condamner des parties entières de la rue (fig.4).

De la même façon, l'opération menée sur le **Rocher Ouest, au Mont-Saint-Michel**, a présenté de nombreuses contraintes dont la principale était l'impossibilité de fixer des axes de relevé en raison de la nature du sous-sol, de la pente et de l'irrégularité du rocher, des conditions d'intervention encordées (fig.5 et 6).

En contexte urbain, les contraintes principales sont régulièrement liées aux cheminements parfois très longs entre des espaces qui n'ont pas forcément de covisibilité. De même, il n'est pas toujours possible de travailler en hauteur. À l'**âtre Saint-Maclou à Rouen**, le relevé par photogrammétrie des parties hautes a été rendu possible par l'utilisation d'une perche de 6,30 mètres associée à un *Digital Director* (Manfrotto) permettant de contrôler l'appareil photo à distance. L'utilisation de cibles codées a permis d'assurer l'assemblage correct des photographies entre elles et le géoréférencement (fig.7 et 8).

Fig. 4 : Modèle 3D de la rue au Mont-Saint-Michel (50).
P. Leblanc, Inrap, 2017.

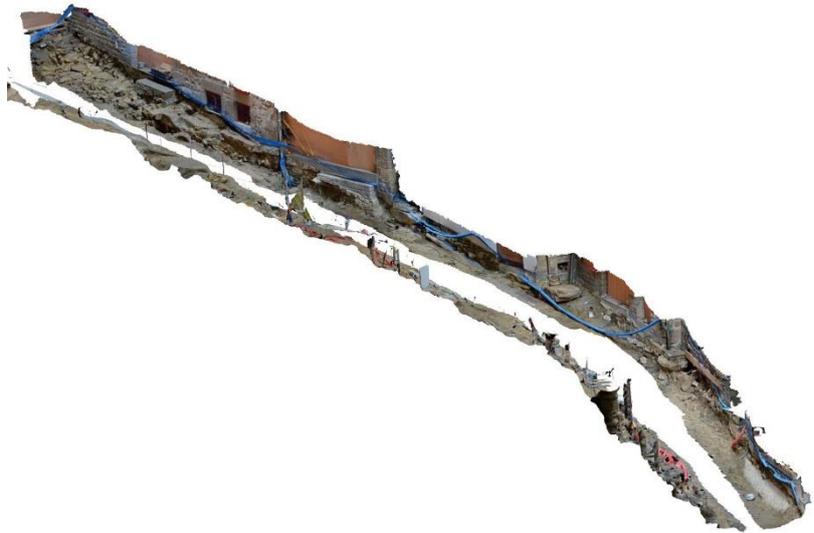


Fig. 5 : Les contraintes de relevé. Le Rocher Ouest, Mont-Saint-Michel (50).
F. Lecampion, Inrap, 2018.



Fig. 6 : Modèle 3D du Rocher Ouest, au Mont-Saint-Michel (50).
P. Leblanc, Inrap, 2018.



Fig. 7 : Prise de vue à la perche. Aître Saint-Maclou, Rouen (76).
C. Olivier, Dendrotech, 2016.



Fig. 8 : Relevé de façade dans une cour très encombrée. Aître Saint-Maclou, Rouen (76).
A. Marais, Dendrotech, 2016.



Le géoréférencement est indispensable afin de pouvoir à nouveau contextualiser les nuages de points relevés. Ainsi, un relevé topographique minimal reste nécessaire afin de prendre des repères, même s'il ne s'agit plus de dresser un plan complet.

2 Traitement des données

Si la phase d'acquisition des données se révèle très rapide sur le terrain et donne une impression de facilité, la phase de traitement reste une étape importante et relativement longue.

2.1 L'assemblage

Les photographies prises sur le terrain sont intégrées dans un logiciel de type *Photoscan* (Agisoft) afin de procéder au calcul et à la production du nuage de points. En présence de cibles codées ou de points de repères, le géoréférencement est mis en place grâce au relevé topographique. Cette étape demande une grande rigueur en raison de la correction automatique qu'il est nécessaire de vérifier.

