

APPORTS DE LA GÉOMATIQUE À LA DOCUMENTATION DU PATRIMOINE : DE L'ACQUISITION À LA MÉDIATION

CONTRIBUTIONS OF GEOMATICS TO HERITAGE DOCUMENTATION: FROM ACQUISITION TO MEDIATION

Pierre HALLOT

Résumé

Les outils, méthodes et techniques développés par le domaine de la géomatique ont pour but, notamment, d'acquérir une information à caractère spatial. Habituellement, l'information géographique visée par le domaine concerne l'échelle du territoire, de la ville ou du bâtiment. Néanmoins, il existe de nombreux champs disciplinaires où une information à caractère spatial est également nécessaire pour mener à bien plusieurs missions. Les domaines de l'architecture, de l'archéologie, de la muséologie, de la conservation du patrimoine et l'histoire de l'art sont autant de consommateurs d'informations spatiales acquises sur des artefacts de taille généralement plus petite que les objets visés par la géomatique. Cet article propose un retour d'expérience de l'application du processus géomatique dans la documentation de plusieurs objets patrimoniaux. À partir de projets de documentation et de médiation d'objets de formats divers, nous montrons que le contrôle de qualité, la structuration de l'information géométrique et sémantique, la sémiologie graphique et la médiation avec des outils de réalité virtuelle apportent des connaissances scientifiques fondamentales sur les objets étudiés.

Mots-clés

documentation du patrimoine, qualité, géomatique, photogrammétrie, lasergrammétrie

Abstract

The tools, methods and techniques developed by the field of geomatics are intended to acquire spatial information. Usually, the geographic information targeted by the field concerns the scale of the territory, the city, or the building. However, there are many disciplinary fields where spatial information is also needed to carry out several tasks. The fields of architecture, archaeology, museology, heritage conservation and art history are all consumers of spatial information acquired on artefacts that are generally smaller in size than the objects targeted by geomatics. This article provides feedback on the application of the geomatics process in the documentation of several heritage objects. Based on projects of documentation and mediation of objects of various formats, we show that quality control, structuring of geometric and semantic information, graphic semiology and mediation with virtual reality tools provide fundamental scientific knowledge about the objects studied.

Keywords

heritage documentation, geomatics, quality, photogrammetry, lasergrammetry

INTRODUCTION

L'environnement bâti est en évolution constante. De nouvelles constructions sont érigées, tandis que les bâtiments existants sont transformés, modifiés, réhabilités afin de faire évoluer leurs fonctions, leurs caractéristiques techniques pour conserver un usage en adéquation avec leur temps. Parmi ces biens, plusieurs sont qualifiés de bâtiments patrimoniaux. La patrimonialisation du bâti passe par la reconnaissance de valeurs attachées à celui-ci (Choay, 1999). Les valeurs portées par un édifice peuvent être d'ordre esthétique, historique, fonctionnel... Un projet de réhabilitation commence donc logiquement par une phase d'évaluation patrimoniale

qui consiste à déterminer quels champs de valeurs sont attachés à un bien et leur niveau d'importance.

Dans l'histoire, plusieurs chartes, documents et traités ont été édités en vue de définir de grands principes de la conservation et de la restauration du patrimoine. Le conservatoire international des monuments et sites (ICOMOS) a guidé la rédaction de plusieurs d'entre eux. Nous noterons principalement la charte d'Athènes qui décrit des principes de conservation, le document de Nara qui traite de l'authenticité, et l'incontournable charte de Venise qui établit 16 principes génériques définissant la façon d'intervenir sur un bien existant auquel une reconnaissance patrimoniale est avérée (ICO-

