

Numérisation et modélisation 3D du Jardin d'Hiver du Musée de la Faïence de Sarreguemines

■ Valentin GIRARDET

En 2017, la Ville et les Musées de Sarreguemines ont pris la décision de modéliser et numériser le Jardin d'Hiver du Musée de la Faïence de Sarreguemines, les objectifs étant d'archiver ce patrimoine mais également de le mettre en valeur. Des méthodes topographiques, photogrammétriques et lasergrammétriques ont permis de réaliser la modélisation. Quant à la mise en valeur, elle s'est faite par l'intermédiaire de la réalité virtuelle selon différents moyens et sous de multiples formes. Les défis de ce projet ont été divers. Tout d'abord, il s'agit de trouver la meilleure chaîne de traitement pour modéliser au mieux la faïence, un matériau très réfléchissant. Aussi, pour des questions d'esthétisme, des traitements d'images ont été opérés. Enfin, comme les modèles sont volumineux, il a fallu trouver des méthodes afin de les réduire.

■ MOTS-CLÉS

Modélisation 3D, photogrammétrie, lasergrammétrie, patrimoine culturel, faïence, format RAW, maillage, traitement d'images, géoréférencement, smartphone, réalité virtuelle, surbrillances, impression 3D

liser en trois dimensions une pièce remarquable et emblématique de son Musée de la Faïence, le Jardin d'Hiver (Figure 1). Cet édifice, considéré comme une vitrine du prestige de l'entreprise et des savoir-faire développés, a été construit en 1880 sur la propriété de Paul de Geiger, le directeur de la manufacture. Dans ce Jardin d'Hiver, il est possible d'admirer, entre autres, deux allégories représentant le feu et la terre (symboles dont la fusion a permis de créer l'Art céramique à Sarreguemines), deux vues de Sarreguemines, des vases et une fontaine, la pièce la plus remarquable. Les objectifs de ce projet sont de :

- parvenir à modéliser le Jardin d'Hiver dans son intégralité avec un rendu esthétique satisfaisant pour pallier à toute éventualité comme une destruction ou un déplacement du site (conservation du patrimoine) ;
- réfléchir à des moyens de visualisation ludiques et virtuels et à la mise

Contexte de l'étude

La Ville de Sarreguemines est située dans le département de la Moselle (57) en Lorraine. Elle fait partie du bassin de vie de Moselle-Est et jouxte la frontière allemande. Sarreguemines compte environ 45 000 habitants pour l'aire urbaine et 22 000 pour la ville intra-muros [Sarreguemines, 2018]. Elle a fait sa réputation dans l'industrie faïencière au XIX^e siècle, ce qui lui vaut le nom de Cité des Faïences (Musée de la Faïence, 2018). A l'époque, le directeur de la manufacture de faïence régnait en maître sur son entreprise et avait un pouvoir certain sur la ville. En effet, la faïencerie employait plus de 3 000 personnes, ce qui est considérable pour une petite ville de 15 000 habitants. A la fin du XIX^e siècle, la faïence était exportée dans le monde entier jusqu'en Chine. Aujourd'hui, plusieurs sites en rapport avec ce passé sont remarquables. Il s'agit entre autres du Moulin de la Blies, qui contient le Musée des techniques faïencières, du Jardin des

Faïenciers, du Casino de la Faïencerie, d'un ancien four et du Musée de la Faïence.

Aujourd'hui, à des fins d'archivages et touristiques, la Ville et les Musées de Sarreguemines souhaitent modé-



Figure 1. Jardin d'Hiver de Sarreguemines (www.sarreguemines-museum.eu)



en valeur des modèles adaptés aux attentes du musée afin d'en faire profiter le public (visite virtuelle interactive en immersion, vidéos, espace numérique interactif, impressions 3D).

Des méthodes photogrammétriques et lasergrammétriques modernes seront exploitées pour construire le modèle du Jardin d'Hiver. Toutes les données seront géoréférencées pour être rattachées aux systèmes de coordonnées nationaux (RGF93-CC49 en planimétrie et NGF-IGN69 en altimétrie). Le défi à relever est de numériser de la faïence, un matériau très réfléchissant qui occasionne des surbrillances sur les prises de vues ainsi que du bruit dans les nuages de points. Pour ce qui est du volet visualisation, diverses expérimentations avec un système de réalité virtuelle seront entreprises.

Travaux antérieurs

La modélisation du Jardin d'Hiver a commencé en octobre 2017 au cours du Projet de Recherche Technologique. Le but était de tester les techniques lasergrammétriques et photogrammétriques sur le matériau réfléchissant que constitue la faïence. Par ailleurs, des tests de superposition de données de sources différentes (laser fixe/laser mobile et laser/photo) ont donné satisfaction quant à la possibilité de fusionner celles-ci pour tirer profit des avantages de chaque technique et combler le manque d'informations par endroit.

