



Numérisation de blocs et anastylose virtuelle d'une façade antique à Pont-Sainte-Maxence (Oise)

■ Emmanuel ALBY, Pierre GRUSSENMEYER, Laurent BITARD, Samuel GUILLEMIN,
Véronique BRUNET-GASTON, Christophe GASTON, Richard ROUGIER

Pont-Sainte-Maxence est situé à 50 km au nord de Paris.

C'est en y intervenant lors de travaux de la construction d'un centre commercial, que l'INRAP, Institut national de recherches archéologiques préventives, a découvert un site gallo-romain du II^e siècle après J.-C. La partie du site qui retient l'intérêt pour l'étude est une façade de 70 mètres de long par près de 10 mètres de haut, composée de 17 arcades ouvertes et deux pleines aux extrémités. La particularité de la découverte est que les blocs constituant la façade sont très bien conservés. Cet état de préservation pose question. Il induit une ruine précoce de l'édifice qui est surprenante, au regard de la maîtrise de la construction par ses bâtisseurs. Leur état de conservation rend ces blocs exceptionnels indépendamment des questions qu'il soulève.

Des blocs représentatifs et symboliques de cet édifice ont été sélectionnés pour participer à une étude d'anastylose virtuelle. Les éléments sont de toutes natures formelles : blocs architecturaux décorés, éléments statuaires monumentaux et détails de décors très fins. Cette restitution numérique permet d'émettre des hypothèses de ruine de la façade par simulation de chute des blocs. Une comparaison avec leur position de découverte servira de validation. Le groupe PAGE de l'INSA Strasbourg a été missionné pour la numérisation, l'anastylose et la mise en place de méthodes exploratoires pour la compréhension de la ruine de la façade. L'acquisition est soumise à l'accès aux blocs à numériser. Près de 70 blocs participent à l'élaboration du modèle tridimensionnel de la façade. Ces blocs sont de dimensions variées allant de fragments de moins d'un litre, à des blocs architecturaux de plus d'une tonne. Le choix de la technique d'acquisition se fait selon le critère pragmatique : les objets déplaçables sont acquis avec un scanner à bras en laboratoire et les plus

imposants par photogrammétrie au dépôt. Les produits finis visés sont multiples. Le projet permet l'obtention de modèles 3D très précis et offrant la représentation la plus fidèle pour documenter au mieux les objets ainsi que des modèles de taille optimisés permettant une manipulation aisée lors des essais d'anastylose. L'apparence des modèles est un enjeu très important aussi. En effet, les textures issues des photos sont un excellent vecteur de réalisme, mais des détails fins de l'objet sont parfois gommés par l'uniformité de la couleur du matériau d'origine. L'acquisition par laser à bras ne fournit pas les textures (leur acquisition est à faire en plus). Ces différences de présentation intrinsèques au mode d'acquisition amènent à réfléchir sur le mode de rendu des objets. Une fois l'acquisition réalisée, une hypothèse de façade doit être validée et/ou adaptée par l'anastylose des blocs relevés. Différents cas se présentent. Le premier correspond à une reconstitution de blocs brisés, par ajustement des fragments retrouvés. Si la somme des fragments connus s'approche de la forme initiale du bloc,

MOTS-CLÉS

Photogrammétrie, lasergrammétrie, nuage de points, maillage, archéologie, anastylose

la démarche s'assimile à un puzzle de surfaces complexes. Si les fragments n'ont aucun contact, mais font partie intégrante du bloc, la proportion d'hypothèse/contact évolue. Et enfin si les blocs se superposent entre eux par contacts plans comme lors de la construction, la restitution se fait sur la base des positions de découvertes et d'hypothèses basées sur les connaissances architecturales de cette période. Chacune de ces trois méthodes de reconstitution fait intervenir des chaînes de traitements différentes. Une fois le modèle tridimensionnel validé par le positionnement des blocs et propagé selon les dimensions effectives de la façade, il est possible de proposer différents scénarios de chute.

L'archéologie préventive, par le sondage systématique de terrain avant chantier, est un contexte qui favorise les découvertes surprenantes. La façade gallo-romaine du II^e siècle après J.-C. mise au jour à Pont-Sainte-Maxence situé à 50 km au nord de Paris, est un témoignage inattendu de cette période. La qualité des blocs a donné l'élan pour démarrer un projet de numérisation et d'exploitation des modèles.

