

# Acquisition 3D et création de maillage d'objets complexes dans le contexte du HBIM pour une intégration géoréférencée dans le logiciel Autodesk Revit

■ Lucille FAUVEL

*L'acquisition 3D et la modélisation de maillages complexes sont des techniques importantes dans le contexte de la modélisation des informations sur les bâtiments historiques (HBIM<sup>2</sup>). L'acquisition 3D implique l'utilisation de technologies telles que le balayage laser ou la photogrammétrie pour collecter des données sur la géométrie et les détails d'un bâtiment. Les données collectées à partir de l'acquisition 3D peuvent ensuite être utilisées pour créer un modèle numérique détaillé et précis du bâtiment. La modélisation de maillage complexe est une méthode de représentation numérique d'objets complexes dans un modèle 3D. Il s'agit de décomposer un objet en un grand nombre de petites faces plates (sous forme de triangles ou bien de quadrilatères), qui sont ensuite reliées entre elles pour former un maillage. Cette méthode est souvent utilisée pour créer des modèles très détaillés et est particulièrement utile dans le contexte de HBIM, car elle permet de capturer des détails complexes tels que des éléments décoratifs et des caractéristiques architecturales.*

La combinaison des techniques d'acquisition 3D et de modélisation de maillages complexes permet la création de modèles numériques détaillés et précis de bâtiments historiques. Ces modèles peuvent ensuite être utilisés à diverses fins telles que la planification de la rénovation, la conservation et les visites virtuelles. De plus, la précision

et la richesse des détails du modèle amélioreront la compréhension de l'histoire, du contexte et du développement du bâtiment, permettant des décisions de préservation plus précises. L'utilisation de l'acquisition 3D et de la modélisation de maillages complexes dans HBIM permet également d'améliorer la collaboration et la communication

## 1. Maillage

Un maillage est une modélisation géométrique tridimensionnelle par construction surfacique d'un objet reliant les points qui le composent pour créer un modèle 3D. Il est composé de points, de faces et d'arêtes. Il existe différents types de maillages qui dépendent principalement de la manière dont ce dernier est modélisé par l'opérateur et par le logiciel (maillage tétraédrique, maillage hexaédrique, maillage structuré, etc.). Dans cette étude, nous utiliserons le terme de maillage pour définir un maillage tétraédrique, aussi appelé maillage triangulaire et dont la construction résulte principalement de l'utilisation d'algorithmes comme ceux de Delaunay, Quadtree(2D) / Octree(3D) ou encore l'Avancée de Front.

## 2. HBIM

L'acronyme HBIM désigne le terme *Historical Building Information Modelling* qui a été utilisé pour la première fois dans l'article (Murphy, McGovern, & Pavia, 2013) et désigne une nouvelle méthodologie de travail axée sur la modélisation de bâtiment existant à l'aide d'un processus BIM. Ce processus ne définit pas un nouveau type de conception, mais une nouvelle méthode de travail par "reverse engineering" où toutes les procédures de la construction sont étudiées afin d'améliorer la modélisation.

## MOTS-CLÉS

BIM, HBIM, CAO, scan 3D, lasergrammétrie, Dynamo, LOG, LOI, LOD, maillage, nuage de points, interopérabilité, maquette numérique, numérisation 3D, mappage, reverse engineering, Revit

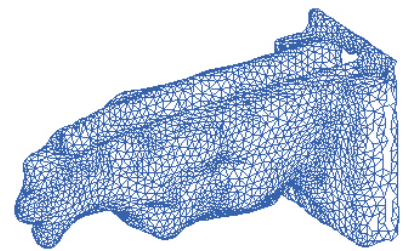


Figure 1. Exemple de maillage d'objet complexe (gargouille de la cathédrale Saint-Étienne de Toulouse).

entre les professionnels impliqués dans la préservation des bâtiments historiques. Ces modèles peuvent être facilement partagés et accessibles par différentes parties prenantes, facilitant ainsi le processus de préservation.