Il en a été conclu que la photogrammétrie fonctionne dans des conditions spécifiques (minimum de reflets, grande focale, distance courte, nombre de photos important, minimum de relief) et qu'elle sera un atout pour modéliser les objets remarquables du Jardin d'Hiver et pour appliquer les textures. Quant à la lasergrammétrie, elle fonctionne relativement bien pour acquérir de grands espaces et de grands volumes de données. Elle sera préconisée pour modéliser l'ensemble du Jardin d'Hiver mais également pour suppléer la photogrammétrie sur les objets remarquables si nécessaire.

État de l'art

L'état de l'art établi durant ce projet rend tout d'abord compte de ce qui se fait déjà en lasergrammétrie et en photogrammétrie sur la faïence. La clé est avant tout d'essayer de maîtriser les conditions lumineuses [Tucci et al. 2015] et d'homogénéiser la lumière pour éviter les réflexions spéculaires en photogrammétrie [Nicolae et al., 2014]. Pour des raisons techniques (grandes verrières), la quantité de lumière entrant dans le capteur n'a pas pu être régulée, ni homogénéisée. En revanche, l'appareil photo (Canon EOS 5DSR) a été choisi de sorte à pouvoir prendre des clichés au format RAW et retoucher les images après-coup. En lasergrammétrie, plus l'intensité de la lumière est élevée, plus la pénétration du laser est profonde dans le matériau [Guidi et al., 2009], ce qui peut provoquer des biais dans la mesure de distance ainsi qu'une augmentation du bruit dans le nuage de points. Le choix du scanner laser s'est tourné vers le Faro Focus 3D X 330, pour sa précision (0,5 mm à 25 m), sa vitesse de numérisation (976 000 points/s), sa portée (330 m) et surtout sa masse (5,2 kg) qui offre une bonne maniabilité de l'appareil sur les terrains difficiles, notamment s'il est nécessaire de scanner en hauteur. De plus, il utilise un système de mesure à balayage de phase adapté aux objets peu éloignés, ce qui est le cas. Le scanner à main Faro Freestyle 3D est quant à lui employé dans les endroits difficiles d'accès avec le Focus.

Le second axe important des recherches bibliographiques a porté sur les moyens de mise en valeur des modèles 3D du patrimoine culturel. La réalité virtuelle semble être un très bon moyen pour y parvenir. En effet, elle offre la possibilité de mettre en place des visites virtuelles interactives en immersion ou sans immersion, ce qui permet de transmettre des informations culturelles de manière ludique. Pour Kersten et al., (2018), l'immersion est le meilleur moyen de mettre en place des visites virtuelles. Toutefois, trois piliers doivent être respectés pour que la réalité virtuelle fonctionne dans le patrimoine culturel. Il s'agit de la narration, de la présence et de la ludification.

A l'issue des recherches, trois solutions ont été dégagées et pourraient intéresser le Musée de la Faïence afin de promouvoir le Jardin d'Hiver. Il s'agit tout d'abord de la mise en ligne des objets remarquables sur la plate-forme Sketchfab. Cette plate-forme offre une bonne qualité d'affichage des modèles avec ou sans lunettes de réalité virtuelle et elle est facile d'utilisation. En revanche, la taille des modèles est limitée à 50 Mo pour un compte gratuit, ce qui limite son utilisation. La deuxième solution est l'immersion en 3D dans le nuage de points du Jardin d'Hiver sur SCENE à l'aide du système HTC Vive. Dans ce mode, il est possible de faire des études de précisions et de visualiser de grandes zones. En revanche, la qualité visuelle est globalement moyenne et on ne peut pas encore intégrer de modèles à proprement parler. La dernière solution est la visite virtuelle interactive à l'aide d'un moteur de jeux vidéo comme Unreal Engine. Elle permet de modéliser selon ses envies la visite et offre une bonne qualité de visualisation. Toutefois, la construction de cette visite est réservée à une catégorie de personnes initiées, car il s'agit d'un outil très technique et donc long et fastidieux pour les non-initiés. Dans tous les cas, le système HTC Vive disponible sera sollicité pour ces expérimentations.