2.2 La vérification

La vérification du nuage de points est une étape importante afin de s'assurer de la fiabilité du levé. Elle est facilitée par le géoréférencement mais peut se faire également par comparaison.

Lors de l'étude de la salle du jeu de paume de la rue Saint-Louis, à Rennes (Ferette *et al.*, 2015)⁴, il a été procédé à un relevé manuel complet des élévations associé à un scan 3D réalisé par Yann Bernard du Conservatoire numérique du patrimoine archéologique de l'Ouest (CNPAO) (fig.9). L'objectif était de vérifier la fiabilité des deux types de relevés qui se sont parfaitement juxtaposés.

À l'aître Saint-Maclou de Rouen, le nuage de points issu de la photogrammétrie a été comparé à celui obtenu par un scan 3D dans le logiciel *CloudCompare*. Là encore, la justesse du relevé a été éprouvée avec quelques imprécisions minimales pour le scan 3D au niveau des fenêtres dû aux reflets des carreaux (fig.10).

Fig. 9 : Relevé manuel de la façade orientale du jeu de paume. Rue Saint-Louis, Rennes (35).

R. Battais, E. Esnault, M. Lallauret, M. Millet et M.-L. Thierry, Inrap, 2014.

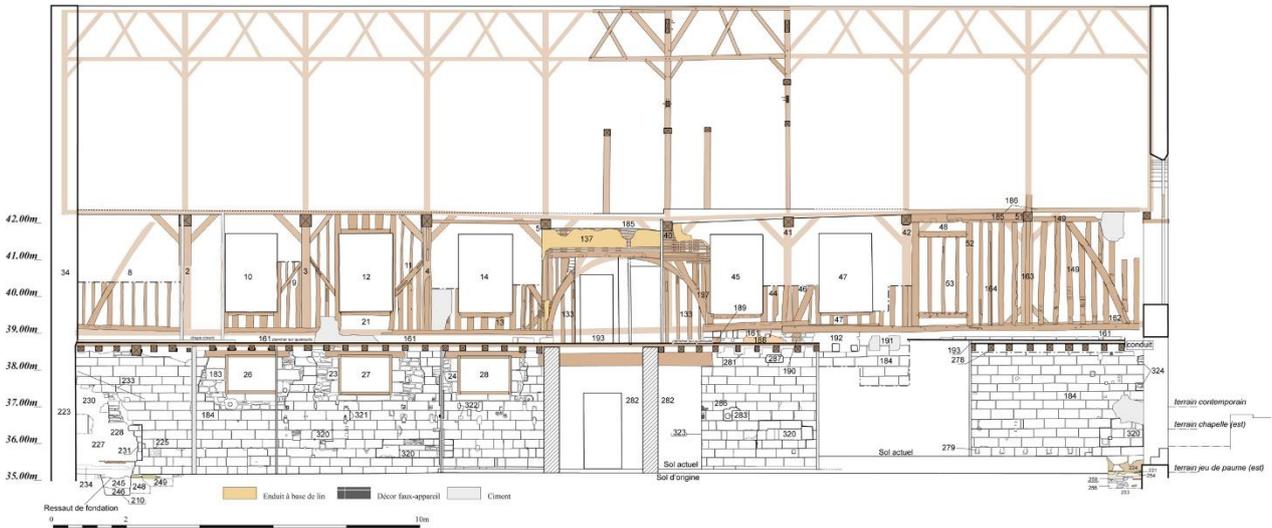


Fig. 10 : Comparaison de la photogrammétrie et du scan 3D. Aître Saint-Maclou, Rouen (76).

A. Marais, Dendrotech, 2016.



2.3 Le nettoyage du nuage

Après la phase de vérification, l'assemblage des données permet l'obtention d'un nuage de points clairsemé ou dense. Avant d'en extraire des orthophotographies en plans, coupes ou élévations, il est indispensable de nettoyer le nuage des éléments qui en polluent la lecture : suppression des échafaudages, étaielements, engins et autres obstacles présents sur le terrain lors de la prise de vue (fig.11). Ainsi, les vues finalisées offrent un rendu propre, fiable et interprétable à l'aide des observations de terrain. Cependant, en effaçant ces différents obstacles, on perd la trace des contraintes vécues sur le chantier.