MOS, 1965). Cette charte est aujourd'hui utilisée quotidiennement par de nombreux architectes, même si plusieurs principes sont en évolution et qu'une relecture approfondie de celle-ci devient nécessaire. La constante qui traverse l'ensemble de ces documents est la nécessité de baser l'analyse sur des sources crédibles ou fiables. L'article 9 du document de Nara (ICOMOS, 1994) spécifie d'ailleurs cet élément : « *Conservation of cultural heritage in all its forms and historical periods is rooted in the values attributed to the heritage. Our ability to understand these values depends, in part, on the degree to which the information sources about these values may be understood as credible or truthful* ». À l'heure où la grande majorité de la documentation du patrimoine bâti repose sur une analyse de données numériques captées par des outils issus de la géomatique et de la télédétection au sens large, il est légitime de se questionner sur la pertinence des représentations au regard de leur utilisation comme source de documentation des valeurs portées par le patrimoine. Cette démarche est, à l'heure actuelle, trop peu développée. La critique des sources est systématique lors de l'utilisation de plans anciens, de textes, d'iconographies, de descriptions... Malheureusement, l'utilisation d'une donnée qui est nativement numérique et à partir de laquelle on produit des représentations visuelles qui sont souvent qualifiées de « réalistes » entraîne un manque de questionnement quant à l'évaluation de la qualité de l'image, c'est-à-dire de l'évaluation du décalage entre la représentation et le monde réel. Le même document de Nara précise finalement que « *it is of the highest importance and urgency that, within each culture, recognition be accorded to the specific nature of its heritage values and the credibility and truthfulness of related information sources* ». Au-delà de la qualité intrinsèque d'un jeu de données, il est donc nécessaire de valider globalement la crédibilité associée aux données.

Notons également qu'à l'instar de nombreuses documentations, ces données deviennent souvent les derniers vestiges permettant de décrire et d'apporter des informations sur un bien. L'évolution rapide du patrimoine, soit par sa réhabilitation, soit par sa destruction, nous confronte déjà à de nombreux jeux de données numériques qui sont les uniques éléments descriptifs d'une situation passée. Il convient donc de mettre en place un système de conservation de ces données, au même titre qu'une conservation est organisée pour les vestiges d'un bien (Hallot, 2020).

L'apport de la géomatique dans la démarche de collecte d'informations est fondamental, car depuis de nombreuses années, la méthode scientifique développée par la discipline vise à mettre en place des processus d'acquisition de données qui sont basés sur le contrôle et l'évaluation de la qualité. Le développement progressif de la documentation des métadonnées associées à chaque jeu de données spatiales en est déjà une première manifestation. Cet élément est malheureusement encore trop peu développé dans le domaine de la création de modèles tridimensionnels à destination des sciences humaines, bien qu'une initiative marquante prenne place depuis plusieurs années en France via l'instauration du Consortium 3D pour les sciences humaines et sociales qui éditte des recommandations pour la production de données 3D (Granier *et al.*, 2019).

La suite de cet article partira du processus géomatique défini comme l'acquisition, la modélisation, le stockage, le traitement et la diffusion de l'information spatiale, au regard d'applications dans la documentation du patrimoine. Sur la base d'un retour d'expérience et de plusieurs projets de documentation, nous tentons de montrer quels sont les apports de la démarche dans la recherche d'authenticité et de fiabilité des données numériques produites.

I. CONTEXTE

Récemment, la documentation et la modélisation du patrimoine tangible ont fortement évolué, notamment avec l'application des modèles de photogrammétrie et des outils de lasergrammétrie (Remondino, 2011). Largement documenté, le principe de reconstruction photogrammétrique a fondamentalement impacté la documentation du patrimoine durant les dernières décennies. La technique a été utilisée depuis de nombreuses années dans le cadre du patrimoine à grande échelle. En témoigne la documentation complète du temple d'Assouan par l'Institut Géographique National français avant son déplacement (Héno et Chandelier, 2014). Cependant, c'est seulement durant les années 2000, avec l'apparition des ensembles d'algorithmes SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) (Cruz-Mota *et al.*, 2012) permettant un appariement automatique d'images similaires, que la technique a connu un véritable essor dans les milieux archéologiques, d'histoire de l'art et d'architecture. Depuis lors, la suite de l'évolution a principalement résidé dans une amélioration des capteurs, leurs supports (via

les drones par exemple) et la richesse spectrale des images enregistrées (proposant maintenant de la photogrammétrie multispectrale, voire hyperspectrale) (Mathys *et al.*, 2019).

