

La maquette numérique comme support de la restitution archéologique : application à l'église Notre-Dame de l'Île Barbe

■ Alexandre RÉTAT

En archéologie du bâti, la restitution agit comme la synthèse de l'ensemble des hypothèses de construction et d'évolution d'une structure. Si longtemps la 2D a servi de support à ces restitutions, la maquette numérique 3D apporte aujourd'hui un potentiel de précision et d'immersion incomparable.

Ce potentiel apporte néanmoins des problématiques liées aux notions de maquette numérique et de restitution archéologique, respectivement : le choix du niveau de détail (LoD) et la fiabilité des hypothèses de restitution. Par la création de l'indice de degré de fiabilité ou LoR (Level of Reliability), nous avons cherché à rapprocher ces deux notions avec, pour cas d'étude, l'abbaye de l'Île Barbe à Lyon (France).

MOTS-CLÉS

BIM, archéologie, LoD, LoR, Scan-to-BIM

architectes et archéologues ont cherché à étudier son histoire. Aujourd'hui, un projet collectif de recherche (PCR) porté par le laboratoire d'Archéologie et d'Archéométrie du CNRS (ArAr) et le Service Archéologique de la Ville de Lyon (SAVL) vise à mieux comprendre les enjeux autour de cette abbaye, sur son influence, mais aussi sur sa construction. Récemment, la question de la restitution archéologique de l'abbaye fut au cœur de la thèse soutenue par Charlotte Gaillard en 2016 [3] et dirigée par Nicolas Reveyron. Elle revient notamment sur quatre sites majeurs qui composaient l'ancienne abbatale : le secteur claustral, le prieuré Ste-Anne, la maison forte du Chatelard ainsi que l'église Notre-Dame, afin d'en proposer une restitution entre le XIII^e et le XV^e siècle. C'est en vue d'une meilleure appréhension du site que le projet de réaliser plusieurs restitutions sous forme de maquette numérique a vu le jour dans le cadre d'un mémoire de fin d'études à l'École supérieure d'ingénieurs géomètres et topographes

Introduction

L'archéologie et la topographie partagent une histoire conjointe. Si les données cartographiques en furent longtemps le principal vecteur, c'est aujourd'hui vers le monde de la 3D que l'archéologie se développe et notamment un de ses domaines : l'archéologie du bâti. Cette science, comme son nom l'indique, cherche à comprendre les étapes de construction et les évolutions d'une structure bâtie au travers d'analyses architecturales, topographiques, anthropologiques, historiques... Toutes ces analyses peuvent être ensuite amenées à être synthétisées au sein d'un outil : une restitution archéologique. C'est ici que les technologies modernes de modélisation 3D du bâti interviennent. Nous allons revenir sur le cas de la restitution archéologique de l'abbaye de l'Île Barbe, au nord de la commune de Lyon, et plus particulièrement sur son église Notre-Dame.

Contexte de l'étude

L'Île Barbe, située au nord de la commune de Lyon (69), accueille depuis le V^e siècle une abbaye qui inté-

resse aujourd'hui particulièrement les archéologues et historiens. Longue de 570 m et large de 120 m dans une orientation nord-est/sud-ouest, cette île de 4,5 hectares coupe aujourd'hui la Saône en deux bras de 50 m (figure 1). Considérée comme l'une des plus anciennes de France, l'abbaye de l'Île Barbe se développa pendant plus d'un millénaire entre le V^e siècle et la Révolution française de 1789, avant d'être totalement privatisée et en partie démolie. De Léopold Nièpce à Amédée Cateland, de nombreux chercheurs,

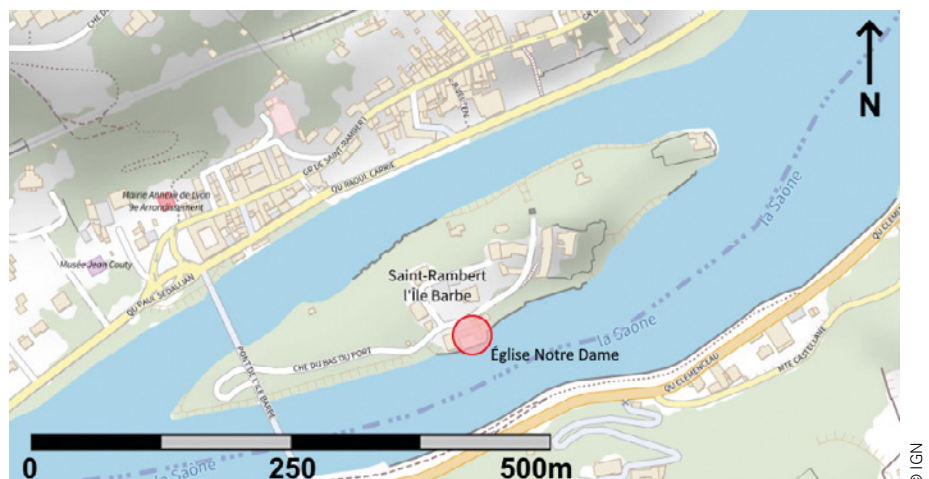


Figure 1. Plan de l'Île Barbe.



