

LA 3D COMME OUTIL DE SUIVI DES BATEAUX EN BOIS, ISSUS DU CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE

Amandine Colson

Résumé Les technologies 3D constituent des outils de plus en plus utilisés et mis au service de la préservation du patrimoine. Le monitoring du climat fait partie des standards et, à l'ère du numérique, il est possible de garder un œil sur la température et l'humidité relative de plusieurs pièces à la fois; mais ceci concerne uniquement l'environnement des objets, pas les objets eux-mêmes. Les outils existants faisant état des dégradations et/ou déformations utilisent des techniques conventionnelles et sont basés sur des observations visuelles : très peu d'initiatives en effet utilisent les potentiels de la technologie 3D. Pourtant, dans un contexte où les coûts doivent être maîtrisés, le *monitoring* des changements propres à l'objet présente de nombreux atouts, en particulier pour repérer en amont ce qui pourrait devenir problématique et engendrer des frais importants. Nous présenterons ici un bref état des lieux des connaissances actuelles concernant le suivi 3D de bateaux archéologiques en bois, au niveau européen, via des exemples exposés dans différents musées. Le coût de l'équipement ainsi que les difficultés à choisir la bonne méthode seront également abordés.

Les bateaux et navires en bois issus de fouilles archéologiques constituent des découvertes singulières, de par leur rareté et leur importance scientifique. Cependant, ils ne sont pas sans poser un grand nombre de défis, aussi bien logistiques, archéologiques que conservatoires. L'ensemble des informations récoltées par les différents professionnels doivent être mises en commun pour permettre de planifier toutes les interventions et ce, de façon beaucoup plus complexe que dans des projets de conservation du patrimoine de moins grande ampleur. La durée des projets (plusieurs années, voire plusieurs décennies), la variété disciplinaire des professionnels, ainsi que la dimension des objets, constituent également des enjeux majeurs. Ainsi, l'usage de méthodes conventionnelles telles que la photographie, les relevés topographiques et les dessins archéologiques, auquel s'ajoute le manque chronique de personnel dans les musées, empêchent d'assurer le haut niveau de précision requis pour ce type de projet. Dans le domaine de la conservation du patrimoine bâti, les outils développés dans la construction industrielle sont déjà utilisés – acquisition de la géométrie des bâtiments ou des systèmes de bases de données comme les BIM (Logothetis *et al.*, 2015, p. 181). En archéologie, les techniques d'acquisition tridimensionnelle (comme le scan 3D ou la photogrammétrie) font partie de la gamme d'outils communément utilisée pour documenter les fouilles et mener certaines analyses durant la post-fouille.

Concernant le suivi à long terme des bateaux archéologiques en bois, les initiatives sont encore très limitées. Dans cet article, l'attention sera portée exclusivement sur le suivi ou *monitoring*, et non sur la documentation 3D menée par et pour les archéologues, ces derniers ayant des objectifs bien distincts de ceux des restaurateurs (Colson, 2017, p. 132).

Ici, cinq exemples de projets en Europe seront évoqués : le Vasa (Stockholm, Suède), et le Mary Rose (Portsmouth, Angleterre), projets précurseurs dans le domaine; l'Arles-Rhône 3 (Arles, France), l'Oseberg (Oslo, Norvège) et la Cogue de Brême (Bremerhaven, Allemagne), projets les plus récents.

Enfin, une discussion autour des enjeux du *monitoring* 3D permettra de dresser le portrait des difficultés rencontrées lors du choix des techniques et de la conception du protocole d'acquisition.

Situation actuelle du *monitoring* 3D en Europe

Généralités

Les paramètres affectant la bonne conservation de bateaux en bois issus du contexte archéologique sont les mêmes que pour tout autre objet exposé en musée : la lumière, la température, l'humidité relative et les polluants atmosphériques (Corr, 2000, p. 12). Le recueil des données concernant l'environnement de l'objet fait partie des standards incontestés de la conservation préventive, recommandés par tous les spécialistes (Caple, 2011, p. 9). Les techniques analogues, comme les hygromètres et autres thermomètres, sont progressivement remplacées par des capteurs reliés à différentes plateformes ou logiciels, permettant aujourd'hui un suivi à distance en temps réel.

