

De la maquette 3D au SIG 3D pour la gestion du patrimoine archéologique



Mathieu KOEHL mathieu.koehl@insa-strasbourg.fr

Camille LOTT camille.lott@insa-strasbourg.fr

MAP-PAGE UMR 694 CNRS/MCC

INSA de Strasbourg 24 Boulevard de la Victoire F-67084 STRASBOURG, France

Cet article présente la méthode de constitution d'une maquette tridimensionnelle de l'église abbatiale de Niedermunster (« l'abbaye du bas ») dans son état actuel. Ce modèle a été créé en combinant plusieurs techniques d'acquisition partant de la topographie classique, passant par la photogrammétrie et utilisant intensément la mesure de nuages de points à partir d'un scanner laser 3D terrestre. Le site est remarquable pour son architecture et son histoire, mais aujourd'hui il n'en subsiste que des ruines.

Dans ce contexte, il a été décidé de numériser ce monument archéologique ainsi que toute la documentation existante. Dans le même temps, une collaboration de recherche a été mise en place pour la sauvegarde et la mise en valeur du site.

L'article décrit les différentes étapes de la numérisation jusqu'à la constitution du modèle virtuel 3D et son intégration dans un SIG 3D en vue de sa mise à disposition du public sous forme de borne interactive et des historiens sous forme de Système d'Information Pédagogique et Historique.

Introduction

Localisées au pied du Mont Sainte-Odile, les ruines subsistantes peuvent être considérées comme la localisation originelle du site. Les ruines encore visibles aujourd'hui correspondent à l'église abbatiale construite entre 1150 et 1180. L'abbaye, de style roman, a été détruite pendant la guerre des paysans (1525), puis après différents incendies (1542, 1572). Le site a ensuite été utilisé comme carrière de pierres jusqu'au XIX^e siècle. La base du massif occidental encore existant, tout comme la crypte encore bien érigée, permettent d'imaginer la beauté et la splendeur de l'édifice original.

D'un point de vue architectural, l'église abbatiale comporte une nef à trois ensembles de voûtes croisées avec alternance de piliers et deux tours massives encadrant un porche à son extrémité ouest. Le transept est débordant et le chœur rectangulaire est entouré de chapelles carrées. L'église abbatiale comporte également une grande crypte consacrée vers 1180.

Le site est remarquable du fait de son architecture comme de son histoire, mais il ne subsiste aujourd'hui malheureusement plus que des ruines, qui, sans le travail passionné des archéologues, ne seraient plus que des tas de pierres.

C'est dans ce contexte qu'il a été décidé de numériser tous les documents et toutes les connaissances disponibles et faisant référence à ce site. En même temps, une collaboration de recherche mise en place avec la Communauté de Communes du Canton de Rosheim [CCC-R@, 2007] doit permettre la mise en valeur du site et notamment de toutes les connaissances acquises à travers les différentes fouilles. Les techniques de relevé topographique, photogrammétrique et les plus récentes techniques de relevé scanner 3D ont largement été combinées et mises à contribution pour la numérisation du site. Ces données ont ensuite été modélisées en 3D et structurées de manière à être intégrées dans un SIG 3D. Les perspectives de l'utilisation du SIG en 3D n'en sont qu'à leur début. D'ores et déjà, la reconstruction virtuelle de l'église abbatiale dans sa forme originelle

est envisagée. L'intégration des différentes étapes et des différents résultats des fouilles archéologiques dans un même environnement permettra de mieux comprendre et de retracer les différentes étapes de la vie de ce monument pour en informer le public.

Caractéristiques

La Figure 1 montre une hypothèse de reconstitution du site complet. Aujourd'hui, il ne subsiste que des ruines de l'église abbatiale, une grange à l'emplacement du logement des moniales et une maison forestière. L'église abbatiale qui nous concerne plus particulièrement avait une longueur d'environ soixante quinze mètres sur une largeur d'une cinquantaine de mètres. Elle comportait des extensions qui sont difficilement reconnaissables dans son état actuel. Une grange du début du XX^e siècle sera également intégrée dans le site.

D'un point de vue altimétrique, il existe plusieurs niveaux différents. Le porche d'entrée est surélevé par rapport à la nef, tout comme le chœur. La crypte, en revanche, se situe en contrebas de plusieurs mètres.

Des escaliers, partiellement subsistants, constituent les délimitations et les communications entre les différents lieux. Le massif occidental, imposant, est la seule partie encore en place. Il n'en reste les vestiges que jusqu'au premier étage. Il se compose, en fait, d'un porche d'entrée avec une voûte caractéristique et de cages comportant des escaliers en colimaçon, également voûtés, permettant l'accès au niveau supérieur. Ces deux cages d'escaliers sont restées intactes et de ce fait sont intéressantes pour la phase de modélisation. Les escaliers droits permettant l'accès à la crypte sont également dans un bon état de conservation. Ils sont cependant

à découvert. La salle capitulaire, quant à elle, n'est reconnaissable que par quelques éléments de murs et est utilisée comme lieu de stockage de vestiges de fouilles. Enfin, les bases de quelques piliers de la nef sont encore visibles. Il en existe à fondement circulaire et d'autres à fondement en croix.

Les étapes

Relevé et modélisation du site dans son état actuel

La première étape consiste en un relevé du site dans son état actuel, dans le but d'en constituer un modèle 3D interactif. Ce modèle 3D permettra de mieux connaître le site en ce qui concerne ses dimensions, ses détails, son mode de construction.

Le modèle 3D est élaboré sur la base d'une maquette virtuelle structurée permettant une exploitation plus fine dans le cadre d'un système d'information plus complet du site. La constitution du modèle, même s'il s'agit d'un objectif relativement simple, a été réalisée en mettant en place une méthodologie de relevé très élaborée dont les objectifs vont bien au-delà de la première étape. De plus, l'utilisation combinée de plusieurs instruments comme le tachéomètre, le scanner laser 3D, la station mixte, etc. permet d'utiliser et de définir les technologies et les méthodologies les plus adaptées à chaque type de relevé, à chaque type d'élément restitué.