En conclusion, l'acquisition 3D et la modélisation de maillages complexes sont des outils puissants dans le contexte de HBIM, permettant la création de modèles numériques détaillés et précis de bâtiments historiques, qui peuvent être utilisés à diverses fins, telles que la planification de la rénovation, la conservation, les visites virtuelles et bien d'autres encore. Cette approche peut faciliter le processus de préservation, tout en améliorant la compréhension du bâtiment et de son contexte historique.

## Analyse des procédures et des outils existants

### Acquisition 3D et traitement des données

La première étape est essentielle au développement de l'étude et répertorie les instruments, les procédés et les outils mis à disposition par l'entreprise Novatlas. Concernant le choix d'instrumentation effectué durant ce PFE,

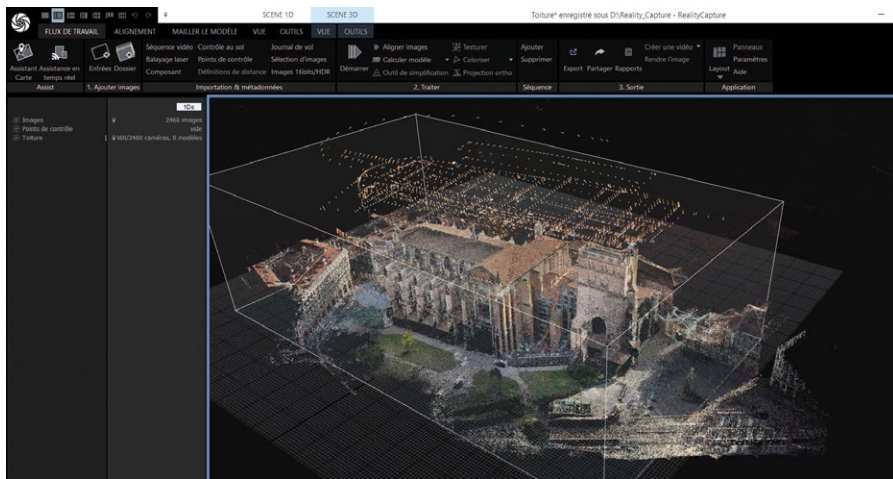


Figure 2. Nuage de points extrait des données photogrammétriques de la cathédrale Saint-Étienne de Toulouse réalisé sur le logiciel Reality Capture à Novatlas.

la pertinence d'utilisation entre le Z+F IMAGER 5016 et le RTC 360 réside dans leurs différences respectives. Alors que le Z+F IMAGER 5016 permet d'effectuer des scans de plus gros volumes avec un principe de bulle plus précis et une portée plus grande, le RTC 360 (figure 4) permet, quant à lui, de scanner de plus petits volumes en un temps très rapide. Le trépied en carbone, la petite taille de l'appareil et son poids réduit en font l'instrument adéquat pour accéder à des zones plus complexes d'accès comme les escaliers en colimaçon étroits de la cathédrale. *A contrario*, le Z+F IMAGER 5016 n'est pas autant maniable, mais permet d'obtenir une très bonne qualité de photos et permet également d'effectuer des "zooms" de scans sur certaines zones afin de concentrer la donnée (l'appareil vient rescanner une zone définie par l'utilisateur avec une plus grande résolution afin de venir compléter le nuage de points). Les deux instruments sont donc complémentaires par leurs différences dans le levé de la cathédrale Saint-Étienne de Toulouse dans le cadre de la mission effectuée. C'est surtout

au niveau des choix de paramètres des instruments lors de l'acquisition sur terrain qu'un point de vue critique peut être apporté.

Par ailleurs, le choix de l'instrumentation pour le levé photogrammétrique a lui aussi été réfléchi en réponse aux enjeux de la mission. L'utilisation du drone Matrice 300 RTK nous permet d'obtenir une grande qualité d'images grâce à son capteur 45 MPx et son paramètre de plein format. Moins imposant que le Matrice 300 RTK, le drone DJI Phantom V2.0 nous permet d'obtenir les données des zones plus difficiles d'accès autour de la cathédrale avec une distance de vol d'environ 5 mètres par rapport aux façades. Cela nous permet d'obtenir une précision entre 5 mm et 1 cm qui a pour but de se rapprocher de la précision du levé lasergrammétrique. L'utilisation de ces deux appareils nous permet de relever avec précision le bâtiment de la cathédrale.