Fig. 11 : Scan 3D du jeu de paume montrant les différents bruits montrant les différents bruits perturbants la lecture : réseaux, étaielements, objets divers. Rue Saint-Louis, Rennes (35).

Y. Bernard, CNPAO, 2014.



Fig. 12 : Proposition de restitution du château du Guildo, à Créhen (22).

E. Esnault, Inrap, 2012.



3 Restituer, comprendre, communiquer

Si ces nouvelles technologies sont utilisées de façon courante en archéologie, elles restent avant tout un outil de travail destiné à enregistrer, exploiter et restituer les données archéologiques collectés sur le terrain et les découvertes réalisées.

3.1 Restituer une volumétrie

La restitution en cours du château du Guildo, à Créhen, dans les Côtes-d'Armor, sous la responsabilité de Laurent Beuchet (Inrap), permet avant tout de valider les hypothèses d'interprétation des différents états. Réalisée en partie sous Autodesk 3ds Max et Trimble SketchUp, elle se construit au fil des échanges menés entre le responsable d'opération et des spécialistes en matière d'histoire de l'architecture. Les hypothèses sont ainsi vérifiées, confirmées ou non, et dans tous les cas argumentées (fig.12).

3.2 Comprendre une structure

À l'aître Saint-Maclou à Rouen, au jeu de paume de Rennes ou encore au manoir du Boberil à L'Hermitage, la restitution n'a pas seulement pour objectif de présenter les différents phases d'évolution de l'édifice, mais aussi de proposer une interprétation des éléments de structure en bois disparus, mais dont on conserve la mémoire au travers des assemblages. Il s'agit de recomposer un « puzzle » à partir de pièces mélangées, avec des intrus ou des manques. La restitution s'avère ainsi être un véritable outil de compréhension des structures anciennes (fig.13, 14 et 15).

Fig. 13 : Hypothèse de restitution de la charpente primitive. Aître Saint-Maclou, à Rouen (76).
E. Esnault, architecte, 2016.

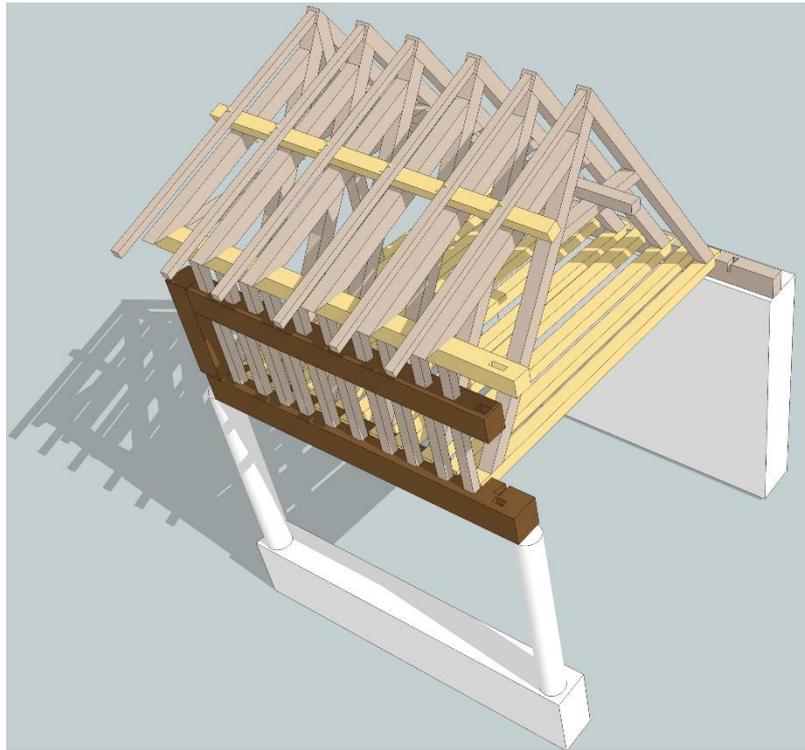


Fig. 14 : Proposition de restitution du jeu de paume. Rue Saint-Louis, Rennes (35).
E. Esnault, Inrap, 2015.