En effet, certaines parties en bon état de conservation ont été modélisées de manière très simple sous la forme de faces planes qui sont texturées. Le relevé consiste en la mesure de quelques points. La modélisation est aisée. D'autres parties, plus dégradées par le temps, ont nécessité des méthodes de modélisation plus avancées. Ainsi avons-nous utilisé

des nuages de points obtenus par scanner laser 3D à partir desquels on extrait des maillages partiels.

La phase de modélisation pour l'obtention du modèle 3D a également été définie pour être la mieux adaptée à la structuration du système d'information.



Figure 1 – Reconstitution du site complet par Wolf 1902 [Vogt, 2002].

Reconstitution de l'église abbatiale

La deuxième étape programmée consistera en la reconstitution de l'église abbatiale dans ses hypothétiques configurations historiques. Les données produites par les archéologues (croquis d'hypothèses, descriptions plausibles, etc.) seront alors très importantes, car elles serviront de base aux travaux de reconstitution.

Les phases très longues de relevés ne concernent donc que la première étape, la seconde étant réalisée uniquement à l'aide de modélisateurs.

Le projet est ainsi établi pour rendre le site accessible au public de manière virtuelle. En effet, l'ouverture du site lui-même n'est pas envisagée pour le moment pour des raisons de gestion des accès et pour éviter des dégradations inévitables. Il est ainsi envisagé l'installation d'une borne interactive au niveau du Mont Sainte-Odile qui est le couvent principal auquel notre site en question est rattaché.

Relevé 3D

Un plan topographique a été réalisé en 1980 sous la direction de l'archéologue en charge du site, Monsieur Jacques Preiss. Ce plan comporte les détails topographiques encore visibles sur le site, ainsi que certaines parties disparues qui ont été redessinées par symétrie. Le plan est très détaillé et relativement précis, mais il faut garder à l'esprit son aspect « théorique » (à cause de la symétrie choisie), ce qui implique inévitablement un degré de simplification et donc d'imprécision. Ce plan a été numérisé et sert de base au nouveau relevé.

Le nouveau relevé utilisant les méthodes topographiques a été effectué pour confirmer les hypothèses qui y ont été introduites. La partie basse de l'édifice, comportant notamment la crypte, n'y est pas représentée. Les informations altimétriques ont également été rajoutées car celles-ci, manquantes sur les plans initiaux, sont importantes pour ce site présentant un dénivelé de plusieurs mètres entre les différentes parties.

Les méthodes de documentation archéologiques reposent sur des carnets de fouilles représentant les différents éléments sous forme de croquis de relevés géo-positionnés. Ces carnets concernent les parties inférieures fouillées qui ne sont plus accessibles aujourd'hui. Il s'agit là d'éléments pouvant être associés et intégrés au futur système d'information sur le site. Enfin, l'archéologue a proposé des hypothèses de reconstitution du site entier. Cette partie de la documentation servira de base à une future étape de reconstitution numérique du site.

1. Relevé topographique

Ce relevé topographique de points 2D (avec indication de l'altitude) effectué par tachéométrie, permet de positionner très précisément

les différents éléments caractéristiques des ruines. Il sera également très important pour la phase de recalage de toutes les opérations de fouilles effectuées précédemment, et dont les éléments pourront être intégrés dans une version plus aboutie du modèle. Ce relevé se fait sous le contrôle de l'archéologue en charge du chantier qui précise notamment si l'élément relevé se retrouve à sa position initiale et historique ou bien s'il a déjà éventuellement été « repositionné » lors de travaux de reconstitution. Le relevé topographique est calé en plan et en altitude grâce à la détermination de points de référence mesurés par GPS. Le relevé topographique permet également l'extraction simple de quelques points en altitude le long des éléments encore présents. Ces contours 3D seront utilisés lors de la constitution du MNT servant de socle de base au site.

Certains éléments caractéristiques comme les escaliers en colimaçon du massif occidental ont été relevés en utilisant des méthodes mixtes : tachéométrie, station totale (Trimble VX) et scanner 3D (Trimble GX). L'utilisation de ces différentes méthodes permet notamment de les comparer et de déduire des spécifications pour chacune d'entre elles en fonction du contexte particulier.

2. Relevé scanner 3D

Principe : La deuxième phase de travaux de terrain consiste en un relevé par scanner laser 3D du site complet. Un scanner laser Trimble GX est utilisé à cet effet. Il permet l'acquisition de nuages de points pour lesquels la densité est définie par l'opérateur. Une densité de point de 3 cm à 30 m a été utilisée dans le cas général. Les nuages de points obtenus sont géoréférencés, les informations pour chaque point sont donc constituées par les coordonnées X, Y et Z dans le système de référence, complétées par une information d'intensité et

de couleur. Pour la numérisation complète du site nous avons utilisé quinze stations du scanner laser et relevé environ 30 millions de points.

3. Relevé photogrammétrique

Les relevés précédents sont complétés par des relevés photogrammétriques à partir de photographies aériennes prises à bord d'un ballon captif. Ce dernier a pu être déplacé régulièrement d'une dizaine de mètres dans le sens longitudinal, ce qui permet d'obtenir un recouvrement dans la même direction de l'ordre de 70 %.

Dans le cas de cette étude, les différents relevés précédents sont très complémentaires et donnent des indications très précises : sur le positionnement (X, Y, Z) de points caractéristiques pour le premier mode, sur la forme (souvent complexe), la nature des surfaces et la hauteur des objets tridimensionnels pour le second mode de relevé et enfin sur les textures et la composition d'ensemble pour le dernier type de relevés.