Modélisation lasergrammétrique de l'ensemble du Jardin d'Hiver

■ Acquisitions

Pour produire le modèle 3D, il a fallu procéder à diverses mesures et acquisitions. Dans un premier temps, un canevas de neuf points d'appui a été implanté autour du musée dans le but de géoréférencer le futur modèle. Huit points sur neuf ont été mesurés avec une antenne GNSS Leica Viva qui donne en temps réel les coordonnées des points dans les systèmes planimétrique et altimétrique voulus. Sept stations de polygonation ont ensuite été faites avec une station totale Leica TS02 pour relier ces points entre eux et pour permettre la mesure de points à l'intérieur du Jardin d'Hiver. Au total, cinquante-sept points d'appui ont pu être mesurés à l'intérieur

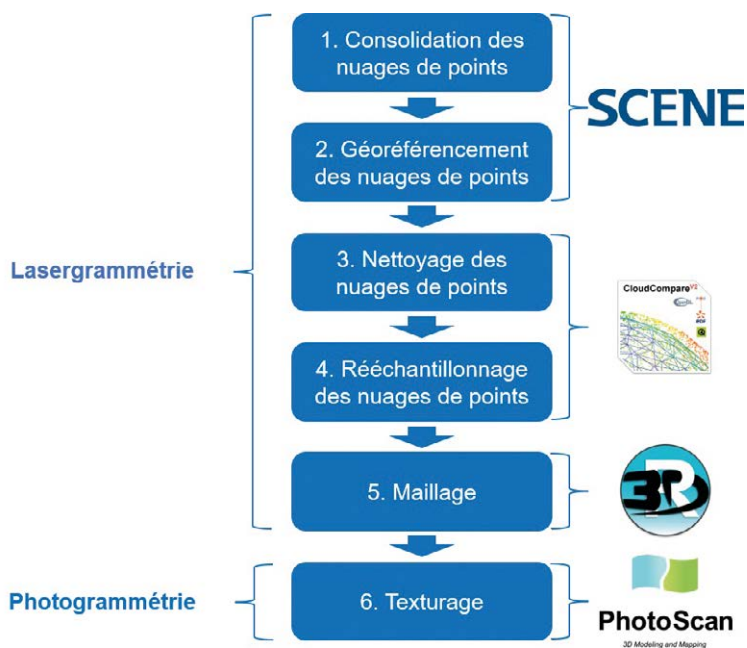


Figure 2. Chaîne de traitements pour la modélisation du Jardin d'Hiver

et à l'extérieur du Jardin d'Hiver (dont quarante et un sur la fontaine, dix au sol et six sphères). Tous ont été calculés par recalage Helmert 2D en planimétrie et par recalage manuel en altimétrie. Afin d'obtenir une texture de qualité, des photos au format RAW ont été prises avec l'appareil photo reflex à raison de trente-quatre photos par objet remarquable et de cent quatorze photos pour la volumétrie. Enfin, une quarantaine de balayages laser répartis en cinq missions de terrain ont été nécessaires pour disposer de l'intégralité de Jardin d'Hiver en nuages de points. Pour arriver au modèle 3D final, une chaîne de traitements spécifique a été construite (Figure 2).

■ Consolidation et géoréférencement

La première étape de cette chaîne consiste à consolider les nuages de

points entre eux, c'est-à-dire les placer correctement les uns par rapport aux autres. Cela se fait par l'intermédiaire de sphères que le logiciel SCENE reconnaît automatiquement ou par l'intermédiaire de points caractéristiques. La tension moyenne entre les sphères trouvée ici est de 1,7 mm, soit dans la précision constructeur du scanner qui est de 2-3 mm.

Puis, il faut les géoréférencer à l'aide des coordonnées obtenues par les mesures tachéométriques. Pour ce faire, un fichier CSV contenant les coordonnées planimétriques dans le système RGF93 en projection – CC49 et altimétriques en NGF-IGN69 a été intégré.

■ Nettoyage et rééchantillonnage

Ensuite, il s'agit de nettoyer les nuages de points, c'est-à-dire enlever tous les parasites qui ont pu se glisser dans les nuages (objets, personnes, points faux,

bruit). Pour ce faire, des filtres sont présents dans les logiciels pour ôter les points faux mais également segmenter les nuages. La segmentation consiste à sélectionner manuellement la partie indésirable à supprimer (Figure 3).

Les nuages ont été rééchantillonnés à 1 mm pour disposer d'une densité de points homogène. Cela permet de conserver les détails tout en allégeant le nuage et en le rendant utilisable pour les prochaines étapes de traitement CloudCompare, le logiciel libre de traitement de nuages de points développé par EDF a été employé pour effectuer ces tâches.