Le choix des logiciels de traitement des données lasergrammétriques est inhérent au matériel utilisé, d'où l'utilisation des logiciels Cyclone Register 360 et

Z+F. Ces deux logiciels de traitement nous permettent de géoréférencer les nuages de points des stations effectuées, ainsi que d'exporter ces dernières au format .e57 qui est le format de référence utilisé par l'entreprise. Leur import sur Autodesk Recap permet d'effectuer la passerelle entre le pôle Acquisitions 3D et le pôle BIM/CIM de l'entreprise Novatlas avec l'enregistrement des fichiers comme "RCP - Tour Virtuel Unifié" comprenant le nuage de points complet géoréférencé ainsi que les visuels de chaque station du nuage (photographie 360° prise depuis le scanner laser).

En conclusion, cette première partie recense les méthodes employées sur terrain afin d'effectuer le levé de la cathédrale Saint-Étienne de Toulouse, en prenant en compte son architecture complexe et les problématiques qui en résultent.

## Création de la procédure de maillages

### Création de maillages d'objets complexes

La seconde phase de ce projet de diplôme a consisté à effectuer une étude de marché sur les logiciels permettant la création de maillages complexes sur des objets et des éléments tels que des statues, des modénatures, des voûtes, etc. Après comparaison et étude, il est apparu évident que le logiciel *Reality Capture* (figure 2) répondait à ces besoins. Après utilisation pour le recalage des données photogrammétriques<sup>3</sup> et lasergrammétriques et la création d'un modèle maillé sur un élément de la cathédrale, nous pouvons constater que les paramètres par défaut du logiciel sont globalement convaincants et permettent de fournir des rendus très satisfaisants sur des petits éléments.

Dans le cadre de l'export au format .obj d'une gargouille de la cathédrale, nous n'avons pas rencontré de problème particulier dans la création du maillage,

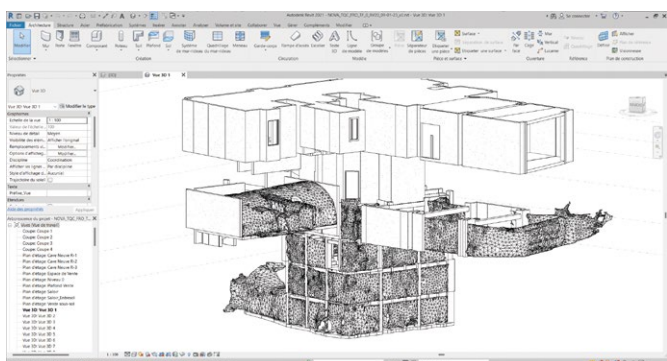


Figure 3. Importation automatique multiple des maillages géoréférencés des parois des caves de Roquefort réalisés par les équipes de Novatlas.

### 3. Photogrammétrie

La photogrammétrie est une technique d'acquisition de mesures par prises d'images avec différents points de vue permettant de déterminer les dimensions et la géométrie d'éléments, d'environnements ou de bâtiments à partir de mesures effectuées sur des photographies aériennes ou terrestres.



la texturation ou l'application d'une correction colorimétrique. Cependant, nous notons que la partie la plus longue a été d'assembler les composants des différentes façades et toitures. Le temps d'alignement des composants a été très majoritairement la partie la plus chronophage du processus (jusqu'à 8 h de calcul pour l'alignement des photos). En revanche, grâce à l'application d'un masque d'écrêtage à partir d'une "boîte de construction", nous avons pu mailler, texturer<sup>4</sup> et coloriser le modèle de gargouille relativement rapidement. Les photographies acquises sur site étaient très nombreuses et ont dû être divisées par deux afin de ne pas trop ralentir les temps de calcul. Par ailleurs, l'ajout de données lasergrammétriques représente un atout de taille dans la manipulation et le traitement des données tridimensionnelles donnant un nuage de points très complet. Par ailleurs, concernant le dossier de fichiers créés lors de l'export, il est très intéressant de noter que les fichiers MTL et PNG contiennent les informations de texture et de colorimétrie complémentaires au fichier OBJ de géométrie.

