

# MISE EN VALEUR NUMERIQUE DE LA FORTERESSE MEDIEVALE DE CHATEL-SUR-MOSELLE

Laboratoire d'accueil : LSIIT -- UMR CNRS 7005 - Equipe TRIO/INSA

PFE présenté par : Valentin POITEVIN

Directeur (directrice) du PFE : René ELTER



Correcteurs : Mathieu KOEHL

Emmanuel ALBY



## 1. Contexte et objectif de l'étude

La forteresse médiévale de CHATEL-SUR-MOSELLE (Vosges 88) est un patrimoine culturel inscrit au titre des Monuments Historiques. Cet édifice est un des plus grands châteaux forts d'Europe avec 22 tours et trois étages de galeries et de salles souterraines. Il a connu des évolutions architecturales essentiellement en termes de fortification, du XI<sup>ème</sup> au XVI<sup>ème</sup>, toujours en avance sur les stratégies de défense militaires des autres forteresses européennes.

Un travail colossal de fouilles et de recherches a été mené par l'Association du vieux Châtel depuis maintenant 40 ans. Aujourd'hui avec l'aide de la commune, du Département, de la Région et de l'État une nouvelle dimension scientifique, permettant un mode de communication novateur va voir le jour grâce à un projet de mise en valeur numérique de la forteresse. Ce projet consiste en la numérisation et la modélisation des extérieurs et des intérieurs du château, en la mise en ligne d'un système d'information sous une interface web et enfin en une reconstitution de la forteresse telle qu'elle a pu exister (modèle *tel que construit*).

L'entreprise *GéoPhénix* intervient pour la numérisation aérienne et la modélisation des extérieurs. Le laboratoire CRAI de l'INSA de NANCY réalise un modèle *tel que construit* sur la base du modèle *tel que saisi* et des hypothèses archéologiques. Le laboratoire de recherche PAGE de l'INSA de STRASBOURG est chargé de la numérisation et de la modélisation des espaces intérieurs de la forteresse, ainsi que de la mise en ligne du système d'information. Enfin, René ELTER, archéologue et maître d'œuvre du projet, prend part à toutes les étapes du programme de mise en valeur numérique de la forteresse.

Les objectifs de ce PFE sont les suivants :

- Acquisition numérique dense d'une partie des intérieurs
- Etablissement d'une base de données photographiques à des fins de texturage
- Production de modèles numériques texturés (géométrique et maillé)
- Mise en place de chaînes de traitements et recherche d'automatisation de procédures
- Etude des moyens de communication des données numériques
- Mise en ligne de certains produits

Intervenant la première année du projet, nous ne pouvons pas appliquer nos démarches à l'ensemble du site. Ce PFE se déroulant une année dite « *exploratrice* », nous souhaitons proposer plusieurs démarches visant à répondre de la manière la plus pertinente à l'attente des responsables du projet. Suivant l'impact que celles-ci généreront, certaines adaptations ou réorientations devront être apportées les années suivantes.

PFE soutenu en septembre 2010

Valentin POITEVIN

## 2. Acquisition et traitements numériques

En ce qui concerne l'acquisition, la configuration des lieux et le matériel utilisé nous ont contraints à réaliser un modèle hybride nécessitant l'intégration de données provenant de différents capteurs (cf. figure 1). Cette fusion demande une analyse quant à la cohésion en termes de précision des différentes techniques d'acquisition afin que le modèle soit homogène et fidèle à la réalité. De plus, une contrainte supplémentaire, relative à la cohérence spatiale des espaces mesurés avec la numérisation aérienne des extérieurs est à prendre en compte. Il est donc impératif d'appliquer une démarche d'acquisition rigoureuse permettant des contrôles et des analyses lors des traitements.

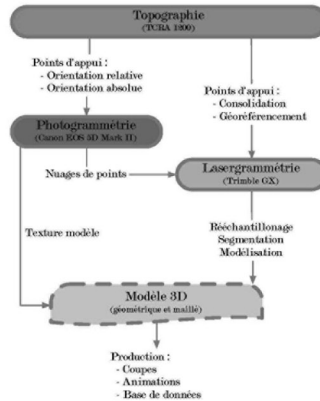


Figure 1 - Techniques d'acquisition employées

Pour compléter les mesures scanner laser, nous avons utilisé une nouvelle technique de production de nuages de points par photogrammétrie basée sur la géométrie épipolaire des prises de vue (Corrélation Épipolaire Densifiée de *PhotoModeler Scanner*). Cette approche étant récente, nous avons dans un premier temps analysé l'exactitude des produits générés par comparaison avec des données observées en scanner laser. Les résultats étant satisfaisants (90% des écarts < 1cm) nous avons pu fusionner les observations dans un modèle hybride, homogène et fidèle à la réalité.