Traitement des données

Les opérations de terrain sont suivies par des opérations de traitement des données permettant d'aboutir à différents niveaux de modèles 3D des ruines.

Les traitements classiques sont appliqués aux différentes données. Nous veillons particulièrement à la structuration des données en ensembles de données groupés en composants, suivant un modèle de données élaboré pour la gestion des différents éléments constitutifs dans un SIG 3D servant de base à l'applicatif pédagogique. Les éléments numérisés sont ainsi positionnés sur différents « calques » (assimilables aux « couches » caractérisant les SIG).

Alors que le traitement des données topographiques suit un schéma classique, les étapes du traitement des nuages de points issus des scans TLS sont décrites dans ce qui suit.

Les étapes successives sont :

- ✦ Mise en place d'un canevas de points d'appui au GPS (complété par des points levés au tachéomètre dans les zones où les masques (proximité de grands arbres) ne permettent pas l'utilisation du GPS) ;

- ✦ Acquisition de données au scanner laser 3D avec réglage des paramètres de mesure en fonction des éléments scannés ;

- ✦ Consolidation des différents nuages à partir des points de référence et détermination de nouvelles stations de scanner durant le processus de mesure ;

- ✦ Contrôle des coordonnées des stations par mesures tachéométriques de précision ;

- ✦ Nouvelle consolidation des nuages avec ces nouvelles coordonnées ;

- ✦ Segmentation par éléments caractéristiques (en fonction de la structure et de la décomposition en couches adoptée) ;

- ✦ Extraction de profils, de formes, de dimensions, de coordonnées, de hauteurs, etc. ;

- ✦ Modélisation conformément à la structure ;

- ✦ Extraction de courbes de niveau pour MNT.

Après nettoyage et suppression des points non significatifs, les nuages de points sont « segmentés » en éléments constitutifs des différents composants. Les volumes sont obtenus à partir des traces au sol (re-projetées en altitudes sur un MNT obtenu à partir du nuage de points), ou à partir des différentes arêtes par extrusion. Ces traitements donnent lieu à des éléments tridimensionnels délimités par des faces. Ces faces seront très importantes dans le modèle de données (Figure 2), puisque ce sont elles qui comportent les applications de textures réalistes.

Des parties en ruine sont modélisées par des surfaces maillées obtenues directement à partir des nuages de points.

Le modèle final comporte ainsi des parties « telles que saisies » (subsistantes) en état « initial » remodelées géométriquement à l'aide de faces, et d'autres, en état dégradé, modélisées par des maillages (Figure 3).

Certains compléments de traitements sont effectués, notamment dans le cas de piliers circulaires ou d'autres parties courbes qui peuvent être modélisées par extrusion à partir de profils.

Enfin, la texturation des différentes faces est appliquée à partir de photographies détaillées.

Le traitement des nuages de points a été effectué en utilisant la suite logicielle *Realworks Survey* (Trimble).

Modélisation 3D

Le modèle géométrique et sémantique repose sur un modèle de données (Figure 2) structuré pour une exploitation dans un SIG 3D.

Ainsi, l'église abbatiale est-elle constituée d'espaces internes. Ceux-ci sont définis comme étant des lieux particuliers de l'édifice, caractérisés d'après leur fonction dans la vie monastique. Chaque espace interne peut être décomposé en sous-espaces qui sont des subdivisions de l'espace interne et constituent des volumes non clos de murs, mais compris entre plusieurs objets physiques. Ils sont appelés « travées ».

Les espaces internes sont découpés en sous-espaces composés d'objets volumiques ou/et d'objets surfaciques :

- ✦ Un objet volumique est un objet formé d'un ensemble de faces qui forment en plan un polygone. Par

extrusion ou intrusion de cette surface polygonale, on obtient un volume. Les objets volumiques peuvent être soit indépendants de toute autre structure, soit en être saillants. L'objet volumique peut être soit un élément sortant soit un élément rentrant, ou encore, dans le cas particulier de l'Abbaye, une colonne, un pilier ou un pilastre qui sont des supports verticaux eux-mêmes composés de trois sous-parties ;

- ✦ Un objet surfacique est un objet formé de plusieurs faces, mais ne constituant pas de volume. Il est semblable à un plan présentant deux faces : intérieure/extérieure, inférieure/supérieure. L'objet surfacique forme une séparation entre deux espaces différents : intérieur/extérieur, espace interne/grenier, etc.

Un objet volumique est donc, d'après les deux définitions précédentes, composé d'un ensemble d'objets surfaciques. Les objets surfaciques, ainsi que les objets volumiques rentrants et sortants sont composés d'une succession de divers éléments de face :

- ✦ Élément de face intérieur : orienté vers l'espace intérieur de l'édifice ;

- ✦ Élément de face extérieur : orienté vers l'espace extérieur de l'édifice. Il peut s'agir ici de l'espace extérieur naturel ou de l'espace extérieur constitué par un autre bâtiment (par exemple, au sud de l'abbaye, on trouvera un élément de face extérieur orienté vers la galerie nord du cloître) ;

- ✦ Élément de face supérieur : situé en amont de l'axe des yeux ;

- ✦ Élément de face inférieur : situé en aval de l'axe des yeux, etc. ;

- ✦ Interface : face de jonction entre plusieurs éléments (par exemple : surface occupée par un pilastre sur un mur : cette surface appartient à la fois au pilastre et au mur, et est définie comme « interface »).