La lasergrammétrie, quant à elle, a réellement intégré la documentation du patrimoine dans les années 2000, lorsque la densité des mesures était suffisante pour permettre la production d'images raisonnablement réalistes (Núñez Andrés et Buill Pozuelo, 2009). L'exploitation de la masse de données produites a été pendant longtemps un élément limitatif de l'utilisation de la technique dans plusieurs projets pour deux raisons principales : la complexité de gestion d'une nouvelle primitive géométrique dans des systèmes souvent inadaptés et avec des compétences techniques parfois limitées de la part des opérateurs; la complexité de travailler à partir d'une réduction de l'information souvent issue de la projection orthogonale d'une section d'un nuage de points d'épaisseur variable dans une image géoréférencée.

À l'heure actuelle, de nombreux logiciels sont mis à la disposition des chercheurs et des communautés d'acteurs du patrimoine pour leur permettre de créer des représentations 3D sous la forme de maillages texturés ou de nuages de points à partir d'une combinaison de relevés lasergrammétiques et photogrammétiques. Ces outils, très efficaces lorsqu'ils sont bien maîtrisés, cachent parfois la complexité de réaliser une documentation pertinente qui pourra être exploitée pleinement et servir de données de références dans le cadre d'une évaluation patrimoniale. En effet, tous les logiciels identifiés (MetaShape, Reality Capture, ContextCapture...) mettent l'accent sur une ergonomie logicielle et un processus de reconstruction linéaire qui ne tient pas compte, a priori, d'éléments de contrôle géométrique et/ou radiométrique. Ces fonctionnalités sont souvent réservées à des usages particuliers des logiciels et, par conséquent, à un public d'initiés qui cherche spécifiquement cette validation dans un projet. L'obtention systématique d'un modèle grâce au logiciel, peu importe la qualité géométrique ou sémantique du résultat, devrait être limitée. À tout le moins, l'utilisateur devrait être averti systématiquement de l'incohérence du résultat proposé. Certaines aberrations sont visuellement identifiables, d'autres, beaucoup plus insidieuses, sont des déformations continues qui ne sont perceptibles que via l'utilisation de références géométriques.

Nous pensons que le suivi d'une démarche géomatique appliquée à la documentation du patrimoine permet de définir des jeux de données qui sont fiables et réutilisables pour devenir eux-mêmes des sources authentiques des éléments décrits. De plus, chaque étape de la démarche contribue ainsi à augmenter le niveau de connaissance sur l'objet et non pas uniquement à définir un processus de médiation visé par une application particulière. L'application de la démarche représente donc une méthode guidant la recherche en soi. La Figure 1 montre une vision des différentes étapes du processus appliqué au patrimoine tangible.

II. ACQUISITION

Dans le cadre du programme de recherche e-thesaurus, une reconstruction 3D d'un corpus de pièces d'orfèvrerie est engendrée à partir d'une reconstruction photogrammétrique. Nous y avons développé une méthode permettant de réaliser une modélisation photogrammétrique d'artefacts muséaux qui ont des propriétés réfléchissantes importantes (Figures 2 et 3). La manipulation et le déplacement limité des objets ajoutent à la complexité de relever un jeu de données de contrôle pour évaluer la qualité du modèle produit. Plusieurs tests d'utilisation de scanners à interférométrie ou lasergrammétrie se sont montrés non concluants. Nous avons dès lors opté pour l'utilisation d'un éclairage avec une lumière polarisée croisée qui permet de limiter l'effet de reflet généré par les sources de lumière externes. L'ajout de marqueurs géométriques et radiométriques assure une quantification de l'erreur générée dans le modèle. Habituellement, les marqueurs utilisés dans la reconstruction servent plus à l'appariement de portions de modèle et d'une