(ESGT). L'idée de cette restitution 3D fut originellement de repartir des restitutions 2D établies dans la thèse citée précédemment afin, simplement, de les extruder. Néanmoins, au vu de la qualité de détails rendue possible par la 3D, l'interactivité disponible par les outils de modélisation et l'immersion induite par l'environnement virtuel, nous sommes repartis aux sources des hypothèses afin d'effectuer une modélisation la plus fiable possible et dont tous les éléments représentés sont justifiés dans leur présence, leur forme, leur composition et leur aspect. Fut ainsi fait le choix de restituer ces quatre sites majeurs, suivant leurs étapes de construction, entre le X^e et le XVII^e siècle.

La maquette numérique et la restitution archéologique : quel rapprochement possible ?

■ Définition de la restitution archéologique [4]

Au cours de l'analyse d'un site, les archéologues du bâti vont être amenés à agréger un certain nombre de données provenant de fouilles, de relevés topographiques et photogramétriques, d'analyses de datation et de spectroscopie, ainsi que des recherches historiques afin de contextualiser l'édifice et de mieux comprendre sa fonction dans le temps et l'histoire. Les archéologues émettent ensuite des hypothèses sur la construction du ou des édifice(s) en s'appuyant sur ces données. La restitution agit alors comme la synthèse de ces hypothèses, présentant à la fois les éléments encore en élévation ainsi que les structures potentiellement altérées, voire détruites. La finalité d'une restitution archéologique est de servir à la fois comme un outil de travail pour les acteurs de la recherche historique, mais aussi de pouvoir servir dans un but de valorisation d'un site ou d'une méthode de recherche auprès du monde scientifique ou du grand public. Traditionnellement limitée à des supports en 2D, comme des plans et des coupes, le potentiel de précision et l'atout d'une immersion incomparable apportée par la 3D tendent à faire comprendre les grandes qualités de la maquette numérique comme support

de la restitution.

■ Le BIM : avantages et inconvénients pour la modélisation 3D de bâtiments historiques

Parmi les nombreux intérêts qu'offre le processus BIM, son approche de la modélisation est sans aucun doute l'un des plus significatifs, que ce soit pour la gestion d'édifices existants ou la conception de nouvelles constructions. Les méthodes de modélisation applicables sur les logiciels spécialisés tels qu'Archicad, Revit ou Microstation sont appelées "paramétriques", car ils permettent de créer des éléments de maçonnerie, de menuiserie, de charpente, etc. de manière paramétrée, facilitant ainsi l'ajustement des dimensions et de la composition des éléments. Les avantages d'une telle méthode de modélisation par rapport aux techniques dites "volumiques" et "surfaciques" sont nombreux : mise à jour rapide des modèles, relations entre les éléments facilitées, réutilisation de modèles... Néanmoins, une limite existe pour le cas d'éléments encore existants et à numériser présentant de fortes asymétries que l'on ne peut pas aisément normaliser. Ce cas de figure apparaît dans de nombreux bâtiments historiques où il est rare de trouver des murs réellement d'aplomb ou un sol parfaitement plat et de niveau. Le caractère "rigide" des logiciels spécialisés BIM devient alors un défaut et ne permet pas de s'adapter en permettant, par exemple, de déplacer les sommets du modèle un à un. Tout devient alors une question de tolérance quant à la justesse géométrique de la modélisation. Dans le cas d'une restitution, cette limite est néanmoins à prendre avec du recul. En effet, si certains sites à restituer peuvent être encore majoritairement existants, d'autres peuvent avoir été fortement altérés ou même avoir disparu. Idéaliser une colonne en la rendant circulaire ne pose alors plus de problème si celle-ci n'existe plus aujourd'hui.