Pour se retrouver sur le site et donc dans le modèle correspondant à une décomposition réelle

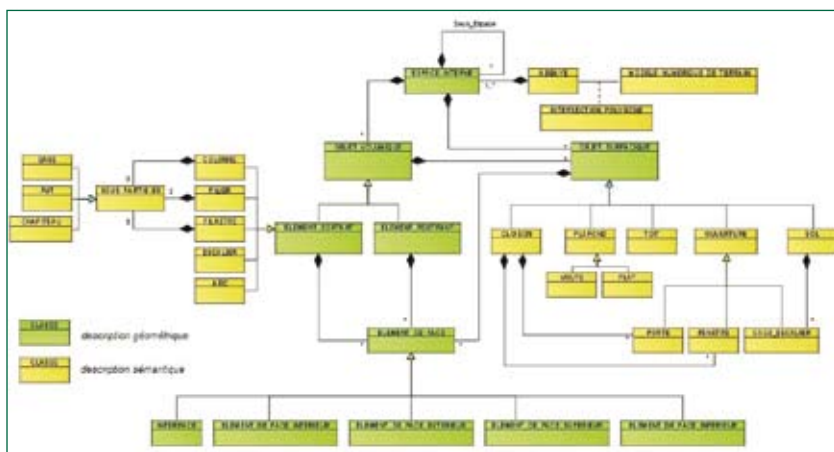


Figure 2 – Modèle de données en faces des ruines de l'église abbatiale (d'après [Lott, 2008]).

du monde 3D, l'espace est d'abord découpé en zones horizontales (en fonction de l'affectation) puis verticalement en éléments de constitution.

Structuration 3D

Le modèle est réalisé sous *SketchUp Pro6*. Les nuages de points proviennent d'un traitement sous *Realworks*, les maillages ont été effectués sous *3DReshaper*. Le modèle *SketchUp* est ensuite décomposé en composants pour être intégré dans *ArcGIS* et *ArcScene* sous forme de structures *MultiPatches*. La structuration en composants, l'identification hiérarchique de chaque face ou maillage permet d'associer des données sémantiques, notamment archéologiques, ainsi que toutes sortes de documents externes à chaque partie du modèle, ce qui le rendra particulièrement adapté à des traitements et des représentations servant de base à de futures reconstitutions sur le fondement d'hypothèses émises par l'archéologue.

Les Figures 3a, 3b, 3c, 3d montrent le modèle en phase de réalisation.

Nous retenons, pour ce modèle, que l'exploitation en 3D repose sur des niveaux de détail adaptés aux modes de relevés. Le modèle, de

par sa vocation pédagogique, inclut ainsi plusieurs niveaux intéressants et conserve ses caractéristiques de maniabilité en utilisation.

Il permettra ainsi de contribuer à la présentation du site au public, tout en comportant des niveaux de détail très utiles à la connaissance du patrimoine, des méthodes de construction. Il servira enfin à la simulation, la reconstitution à base d'hypothèses, etc.

Le modèle tel que présenté précédemment est structuré pour être intégré dans un SIG 3D. Chaque élément constitutif de l'église abbatiale est transformé en composant. Il peut ainsi être transféré aisément et séparément dans le SIG ; on pourra lui attribuer des attributs propres. La mise en place de ce SIG 3D est la première étape de la constitution d'un système d'information et de connaissances sur le site. Il va permettre d'intégrer et d'associer à chaque composant des données descriptives, sous forme d'attributs, mais également des données externes telles que des photographies. Mais c'est là que l'on pourra également associer tous les résultats des travaux archéologiques antérieurs (carnets de fouilles, photographies historiques, etc.).

Les champs généraux associés à chaque composant sont les suivants :

- ✓ CODE [TEXT] : pour une codification interne ;
- ✓ SOUS-ESPACE [TEXT] : (par exemple NEF, CRYPTÉ, MASSIF OCCIDENTAL, etc.), permettant une localisation dans le site ;
- ✓ LOC_TOPO [FLOAT, FLOAT, FLOAT] : localisation topographique ;
- ✓ ETAT [TEXT] : état de conservation ;
- ✓ EPOQUE [DATE] : date, époque de construction ;
- ✓ CLASSIF [TEXT] : classification architecturale ;
- ✓ IMAGES [TEXT] : emplacement de la documentation photographique associée ;
- ✓ LIENS [TEXT] : emplacement des documents associés ;
- ✓ TOPOL_INC1, TOPOL_INC2, etc [TEXT] : codes des incidences topologiques ;
- ✓ DIVERS [TEXT] :

Intégration dans le SIG 3D

Intégration dans un même système de données historiques et récentes

Dans la majorité des études menant à la modélisation de sites ou de monuments archéologiques, on constate qu'en plus des données métriques acquises sur le terrain, des informations supplémentaires sont disponibles. Disposer séparément de ces deux familles de données n'a pas beaucoup de sens : les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont des outils très intéressants pour regrouper au sein d'un système unique les données historiques/archéologiques et les données récentes.

Un SIG est un système qui « utilise l'ordinateur pour le traitement des données se référant à un espace. En informatique, l'information est considérée comme une connaissance en relation avec une certaine utilité, et qui va être utilisée pour atteindre