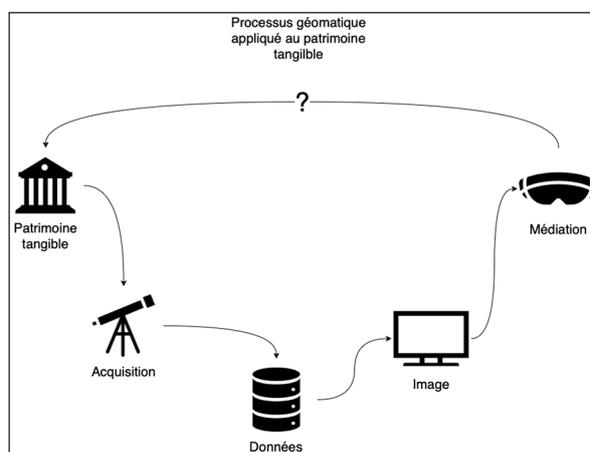


Figure 1. Processus d'acquisition et de représentation géomatique



Figure 2. Installation d'acquisition sur site du Pied de Croix de l'Abbaye de Saint-Bertin (12^e siècle) (Hallot et Gil, 2019)



Figure 3. Modèle reconstruit à partir de la reconstruction photogrammétrique (gauche) et texturation via éclairage en lumière naturelle (droite) (Hallot et Gil, 2019)

mise à échelle. Les documentations patrimoniales de ce type cherchent rarement à contrôler la validité géométrique du résultat produit.

Le décalage colorimétrique induit par la lumière polarisée est ensuite corrigé à partir d'un modèle calculé en lumière blanche (sémantiquement plus correct, mais géométriquement moins exact). Au final, nous proposons un modèle qui peut servir, relativement à sa précision, de source documentaire contrôlée en vue d'une étude fine des éléments constitutifs des objets. Au travers d'une interface de visualisation 3D, les collaborateurs du projet peuvent étudier le corpus sans devoir le manipuler physiquement.

III. STRUCTURATION ET MODÉLISATION DE L'INFORMATION

L'évaluation patrimoniale fournit un grand nombre d'informations qui peuvent être qualifiées de spatiales (elles ne sont pas toutes géolocalisées, mais toutes géolocalisables à des niveaux de granularité divers). La démarche de conceptualisation de l'in-

formation spatiale proposée par la géomatique aide grandement à la structuration de l'information du patrimoine.

Le premier apport de la géomatique consiste à apprendre aux utilisateurs du patrimoine qu'il est possible de gérer une information qualitative via un système de gestion de données. Cet aspect est souvent méconnu de nombreux utilisateurs issus des sciences humaines qui ont tendance à associer l'utilisation d'un système de gestion d'information à un recours systématique et exclusif à une quantification de l'information. Un second apport est la temporalité de la démarche géomatique qui initie une réflexion sur l'identification et la structuration de l'information en amont de toute démarche d'acquisition. Cette approche est souvent ignorée et conduit à la génération de modèles inadaptés à leurs usages.

C'est selon cette démarche d'application géomatique que Jouan et Hallot (2020) ont proposé un modèle de structuration de l'information relative à l'évaluation patrimoniale. De multiples cadres d'évaluation de valeurs coexistent. Parmi ceux-ci nous avons choisi de travailler avec la proposition de Fredheim et Khalaf (2016) basée sur une approche en trois étapes : l'identification des éléments de valeurs, l'identification des types de valeurs et la qualification de chaque valeur. Le protocole répond successivement à trois jeux de questions. Qu'est-ce qui compose le patrimoine en question (une forme architecturale particulière, une relation, des pratiques) ? Pourquoi cet élément de patrimoine est-il valorisable (association, sensibilité, preuve, fonction) ? Comment la valeur est-elle construite (authenticité, rareté, condition) ?

À partir de ces éléments de réflexion, un premier métamodèle a été défini (Figure 4 ; Jouan et Hallot, 2020) en vue d'une structuration au travers d'un processus de type BIM (*Building Information Modelling*).