■ Maillage

L'étape suivante est celle de la construction du modèle 3D appelée aussi maillage. Il s'agit de solidifier le nuage de points. Afin de faciliter la manipulation des données, le Jardin d'Hiver a été subdivisé en 6 grandes parties, elles-mêmes subdivisées en 10 sous-parties. Le logiciel commercial 3DReshaper, spécialisé dans le maillage et la production de modèles 3D, a été utilisé pour le maillage du Jardin d'Hiver. Le résultat souhaité s'obtient en affinant un maillage grossier, en le lissant et en corrigeant les défauts manuellement à l'aide des outils contenus dans 3DReshaper. A la fin, il faut bien sûr assembler toutes les grandes parties ensemble pour ne former qu'un seul bloc (Figure 4).

■ Texturage

Enfin, la dernière étape du processus consiste à texturer le modèle en appliquant les images acquises avec l'appareil photo reflex. L'opération ne s'est pas faite en un seul bloc. Les fichiers modèles des objets remar-

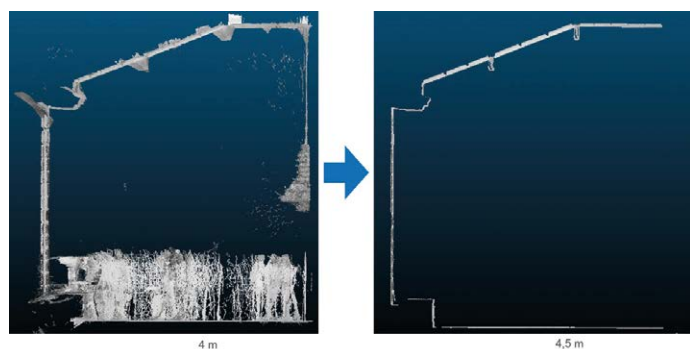


Figure 3. Nuage avant segmentation (à gauche) et après segmentation (à droite)

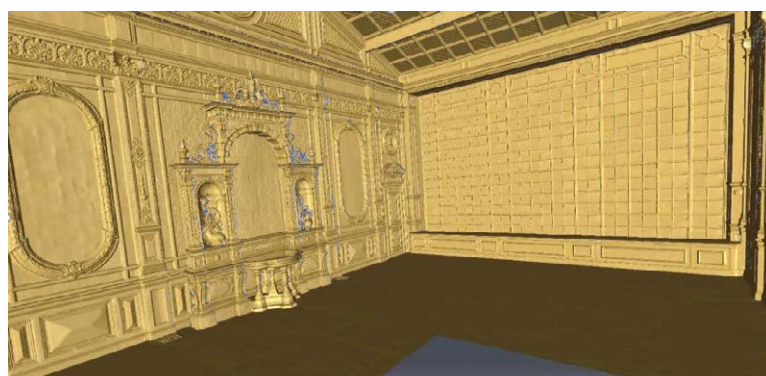


Figure 4. Modèle maillé final du Jardin d'Hiver



quables et de la volumétrie au format OBJ ont été importés séparément dans le logiciel PhotoScan. La texture géoréférencée et calculée au préalable a ensuite été appliquée. Il faut veiller à choisir une taille de texture suffisamment élevée pour conserver un maximum de détails et suffisamment basse pour ne pas alourdir inutilement les modèles. Une taille de 10 000 x 10 000 pixels a été choisie pour les objets remarquables ainsi qu'une taille de 40 000 x 40 000 pixels pour la volumétrie. Pour cette dernière, le choix n'a pas été laissé par l'ordinateur car celui-ci refusait de calculer une texture plus grande. Toutefois, le résultat est quand même satisfaisant du point de vue du détail (Figure 5).

■ Réduction des modèles

La lourdeur des fichiers est le principal inconvénient des modèles maillés texturés. Deux moyens de réduction ont alors été testés (Tableau 1). Le premier est la fonction "Réduire" de 3DReshaper reposant sur un critère de déviation. De façon empirique, celui-ci a été réglé sur 10^{-5} m afin de réduire le modèle sans affecter les formes. Une réduction de 25 % du modèle au format RSH (propre à 3DReshaper) a été obtenue contre seulement 9,5 % au format OBJ standard. Les résultats visuels montrent un maillage assez peu affecté par la réduction et une uniformisation du modèle. En revanche, la réduction est trop faible au format OBJ pour être vraiment profitable. Une autre méthode de réduction a alors été expérimentée. Il s'agit de l'outil "Quadric Edge Collapse Decimation" de MeshLab. Cette fonction avait fait ses preuves dans [Caron, 2017] et repose sur le critère du nombre de triangles à



Figure 5. Modèle texturé final du Jardin d'Hiver

conserver. Après plusieurs expérimentations, il a été déduit qu'elle ne convenait finalement pas aux attentes, car même si elle confère les mêmes avantages que la fonction "Réduire" de 3DReshaper, elle ne réduit la taille du fichier OBJ que de 11,5 % pour 50 % de triangles en moins. Ce type de réduction a en plus un fort impact sur la texture, car plus elle est forte, plus la texture est dégradée. Par conséquent, elle a été écartée.