Bien que les phénomènes de déformation soient avérés dans la quasi-totalité des exemples de bateaux ou navires en bois en exposition en Europe, très peu de musées possèdent un protocole de suivi et ce, pour différentes raisons. Dans bien des cas, le bateau n'est pas suivi sur place par un restaurateur spécialisé, et les régisseurs, peu formés et devant gérer l'ensemble d'une collection, ne peuvent consacrer suffisamment de temps à un cas « particulier » aussi complexe; les ressources financières autant qu'humaines étant très limitées, ces objets relèvent donc d'un vrai challenge.

Les campagnes régulières de dépoussiérage, qu'il est préconisé de réaliser au moins une fois par an, sont souvent la seule occasion de mener des observations plus poussées sur le bateau et de procéder à des bilans diagnostiques de leur état. Pourtant, les outils utilisés pour le suivi restent très conventionnels : photographie numérique, puis bilan diagnostique avec description des dégradations observées. Les documents ne sont généralement pas liés entre eux, rendant non seulement difficile la comparaison d'un suivi à l'autre, mais aussi quasi impossible (faute de temps) une vue d'ensemble de tous les facteurs liés à l'état général de l'objet, aussi bien que l'évolution des dégradations.

Le suivi des phénomènes de déformation des bateaux archéologiques en bois est pourtant capital. Énormément de travaux de recherche ont été menés jusqu'à présent concernant l'étude des comportements de bois archéologiques traités, l'impact de l'humidité relative, ou encore l'impact des produits de corrosion des ferreux sur les bois, mais l'intégration de tous ces facteurs à une vision globale a encore très peu été abordée.

Ainsi, dans ce contexte muséal complexe, des outils permettant de faciliter le suivi des bateaux doivent-ils être impérativement développés. Ceci reste pourtant très confidentiel, et peu d'institutions travaillent à ce jour sur cette thématique : à l'heure actuelle, seul cinq musées sont concernés.

Pourquoi la 3D?

Les technologies 3D s'intègrent parfaitement dans les objectifs d'un *monitoring* des phénomènes de déformation à long terme : des mesures plus précises et plus fiables que les méthodes conventionnelles, et effectuées plus rapidement et avec moins de personnel, constituent ainsi des réponses concrètes aux réalités du terrain.

À ce jour, deux techniques sont en usage : la tachéométrie et la photogrammétrie. La tachéométrie utilise un tachéomètre ou station totale, communément employé en topographie sur les chantiers archéologiques et de construction. Il s'agit d'un instrument utilisant le laser, qui, grâce aux principes de trigonométrie, permet de déterminer la distance entre l'instrument et un point choisi. Chaque point obtient ainsi des coordonnées en trois dimensions (X, Y, Z), associées les unes aux autres dans un ensemble appelé « nuage de points ». La précision de l'acquisition dépend de l'opérateur, puisque les points sont choisis manuellement, sauf s'il s'agit d'un équipement automatisé. La précision varie de 0,1 mm à 10 mm (Andrews *et al.*, 2009, p. 22).

La photogrammétrie utilise une série de photographies pour créer « une reconstruction numérique de la forme et de la géométrie d'un objet » (Guery *et al.*, 2018, p. 227). La superposition des images doit être au minimum de 60 %. Bien qu'inventée à la fin du XIX^e siècle, la photogrammétrie est utilisée par les non-spécialistes depuis une dizaine d'années, c'est-à-dire depuis l'arrivée sur le marché de logiciels procédant de manière très automatisée à une grande partie du traitement des données.

Quelques exemples

Station totale

Depuis 1999, le Musée national maritime de Suède procède deux fois par an au *monitoring* du Vasa, navire de guerre du XVII^e siècle mesurant près de 70 m de long et exposé dans le musée du même nom à Stockholm.

L'acquisition menée avec une station totale consiste en 301 cibles sur la coque, associées à 69 prismes réfléchissants, 6 prismes sur le support métallique, ainsi que 23 prismes de référence installés sur les murs du bâtiment (van Dijk, 2016, p. 5). En plus de l'équipement (un Leica TDA5005), 120 heures-homme sont nécessaires à la prise de données de chaque acquisition, soit 30 jours-homme par an. L'ensemble des données sont traitées par l'Institut royal de technologie de l'université de Stockholm par le Prof. Milan Horemuz, et peuvent être interprétées dans un logiciel programmé spécialement à cet effet sous MatLab. Malgré la complexité des calculs nécessaires, et malgré les cibles qui ne sont pas nécessairement placées de manière optimale, il a été néanmoins possible d'identifier les zones « à risque » du bateau (van Dijk, 2016, p. 8).