L'objectif est de comprendre les causes de la chute prématurée de la façade. Les caractéristiques de cette découverte la rendent spécifique. En fonction des dimensions des éléments à numériser, des techniques d'acquisitions ont été retenues. Le projet présenté permet de traiter les notions de rendu de modèle 3D ainsi que de leur emploi pour reconstruire la façade. Le projet étant en cours, les perspectives de simulation de chute seront aussi abordées.



Présentation du projet

L'archéologie préventive, en France, permet d'intervenir en amont de chaque projet d'aménagement. Les interventions systématiques apportent leurs lots de surprises. C'est ce qui s'est produit lors de sondages préliminaires à la construction d'un centre commercial à Pont-Sainte-Maxence.

A quelques dizaines de centimètres de profondeur seulement reposait une grande quantité de blocs calcaires issus d'une façade monumentale gallo-romaine. La particularité de la découverte réside dans le fait que les blocs constituant la façade sont très bien conservés. Cet état de conservation leur donne un premier caractère exceptionnel. La deuxième particularité est liée au fait que la façade soit tombée si peu de temps après sa construction. En effet, l'architecture gallo-romaine est soit encore en élévation, soit ruinée ou réemployée tardivement. Dans les deux cas, l'état des blocs est déjà très érodé. Dans le cas qui nous intéresse, les blocs sont presque neufs quand la façade s'écroule et le sol sableux de la vallée de l'Oise permet une conservation des pigments et enduits par endroits au moment de la découverte. Leur disposition de découverte varie en fonction des types de blocs constitutifs. En effet, pour les parties basses, les blocs manquent et ont manifestement été réemployés ailleurs. Pour les parties hautes, un grand nombre de blocs ont été retrouvés dans un ordre respectant la superposition initiale. Si la logique de l'élévation de la façade était

lisible lors de la découverte, une bonne partie d'autres blocs ont été retrouvés dans des endroits qui posent question. L'objectif de notre intervention dans ce contexte est triple : la modélisation tridimensionnelle des blocs doit être faite pour alimenter les hypothèses de reconstruction de la façade. Le modèle 3D ainsi obtenu servira de support à des hypothèses de chute de l'édifice.

Acquisitions

Le nombre de blocs à acquérir est proche de 70, chiffre approximatif qui varie selon la prise en compte des fragments complémentaires aux éléments à numériser. En fonction de la taille et donc du poids des blocs, l'ensemble a été séparé en deux groupes : ceux qui ne peuvent pas être déplacés et qui restent au dépôt et ceux qui peuvent être numérisés en laboratoire.

L'acquisition est donc faite en deux temps et deux lieux. Les petits morceaux sont numérisés au fur et à mesure en laboratoire avec un bras de mesure. Deux missions de relevé des plus gros blocs ont dû être planifiées pour finaliser l'acquisition. L'acquisition dans des conditions de laboratoire peut être réalisée au fur et à mesure contrairement aux opérations sur le terrain qui devaient être réalisées dans un délai contraint. Le bras d'acquisition est un FARO EDGE d'une précision annoncée 0,034 mm, ce qui permet d'envisager de numériser les blocs avec une précision de 0,1 mm. Les petits blocs retenus sont assez détaillés, il est donc important de



Figure 2. Fragment de tête, exemple de petit objet à numériser.

balayer la totalité de la surface. En fonction de la complexité de la forme, deux à trois acquisitions dans des positions différentes sont nécessaires.

Au contraire, lors de mission d'acquisition, les séquences d'acquisition se succèdent à un rythme soutenu. Pour l'acquisition au dépôt, où l'on souhaite mettre en place un relevé efficace, la photogrammétrie a été retenue. En effet, cette technique d'acquisition permet de multiplier le nombre de dispositifs d'acquisition. Trois appareils ont pu être utilisés simultanément, à savoir un boîtier Canon EOS 5D MarkII avec un capteur de 21 Mégapixels et deux boîtiers Canon EOS 5D SR 50 avec un capteur de 50 Mégapixels. Les trois boîtiers sont associés à des objectifs à focale fixe de 28 mm. De plus, deux des trois appareils sont équipés de flash, ce qui réduit les temps de pause et donc la phase d'acquisition. L'utilisation de flash a une influence sur le résultat que nous évoquerons plus loin. Les gros blocs se sont beaucoup détériorés depuis leur extraction. La combinaison de données issues de lasergrammétrie et de photogrammétrie est maîtrisée (Grussenmeyer et al., 2011). Le calcaire s'est effrité, au moment du séchage. Ce sont donc des objets très fragiles. Ils doivent être manipulés avec soin