L'acquisition numérique s'est déroulée sur sept jours. Nous avons réalisé une quinzaine de projets *PhotoModeler Scanner* et généré environ 3 millions de points. En ce qui concerne les mesures scanner laser, nous avons effectué une vingtaine de stations en variant la hauteur de l'appareil et son inclinaison. Avec une résolution spatiale de 10 mm à 5 m (50 min/scan), nous avons mesuré plus de 13 millions de points. Après rééchantillonnage à 1cm de l'ensemble de l'acquisition, le modèle hybride final est composé de 5,3 millions de points avant la modélisation (cf. figure 2).

Une fois l'acquisition structurée, nous avons réalisé un dernier contrôle concernant l'intégration des mesures intérieures avec le levé *LIDAR* extérieur. Nous avons constaté une superposition spatiale convenable entre les acquisitions. Pour chaque espace en commun, nous observons des écarts en recouvrement d'environ  $\pm 10$  cm, ce qui est acceptable puisque cette différence traduit directement la précision relative de positionnement des points issus de l'acquisition aérienne (bruit de mesure).

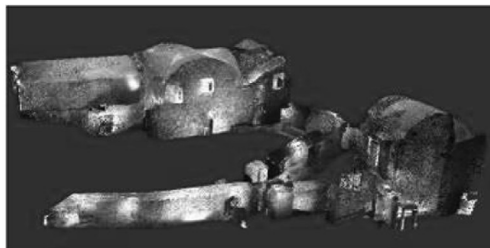


Figure 2 - Fusion des acquisitions issues des techniques de lasergrammétrie et de photogrammétrie

### 3. Modélisation numérique

L'étendue du site nécessite plusieurs méthodes de modélisation qui obligent à différentes procédures de texturage. En effet, à l'échelle de la forteresse, la réalisation d'un modèle maillé de tous les espaces n'est pas envisageable si l'on souhaite conserver une interaction fluide. Pour visualiser le site dans son ensemble, et ainsi conserver une cohérence spatiale entre les espaces modélisés, nous sommes dans l'obligation de créer un modèle géométrique. La destination du modèle 3D n'a pas uniquement comme objectif la communication sur le site, mais il a également une ambition scientifique. Nous avons alors décidé de développer des modèles avec deux niveaux de détails, un modèle géométrique de l'ensemble de la forteresse (communication) et des modèles maillés pour certains espaces (scientifique).

#### Modèle géométrique

Le principe d'un modèle géométrique consiste, par définition, à simplifier la réalité en utilisant des primitives mathématiques (plan, cylindre, cône, etc.) afin d'obtenir une visualisation et des déplacements fluides. En termes d'objectifs, nous avons cherché à ce que le modèle puisse être géométriquement simple, fidèle à la réalité et esthétique puisqu'il sera diffusé sous forme d'animations, de rendus et de modèles 3D.

Concernant la fidélité architecturale du modèle, nous avons mis en place une procédure permettant de réaliser à la fois des études qualitatives et quantitatives pour orienter et corriger les étapes de modélisation. Ainsi, tous les espaces ont été rigoureusement analysés dans le but d'allier simplicité et fidélité sur le modèle final (92% des écarts < 5 cm et 50% des écarts < 1 cm).

En termes de texturage, les premières recherches ont concerné l'apport de la texture vraie, mais les distorsions dues aux simplifications géométriques mettent en évidence des décalages. La solution consiste à utiliser des textures génériques dont le motif subit une répétition. Pour concevoir des rendus de qualité, nous avons étudié les possibilités de *3D Studio Max* qui est un logiciel de référence dans le domaine de l'infographie. Cette application permet entre autres d'appliquer des textures avec du relief pour accentuer le grain des matériaux ainsi que des solutions d'éclairage afin de garantir un maximum de réalisme dans le rendu d'une scène (cf. figure 3).