■ Le rapprochement par le Level of Reliability (LoR)

Pour rapprocher le domaine de la maquette numérique créée par un processus BIM avec celui de la restitution archéologique, nous nous sommes

tournés vers le concept du niveau de connaissances [6] et [7]. Sur cette base, nous avons construit et développé au cours de ce travail l'échelle du *Level of Reliability* (LoR), qui vise à combiner la notion de *Level of Detail* (LoD) du BIM avec la notion d'hypothèse de restitution. Pour rappel, le LoD, échelonné de 100 à 500, représente le niveau de détail donné à un élément ou une structure dans le cadre d'une modélisation BIM. Un LoD 100 est le niveau de détail géométrique le plus bas et correspond à un simple volume (cube, sphère), quand le LoD 500 correspond au niveau le plus haut, par exemple issu d'un processus Scan-to-BIM d'une numérisation 3D. Notre notion de LoR est construite parallèlement au LoD et suit donc aussi une échelle de 100 à 500 [5] (figure 2). Elle représente la fiabilité des hypothèses de restitution, basée sur la quantité et la nature des preuves disponibles. Par exemple, si nous disposons de preuves matérielles, textuelles et iconographiques solides, le LoR est plus élevé, et nous pouvons utiliser un niveau de détail plus haut (proche du LoD 500). En revanche, en l'absence de preuve, le LoR est plus faible et le niveau de détail doit être ajusté en conséquence.

■ Adaptation du LoD au LoR

La question qui se pose alors : doit-on toujours appliquer le même niveau de détail (LoD) que le niveau de fiabilité (LoR) ? Ne peut-on pas au contraire offrir ou enlever du détail à certains éléments en s'éloignant ainsi des preuves quant à leur existence, leur taille ou leur composition ? Tout alors n'est que question de rigueur scientifique et de justification des hypothèses.

Application du LoR à la restitution de l'église Notre-Dame de l'abbaye de l'île Barbe

Dans notre exploration du rapprochement entre la maquette numérique et l'archéologie du bâti, l'église Notre-Dame se distingue par son *Level of Reliability* (LoR) assez élevé. Cela s'explique par de nombreuses sources de données qui ont contribué par la suite



	Présence / Absence	Formes	Matériau(x)	Aspect
LoR 100	La présence de l'élément n'est mentionnée que par peu de source et est atypique dans le contexte de la restitution.	Des informations de volumes, matériaux et aspect ne peuvent se baser sur aucune donnée matérielle et peu de données comparables.		
LoR 200	La présence peut être déduite d'après quelques sources anciennes et/ou par le caractère typique de cet élément dans le contexte de la restitution.	En l'absence de vestiges et donc sans analyses, les informations peuvent être supposées que par la comparaison avec des éléments du même type dans le même contexte.		Un premier aspect de l'élément peut être déduit à partir du/des matériau(x).
LoR 300	L'élément est cité ou illustré sur de nombreuses sources anciennes, textuelles ou graphiques.	Des volumes peuvent être déduits des sources graphiques ou reconstruits à partir de description textuelle.	Des sources textuelles ou graphiques anciennes permettent d'affiner le choix du/des matériau(x)	Les sources graphiques peuvent être utilisées pour améliorer le rendu de l'élément.
LoR 400	L'élément est constaté sur des sources plus récentes et/ou objectives : photographies, rapport scientifique sur la base d'éléments conservés au moment de l'étude...	Des volumes plus précis peuvent être extraits de données schématiques de l'élément (plan à l'échelle) ou de sources géométriquement objectives (photographies)	Le(s) matériau(x) peut être déduit de sources graphiques précises ou renseigné dans des rapports.	Une photographie de l'élément permet d'affiner la question de son aspect.
LoR 500	L'élément est encore existant et une analyse de datation atteste sa présence à l'époque de la restitution.	Les formes sont déterminées à l'aide d'une numérisation 3D de l'élément.	Des analyses de matériaux ont pu être appliquées à l'élément.	Une ortho-image de l'élément a pu être réalisée

Figure 2. Tableau de qualification du LoR d'un élément.

à une restitution archéologique de haute précision. Revenons sur certains éléments clés de cette restitution, de leur modélisation à la qualification de leur LoR et de leur LoD.

■ Sources d'informations abondantes

Depuis quelques années, l'église Notre-Dame a été étudiée en profondeur depuis diverses sources d'informations. Au préalable de notre modélisation, une recherche d'informations fut nécessaire. Des relevés archéologiques détaillés, comprenant des relevés pierre-à-pierre de matériaux et de phasage, des plans au sol de sondages, des documents textuels et iconographiques, datant pour le plus ancien du XVI^e siècle, ainsi qu'une première idée de restitution issue de la thèse de Charlotte Gaillard [3], ont ainsi permis de constituer la base de notre réflexion. Enfin, une numérisation lasergrammétrique effectuée par un géomètre en 2010 sur les structures encore existantes a fourni une base géométrique solide pour la

modélisation.