IV. MÉDIATION ET OUTILS DE RÉALITÉ VIRTUELLE

La création d'une image de l'information spatiale n'est pas une démarche triviale. Représenter graphiquement un ensemble de variables a été longuement étudié par la géomatique au travers de la sémiologie graphique. Le traité proposé par

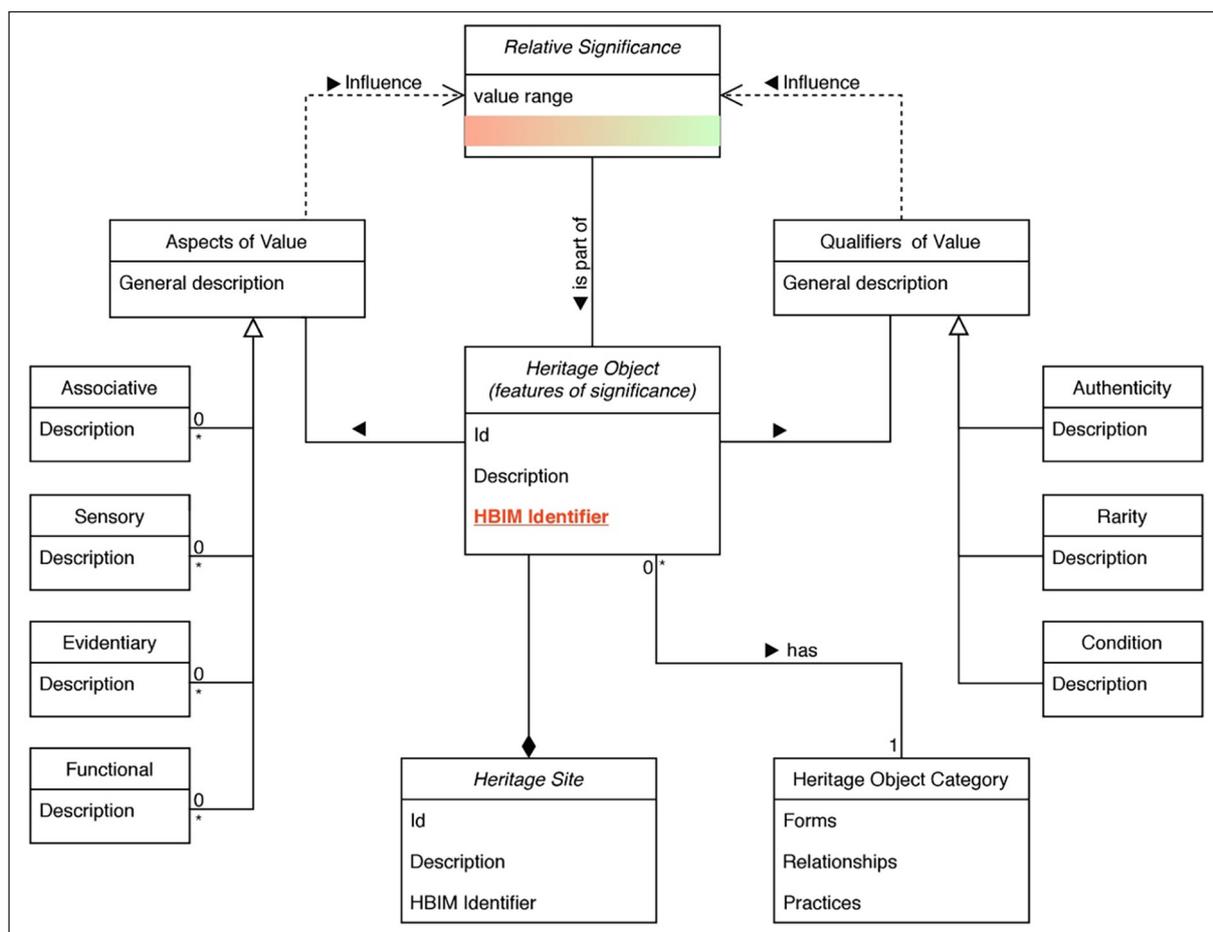


Figure 4. Extrait d'un modèle conceptuel de données assistant la structuration d'informations d'évaluation patrimoniale (Jouan et Hallot, 2020)

Bertin (1967) a été le fondement de l'utilisation de variables graphiques pour représenter une information spatiale. De nos jours, cette démarche mérite d'être étendue à des cas d'utilisation des données du patrimoine qui sont souvent multiéchelles, multitemporelles et qui soutiennent plusieurs variables sémantiques (Figure 5). L'information est aussi fréquemment lacunaire.