Pour contourner un temps le problème, le format de fichier FBX, plus optimisé, a été utilisé pour les divers exports et imports.

Photogrammétrie sur les objets remarquables du Jardin d'Hiver

Dans le but d'améliorer les modèles, des expérimentations photogrammétriques ont été effectuées sur les objets remarquables.

■ Tests par smartphone

Le développement de la photogrammétrie par voie de smartphone est croissant

depuis ces dernières années grâce à l'intégration de capteurs photo et de composantes annexes de plus en plus performants.

Au cours de ce projet, des tests photogrammétriques par smartphone ont été faits en prenant des photos et des vidéos à l'aide d'un stabilisateur afin de disposer des photos les plus nettes et les vidéos les plus fluides possibles. Un test photo et un test vidéo ont été réali-

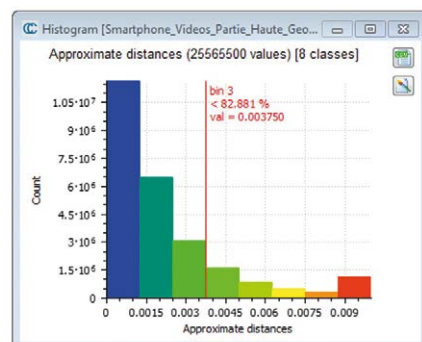
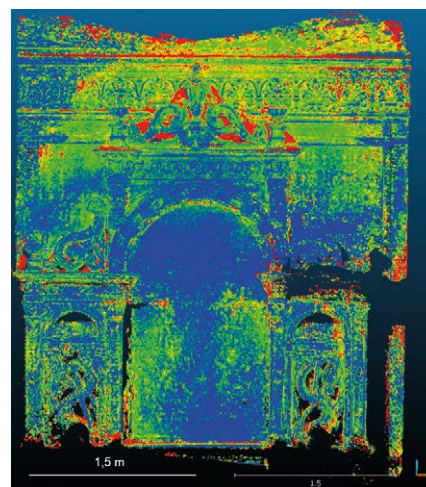


Figure 6. Histogramme du nombre de points en fonction de la distance point laser-point photo (à droite) et carte 3D associée (à gauche)

Outil	« Réduire » 3DR	« Quadric Edge Collapse Decimation » MeshLab
Paramètre	Déviation (10^{-5} m)	Nombre de triangles (50%)
Réduction	RSH : 25% (2,3 Go → 1,8 Go) OBJ : 9,5% (2,3 Go → 2,2 Go)	11,5% (521 Mo → 461 Mo)
Avantages	Maillage non affecté (visuel) Uniformisation	Maillage non affecté (visuel) Uniformisation
Inconvénients	Peu de réduction au format OBJ	Texture dégradée

Tableau 1. Méthodes de réduction de modèle

sés sur le poisson gauche ainsi qu'un test vidéo sur le haut de la fontaine. Sur ce dernier test, 172 photos ont pu être extraites de la vidéo grâce au logiciel PhotoModeler à raison d'une image par seconde. Après un processus classique de modélisation par voie photogrammétrique sur PhotoScan, le rendu obtenu est assez intéressant avec une bonne qualité de texture. La précision n'est pas non plus en reste. En effet, en comparant le nuage de points photogrammétrique ayant servi à construire le modèle avec le nuage lasergrammétrique de référence sur CloudCompare, la moyenne des écarts apparents est de 2,3 mm, l'écart-type est de 2,3 mm et plus de trois-quarts des points ont un écart inférieur à 3 mm, la précision théorique des points du nuage laser (Figure 6). Ce qui est satisfaisant pour un test par smartphone. Par conséquent, comme il y avait des carences de texture sur le haut de la fontaine du fait qu'il n'était pas possible de prendre des photos avec l'appareil reflex à cette hauteur, la texture smartphone a été exploitée pour la compléter.

■ Traitement d'images par programmation

Le traitement d'images est étudié ici dans le but de corriger la texture des modèles. Il peut se réaliser soit par programmation (sur Matlab par exemple) avec des algorithmes développés par des chercheurs ou soit avec des logiciels spécialisés, open source si possible (GIMP).

A l'aide de Matlab et de ses boîtes à outils de traitement d'images, une égalisation d'histogramme a été appliquée sur les photos RAW du bas de la fontaine prises avec le Canon pour les rendre plus claires car celles-ci étaient trop sombres (Figure 7). Le but est de supprimer les différences entre le haut texturé avec le smartphone et le bas texturé avec le Canon.