Fig. 15 : Proposition de restitution d'une façade à partir d'une sablière. Manoir du Boberil, à L'Hermitage (35).
E. Esnault, Inrap, 2017.



3.3 Communiquer les résultats

Plus qu'un outil de travail, la restitution 3D apparaît souvent comme l'aboutissement d'une recherche pouvant être retransmise à un large public. Les nouveaux outils d'immersion rendent de plus en plus accessible le recours à la réalité virtuelle. Au-delà du côté ludique, il est vrai qu'un espace en trois dimensions est souvent mieux appréhendé par le public que des documents en deux dimensions, du type plan.

Cependant, devant la généralisation des images 3D et des immersions, se pose la question de l'apparence de l'image, du rendu et du message que l'on souhaite faire passer. Même si l'on peut parfois aller loin dans les restitutions, il reste toujours une part d'inconnu. Les interprétations restent des hypothèses, certes argumentées, mais non vérifiées de façon certaine et élaborées suivant l'état des connaissances à un moment donné.

Un travail de restitution a été réalisé dans le cadre de la fouille programmée pluriannuelle des Portes Mordelaises, à Rennes (Esnault, 2012-2017)⁵, notamment pour l'état au XV^e siècle, par Jean-Baptiste Barreau du CNPAO. L'objectif premier était de vérifier les hypothèses de terrain en précisant, notamment, la volumétrie du châtelet et de son boulevard d'artillerie. C'est un modèle 3D monochrome qui a été choisi pour représenter le travail de réflexion en cours (fig.16). Dès lors que des textures et des habillages sont ajoutés, pour illustration, ces éléments tendent à figer l'interprétation des vestiges dans ce qu'on l'on pense être acquis (fig.17). Comment, dès lors, exploiter au mieux la 3D de manière à montrer la part des vestiges authentiques restituée de façon certaine et celle restant du domaine de l'hypothèse ?

Fig. 16 : Proposition de restitution en cours d'étude des Portes Mordelaises, à Rennes (35).

J.-B. Barreau, Inrap, 2017.

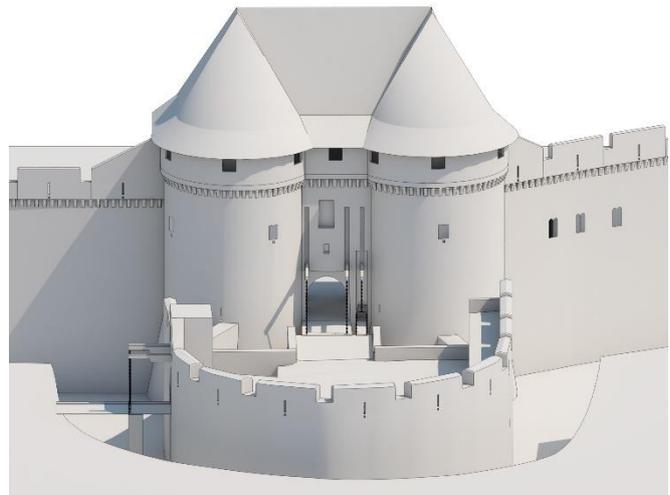


Fig. 17 : Proposition de restitution finalisée des Portes Mordelaises, à Rennes (35).

J.-B. Barreau, Inrap, 2018.



4 Conclusion

Les nouvelles technologies de relevé 3D ou de restitution génèrent des images très attractives au travers desquelles le travail réalisé en amont n'est pas toujours perceptible : acquisition et traitement des données, enregistrement et interprétation archéologique, recherche documentaire, datation des phases de travaux principales, modélisation pour valider les hypothèses. La restitution et la transmission au public représente seulement la toute fin de cette chaîne opératoire.