#### 4. Texturation (texturage ou mappage)

La texturation, parfois appelée mappage, est une phase importante de restitution d'un maillage tridimensionnel. Cette phase de rendu consiste à venir appliquer un mappage, soit une superposition, de texture sur la surface maillée. Cette texture peut être issue de texture réelle (image) ou bien de texture artificielle (fabriquée) et sert principalement pour des applications industrielles ou architecturales.

#### 5. Dynamo

Le terme Dynamo désigne une technologie de modélisation et de programmation visuelle de géométrie complexe développée par Autodesk, notamment pour son logiciel Revit. Le logiciel est téléchargeable et exécutable en mode autonome ou en tant que plugin pour d'autres logiciels et permet, à travers un environnement de programmation visuelle, de rationaliser la création de formes architecturales et d'aborder l'architecture par ordinateur.

## Méthodologie d'intégration des maillages

### Intégration d'objets maillés géoréférencés dans l'environnement BIM

Nous retrouvons, dans la troisième phase de la méthodologie développée, une étude de marché réalisée courant janvier 2023 sur les différents outils existants permettant l'importation de maillages dans le logiciel Autodesk Revit. Après comparaison et étude, le plugin Dynamo<sup>5</sup> étant intrinsèque au logiciel Revit, et non payant, c'est donc vers ce dernier que notre choix s'est tourné afin de simplifier le flux de travail et la méthodologie. De plus, l'utilisation de "Dynamo Player", une seconde interface de Dynamo dans Revit permettant une utilisation simplifiée des programmes scriptés, facilite grandement son utilisation par tous les collaborateurs. L'utilisation de Dynamo pour répondre aux enjeux du PFE apparaît donc comme la meilleure option possible pour atteindre les objectifs de l'entreprise.

L'utilisation de Dynamo donne lieu à la création de scripts personnalisés à l'aide d'une interface graphique, où les nœuds représentent différentes opérations ou fonctions qui peuvent être connectées ensemble pour former une chaîne de nœuds représentant un script personnalisé. Cette programmation visuelle, couplée à l'utilisation de différents packages définis dans le mémoire, contribue à l'écriture d'un script d'importation de maillages dans le logiciel Autodesk Revit.

Contrairement au plugin "Mesh Import" proposé dans Revit pour importer des objets maillés, l'écriture du script Dynamo a pu répondre aux problématiques de géoréférencement en gardant les données tridimensionnelles du maillage, ce qui autorise l'importation des éléments à leur emplacement exact (figure 4). Pour que le géoréférencement soit exact, il faut veiller à ce que chaque .obj soit géoréférencé au préalable avant l'utilisation du script Dynamo.

Les différents scripts développés durant le PFE offrent la possibilité à l'utilisateur de paramétrer ces maillages selon les besoins et les niveaux de précision attendus, ainsi que de renseigner sur chaque élément des informations de rendu (matériaux, etc.). De plus, l'ajout du script d'import multiple permet de gagner un temps précieux à l'utilisateur en automatisant le processus d'importation dans le logiciel. Le principal obstacle rencontré durant l'intégration des modèles maillés dans Revit a été celui de la qualité du maillage importé. Un mail-