■ Évolution architecturale de l'église

L'église Notre-Dame, située au bord de la Saône, a été estimée comme étant reconstruite aux alentours du XI^e siècle sur un édifice plus ancien dont aucune

trace n'a été découverte. Au cours de leurs études, les archéologues ont défini quatre phases de construction qui leur paraissaient majeures dans l'édification de la structure. Tout d'abord le premier édifice du début du XII^e siècle, dont les maçonneries, encore existantes, offrent

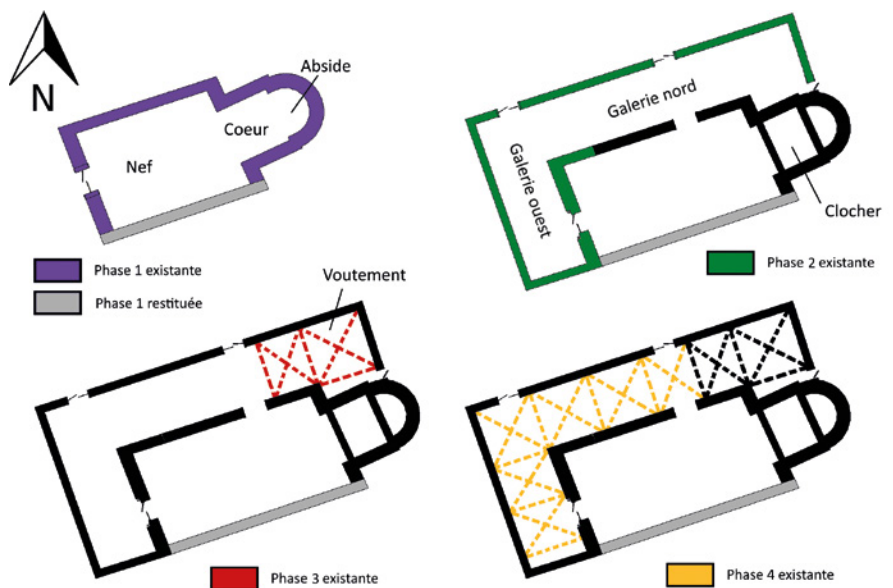


Figure 3. Phases de construction de l'église Notre-Dame.



un bon aperçu de la forme générale, avec une seule nef, un chœur et une abside (figure 3). Puis, au milieu du XII^e siècle, un clocher a été érigé au-dessus du chœur, accompagné d'une galerie charpentée au nord et à l'ouest. Au début du XIII^e siècle, un voûtement en pierre est monté au-dessus de la partie nord-est de la galerie dont la charpente est rehaussée. Enfin, au XV^e siècle, la galerie est entièrement voûtée, comme nous la voyons aujourd'hui. Ainsi, l'église et sa galerie mesuraient à leur apogée 24 mètres de long sur 9,5 mètres de large, surmontées d'un clocher de 27 mètres de haut. En 1840, le mur sud de l'église s'effondre dans la Saône si bien qu'aujourd'hui, ne subsistent que les galeries nord et ouest, le chœur, le clocher et l'abside de l'église. Ce sont ces quatre phases de construction et leur restitution respective qui furent l'objet de ce travail.

■ Le Scan-to-BIM

La numérisation par scanner 3D a permis d'obtenir une vision détaillée de l'état actuel de l'édifice. Elle a couvert le mur extérieur nord de la galerie ainsi que l'intérieur de l'édifice existant dans sa totalité, à l'exception de la galerie ouest. La première étape de notre modélisation fut donc de réaliser un processus Scan-to-BIM manuel [1] et [2] à partir du nuage de points issu du balayage laser (figure 4). En cela, nous recréons un modèle de ce qu'est l'édifice aujourd'hui, avec une précision quantifiable par un algorithme de calcul d'écart entre nuage et maillage (Cloud-to-Mesh dans le logiciel

CloudCompare) sur lequel nous reviendrons ultérieurement. Nos phases de restitution se feront donc dans le sens inverse de l'histoire. C'est en se basant sur la numérisation de l'existant que nous remonterons le temps jusqu'à la première phase qui nous intéresse : le XII^e siècle.

■ Choix de la méthode Scan-To-BIM et quantification de la justesse géométrique

La numérisation a permis de déterminer avec précision la forme et la structure de l'intérieur de l'édifice existant et particulièrement de son voûtement. Celui-ci fut, à l'occasion de relevés archéologiques, daté du XIII^e siècle pour sa partie nord-est et du XV^e pour le reste de la galerie. Afin de réaliser une modélisation à l'aide de cette numérisation, deux choix s'offrent à nous : le maillage ou la modélisation paramétrique (couramment évoquée sous le terme Scan-to-BIM) [1] et [2]. Le maillage consiste, via divers algorithmes de reconstruction ("*Ball-Pivoting Algorithm*", algorithme de Poisson, etc. [8] et [9]), à relier les points d'un nuage afin de recréer un ensemble de faces triangulées, tandis que le Scan-To-BIM consiste à redessiner de manière automatique (par exemple une approche de détection de formes paramétrées par algorithme de Ransac, [10]), semi-automatique ou entièrement manuellement des formes paramétrées au plus proche de la numérisation. La méthode du maillage offre le principal avantage de fournir un modèle par définition extrêmement proche de la numérisa-

tion, car les faces sont créées depuis les points du nuage sans subir de transformation. Néanmoins, elle apporte trois défauts majeurs au modèle final.