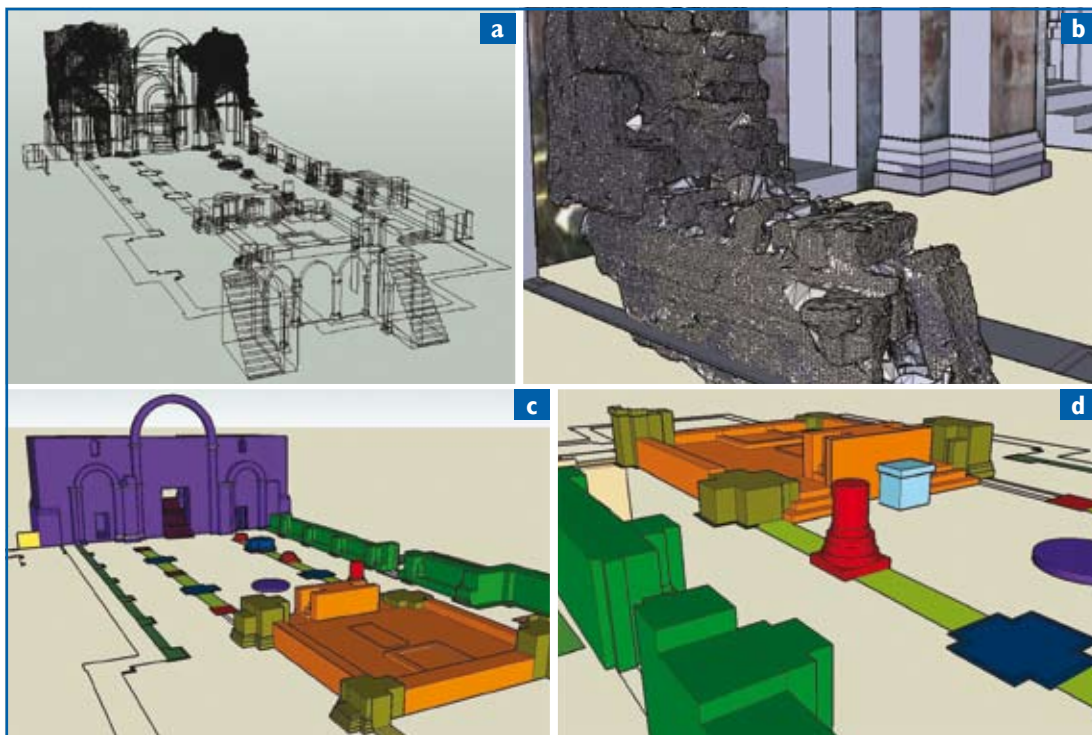


Figure 3 – Modèle en phase de réalisation avec différents types de composants : a) modèle filaire complet ; b) détail maillé ; c) décomposition en composants ; d) détail.

un objectif fixé. [...]. Par données, sont définies les descriptions quantitatives et qualitatives des particularités de l'objet étudié. Avec un SIG, qui fonctionne selon un mode de questions-réponses, on peut saisir des données géolocalisées, les stocker, les réorganiser, les modéliser et les analyser et les représenter sous différentes formes (alphanumérique ou graphique) ».

Dans bon nombre d'études, la définition précédente doit être légèrement nuancée. En effet, les Systèmes d'Information développés n'ont pas rigoureusement les mêmes objectifs que les SIG : ils gèrent beaucoup d'informations associées, ne proposent pas d'outils d'analyses très performants. Cependant, les principes restent inchangés, et sont donc transposables du SIG « théorique » au Système d'Information créée pour la gestion et la documentation d'ouvrages.

Le Système d'Information est directement associé à la représentation tridimensionnelle de

l'édifice, puisqu'elle sert d'interface d'accès aux données. Celles-ci peuvent ainsi être consultées et modifiées par le biais du modèle 3D.

Nous voyons que la réalisation d'une maquette 3D seule ne permet qu'une visualisation virtuelle du monde réel. L'importance de sa réalisation s'explique lorsqu'elle constitue un outil interactif qui permet d'accéder facilement et rapidement aux données historiques existantes. On pourrait alors retenir l'idée synthétique de « rassembler le maximum d'informations de natures diverses dans un système unique ».

Intégration 3D sous forme de MultiPatch

Dans cette étude nous avons utilisé une séquence de traitements construite sur l'interopérabilité entre ArcGIS 9.x et SketchUp Pro6. Cette interopérabilité a déjà été utilisée [Ekberg, 2007] dans le contexte du cadastre 3D. Pour résumer, les données sont tout

d'abord exportées d'ArcGIS vers SketchUp (ce qui leur associe un système de référence), modélisées dans SketchUp puis réimportées dans ArcGIS. La Figure 4 illustre cette interopérabilité. Pour réaliser ces opérations et partager les données entre les deux logiciels, plusieurs plugins (téléchargeables sur internet) sont nécessaires. Un premier permet d'importer des *shapefile* dans SketchUp et de les convertir ou compléter en modèles 3D. Un second permet de transférer les modèles 3D de SketchUp vers une géodatabase ArcGIS. Ils sont alors intégrables dans les différents modules d'ArcGIS pour y effectuer des analyses. Le dernier plugin nécessite l'extension *3D Analyst* d'ArcGIS et notamment le contexte ArcScene.

Le MultiPatch comme entité 3D

Une des façons qui prend une importance grandissante ces dernières années pour représenter les éléments 3D dans un SIG sont les géométries *MultiPatches* proposées par ESRI dans l'environne-

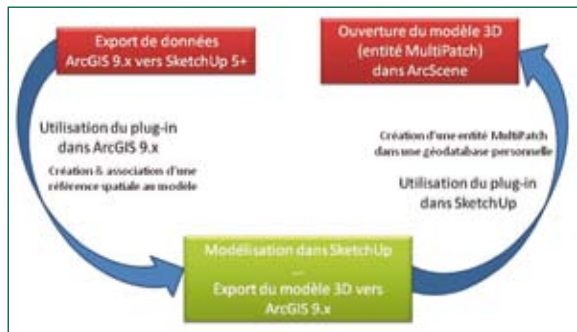


Figure 4 – Interopérabilité entre ArcGIS – SketchUp – ArcScene.