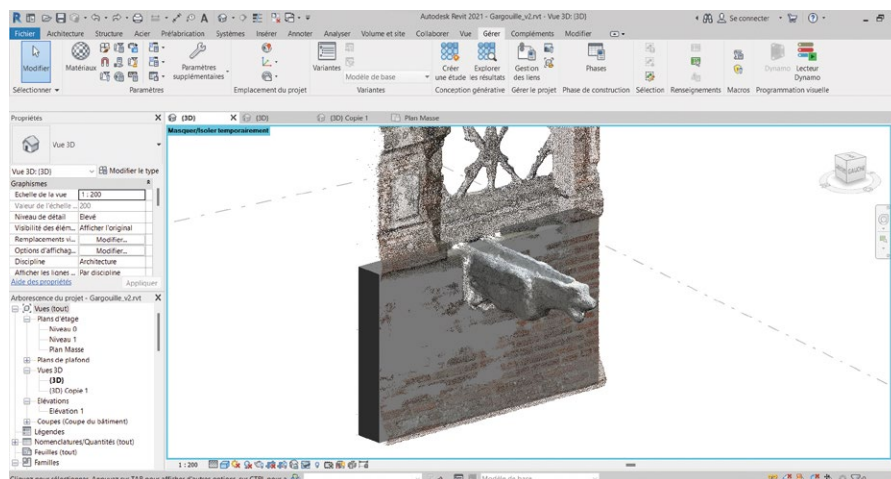


Figure 4. Exemple d'importation d'un objet maillé (gargouille) dans un nuage de points et sur un modèle paramétrique de mur géoréférencé sur le logiciel Autodesk Revit à Novatlàs.



lage comportant plusieurs éléments, ou un maillage dont les points sont trop proches, rencontrera plus de difficultés à être intégré dans un modèle Revit qu'un maillage unique et uniforme.

La décision de créer des paliers d'importation a été prise au cours du développement du script afin d'éviter les problèmes liés au poids des familles de maillages qui risquent de ralentir le projet si elles sont trop nombreuses. Il reviendra à l'utilisateur d'avoir un avis critique sur la pertinence d'utilisation des maillages, leur niveau de LOG<sup>6</sup> (comme vu précédemment avec la décimation des maillages) et la finalité du projet (figures 4 et 5).

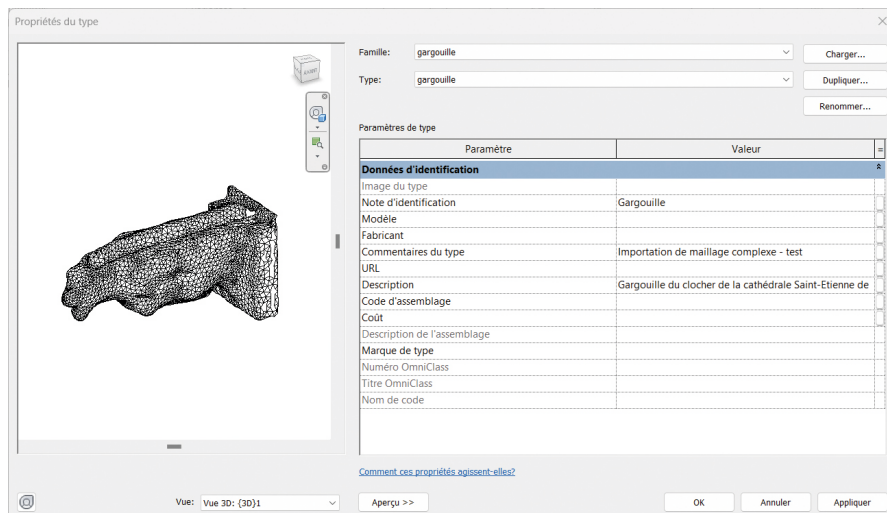
## Conclusion de l'étude

L'objectif majeur de ce projet de diplôme était d'étudier les procédés d'acquisition, de traitement et de modélisation des données 3D spécifiques à l'entreprise (Novatlas) ainsi que de proposer une méthodologie d'importation de maillages d'objets complexes dans un logiciel de BIM – Autodesk Revit – afin de les intégrer à un modèle numérique.

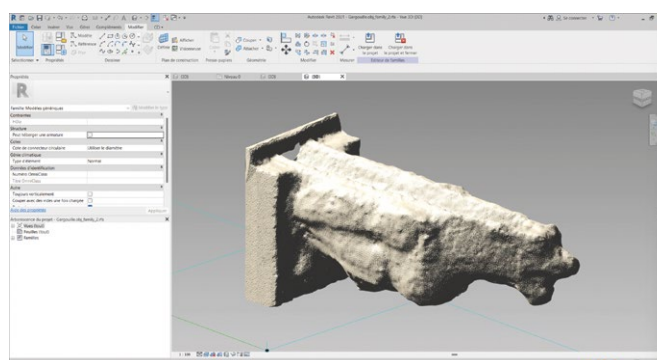
L'approche développée nous permet donc d'obtenir, à partir de nuages de points issus de levés lasergrammétriques et photogrammétriques, des familles Revit contenant des maillages d'éléments du projet. À travers l'étude des divers outils et procédés, nous nous sommes efforcés de répondre à la problématique posée en début de PFE tout en évaluant les limites de cette dernière. En effet, plusieurs perspectives peuvent venir améliorer et prolonger notre approche. Nous avons pu voir que certaines étapes du processus ont mis du temps à être développées durant ces quatre mois et auraient nécessité un approfondissement afin de venir compléter la méthodologie mise en place. Nous citons notamment la problématique de la texture sur les modèles