Figure 1. Exemple de bloc dans sa position de découverte.



et ne peuvent pas être retournés. Leur position sur les palettes est souvent faite pour que les parties intéressantes soient visibles. La partie cachée n'est donc pas numérisée ; elle correspond le plus souvent à une surface de contact avec d'autres blocs. Le nombre de prises de vues dépend de la forme de l'objet et des détails qu'il contient ; le nombre de clichés passe ainsi du simple au triple. On estime à 140 le nombre moyen d'images à traiter par bloc. Les blocs imposants sont souvent constitués de plusieurs morceaux. Les fragments de ces blocs n'ont pas été déplacés au laboratoire pour l'acquisition au bras, ce qui induit des projets d'acquisition avec des configurations différentes. Ils restent beaucoup moins nombreux que les gros blocs.

Les techniques d'acquisition sont très différentes. Des expérimentations faites avec un scanner à main Faro Freestyle (Lachat, 2017) ont été réalisées sur les blocs mais les données produites n'ont pas été utilisées pour le projet.

Dans le processus d'acquisition, ce qui est recherché, c'est la possibilité de pouvoir utiliser le modèle 3D pour des études où la matérialité de l'objet réel est une contrainte. Le poids et la taille sont les deux principales caractéristiques contraignantes. Le modèle numérique devant être le plus fidèle possible à l'original, il doit contenir les caractéristiques dimensionnelles réelles et ainsi être à l'échelle. La mise à l'échelle des données issues des deux techniques employées ne s'obtient pas de la même façon. L'acquisition par balayage laser produit des données dont les dimensions correspondent à la réalité. Aucune mise à l'échelle n'est donc nécessaire. Comme il a été vu précédemment, plusieurs fichiers correspondant à plusieurs positions de l'objet sont produits, un recalage est de ce fait nécessaire pour obtenir un modèle unique et cohérent pour chaque objet. Dans ce cas précis, l'erreur moyenne de recalage des nuages de points est d'environ 0,2 mm.

Pour les gros blocs acquis par photogrammétrie, la mise à l'échelle est une étape de la chaîne de post-traitement appliquée aux images originales. On doit mettre en correspondance des

distances du modèle avec des distances connues. Cette étape se répète pour chaque bloc et doit donc être simplifiée. Le protocole mis en place vise l'automatisation de la reconnaissance des cibles et de la mise à l'échelle des modèles. Le positionnement de règles sur lesquelles sont collées des cibles codées à distances connues autour de chaque bloc est un moyen efficace apportant automatisation et précision de la mise à l'échelle. L'utilisation des cibles codées et leur reconnaissance automatique participe grandement à l'accélération du post-traitement ainsi qu'à l'obtention d'une erreur moyenne de mise à l'échelle d'environ 0,8 mm.

Les deux types de données générées sont sous forme de nuage de points. Le bras produit des données de position et d'intensité alors que la photogrammétrie permettra la captation de couleurs des objets. Les travaux d'anastylose se font sur des blocs issus des deux acquisitions, la question de la représentation homogène des différents éléments prend une place importante pour ce projet.

Rendu

La représentation des objets doit être la plus efficace possible. Le nuage de points donne un aspect intéressant, et ce, assez rapidement. Le scanner laser produit directement ce type de données et offre une expérience de visualisation des résultats en temps réel. En photogrammétrie, l'obtention de résultat en trois dimensions n'arrive qu'après traitement.

Pour optimiser la représentation des objets, le maillage se rapproche au mieux de l'analogie avec la surface de l'objet. Il est calculé sur la base du nuage complet de l'objet. La représentation du maillage se fait sur la base de la géométrie ou enrichie de la texture des images. La représentation du maillage est donc soit autonome soit dépendante des images et de leurs caractéristiques.

Trois types d'images peuvent être distinguées : en extérieur à la lumière du jour, en extérieur avec flash ou en intérieur avec flash. La qualité est

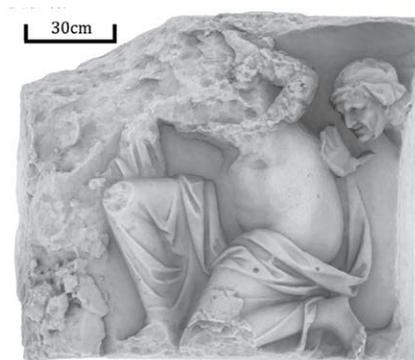


Figure 3. Maillage sur une portion de frise.

donc variable en fonction de l'intensité de la lumière du soleil pour certaines ou moins contrastées pour d'autres.