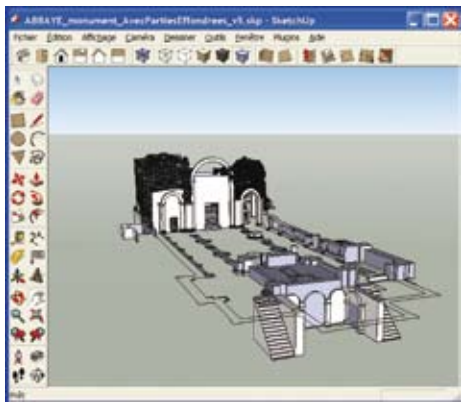


Figure 5 – Interface de SketchUp Pro6.

ment ArcGIS. Un *MultiPatch* est un type spécial de *shapefile* qui permet une approche de la représentation 3D des objets sous forme de polyèdres. Ce type de *shapefile* est construit sur les primitives triangulaires de l'*OpenGL 3D* et permet d'enregistrer les objets sous forme de « vraies » géométries 3D dans des « géodatabases personnelles ». En connaissant ses coordonnées X, Y et Z dans l'espace de référence, les *MultiPatches* peuvent être utilisés pour représenter tout objet du plus simple au plus complexe incluant les sphères, les cubes, les iso-surfaces, les bâtiments [ESRI, 1998].



Figure 6 – Application de textures pour augmenter le réalisme du modèle 3D.

L'enregistrement dans une « géodatabase personnelle » d'une entité *MultiPatch* est identique à un enregistrement dans un *shapefile*. Ainsi, pour une entité 3D il n'existe qu'un seul champ *Shape** (type de géométrie) dans la table. Ceci permet de stocker des objets 3D complexes composés de plusieurs champs géométriques dans un seul enregistrement. Néanmoins, même si les *MultiPatches* existent dans ArcGIS comme type de données, il n'existe pas d'outils (du moins dans les versions ArcView) permettant l'édition ou la création de ceux-ci dans l'environnement ESRI. Aujourd'hui, les seules options permettant de générer des *MultiPatches* sont les scripts *ArcObject* ou l'utilisation d'applications externes, telle *SketchUp*.

Processus d'intégration des données 3D dans le SIG

Le processus d'intégration des données 3D dans le SIG repose sur l'interopérabilité des logiciels ArcGIS et SketchUp :

- ✦ La première étape pour la construction d'objets 3D commence par l'exportation de la trace 2D des murs du bâtiment. Cette première étape est nécessaire car il n'existe pas d'outil pour associer un système de référence au modèle 3D dans SketchUp. En exportant l'objet de base à partir d'ArcGIS vers SketchUp, le système de référence défini dans ArcGIS est également exporté vers SketchUp. La Figure 5 montre l'interface graphique (GUI) de SketchUp Pro6 ;

- ✦ Les traces peuvent ensuite être extrudées en faces, permettant de créer les volumes. Dans notre cas, les volumes ont été créés à partir des nuages de points, calés par rapport au relevé topographique ;

- ✦ SketchUp Pro6 permet de texturer les faces pour augmenter le réalisme des représentations (Figure 6). Néanmoins dans notre cas, les textures parfois très complexes et très lourdes car

détaillées ; le texturage a été réalisé dans le logiciel *Realworks Survey* en se basant sur les nuages de points acquis par le scanner 3D (appariement de points homologues identifiables à la fois sur la photographie et dans le modèle) ;

- ✦ Quand le modèle 3D est complet, il est réimporté sous forme de *MultiPatch* dans ArcGIS pour y être analysé. Lors de l'export sous forme de *MultiPatch*, le type d'objet *MultiPatch* doit être défini par l'utilisateur. Ce type nouveau comporte notamment les attributs associés à chaque classe d'objet *MultiPatch*. Les champs généraux associés ont été définis plus haut dans cet article dans le paragraphe décrivant la structuration 3D. La Figure 7 illustre néanmoins cette création de structure lors du transfert entre SketchUp et ArcGIS.

ArcScene pour la visualisation et l'analyse

L'application ArcScene de ArcGIS 3D Analyst, permet la gestion et la visualisation des données géographiques 3D. La Figure 8 montre l'interface d'ArcScene avec quelques éléments du site étudié.

Le modèle 3D final est stocké dans une « géodatabase personnelle » existante, soit dans une nouvelle « géodatabase personnelle » créée lors du processus d'export décrit plus haut. Dans notre étude nous nous sommes restreint à l'utilisation d'une « géodatabase personnelle » fonctionnant sous forme de fichier *.mdb* de structure *MS-Access*. Bien que lourde, car les données enregistrées sont très détaillées et leur volume est relativement important, le travail avec une ou plusieurs « géodatabases personnelles » de ce type est possible.

L'utilisation d'une structure *Spatial Database Engine* (SDE) permettrait sûrement de meilleures performances. ArcGIS traite les objets *MultiPatches* de la même manière

que les autres objets stockés sous forme de *shapefile*. Cela signifie que chaque objet 3D est représenté par un unique enregistrement dans la « *géodatabase personnelle* » (Figure 8).

Exploitation

Fonctionnalités

Les fonctionnalités SIG permettent de travailler de manière différente avec le modèle 3D. En effet, alors qu'une maquette 3D permet une visualisation et éventuellement des animations intéressantes, le SIG permet de localiser des informations à l'intérieur du modèle, de les faire visualiser de manière particulière, de restituer des renseignements associés à la demande, etc. La structuration en « couches » ou les requêtes de filtrage autorisent également le calcul de visualisations partielles du site. La superposition de plusieurs modèles issus de reconstitutions selon des hypothèses différentes facilite des comparaisons intéressantes. La re-symbolisation des différents éléments en fonction des attributs associés permet, par exemple, de coloriser, en plus de la texture, les différentes parties en fonction des périodes de construction, de l'état de conservation, de l'archéologue ayant travaillé sur telle ou telle partie, du fait que cette partie ait été fouillée ou non, reconstruite ou non, etc.

L'intégration de la maquette dans un environnement « géoréférencé » permet également d'y effectuer des mesures de distances, de surfaces, de volumes, de comparer des positions, etc.