■ Traitement d'images par logiciel spécialisé

Comme la texture de la fontaine comportait encore des carences ou des défauts dus au manque de photos à certains endroits ou à des erreurs dans l'application de la texture, le traitement par logiciel spécialisé directement sur le fichier texture du modèle a été expérimenté. Avec l'outil de clonage

Figure 7. Fontaine sans prétraitement d'images (à gauche) et fontaine avec égalisation d'histogramme (à droite)



Figure 8. Vasque de la fontaine avant correction (à gauche) et après correction (à droite)

de GIMP, la texture de la vasque a pu être reconstruite (Figure 8) et avec l'outil de sélection et de copie de motif, les défauts du damier situé derrière les volutes ont pu être corrigés. Il est même possible de reconstituer la tendance lumineuse d'origine avec les réglages de luminosité et de contraste. Cette technique présente l'avantage de retoucher la texture autant de fois que l'on veut après le traitement. Elle est également pratique pour corriger les gros défauts visibles facilement. En revanche, elle ne l'est pas du tout pour les petits défauts car un fichier texture est une mosaïque de textures désordonnées. Il faut par conséquent un travail de longue haleine pour ne serait-ce que repérer où se situe chaque défaut dans la texture. Ces opérations sont fastidieuses et le résultat n'est pas toujours très esthétique.

Visualisation (réalité virtuelle)

Après avoir monté de toutes pièces les modèles lasergrammétriques texturés du Jardin d'Hiver et des objets remarquables, l'objectif est ensuite de

les mettre en valeur grâce à différents moyens de visualisation.

■ Mise en ligne de modèles sur Sketchfab

Le premier moyen trouvé est d'importer les modèles des 9 objets remarquables au format FBX sur la plate-forme en ligne Sketchfab. De cette manière, la condition des 50 Mo a pu être respectée.

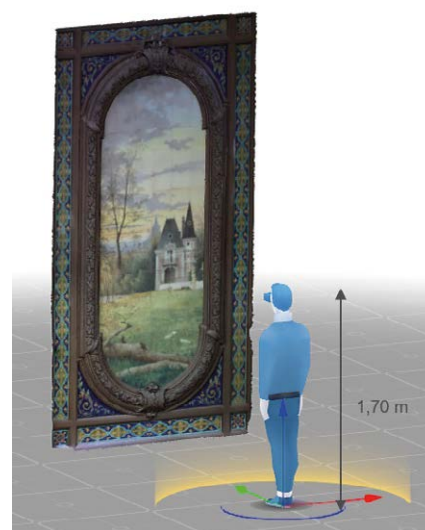


Figure 9. Paramétrage du mode réalité virtuelle pour le modèle du Pavillon de Rendez-Vous

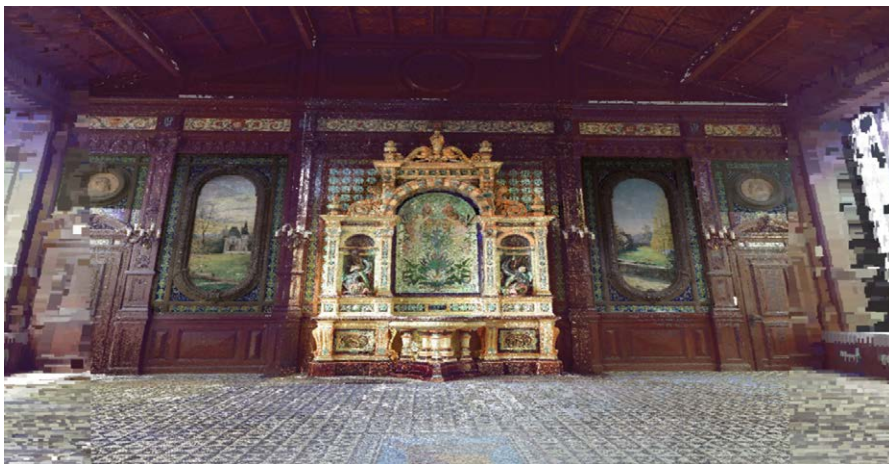


Figure 10. Immersion dans le nuage du Jardin d'Hiver sur SCENE

Des réglages peuvent être opérés sur la lumière pour rendre le modèle fidèle à la réalité et pour qu'il soit agréable à regarder. Dans les options concernant la réalité virtuelle, l'échelle peut être ajustée sur 1 pour permettre à l'utilisateur de se rendre compte de la taille réelle de l'objet (Figure 9).