### 6. LOG

Le LOG, *Level Of Geometry*, constitue la partie visible du modèle 3D et représente l'indice de précision géométrique attendu. Il renseigne l'apparence d'un élément, en allant du LOG 1 représentant schématiquement ou symboliquement l'élément, au LOG 5 avec une représentation détaillée (Kaeppli, 2022).



Figures 5. et 6. Famille d'objet maillé clos (gargouille) importé sur Revit avec Dynamo comme élément de type "solid" et travail de la texture.



maillés importés dans le projet Revit. De même, l'absence de normes concernant le HBIM nous a poussé à établir plusieurs "seuils" (en particulier sur les niveaux de LOG des éléments importés), mais qui gardent eux aussi certaines limites expliquées en détail dans le mémoire.

Somme toute, la programmation visuelle à travers l'utilisation du plugin Revit Dynamo a été l'un des pivots de cette étude grâce à ses nombreux nœuds permettant d'interagir avec la géométrie des maillages, entre autres avec l'utilisation du package "MeshToolkit". L'apparition de nouveaux plugins comme "Mesh Import" laisse à penser que ce procédé de modélisation deviendra plus courant, plus particulièrement sur des objets complexes ou encore sur des modèles de précision. L'importation des maillages au sein d'une maquette numérique géométrique deviendra donc probablement plus facile, et ce par l'ajout de plugins ou de logiciels "passerelle". On pourrait supposer que cette importation serait rendue plus fluide et paramétrable afin de ne pas alourdir et/ou ralentir les procédés de modélisation et de rendu, en pouvant,

par exemple, modifier après coup les paramètres des maillages. L'obtention d'un modèle numérique hybride, mêlant éléments paramétriques Revit et maillages externes, constituerait un atout de taille pour la représentation d'éléments et de bâtiments, notamment dans le domaine de la topographie.

Certaines solutions logicielles naissantes, comme "Reality Capture" ou encore "Unreal Engine", attestent de l'intérêt grandissant des sociétés pour le traitement de données 3D et pour leur rendu. On observe que ces dernières sont constamment plus précises et plus fiables et apportent une grande qualité visuelle du travail mené par les équipes. À ce jour, il est encore parfois nécessaire de passer par certains logiciels "passerelle" afin de charger les modèles dans les interfaces de rendus, ce qui ralentit le processus, mais nous pouvons observer que c'est de moins en moins le cas comme en atteste, par exemple, "Datasmith" qui permet de charger le modèle depuis un bon nombre de logiciels de modélisation vers Unreal Engine afin de réaliser le travail de rendu tout en accélérant le pipeline.





Par ailleurs, l'avenir de la modélisation des informations sur les bâtiments historiques (HBIM) semble prometteur, car il continue d'être un outil important pour la préservation des bâtiments et des structures historiques (figure 7). Un domaine où l'impact le plus significatif est celui du patrimoine virtuel, HBIM peut être utilisé pour créer des visites virtuelles de bâtiments et de structures historiques, permettant au grand public de les explorer d'une manière qui n'était pas possible auparavant.

Un autre domaine où l'impact sera important est celui de la planification, de la rénovation et de la conservation. L'intégration de technologies telles que la réalité augmentée, la réalité virtuelle et le BIM devrait également constituer une partie importante de l'avenir de HBIM. Ces technologies permettront aux modèles HBIM d'être plus interactifs et offriront la possibilité au public de découvrir des bâtiments et des structures historiques de manière plus immersive.