La texture de l'objet apporte un réalisme très grand mais il est difficile d'harmoniser la radiométrie, les ombres présentes sur le maillage étant liées aux conditions d'éclairage au moment de l'acquisition. Soit le contraste est élevé dans les zones en éclairage direct, soit la texture est sombre en contre-jour. Pour obtenir une harmonisation de la représentation des maillages des blocs, un rendu artificiel s'impose.

Plusieurs méthodes de valorisation du relief existent. Celles basées sur les caractéristiques géométriques, par les normales en simulant une projection de lumière analogue à la lumière du soleil, en ombrant en fonction du point de vue ou en optimisant les détails. L'avantage de l'utilisation des normales est qu'elles sont fournies avec le nuage de points. Le rendu produit est intéressant pour produire rapidement un aperçu du maillage.

Toutefois, les détails ne ressortent pas tous de la même façon. Les ombrages par simulation de lumière directionnelle ou par point de vue sont calculés en temps réel par la carte graphique (Kilgard, 2000 et Zhang et al., 2002). Comme le précédent, ils n'offrent pas un rendu des détails suffisant. Pour générer un rendu qui valorise le relief de façon pertinente, nous nous orientons vers le principe d'occlusion ambiante (Tarini et al., 2003).

La lumière vient d'une sphère autour de l'objet, valorisant ainsi en tout point le relief de celui-ci de la même façon. Grâce au mode de rendu de "portion de





Figure 4. Trois rendus différents du même bloc de corniche modillonnaire :
En haut : image issue de l'acquisition en intérieur. Au milieu : modèle 3D texturé
En bas : modèle 3D ombré par portion de ciel visible.

ciel visible, PCV" proposé par le logiciel CloudCompare (Duguet & Girardeau-Montaut, 2004), la représentation des objets par maillage rend la perception du relief encore plus saisissante que l'objet réel. Il s'agit certes d'un rendu artificiel : il ne bénéficie pas du réalisme de la texture mais permet d'enrichir grandement la perception du relief, ce qui apporte une autre fidélité à la représentation des blocs.

Anastylose de blocs

Lorsque la façade est tombée, certains blocs se sont brisés. La plupart des éclats ont été retrouvés à proximité. Si la taille des fragments permettait la manipulation, une anastylose était faite sur le terrain. Quand le nombre de fragments était important et les brisures complexes, à moins de coller les morceaux, l'anastylose virtuelle s'imposait.

L'anastylose d'un bloc n'est intéressante que pour les blocs remarquables. La considération pour un bloc est souvent liée à son décor. Soit le bloc est un élément architectural qui participe à la structure de l'édifice, soit c'est un élément sculpté d'ornement.

Le bloc architectural a une forme liée à sa fonction structurelle et on y associe un décor. L'élément sculpté représente une scène ou des éléments symbolisés et ce qu'il figure dicte sa forme. La fonction du bloc, soit structurelle, soit décorative, a une influence sur la forme générale du bloc. Soit on considère son gabarit assimilable à un parallélépipède rectangle, soit à une forme organique pouvant, par exemple, être une tête monumentale ou un animal imaginaire. Les blocs structurels ont une résistance à la ruine plus élevée que les éléments figuratifs dont les formes sont moins compactes. La qualité du calcaire influence aussi sur la résistance des blocs. La façade a été construite avec des calcaires de qualité variable, rendant les blocs encore plus fragiles. Prenons l'exemple d'un élément caractéristique de cette façade : un griffon. L'anastylose d'un griffon permet d'assembler une aile à son corps. Les liaisons entre les ailes et le corps sont très fragiles sans même considérer la chute de la sculpture. De plus, les griffons se situant en haut de la façade ont subi la chute la plus dévastatrice. Aucun d'entre eux ne pourra être reconstitué dans sa totalité. Mais rassembler un maximum d'éclats permet de mieux apprécier la qualité des sculptures.