■ Immersion dans le nuage sur SCENE

La deuxième solution de visualisation est d'utiliser le nuage de points consolidé du Jardin d'Hiver et de ses abords pour créer une immersion à l'aide d'un système de réalité virtuelle. Le logiciel SCENE et le système HTC Vive ont permis de la réaliser (Figure 10). L'immersion a été mise en œuvre en consolidant les nuages entre eux avec la méthode nuage-nuage puisque aucune sphère n'avait été placée à l'intérieur du Jardin d'Hiver. Les résultats de cette consolidation offrent une moyenne des écarts de 1,3 mm avec 79 % des points ayant un écart inférieur à 4 mm, ce qui est plutôt satisfaisant compte tenu du fait que les balayages laser utilisés proviennent de différentes campagnes

d'acquisitions et que la partie extérieure avait été fixée en coordonnées.

■ Visite virtuelle interactive sur Unreal Engine

La troisième option de visualisation est de mettre en place un scénario de visite virtuelle dans le modèle texturé du Jardin d'Hiver avec un moteur de jeux vidéo capable d'outrepasser le problème du volume des fichiers. L'aspect interactivité a pris une place importante puisque des boutons ont été créés pour offrir la possibilité à l'utilisateur de consulter des informations concernant les différents objets remarquables du Jardin d'Hiver et l'histoire de ce dernier (Figure 11). Le système HTC Vive a également été réglé sur Unreal Engine afin de permettre l'interaction entre le modèle et l'utilisateur et de programmer le déplacement dans la pièce.

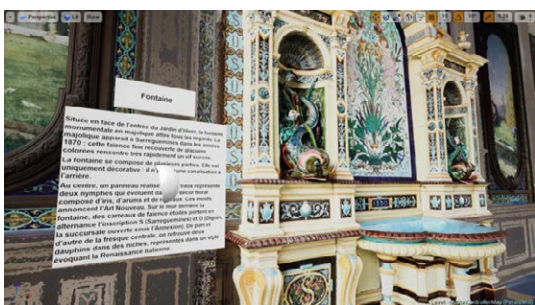


Figure 11. Disposition du bouton par rapport à la fontaine



Figure 12. Impression 3D du poisson gauche de la fontaine

■ Impressions 3D

Pour finir avec ce chapitre visualisation, la récente imprimante 3D du laboratoire d'imagerie 3D de l'INSA de Strasbourg a pu être testée. Le poisson gauche de la fontaine et la fontaine ont chacun fait l'objet d'une impression (Figure 12). Cette technologie en plein développement permettra à l'avenir de faire découvrir la culture différemment par le toucher pour les personnes aveugles ou pour les enfants par exemple.

Conclusion

Ce projet a permis de poursuivre et de terminer les travaux de modélisation et de numérisation du Jardin d'Hiver de Sarreguemines entamés durant le PRT grâce à une chaîne de traitements sollicitant un quatuor de logiciels (SCENE, CloudCompare, 3DReshaper, PhotoScan). L'obstacle que constituait la modélisation d'un matériau aussi réfléchissant que la faïence a été contourné en tirant profit des avantages de la photogrammétrie et de la lasergrammétrie. Les tests photogrammétriques ont donné de bons résultats tant du point de vue du visuel que de la précision. La texture du haut de la fontaine a d'ailleurs pu être complétée grâce à ces tests. Les traitements d'images, que ce soit par programmation ou par logiciel spécialisé, ont quant à eux permis d'améliorer considérablement la qualité de la texture du modèle.

Outre la conservation du patrimoine, le PFE a également été l'occasion de tester divers moyens de mise en valeur et de visualisation de ce patrimoine pour en faire profiter le grand public. Deux visites virtuelles interactives ont pu être réalisées : une dans le nuage de points et une dans le modèle. Ces outils permettront d'alimenter le futur espace numérique qu'envisage de développer le Musée de la Faïence avec l'appui de la Ville de Sarreguemines.

Dans le futur, de plus nombreux travaux de modélisation pourraient être entrepris. En effet, d'autres monuments en rapport avec l'industrie faïencière jalonnent la ville comme le four, le Casino de la Faïencerie ou encore le Moulin de la Blies. Un circuit touristique virtuel verrait alors le jour avec comme



thématique l'histoire de la faïence à Sarreguemines. Il serait intéressant de chercher à automatiser certaines étapes du procédé de modélisation lasergrammétrique, car celui-ci est particulièrement long et fastidieux. Par ailleurs, d'autres méthodes de réduction des modèles seraient pratiquées comme la création de modèles hybrides constitués de primitives géométriques pour les parties sans détails particuliers et pour les éléments répétitifs. Pour terminer, il faudrait sans doute améliorer le déplacement de l'utilisateur avec les contrôleurs du système de réalité virtuelle sur Unreal Engine pour plus de fluidité. ●

Remerciements

L'auteur remercie chaleureusement tous les acteurs du projet. Céleste Lett (maire de Sarreguemines), Jean-Claude Cunat (adjoint à la culture), Julie Kieffer (directrice des Musées de Sarreguemines, directrice du projet), Olivier Reis (traducteur à Sarreguemines, initiateur du projet), Pierre Grussenmeyer (professeur des Universités, encadrant du projet), Samuel Guillemain (technicien de recherche, contributeur du projet), et Emmanuel Moisan (ingénieur de recherche, contributeur du projet).