On peut s'interroger sur l'utilisation de la photogrammétrie ou du scan 3D comme outil de conservation des vestiges au même titre qu'un système d'information géographique (SIG). Ce dernier est aujourd'hui demandé dans les prescriptions archéologiques. Toutefois, le SIG met en œuvre des formes distinctes et fermées qui s'adaptent mal aux vestiges en trois dimensions que sont le bâti ou les sites urbains très stratifiés, où les strates peuvent être informes, diffuses voire morcelées. De même, la table attributaire associée aux plans dans un SIG, intègre généralement une colonne datation. Or, en bâti, il existe peu de mobilier archéologique permettant de dater chaque strate. La réflexion chronologique est avant tout relative hormis des datations ponctuelles réalisées, par exemple, à l'aide de la dendrochronologie ou du radiocarbone.

Le *Building Information Modeling* (BIM) pourrait constituer l'outil adéquat pour les études d'élévation. Il permettrait de faire le lien avec les architectes, les maîtres d'ouvrages et les entreprises de restauration qui l'utilisent aujourd'hui pleinement. Les archéologues sont les premiers à intervenir sur un site, préalablement à des travaux, et à en faire le levé intégral. Ils sont donc en mesure de fournir à la maîtrise d'œuvre un relevé complet et précis en plus de l'étude archéologique. Cela a été le cas lors de l'étude de l'âtre Saint-Maclou à Rouen, où le cahier des charges de l'étude archéologique, rédigé par la Conservation Régionale des Monuments Historiques (CRMH), indiquait que les documents (plans, coupes, élévations) devaient être fournis à la maîtrise d'œuvre au format .dwg pour servir de base à l'établissement du projet.

Si les nouvelles technologies servent aujourd'hui grandement les études archéologiques, des limites majeures sont à prendre en compte. Les moyens d'intervention sont souvent réduits sur le terrain, obligeant les équipes à aller toujours plus vite. L'acquisition de données numériques permet certes une rapidité d'exécution mais ne se substitue pas à l'observation archéologique. Les technologies 3D sont un outil à part entière mais l'objet obtenu, un nuage de points en trois dimensions, reste multiple, complexe, diachronique et seule une véritable étude archéologique et stratigraphique, réalisée sur le terrain, peut autoriser son interprétation.

Notes et bibliographie

¹ ESNAULT (E.) dir., DENDROTECH collab. – *Aître Saint-Maclou*.

Restauration et reconversion. Étude scientifique d'archéologie du bâti : rapport d'opération. Combourg : Elen Esnault Architecte. 2016.

² ESNAULT (E.) dir., POILPRÉ (P.) collab. – *Manoir du Boberil, L'Hermitage, (Ille-et-Vilaine) : rapport de diagnostic*. Cesson-Sévigné : Inrap Grand-Ouest, 2018. 364 p.

<<http://dolia.inrap.fr/flora/ark:/64298/0152009>>.

³ ESNAULT (E.) dir. – *Restauration du cloître de l'abbaye, Mont-Saint-Michel, (Manche) : rapport de fouille*. Cesson-Sévigné : Inrap Grand-Ouest, 2018. 201 p.

<<http://dolia.inrap.fr/flora/ark:/64298/0150212>>.

⁴ FERETTE (R.) dir, ESNAULT (E.), POILPRÉ (P.). collab. – *10 et 12 rue Saint-Louis, Rennes, (Ille-et-Vilaine) : rapport de fouille*. Inrap Grand Ouest, 2015. 321 p.

<<http://dolia.inrap.fr/flora/ark:/64298/0139007>>.

⁵ ESNAULT (E.), POILPRÉ (P.) collab – *Rennes, (Ille-et-Vilaine), Les Portes Mordelaises, fouille programmée pluriannuelle. Rapports de fouille programmée de 2012 à 2017*. Cesson-Sévigné : Inrap Grand-Ouest / Ministère de la Culture (SRA Bretagne).