Il est possible de réaliser plusieurs types d'anastyloses. Elles dépendent du positionnement relatif des fragments concernés. Ceux-ci peuvent avoir une brisure nette qui les sépare. Dans un deuxième cas de figure, les deux fragments se touchent mais la surface qui les lie a été érodée. Enfin les éclats appartiennent au même bloc mais ne sont pas jointifs. Ces trois relations physiques entre éclats induisent des modes de repositionnement différents. Le cas d'une brisure nette est plus facile à repositionner avec les éclats réels, abstraction faite de leur poids. En effet, quand le positionnement idéal est trouvé, la validation de l'assem-

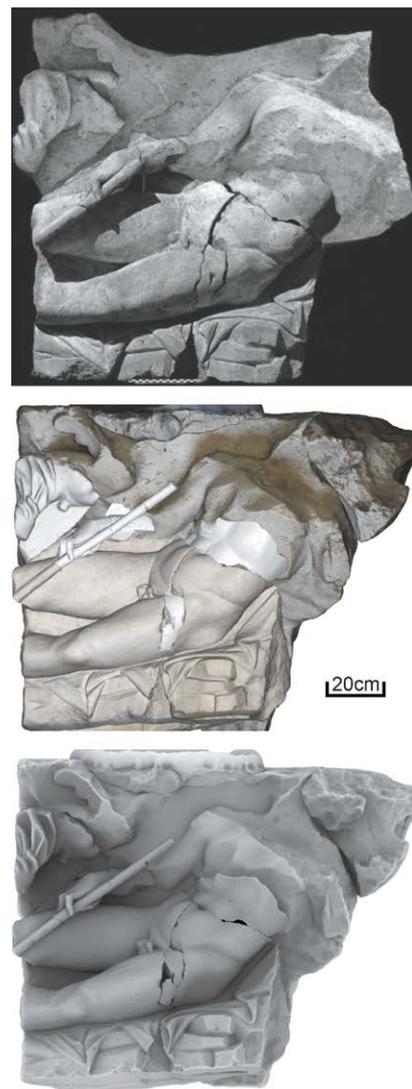


Figure 5. En haut : remontage des blocs fait sur place. Au milieu rendu de l'anastylose virtuelle du bloc sans harmonisation. En bas : harmonisation du rendu de l'anastylose par PCV.

blage des deux pièces se ressent. Cette perception du bon assemblage n'est pas transposable numériquement. Le critère principal pour un assemblage de deux fragments est la distance. La démarche se rapproche du recalage de deux nuages de points d'un même objet. Il faut néanmoins, prendre en compte la matière. Les surfaces des deux fragments doivent être jointives. C'est une considération différente d'un recalage où l'erreur est moyennée autour de la position supposée. On veut ici minimiser la distance positive des deux surfaces. Pour les cas où les surfaces de contact sont érodées, le rapprochement des surfaces joue un rôle, mais la continuité de la surface extérieure du



bloc reconstitué a son importance. Étant donné que la fracture est plus visible, c'est la tendance de la forme qui aide au repositionnement. L'appréciation de l'opérateur prend dès lors une place plus importante.

Quand la surface extérieure est une forme géométrique (plan, cylindre), l'assemblage est plus simple qu'une forme organique.

Reconstruction et confrontation avec les dessins

L'anastylose de blocs est guidée par la forme des blocs. Il y a toujours une erreur possible, mais ce rapport à la matière réduit les possibilités de façon significative. Pour proposer des hypothèses de reconstruction d'une façade de près de 70 mètres de long par 8 mètres de haut constituée initialement de milliers de blocs, l'incertitude est beaucoup plus grande. Elle est dépendante des dimensions retenues des différents éléments constitutifs supposés et de leur positionnement relatif. La connaissance des tracés réguliers et de la stylistique de l'époque est un guide précieux. Cette connaissance est constituée par l'accumulation et le recoupement des découvertes archéologiques. Des variantes sont donc possibles. Le dessin de l'élévation complète est réalisé sur la base des hypothèses faites en recoupement des éléments retrouvés. Les caractéristiques dimensionnelles des blocs et leurs agencements relatifs intrinsèques à leur position de découverte permettent de proposer une reconstruction de la façade. Ce dessin est basé sur les relevés faits à la main selon les méthodes archéologiques classiques. Le dessin de relevé est réalisable sur des projections faites par rapport à un repère mis en place initialement. La valeur du dessin se situe plus dans le choix des traits révélant les détails des blocs que dans la précision de leur position. Les dessins sont moins des états fidèles de mesure que des supports de documentation archéologique. La reconstruction de la façade est basée sur ces dessins. Les dimensions hypothétiques de l'édifice sont donc issues d'accumulation de