Ces dernières fonctionnalités ont notamment été utilisées dans notre étude pour la comparaison des cages d'escalier en colimaçon du massif occidental (Figures 9). Après avoir démontré la maîtrise

– par une vue de dessus, notamment – la comparaison des deux escaliers symétriques a été effectuée. L'obtention de la symétrie de l'escalier nord, puis sa superposition à l'escalier sud a, là encore, montré l'excellence de la maîtrise de l'art de la construction d'il y a bien des siècles.

Documentation photographique

Comme complément d'information, un grand nombre de photographies ont été prises de toutes les parties du monument. Le processus de documentation photographique a été particulièrement étudié : la position de l'appareil a été relevée précisément lors de la prise de vue. La connaissance de cette position précise du point de vue ainsi que l'enregistrement des paramètres de prise de vue permettent à la fois de disposer de textures très précises et facilement applicables, mais permettent également, à partir du modèle, de paramétrer la visualisation pour obtenir la même perspective que celle du terrain. Les outils d'ArcScene permettant la configuration de perspectives de vues par rapport à la scène visualisée sont ici très intéressants. Les figures 10 en sont des illustrations. Cette méthode laisse entrevoir de nouvelles perspectives par la combinaison d'un modèle 3D et de prises de vues. En effet, le processus de texturation à la volée

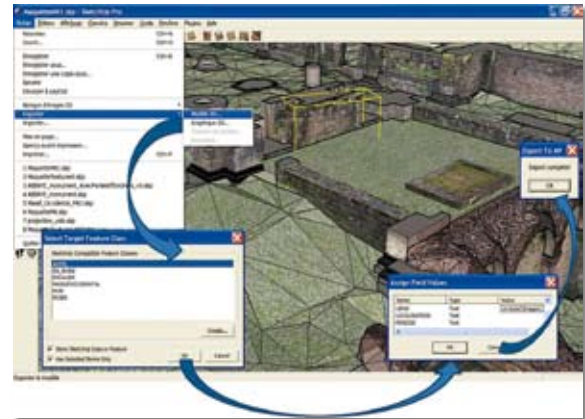


Figure 7 – Export – Création de MultiPatch à partir d'un composant SketchUp.

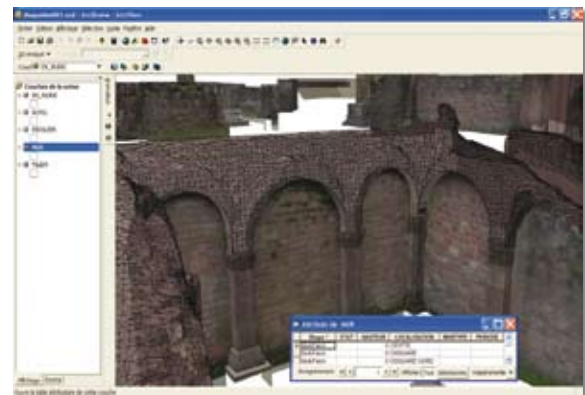


Figure 8 – Interface ArcScene : intégration de MultiPatches/l enregistrement par composant.

pourrait être envisagé en fonction du point de vue. Le réalisme serait d'autant augmenté.

Documents associés

La large documentation déjà existante sur le site étudié – docu-

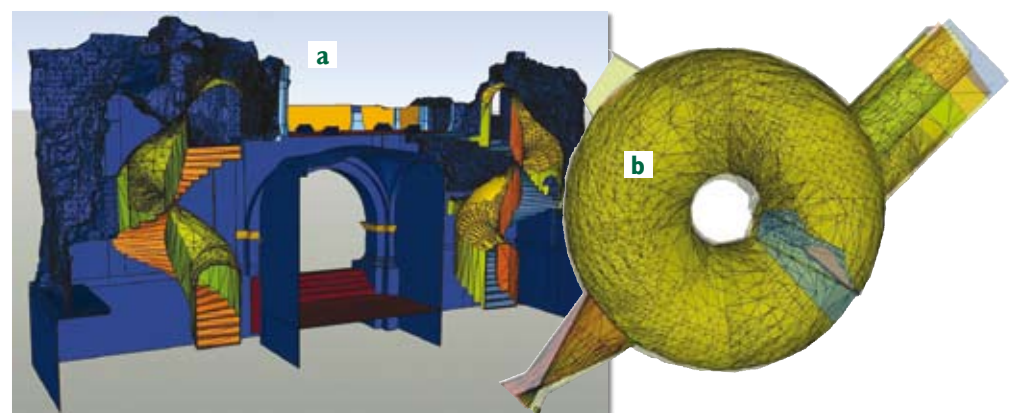


Figure 9 – a) Cages d'escaliers du massif occidental en colimaçon ; b) Comparaison par superposition et symétrie.



Figure 10
 a) Vue photographique
 b) vue 3D faces colorisées
 c) vue 3D avec rendu des textures.



ments d'archive, photographies historiques, rapports de fouilles, études diverses, etc. – représente une source très intéressante de données pouvant être associées au site et aux différents éléments de détail du même site.

Ces documents sont en cours de stockage dans une base de données et seront associés aux enregistrements généraux de chaque entité 3D disponible. Là encore, la recherche de documents pourra se baser sur des critères de localisation géographique et sur des attributs déjà exploités dans la base de données.

Conclusions

Le projet

Le site historique de l'église abbatiale de Niedermunster, fragilisé par son exposition à tous les aléas climatiques et environnementaux a longtemps été très peu entretenu. Les actions de valorisation et de préservation de ces ruines engagées aujourd'hui sont plus que nécessaires et indispensables.

L'idée retenue par les signataires de la Charte de valorisation du massif du Mont Sainte-Odile, réaliser un outil permettant de rendre ce site d'une grande richesse accessible au public, et ceci de manière indirecte, a été mise en œuvre.