Pour commencer, la numérisation doit être exempte de tout défaut, notamment par l'absence de zone blanche, c'est-à-dire d'espace non numérisé. Si tel était le cas, au mieux les faces contiguës seraient étirées afin de combler l'absence de données et en résulterait un modèle peu fidèle et, au pire, la modélisation disposerait d'un trou dans le modèle à cet endroit. Or, il est courant d'avoir dans un nuage de points des espaces vides, car de nombreux détails peuvent être inaccessibles au faisceau du scanner. C'est particulièrement le cas dans des monuments historiques, car beaucoup d'entre eux disposent de détails fins tels que des corniches, des chapiteaux ou des arcs et parfois à des hauteurs difficilement accessibles.

La deuxième limite est que la modélisation ne serait pas catégorisée. En effet, dans leur forme primaire, les points d'un nuage de points issus de traitements lasergrammétriques ou photogrammétriques ne sont pas classés, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible de dire que tel ou tel point est situé sur un mur, une porte etc. De ce fait, le modèle 3D issu du maillage ne sera pas catégorisé et donc, il sera par le fait même impossible de déterminer si telle ou telle face représente un mur ou une porte. S'il existe des algorithmes, principalement par *machine learning*, capables de qualifier la nature des éléments avec une relative précision [11], il s'agit d'un procédé encore difficile à appliquer et peu pertinent dans le cadre de ce projet.

Une troisième limite est que la modélisation sera extrêmement lourde en raison du nombre de faces la constituant. Si nous prenons le cas du voûtement de l'église Notre-Dame, nous avons fait la comparaison entre le maillage du nuage sous-échantillonné et le modèle modélisé par Scan-to-BIM et nous obtenons :

Nature	Nombre
Points avant éch.	24 850 404
Points après éch.	500 000
Faces - maillage	706 581
Faces - StB	10 671

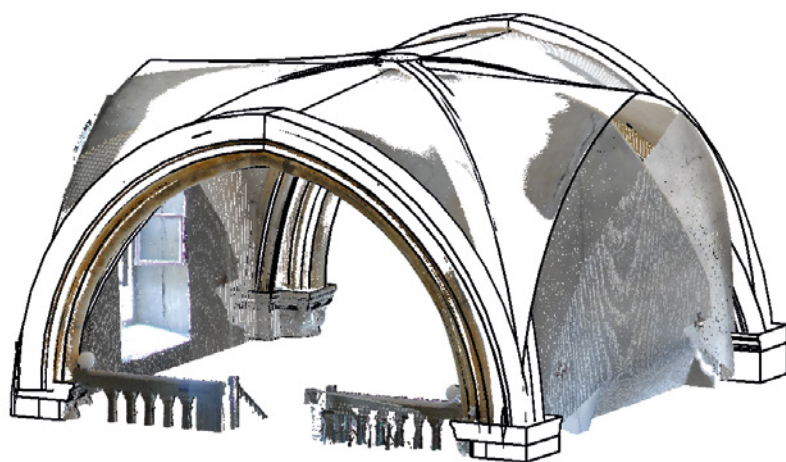


Figure 4. Illustration du procédé Scan-to-BIM sur le voûtement de l'église Notre-Dame.



L'approche Scan-to-BIM fut donc privilégiée, car il résout ces problématiques et ainsi une majeure partie de la restitution au XV^e siècle de l'édifice se base sur la numérisation. C'est à l'aide du logiciel Autodesk Revit que fut effectué ce travail. Étant donné le caractère asymétrique de chaque voûtement, le nuage de points fut découpé afin d'en extraire des informations pour chaque demi-quartier. La création d'un voûtement suit ainsi quatre étapes, décrites dans la *figure 5* ci-dessous.

Malgré la perte de précision qu'implique cette méthode par rapport au maillage, une fonction de calcul de distance nuage à maillage (C2M ou Cloud to Mesh) fut utilisée sur le logiciel libre CloudCompare afin de quantifier la distance moyenne entre le nuage de points initial et le modèle réalisé par méthode Scan-to-BIM (*figure 6*). Avec une moyenne de 2,5 cm et un écart-type de 3,9 cm pour les plus petites distances entre l'ensemble des points et le modèle, ce dernier est considéré largement acceptable pour les besoins des archéologues.