Figure 6. Portion du modèle de reconstruction fait sur la base des dessins avec incrustation du bloc numérisé, mise en évidence du décalage (max 6 cm).

petites différences dimensionnelles avec la matérialité de l'objet réel. Accumulées plusieurs dizaines de fois, la différence avec l'empilement des blocs numérisés est significative. Le dessin est le point de départ de la reconstruction tridimensionnelle, il contient la connaissance de l'archéologue. Les blocs numérisés apportent une référence dimensionnelle à la façade construite. La reconstruction doit tenir compte des informations et de leur origine et proposer une synthèse pertinente des deux. La construction de la façade originale est le fruit du travail des tailleurs de pierre. Leur expertise est à l'origine de la qualité de l'édifice. Néanmoins la précision d'alignement et de respect des dimensions tout au long de l'édification de l'ouvrage est discutable. Si la numérisation des blocs peut tendre vers une précision millimétrique au regard des outils employés, la mise en œuvre originelle ne peut pas être aussi méticuleuse. Au-delà de la précision de mesure se pose la prise en compte de la cohérence entre tous les éléments cités.

Perspectives quant à l'utilisation du modèle

Les blocs sont issus d'une roche sédimentaire fragile, leurs nombreuses immersions dues aux crues de la rivière se situant à proximité les ont considérablement fragilisés. Leur conservation dans le dépôt qui leur est attribué est difficile. Le séchage se déroule différemment en fonction des dimensions des blocs et des différences de taux d'hygrométrie. Une grande partie des blocs se détériore. L'acquisition tridimensionnelle offre une occasion de documenter ces objets et de conserver une représentation de leur état à un moment donné.

Au-delà de cette pérennisation, le projet n'est pas encore abouti. En effet il reste à exploiter le modèle de la façade au-delà d'une représentation d'un état supposé (figure 7). Les causes de la ruine de la façade sont floues. Plusieurs cas sont envisageables mais il est encore difficile de trancher entre ceux qui sont imaginés et d'autres possibilités à découvrir. Une démolition humaine ne justifie pas l'abandon des blocs en place, à moins d'une bataille inconnue et très localisée. Une ruine par erreur de construction n'est pas facilement envisageable, les ouvrages romains subsistants de nos jours démontrent la maîtrise de toutes les étapes d'édification. Une cause naturelle, liée à la combinaison d'un événement climatique exceptionnel associé à une constitution du sol est évoquée.

C'est l'absence d'information liée à la ruine de la façade qui donne l'occasion d'utiliser le modèle numérique de la façade pour essayer de se rapprocher d'une explication valable.

Le modèle doit ainsi servir à proposer des hypothèses expliquant la chute des blocs. Pour l'instant deux approches sont explorées : générer une chute sur la base du modèle avec des hypothèses d'efforts correspondant aux causes de chute évoquées et comparer la position des blocs obtenue une fois au sol avec les positions de découverte des blocs. La première piste est liée à la capacité à appliquer des modèles de chute au modèle. La deuxième piste propose d'utiliser les deux positions, sur la façade modélisée et celle de découverte, et étudier les trajectoires vraisemblables d'un grand nombre de blocs entre les deux. La combinaison des deux méthodes est également envisageable.



Conclusion

La numérisation tridimensionnelle est un moyen de documenter ici les blocs dont la dégradation en cours ne permet pas de conserver l'état au moment de la découverte. Les modèles 3D sont également vecteurs de valorisation de l'archéologie, plus faciles à manipuler que des blocs de plusieurs centaines de kilogrammes. Ce projet constitue en premier lieu une ressource pour expliquer la raison pour laquelle cette façade gallo-romaine s'est écroulée si peu de temps après sa construction. Ce contexte particulier nous donne la possibilité de confronter les modèles 3D aux dessins qui ont été faits des blocs. La reconstruction 3D est le produit de la combinaison des connaissances intégrées à l'élévation de la façade proposée aux caractéristiques dimensionnelles des blocs numérisés. Cette façade virtuelle doit encore servir de support d'élaboration de scénarios de ruine de l'édifice. ●