Les médias qui diffusent l'information associée au patrimoine évoluent rapidement. Principalement issue de la médiation muséale, la communication d'information au travers d'un écran et d'une image fixe est de plus en plus marginalisée au profit de représentations dans des environnements immersifs en réalité virtuelle.

En comparaison avec la construction graphique du plan d'architecture, ces nouvelles représentations réclament une étude préalable des règles permettant de symboliser l'évolution historique, la représentation de l'incertitude et l'information lacunaire dans ces nouveaux médias. Ces éléments, très peu

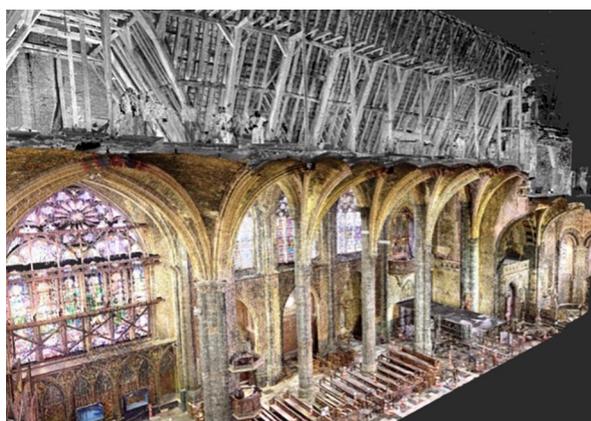


Figure 5. Extrait du nuage de points de la collégiale Sainte-Croix de Liège, symbolisé par un nuage coloré en couleurs visibles (cœur) et par une intensité en niveaux de gris (charpente)

étudiés à l'heure actuelle, gagneront grandement d'une application de la démarche géomatique.

À titre d'exemple, la visualisation de l'information au travers d'une application holographique développée dans le programme e-thesaurus (Fi-

gure 6) est un support d'analyse qui, avec l'aide de la sémiologie graphique, permettra à terme de communiquer efficacement une information sémantique associée à un dispositif de visualisation tridimensionnel.

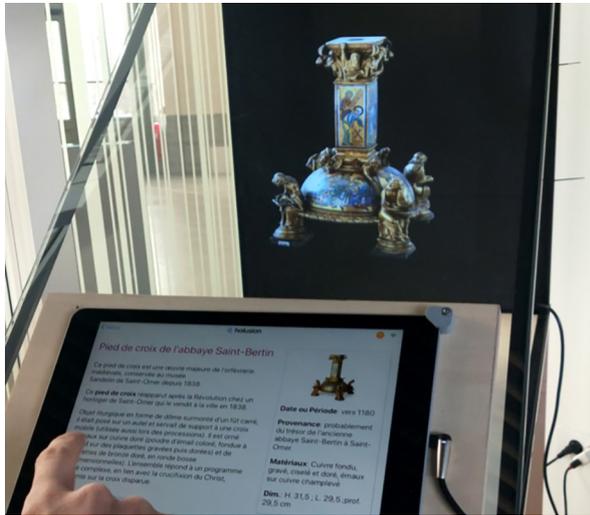


Figure 6. Dispositif de visualisation holographique des modèles tridimensionnels générés dans le cadre du programme e-thesaurus (Hallot *et al.*, 2019)

CONCLUSIONS

La documentation du patrimoine nécessite de disposer d'une information fiable, authentique et réutilisable. Au travers de l'application des principes de la géomatique dans plusieurs projets de documentation du patrimoine, nous avons montré expérimentalement l'apport fondamental de cette discipline dans la génération de jeux de données répondant aux besoins patrimoniaux.