À Portsmouth, le navire porte-drapeau de la flotte d'Henri VIII, le Mary Rose, remonté en 1982, est visible par le grand public depuis 2013 dans un nouveau musée. Le protocole est très similaire à celui du Vasa, à ceci près que la station totale est fixe, les acquisitions se font automatiquement sur 31 cibles, placées à l'intérieur du navire, et à intervalles réguliers (Piva *et al.*, 2016) sans intervention de personnel. Depuis 2013, les données sont collectées et archivées automatiquement sur un serveur dédié. Concernant la visualisation et l'interprétation des données, aucun logiciel n'a, à ce jour, été développé à cet effet; cela reste donc encore

très fastidieux. Les travaux de recherche d'Eleonora Piva, dans le cadre de sa thèse de doctorat, ont néanmoins permis de faire la lumière sur certaines des déformations du bateau, toujours en cours de séchage actuellement.

Photogrammétrie

Trois initiatives récentes ont opté pour la photogrammétrie, à savoir le projet de monitoring de l'Arles-Rhône 3, au musée départemental Arles antique (France), développé par Marie-Laure Courboulès et Daniela Peloso; celui de l'Oseberg, au musée des Bateaux vikings d'Oslo (Norvège), développé par David Hauer et Bjarte Aarseth; enfin celui de la cogue de Brême, au Musée national maritime à Bremerhaven (Allemagne), développé par Heidi Hastedt et l'auteure de cet article.

Bien que les protocoles diffèrent les uns des autres, le choix de la photogrammétrie se fonde en partie sur le coût très abordable de l'équipement de base (un appareil photo reflex de bonne qualité, un ordinateur puissant et des logiciels adaptés), mais aussi sur la flexibilité de la technique. En effet, même si, dans le cadre d'un *monitoring*, il est primordial de travailler avec des cibles sur et autour de l'objet, le positionnement de l'opérateur dans l'espace durant l'acquisition reste modulable, ce qui permet une plus grande liberté puisque l'exposition du bateau et les vitrines placées autour de celui-ci sont amenées à changer.

Dans le cas de la cogue de Brême, différentes techniques ont été testées : scan 3D, station totale et photogrammétrie, mais c'est cette dernière qui a été identifiée comme la plus adaptée au contexte du musée (Colson *et al.*, 2015, p. 108). À ce jour, le protocole d'acquisition est encore en cours de développement, en partenariat avec l'institut de Photogrammétrie appliquée et Géo-information de l'université d'Oldenburg, équipe du professeur Thomas Luhmann.

À Oslo, les premières acquisitions du nouveau protocole devraient être menées d'ici fin 2017. La participation d'un ingénieur géomètre est indispensable pour assurer l'atteinte des objectifs en matière de précision. Des simulations sont menées en amont pour placer les cibles de façon optimale et garantir que les jeux de données soient comparables les uns aux autres.

Les collègues d'Arles possèdent déjà un protocole de suivi, en constante optimisation. La base de données leur permet de lier les remarques des restaurateurs avec les autres données collectées sur le bateau. Ainsi des hypothèses peuvent-elles être proposées concernant les futures déformations basées sur les évolutions déjà observées.

Les enjeux du monitoring 3D

À Bremerhaven, l'aventure a commencé dans le cadre d'une participation à une action COST de la Commission européenne (*Colour and Space in Cultural Heritage*¹). Des experts venus d'Allemagne, de France, de Hongrie, d'Italie et de Roumanie, spécialistes en archéologie, conservation-restauration, géo-information, science de l'information, se sont penchés sur la problématique du monitoring de la Cogue de Brême. La diversité des expériences, combinée à celle des domaines de compétence de chacun, a permis de riches discussions contribuant à la définition même des objectifs du *monitoring*.