L'utilisation des techniques d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle jouera très probablement un rôle plus important dans l'avenir de HBIM. Ils peuvent être utilisés pour analyser de grandes quantités de données, permettant de détecter et de prévoir les problèmes potentiels qui peuvent affecter la préservation des bâtiments historiques. Néanmoins, il est important de garder à l'esprit qu'à ce jour les méthodes HBIM ne possèdent toujours pas de normes venant cadrer les procédés comme c'est le cas pour le BIM. Avec l'expansion et la diffusion de HBIM, nous pouvons cependant supposer que certaines règles verront probablement le jour à mesure que ce procédé gagnera en utilisation.

Finalement, bon nombre d'études actuelles se tournent de plus en plus vers des processus intégrant des intelligences artificielles. Des perspectives sont à envisager concernant ces procédés logiques et automatisés qui constituent des outils très intéressants reposant sur des algorithmes d'apprentissage automatique nommés *machine learning*. L'hybridation des processus de simulation numérique est aujourd'hui très prometteuse, en



Figure 7. Dessin de la façade de la cathédrale Saint-Étienne de Toulouse à partir du nuage de points géoréférencés réalisé par les équipes de Novatlas.

particulier concernant l'enrichissement et l'accélération des calculs intensifs. Le principe de recherche pourrait, par exemple, consister à "faire apprendre" les processus de maillage et de modélisation à un réseau de neurones en lui fournissant un large éventail d'échantillons de données pour que ce dernier puisse s'entraîner sur plusieurs cas de figure. ●

## Remerciements

Je tiens à remercier la société NOVATLAS de m'avoir accueillie pendant ce Projet de fin d'études pour l'élaboration de ce travail de diplôme. Merci également à l'INSA Strasbourg, ainsi qu'à la spécialité topographie, pour ces années d'études riches en formation et en apprentissage.

## Contact

Lucille FAUVEL

Master de topographie et master d'architecture, INSA Strasbourg  
faugel.lucille@yahoo.com

## Bibliographie

Kaeppli, L. (2022) *LOD simplement expliqué : Le LOD-Kiwi*. Récupéré sur Trimble : <https://construction.trimble.com/fr/resources/articles/lod-simple-expliqu%C3%A9-le-lod-kiwi>

Boualaoui, S. (2022). *Solution de numérisation, de maillage et de modélisation d'éléments complexes et architecturaux pour une intégration au logiciel Revit*. Strasbourg : INSA Strasbourg.

Dynamo. (ND). *Étude de cas de package - Mesh Toolkit*. Récupéré sur DynamoBIM : [https://primer.dynamobim.org/fr/11\\_Packages/11-2\\_Mesh-Toolkit.html](https://primer.dynamobim.org/fr/11_Packages/11-2_Mesh-Toolkit.html)

Macher, H. (2017, janvier 30). *Du nuage de points à la maquette numérique de bâtiment : Reconstruction 3D semi-automatique de bâtiments existants*. Thèse doctorale. Strasbourg, France : Université de Strasbourg.

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2013, janvier 9). *Historic building information modelling (HBIM) - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*. Récupéré sur ResearchGate, Dublin Institute of Technology, Ireland. Trinity College, Ireland. : [https://www.researchgate.net/publication/241582141\\_Historic\\_building\\_information\\_modelling\\_HBIM](https://www.researchgate.net/publication/241582141_Historic_building_information_modelling_HBIM)

Yang, X., Grussenmeyer, P., Koehl, M., Macher, H., Murtiyoso, A., & Landes, T. (2020, décembre).

*Review of Built Heritage Modelling: Integration of HBIM and Other Information Techniques*, ICube Laboratory UMR 7357, Photogrammetry and Geomatics Group, INSA Strasbourg, University of Strasbourg - 67084 Strasbourg, France.