Chaque étape du processus géomatique montre un apport significatif pour le domaine. L'établissement d'un modèle conceptuel de données préalablement à l'acquisition conduit à la collecte d'une information pertinente, structurée et dédiée à chaque application. Le contrôle de qualité aide à authentifier des jeux de données au regard d'un ensemble de métadonnées descriptives. La sémiologie graphique appliquée aux représentations du patrimoine permet de construire des images qui communiquent efficacement des variables thématiques associées aux jeux de données.

Dans tous les cas, nous pensons qu'une approche plus fondamentale de ces réflexions est nécessaire pour développer une information plus pérenne et réutilisable à l'heure où la conservation à long terme

des données devient un enjeu environnemental et politique.

BIBLIOGRAPHIE

- Bertin, J. (1967). *Sémiologie graphique*. Paris – La Haye : Mouton – Gauthier-Villars, 428 p.
- Choay, F. (1999). *L'allégorie du patrimoine*. Paris: Seuil.
- Cruz-Mota, J., Bogdanova, I., Paquier, B., Bierlaire, M. & Thiran, J.P. (2012). Scale invariant feature transform on the sphere: Theory and applications. *International journal of computer vision*, 98(2), 217-241.
- Fredheim, L.H. & Khalaf, M. (2016). The significance of values: heritage value typologies re-examined. *International Journal of Heritage Studies*, 22(6), 466-481.
- Granier, X., Chayani, M., Abergel, V., Benistant, P., Bergerot, L. *et al.* (2019). *Les recommandations du Consortium 3D SHS*. Rapport technique, CNRS; SHS. 204 p. HAL Id : hal-01683842. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01683842v4>. Consulté le 25 novembre 2021.
- Hallot, P. (2020). Numérisation du patrimoine, l'ultime sauvegarde. *Conférence-débat : Patrimoine & Authenticité*, 5 mars 2020, Université de Mons. <http://hdl.handle.net/2268/245837>
- Hallot, P. & Gil, M. (2019). Methodology for 3D acquisition of highly reflective goldsmithing artefacts. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42, 129-134.
- Hallot, P, Gil, M. & Guillaumont, T. (2019). e.thesaurus : l'orfèvrerie à l'épreuve de la modélisation numérique - l'exemple de la valorisation du Pied de croix de l'abbaye de Saint-Bertin (Saint-Omer) sous forme holographique. *Conférence au 14^e Congrès National des Sociétés Historiques et Scientifiques : Le réel et le Virtuel*, 9 mai 2019, Marseille. <http://hdl.handle.net/2268/235424>
- Héno, R. & Chandelier, L. (2014). *Numérisation 3D de bâtiments: cas des édifices remarquables*. Londres : ISTE editions, 173 p.
- ICOMOS (1965). *Charte internationale de Venise sur la conservation et la restauration des monuments et des sites*. Paris : Icomos. https://www.icomos.org/charters/venice_f.pdf. Consulté le 25 novembre 2021.
- ICOMOS (1994). *Document de Nara sur l'authenticité*. Paris : Icomos. https://www.icomos.org/charters/nara_f.pdf. Consulté le 25 novembre 2021.
- Jouan, P. & Hallot, P. (2020). Digital twin: Research framework to support preventive conservation policies. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 228.
- Mathys, A., Jadinon, R. & Hallot, P. (2019). Exploiting 3D multispectral texture for a better feature identification for cultural heritage. *ISPRS Annals of*

the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4(W6), 91-97.

Núñez Andrés, M.A. & Buill Pozuelo, F. (2009). Evolution of the architectural and heritage representation. *Landscape and Urban planning*, 91(2), 105-112.

Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*. 3(6), 1104-1138.

Coordonnées de l'auteur :

Pierre HALLOT
DIVA, UR AAP
Université de Liège
p.hallot@uliege.be