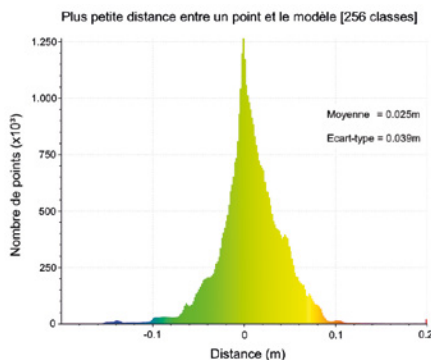


Figure 6. Histogramme de la distance cloud-mesh.

■ Détermination du LoR du voûtement

À l'issue de ce processus lié de près à la numérisation, le niveau de détail final se révèle proche de 500. Bien que nous aurions pu choisir un niveau de détail plus bas, nous évitant par le fait même la modélisation somme toute longue de l'ensemble du voûtement, nous avons ici fait le choix du niveau de détail maximal pour deux raisons. Premièrement, car la donnée est tout simplement disponible et fiable et que toutes les informations textuelles,

graphiques et de datation, combinées à la numérisation nous assurent un LoR de 500 sur ce voûtement. Secondement, l'église Notre-Dame est, pour le grand public, l'édifice typique de ce site historique, par l'excellente conservation de sa voûte et car elle est pratiquement le seul encore en élévation, souvent visible lors d'expositions et visible depuis les berges.

■ Reconstruction de la charpente de la galerie

La charpente de la galerie nord et ouest fut l'objet du plus grand nombre de questionnements d'ordre architectural. Si nous ne disposions que de peu d'informations sur son assemblage, de nombreuses contraintes révélées au cours de la modélisation, ainsi qu'une analyse comparative avec d'autres édifices présentant les mêmes caractéristiques, ont amené à une modélisation très détaillée tout en conservant une justification argumentée sur tous ses éléments constitutifs.

Afin de dimensionner les éléments de charpente (pannes, chevrons, voliges), nous avons pu nous fier à un procès-verbal du XVI^e siècle, supposément établi à l'issue de l'incendie de la charpente dû aux guerres de Religion et particulièrement au saccage de l'abbaye de 1562 qui fait une description de la charpente de la nef, avec par exemple la mention de pannes de largeur 15 cm espacés de 35 cm. Étant un dimensionnement assez classique, en l'absence d'éléments précis sur la charpente de la galerie et après avis d'un architecte des monuments historiques, nous

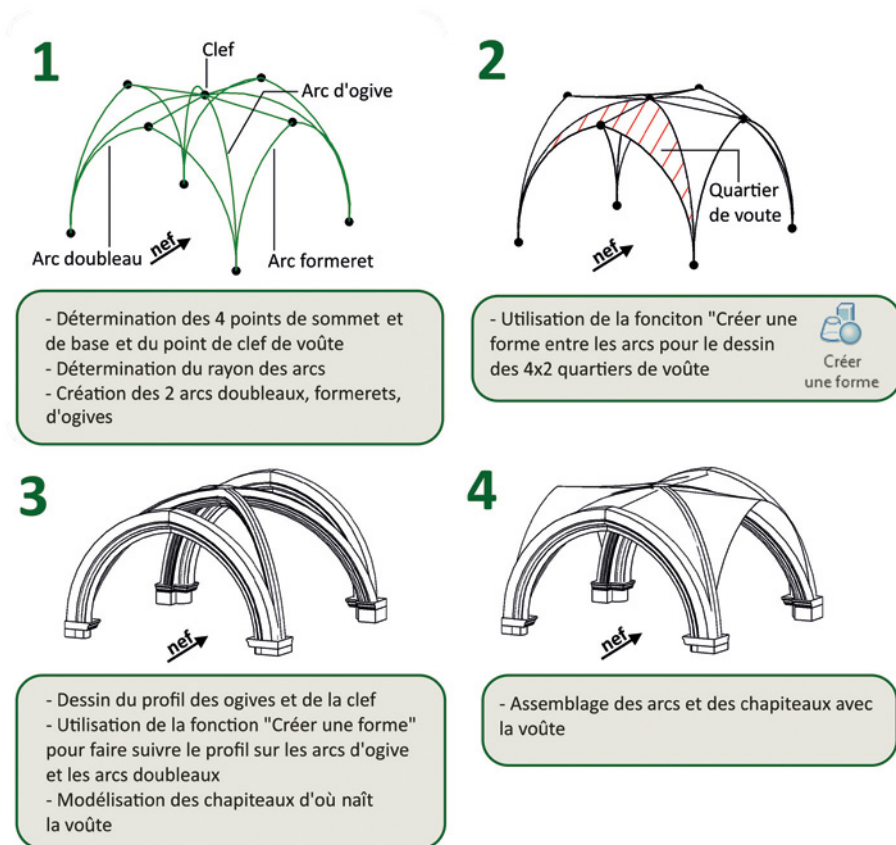


Figure 5. Étapes réalisées pour le Scan-to-BIM manuel du voûtement.