La représentation tridimensionnelle a été justifiée par l'intérêt qu'elle présente au regard des méthodes classiques de descriptions textuelles ou photographiques. Les acteurs de ce projet se sont accordés pour dire qu'elle apportera une meilleure compréhension par rapport aux documents déjà existants.

Dans le cadre de la diffusion au public, le choix des contraintes

de réalisations ne s'établit pas de la même manière que s'il s'agissait d'un outil de travail pour les archéologues ou autre corps de métier qui pourrait y avoir recours. En effet, les impératifs de précision sont moins exigeants, car l'évocation proche de ce qui est visible sur le site prime par rapport à la reconstitution d'une grande précision.

Cependant, la maquette que nous avons réalisée servira de maquette de travail, sur laquelle les archéologues pourront placer les résultats de nouvelles campagnes de fouilles, par exemple.

Ce modèle a été intégré dans un SIG 3D permettant d'effectuer des traitements géolocalisés et également d'associer des attributs complémentaires ou des données externes très riches à ces mêmes composants.

Un soin particulier a été apporté au relevé photographique complémentaire, d'une part pour l'application fine de textures, mais également pour tester une nouvelle méthode de texturation à la volée.

Le SIG 3D est entièrement navigable et comporte notamment la modélisation de deux cages d'escalier voûtées. Ce modèle compose la base d'un futur système d'information et de connaissances sur le site, voire d'une future borne d'information interactive destinée au grand public.

Ce modèle 3D de l'état encore existant servira de base pour une deuxième phase de travaux plus axés sur la reconstitution virtuelle complète du site. En effet, des hypothèses des archéologues en charge du site ont déjà donné lieu à des esquisses du site complet. Le travail sur la maquette avec des données métriques plus facilement extractibles permettront de confirmer les hypothèses émises sur les méthodes de construction utilisées.

Les MultiPatches et le SIG 3D

Ce projet a permis de tester l'utilisation des *MultiPatches* dans le cas d'applications 3D, mais a montré que ces mêmes *MultiPatches* ne représentent pas des solutions complètes à tous les problèmes liés à la représentation des propriétés 3D.

Les principaux avantages des *MultiPatches* résident dans :

- ✦ La description de géométries 3D complexes ;
- ✦ La possibilité d'application de textures ;

- ✦ La possibilité d'interaction avec des données 2D ;
- ✦ L'association à un enregistrement unique d'une « *géodatabase* » permettant les jointures avec d'autres enregistrements externes.

Les principaux inconvénients des *MultiPatches* résident dans :

- ✦ Le manque d'outils d'édition ; il faut passer par des outils externes (par exemple *SketchUp Pro6* ou des scripts *ArcObject* ou *VBA*) pour éditer et modifier les modèles 3D avant de les convertir en *MultiPatch*. L'insertion de données 3D est de ce fait limitée en fon-

ctionnalités ou réservée à certains utilisateurs avancés ;

- ✦ La fidélité du rendu : pour représenter précisément un cylindre, par exemple, le modèle *MultiPatch* utilise une grande quantité de petits triangles : le rendu est moins fidèle, le modèle est lourd ;

✦ La lourdeur informatique du stockage sous forme de *MultiPatch* ; cette question n'est pas un réel souci au vu de l'évolution des environnements informatiques ;

- ✦ Le manque de topologie entre objets *MultiPatches* qui limite les possibilités d'analyse. □

Bibliographie

[CCC-R@, 2007] Communauté de Communes du Canton de Rosheim. <http://www.cc-cantonrosheim.fr>

[Ekberg, 2007] Fredrik Ekberg. *An approach for representing complex 3D objects in GIS applied to 3D properties*. Thesis for Degree of Master of Geomatics, May 2007, 63 pages, University of Gävle.

[ESRI, 1998] *ESRI Shapefile Technical Description : An ESRI White Paper – July 1998*. <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>

[Koehl et al., 2008a] Mathieu Koehl, Meyer Elise, Chokri Koussa et Camille Lott. *SIG 3D et 3D dans les SIG : Application aux modèles patrimoniaux*. GéoEvenement 2008, 8-10 Avril 2008, Paris, 15 pages.

[Koehl et al., 2008b] Mathieu Koehl et Pierre Grussenmeyer. *3D model for historic reconstruction and archaeological knowledge dissemination: the Niedermunster Abbey's project (Alsace, France)*. IASPRS - XXlth ISPRS Congress, July 2008, Beijing - China, 6 pages CD-ROM.

[Lott, 2008] Camille Lott. *Enrichissement de données archéologiques par des relevés lasergramétriques pour la réalisation d'une maquette 3D texturée des ruines*

de l'église abbatiale de Niedermunster. Mémoire de Diplôme d'Ingénieur INSA, spécialité Topographie, Septembre 2008, 65 pages.

[Meyer et al., 2007] Elise Meyer, Pierre Grussenmeyer, Jean-Pierre Perrin, Anne Durand, Pierre Drap. *A web information system for the management and the dissemination of Cultural Heritage data*. Journal of Cultural Heritage, Volume 8, Issue 4, 09-12/2007, pp. 396-411.

[Preiss, 1990] Jacques Preiss. *Le cloître roman de Niedermunster*. Annuaire XXIV-1990 Société d'histoire et d'Archéologie de Dambach-la-Ville, Barr, Obernai. pp. 7-30.

[Preiss, 2006] Jacques Preiss. Société d'Histoire et d'Archéologie Dambach, Barr, Obernai.

Siège : Maison des associations, 4 rue du Collège – BP 21, 67141 BARR Cedex.

[Vogt, 2002] Michel Vogt. *Sainte Odile, Princesse de la Lumière*. Editions Cayelles. ISBN : 2-9509600-6-5. pp. 113-137.