Contact

Valentin GIRARDET
valentin.girardet.54@gmail.com

Bibliographie

Caron, P. (2017) *Modélisation 3D du souterrain de Naours et exploitation des données de la base de données Graffiti avec QGIS*, Mémoire de Projet de Fin d'Études, INSA Strasbourg, pp. 1-69.

Guidi, G., Remondino, F., Russo, M., Spinetti, A. (2009) 'Range sensors on marble surfaces: quantitative evaluation of artifacts', *Proceedings of SPIE on Videometrics, Range Imaging, and Applications X*, 7447, pp. 744703-12. doi: 10.1117/12.827251.

Kersten, T. P., Tschirschwitz, F., Deggim, S., Lindstaedt, M. (2018) 'Step into Virtual Reality — Visiting Past Monuments in Video Sequences and as Immersive Experiences',

MDPI, Basel, Switzerland, pp. 192-219.

Nicolae, C., Nocerino, E., Menna, F., Remondino, F. (2014) 'Photogrammetry applied to problematic artefacts', *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5 (2014 ISPRS Technical Commission V Symposium, 23 – 25 June 2014, Riva del Garda, Italy), pp. 451-456. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-5-451-2014.

Sarreguemines (2018) *Situation géographique de Sarreguemines Ville de Sarreguemines*. Available at: <http://www.sarreguemines.fr>.

Tucci, G., Bonora, V., Conti, A., Fiorini, L. (2015) 'Benchmarking Range-Based and Image-Based Techniques for Digitizing a Glazed Earthenware Frieze', *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5/W3 (2015 25th International CIPA Symposium 2015, 31 August – 04 September 2015), pp. 315-322. doi: 10.5194/isprsannals-II-5-W3-315-2015.

ABSTRACT

Key words: 3D modelling, photogrammetry, lasergrammetry, cultural heritage, earthenware, RAW format, meshing, image processing, georeferencing, smartphone, virtual reality, highlights, 3D printing

In 2017, the Town and the Museums of Sarreguemines decided to model and digitize the Winter Garden of the Earthenware Museum of Sarreguemines. The objectives were to archive this cultural heritage but also to emphasize it. Topographic, photogrammetric and lasergrammetric methods allowed to realize the modelling. As for the enhancement, it is realized through the virtual reality according to different means and different forms. The challenges of this project were diverse. First of all, it was about to find the best processing chain to model the earthenware, a very reflecting material. Also, for questions of aestheticism, image processing was operated. Finally, as the models are voluminous, it was necessary to find methods to reduce them.

COMITÉ DE LECTURE D'XYZ

BOSSER Pierre,
professeur associé, ENSTA Bretagne, Brest

BOTTON Serge,
ingénieur, ENSG Marne-la-Vallée

CLÉDAT Emmanuel,
doctorant, EPFL (Suisse)

HULLO Jean-François,
Dr.-Ing., ingénieur de recherche, EDF Energy, Royaume-Uni

KOEHL Mathieu,
maître de conférences, INSA Strasbourg

LEQUEUX James,
astronome émérite à l'Observatoire de Paris

MAINAUD DURAND Hélène,
ingénieur topographe, CERN Genève

MISSIAEN Dominique,
ingénieur topographe, CERN Genève

MOPIN Irène,
ingénieur recherche, ENSTA Bretagne, Brest

MOREL Laurent,
professeur des universités, ESGT Le Mans

PANTAZIS N. Dimos,
professeur, TEI Athènes

POLIDORI Laurent,
directeur du CESBIO, Toulouse

REIS Olivier,
ingénieur, traducteur Sarreguemines

ROCHE Stéphane,
professeur, Université Laval, Québec

TOUZÉ Thomas,
dr. ing. géomètre, HEIG-VD

TROUILLET Michel,
ingénieur topographe, Lyon

Font partie du comité de lecture les membres du comité de rédaction et la rédaction (la directrice des publications et son adjoint, le rédacteur en chef et son adjoint), voir la liste en page 1, sommaire.