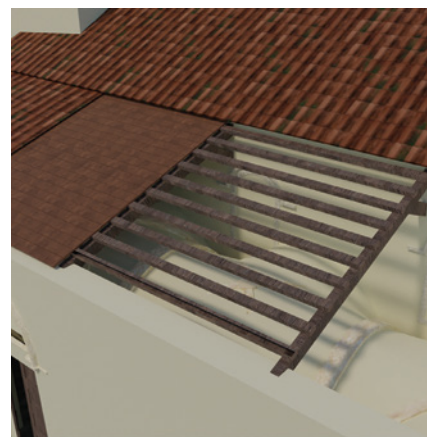


Figure 7. Décomposition de la charpente aux phases 3 et 4 (par Revit).



Figure 8. Ossature de la charpente à la phase 2.



avons conservé pour la galerie le même dimensionnement que celui décrit pour la nef, et ce, même aux époques antérieures au procès-verbal (figure 7).

Pour la restitution de la deuxième phase, la charpente fut particulièrement complexe à appréhender et à modéliser, car elle ne ressemble en rien à ce qui peut exister aujourd'hui. Il est attesté qu'en l'absence totale du voûtement, les murs extérieurs étaient plus bas qu'aujourd'hui. De plus, bien que le voûtement n'existe pas encore, les colonnes sur lesquelles il repose aujourd'hui sont datées, pour l'ensemble, à cette deuxième phase. L'hypothèse la plus probable quant à la fonction de ces colonnes est qu'elles supportaient les demi-fermes de la charpente (figure 8). Les éventuelles empreintes dans les murs laissées par ce premier état de cette charpente ne peuvent néanmoins être observées, car elles seraient situées sous le voûtement actuel.

Cette hypothèse, basée sur une analyse architecturale et historique et non sur des preuves matérielles, ne peut donc octroyer à cette charpente un LoR très haut. Par le tableau de la figure 2, nous

pouvons le quantifier entre 200 et 300. Néanmoins, nous avons fait le choix de lui attribuer un niveau de détail plus important, car d'une part, les hypothèses de dimensionnement et d'agencement des pièces, même si elles ne se basent pas sur des preuves matérielles, sont justifiées par une analyse architecturale et stylistique et, d'autre part, en vue de la valorisation du site auprès du public, un enjeu important sur lequel nous reviendrons.

■ Modélisation des chapiteaux

Particulièrement bien conservés, ce ne sont pas moins de 18 chapiteaux sculptés qui ornent encore aujourd'hui la galerie de l'église Notre-Dame. Véritables témoins de l'artisanat et de la créativité de leur époque, leur présence dans la maquette finale s'est vite révélée primordiale. Cependant la question de la méthode de modélisation s'est rapidement posée comme une problématique. Trois choix se présentaient : dessiner une forme simplifiée et y appliquer une ortho-image, mailler le nuage issu du balayage laser ou effectuer une campagne photogrammétrique. Très vite, le maillage de la numérisation obtenu par balayage laser fut abandonné au vu de la trop faible résolution en face de celui-ci sur ces chapiteaux très détaillés. Par la suite, la première idée d'appliquer une ortho-image sur une forme simple fut elle aussi abandonnée, malgré l'avantage du faible volume de la donnée, car le rendu n'était pas satisfaisant. Nous avons donc effectué un levé photogrammétrique, maillé le nuage dense obtenu et appliqué la texture issue des photographies. Ainsi, nous obtenons le meilleur niveau de détail possible, soit un LoD de 500 : la forme est au plus proche de la réalité grâce à la



Figure 9. Chapiteau de la galerie nord, (haut) texture basée sur une ortho-image, (bas) texture pseudo-réaliste.

numérisation et l'aspect est réaliste, car issu de photographies. Cette approche peut ainsi paraître idéale, car nous avons sur ces chapiteaux un LoR également de 500. Néanmoins, cette méthode prévue initialement ne fut pas exactement celle retenue, car nous avons fait le choix de baisser le LoD. Cette décision fut justifiée par la volonté d'utiliser la maquette numérique pour s'adresser au grand public. La valorisation du patrimoine bâti est en effet un enjeu important, que ce soit pour ce site ou tout autre monument historique. Si la maquette numérique reste un formidable outil pour la compréhension d'un site, elle présente néanmoins deux risques quand on l'associe à la restitution archéologique. Premièrement, l'immersion créée par l'environnement 3D ne se réalisera que par l'harmonie graphique du modèle (figure 10 - figure 11). Cela se joue particulièrement au niveau des textures qui ne se doivent pas nécessairement d'être réalistes, mais au moins homogènes dans leur style. C'est cette raison qui nous a poussés à réduire le niveau de détail de nos chapiteaux en leur enlevant leur texture réaliste (figure 9).