Après une période de familiarisation avec les outils 3D pour les professionnels des sciences humaines, il a été possible de préciser et d'affiner les objectifs en fonction des possibilités

¹ www.cosch.info

techniques présentées pas les ingénieurs, au fur et à mesure des échanges, lors des réunions de mise au point. Une discussion poussée avec différents spécialistes est l'assurance du développement d'un outil adapté.

Conclusion

La station totale est une technique d'une grande précision, mais l'équipement reste coûteux et doit être manipulé par des opérateurs formés. Les acquisitions peuvent être, en outre, très chronophages (30 jours-hommes pour le Vasa). Enfin, son utilisation, même automatisée, ne dispense pas non plus de la nécessité d'avoir du personnel dédié à l'interprétation et à l'analyse des données, comme le montre l'exemple du Mary Rose.

La photogrammétrie constitue, elle, une véritable alternative, mais la précision est extrêmement variable. Si l'acquisition n'est pas planifiée par un spécialiste, le jeu de données peut se retrouver inexploitable pour un *monitoring* à long terme.

Ces expériences nous montrent donc que la mise en place de *monitoring* à long terme n'est pas chose aisée; les défis techniques ne sont pas insurmontables, mais les ressources allouées dans les musées sont encore trop limitées. La phase de discussion entre spécialistes est absolument incontournable, sous peine de concevoir des outils qui ne correspondent pas aux besoins de l'institution.

Une évaluation des ressources financières et humaines à court mais aussi long terme est primordiale, et doit impérativement se faire avec tous les acteurs amenés à travailler de près ou de loin à la conservation du bateau. Le suivi des bateaux fait partie intégrante de leur présentation, et doit désormais être pensé de façon systématique avec elle.

Remerciements

Eleonora Piva et Eleanor Schofield pour leur retour d'expérience au Mary Rose.

Marie-Laure Courboulès et Daniela Peloso pour leur enthousiasme et les discussions très intéressantes autour du suivi de l'Arles-Rhône 3.

Bjarte Aarseth, David Hauer et Anders Nielsen pour m'avoir ouvert les portes du musée des Bateaux vikings d'Oslo et fait partager leurs réflexions actuelles.

Claire Caron, pour ses suggestions judicieuses en matière de rédaction.

Références bibliographiques

- Andrews D., Blake B., Bryan P., Cromwell T., Lea R.** (2009), *Measured and drawn : techniques and practice for the metric survey of historic buildings*, London, Jon Bedford et Heather Papworth pour English Heritage.
- Caple C.** (2011), *Preventive conservation in museums*, London, Routledge.
- Colson A., Guery J., Ditta M.** (2015), « Bremen Cog'-Long term monitoring of deformation processes », dans *Conservation and digitalization*, Gdansk, Musée national maritime, p. 107-111.
- Colson A.** (2017), « Digital documentation of ships in cultural heritage : A european review », dans *Digital workflows for cultural heritage*, Volumes XLII-2/W5, Ottawa, The International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, p. 129-134. <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W5/129/2017/isprs-archives-XLII-2-W5-129-2017.pdf>
- Corr S.** (2000), *Caring for collections, a manual of preventive conservation*, Dublin, Heritage council of Ireland series.
- Dijk N. P. van, E. K. Gamstedt, I. Bjurhager** (2016), « Monitoring archaeological wooden structures : non-contact measurement systems and interpretation as average strain fields », *Journal of Cultural Heritage* n° 17 (January)p. 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.03.011>
- Guery J., Hess M., Mathys A.** (2018), « Photogrammetry », dans *Digital techniques for documenting and preserving cultural heritage*, London, Kalamazoo and Bradford, Arc humanities press, p. 227-233
- Logothetis S., Delinasiou A., Stylianidis E.** (2015), « Building information modelling for cultural heritage : A review », *ISPRS Annals of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, Volume II-5/W3, p. 177-183. <https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W3/177/2015/isprsannals-II-5-W3-177-2015.pdf>
- Piva E., Begg D., Nanos N., Schofield E.** (2016), « Structural considerations in the conservation of the Tudor warship Mary Rose », dans *Proceedings of the 13th ICOM CC group on wet organic materials conference*, Florence, ICOM-CC, p. 347-353.

L'auteur

Amandine Colson doctorante, Musée national maritime d'Allemagne, Hans-Scharoun-Platz 1, 27568 Bremerhaven (Allemagne), acn.colson@gmail.com