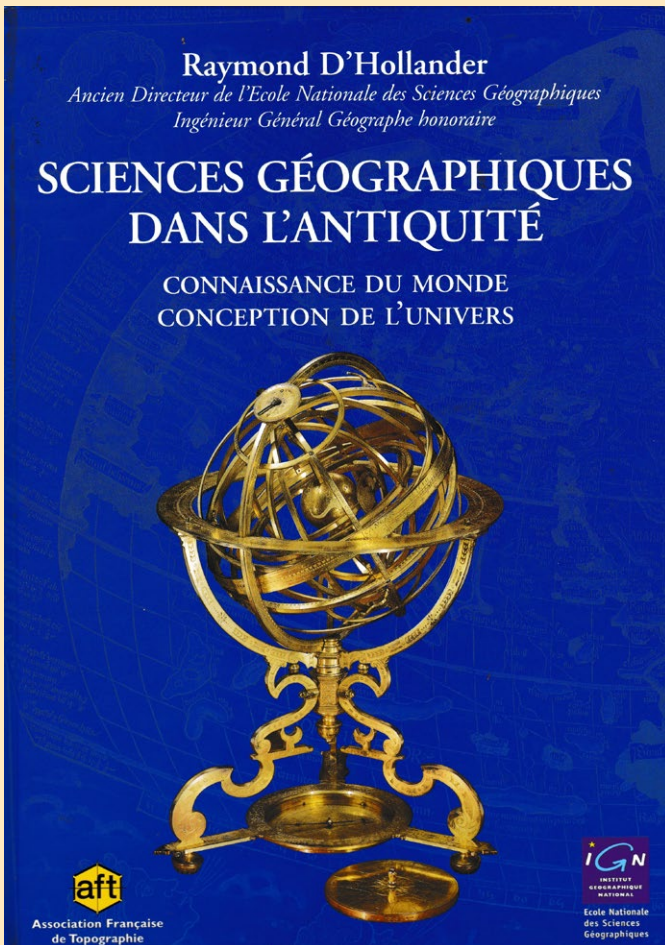


## ABSTRACT

**KEY WORDS:** BIM, HBIM, CAO, 3D scan, 3D modelling, photogrammetry, lasergrammetry, cultural heritage, , Dynamo, LOG, LOI, LOD, meshing, point cloud, interoperability, digital model, mappage, reverse engineering, Revit

*3D acquisition and complex mesh modeling are important techniques in the context of Historic Building Information Modeling (HBIM). 3D acquisition involves using technology such as laser scanning or photogrammetry to collect data about a building's geometry and details. The data collected from 3D acquisition can then be used to create a detailed, accurate digital model of the building. Complex mesh modeling is a method for numerically representing complex objects in a 3D model. It involves breaking an object down into a large number of small, flat faces, which are then connected together to form a mesh. This method is often used to create highly detailed models and is particularly useful in the context of HBIM because it allows for the capture of intricate details such as decorative elements and architectural features. Combining 3D acquisition and complex mesh modeling techniques allows for the creation of detailed, accurate digital models of historic buildings. These models can then be used for a variety of purposes such as renovation planning, conservation, and virtual tours. Furthermore, the model's accuracy and rich details will enhance the understanding of the building's history, context and development, allowing for more accurate preservation decisions. The use of 3D acquisition and complex mesh modeling in HBIM also allows for improved collaboration and communication between professionals involved in the preservation of historic buildings. These models can be easily shared and accessed by different stakeholders, facilitating the preservation process.*

*In conclusion, 3D acquisitions, and complex meshes modeling are powerful tools in the context of HBIM, allowing for the creation of detailed and accurate digital models of historic buildings, which can be used for a variety of purposes, such as renovation planning, conservation, virtual tours, and others. This approach can aid the preservation process, while enhancing the understanding of the building and its historical context.*



**Vous aimez l'article “Que dire – courtoisement – à un platiste ?” de Thomas Touzé ? (page 57)**

Soyez armés pour en discuter lors des fêtes de fin d'année, avec vos amis platistes préférés : retrouvez comment Ératosthène a mesuré la circonférence terrestre et comment la Terre a été décrite d'Hipparque à Ptolémée.

**Profitez du déstockage de la rentrée à l'AFT et achetez l'ouvrage “Sciences géographiques dans l'Antiquité” de Raymond D'Hollander (2003, 480 p.) à moitié prix, 15 € au lieu de 30 €.**

**Commandez sur le site [www.aftopo.org](http://www.aftopo.org) à la rubrique ouvrages.**