Contacts

E. Alby, P. Grussenmeyer, L. Bitard, S. Guillemin,
(emmanuel.alby, pierre.grussenmeyer, laurent.bitard, samuel.guillemin)
@insa-strasbourg.fr
Groupe Photogrammétrie Architecturale et Géomatique, Laboratoire ICube UMR 7357, INSA Strasbourg

V. Brunet-Gaston, C. Gaston,
R. Rougier Institut national de recherches archéologiques préventives (INRAP)
(veronique.gaston, christophe.gaston, richard.rougier)@inrap.fr

Remerciements

Les auteurs remercient la Fondation EDF pour le financement de cette étude. Les éléments découverts sur le site de Pont-Sainte-Maxence nécessitent une restauration conséquente. L'étude permet de mieux comprendre la constitution de la façade et l'évolution du site.

Bibliographie

- Alby, E., Grussenmeyer, P., Bitard, L., Guillemin, S., Brunet-Gaston, V., Gaston, C., Rougier, R. (2017). *Digitization of blocks and virtual anastylosis of an antique façade in Pont-Sainte-Maxence (France)*. 26th CIPA Symposium, Ottawa (Canada), 28 August to 1 Sept. 2017. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Spatial Information Sciences, 6 pages.
- Brunet-Gaston V, Gaston C., Jobic F., et alii. "Les dieux du stage de Sarron : une façade monumentale gallo-romaine d'exception" Rapport de fouille, Pont-Sainte-Maxence, Nord-Picardie Hauts-de-France, Oise, Inrap 2016. 3 volumes.
- Duguet, F., Girardeau-Montaut, D., *Rendu en Portion de Ciel Visible de Gros Nuages de Points 3D*. In Actes des journées de l'AFIG, Nov 2004, Poitiers, France. pp.11, 2004.
- Grussenmeyer, P., Alby, E., Assali, P., Poitevin, V., Hullo, J.-F., Smigiel, E., 2011. *Accurate documentation in cultural heritage by merging TLS and high-resolution photogrammetric data*. SPIE Optical Metrology 2011, Munich 23-26 May, Videometrics, Range Imaging, and Applications XI, Proc. of SPIE Vol. 8085, 808508. © 2011 SPIE · CCC code: 0277-786X/11/\$18 · doi: 10.1117/12.890087, 13 pages.

Kilgard, M. J. 2000. *A Practical and robust bump mapping technique for today's GPU's*. In: Game Developers Conference. Advanced Opengl Game development (July 2000). Online: <http://www.nvidia.com>

Lachat, E., Landes, T., Grussenmeyer, P., 2017. *Performance investigation of a handheld 3D scanner to define good practices for small artefact 3D modeling*. 26th CIPA Symposium, Ottawa (Canada), 28 August to 1 Sept. 2017. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Spatial Information Sciences, 8 pages.

Tarini, M., Cignoni, P., Scopigno, R., 2003. *Visibility based methods and assessment for detail-recovery*. In Proc. Of Visualization, Seattle, USA, (ISBN 0-7695-2030-8), 457-464.

Zhang, E., Turk, G. 2002. *Visibility-guided simplification*. In Proc. of the 13th IEEE Visualization Conf. (VIS-02), IEEE Computer Society, Piscataway, NJ, R. Moorhead, M. Gross, and K. I. Joy, Eds., 267-274.

ABSTRACT

This paper is dedicated to the digitization of blocks and virtual anastylosis of an antique façade discovered in 2014 in a Gallo-Roman site from the 2nd century AD in Pont-Sainte-Maxence (France). A set of 70 representative and symbolic blocks of this building has been selected for a virtual anastylosis study. The blocks discovered belong to different types: decorated architectural blocks, monumental statuary elements and details of very fine decorations. The Photogrammetry and Geomatics Group from INSA Strasbourg is in charge of the digitization, the anastylosis and the development of exploratory methods for understanding the ruin of the façade. Regarding the digitization techniques, small objects have been acquired with a scan-arm or a handheld scanner in the laboratory and the largest blocks have been recorded by photogrammetry at the repository near Paris. After the acquisition, hypothesis for the construction of the façade must be validated and / or adapted by the anastylosis of the digitized blocks. The three-dimensional model will be validated by the positioning of the blocks and extended according to the actual dimensions of the façade. Different collapse scenarios will result from this study.



Figure 7. Modèle 3D de la façade dessinée à partir des plans des archéologues, et intégrée dans un environnement réaliste. Le MNT de la fouille a été créé à partir d'images acquises par drone.