Pour le cas de la restitution de l'abbaye de l'Île Barbe, nous avons cherché à rendre un aspect le plus réaliste et



Figure 10. Restitution de la galerie nord au XII^e siècle (phase 2).



Figure 11. Vue extérieure de la restitution de l'église Notre-Dame au XII^e siècle (phase 2) logiciel Blender.

homogène possible sur l'ensemble des modèles. Nous avons choisi des textures pseudo-réalistes sans soudure, car nous ne pouvions utiliser uniquement des ortho-images étant donné que la plupart des sites ont disparu ou sont inaccessibles.

Le second risque que comporte l'utilisation de la maquette numérique comme support de la restitution archéologique auprès du grand public intervient dans la propagation de fausses informations. Il est en effet rapide de penser que la maquette représente parfaitement l'état d'un édifice à une époque donnée. Le fait que la maquette n'agit que comme la représentation d'hypothèses peut échapper facilement au public, notamment aux plus jeunes, et il est donc important de faire comprendre que la recherche historique n'a pas encore tout résolu. Cela risque de provoquer la diffusion de fausses idées quant à l'état de la connaissance historique. C'est pour cela que la maquette doit se situer dans un important cadre pédagogique. La notion de LoR peut aussi être utilisée, par exemple en filtrant les éléments de la maquette selon le niveau de connaissance que la recherche historique en a.

Conclusion

En somme, l'église Notre-Dame illustre parfaitement le rapprochement qui peut

être fait entre la maquette numérique et la restitution archéologique par la notion de niveau de fiabilité. Nous avons ainsi pu voir quels choix peuvent justifier de donner plus ou moins de détails à un élément selon son niveau de fiabilité et donc, selon la quantité et la qualité des preuves matérielles à disposition. Toutes restitutions étant fondées sur des hypothèses, celles-ci ont été justifiées et d'autant plus lorsque le niveau de détail apporté s'éloignait de l'état de la connaissance.

Enfin, la réussite de la restitution archéologique de l'église Notre-Dame ainsi que de l'ensemble de l'abbaye de l'Île Barbe repose sur une collaboration étroite entre les analyses archéologiques, historiques, les données topographiques et les contraintes architecturales. Cette approche interdisciplinaire a permis de redonner vie aux édifices du passé, tout en garantissant la fiabilité des informations présentées. ●

Bibliographie

[1] M. de CARVALHO JERONIMO BARBOSA (2018) - *As-built building information modeling (BIM) workflows: from point cloud data to BIM.*

[2] G. ROCHA et al. (2020) - *A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings.*

[3] C. GAILLARD (2016) - *L'abbaye de l'Île-Barbe à Lyon, V^e - XIII^e siècles. Archéologie et topographie d'une fondation monastique insulaire.*

[4] *Idées et débats de la restitution archéologique (2014)* - Édition du Patrimoine (Centre des monuments nationaux) - Direction de VALLET Christophe.

[5] T. BENAZZI (2018) - *Restitution 4D du Château du Kagenfels par combinaison de l'existant et d'hypothèses archéologiques pour une visite virtuelle du site* - INSA DE STRASBOURG.

[6] N. DELL'UNTO et al. (2013) - *Digital reconstruction and visualization in archaeology.* Lirmm.Fr, Pages 621-628.

[7] T. LANDES et al. (2019) - *Uncertainty visualization approaches for 3d models of castles restituted from archeological knowledge.* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 409-416.

[8] N. WONQWAEN et al. (2015) - *Method of 3D Mesh Reconstruction from Point Cloud Using Elementary Vector and Geometry Analysis.*

[9] F. BERNARDINI et al. (1999) - *The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction.*

[10] R. SCHNABEL et al. (2007) - *Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection.*

[11] H. ZHANG et al. (2023) - *Deep learning-based 3D point cloud classification: A systematic survey and outlook.*

Contact

Alexandre RÉTAT

Ingénieur géomètre topographe ESGT - Doctorant en géographie physique au CNRS (UMR 8591)

alexandre.retat@cnrs.fr

ABSTRACT

In building archaeology, restitution acts as the synthesis of all hypotheses regarding the construction and evolution of a structure. For a long time, 2D representations served as a basis for these reconstructions, but today, 3D digital modeling offers an unparalleled potential for precision and immersion. However, this potential brings with it challenges related to the concepts of digital modeling and archaeological restitution, specifically: the choice of the Level of Detail (LoD) and the reliability of the reconstruction hypotheses. By introducing the Level of Reliability (LoR) index, we aimed to bridge these two concepts, with the case study of the Abbey of Île Barbe in Lyon, France.