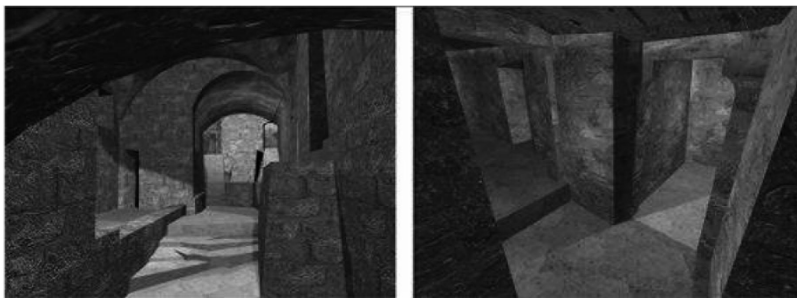


Figure 3 - Rendus du modèle sous 3D Studio Max

#### Diffusion

Le risque principal lié à la diffusion des données concerne l'exclusivité des droits sur les modèles. Effectivement, il est important de maîtriser les formats des données diffusées pour éviter qu'elles puissent être éditées, modifiées, voire réutilisées par autrui. Pour répondre à cette contrainte, nous avons réalisé des *PDF 3D* permettant une manipulation et une analyse scientifique des modèles maillés et géométrique, ainsi que des animations afin de communiquer sur l'état d'avancement du projet.

#### 4. Visite virtuelle

Dans notre démarche réflexive, quant à la mise en valeur numérique de la forteresse, nous avons jugé que l'impact occasionné par les visites virtuelles pourrait répondre de manière pertinente à la problématique de ce projet. Ce moyen de communication ne demandant pas un investissement financier important et la conception restant relativement abordable, nous avons décidé d'expérimenter ce principe sur la forteresse.

Par rapport à la vidéo, les panoramiques sphériques présentent quelques avantages. En effet, pour le visiteur, la navigation est entièrement contrôlée que ce soit en terme de durée de la visite, de vitesse de rotation, d'angle de vue, d'arrêt et de zoom sur les points d'intérêt ou de progression par sélection d'autres panoramas (*hotspots*).

Au-delà de la création purement technique, nous avons expérimenté une mise en ligne de la visite virtuelle afin d'évaluer les paramètres choisis et contrôler l'intégration des résultats dans un navigateur internet (cf. figure 4).

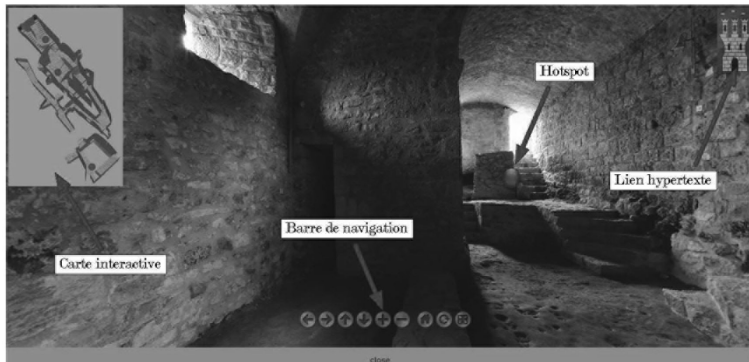


Figure 4 - Environnement de la visite virtuelle appliquée à la forteresse

#### 5. Conclusion et perspectives

Cette étude, intervenant la première année de ce vaste projet, a permis de proposer quelques pistes de réflexion faisant appel à différentes techniques d'acquisition et divers post-traitements. En termes de modélisation géométrique, nous avons répondu efficacement aux objectifs de simplicité, fidélité et esthétique. Grâce à quelques chaînes de traitements, la génération d'un modèle géométrique texturé a pu être réalisée. Néanmoins, ces approches ne sont pas automatiques et demandent un inéluctable temps de traitements. Même si certaines recherches ont été initiées sur l'apport des techniques de segmentation automatique, les résultats de cette année ne sont pas concluants, mais laissent entrevoir un outil intéressant, voire essentiel pour la suite du projet. La technique des visites virtuelles a été correctement étudiée puisqu'outre les aspects d'acquisition et de conception, des tests concrets de mise en ligne ont été effectués. Les résultats sont, à ce stade, acceptables et répondent de manière subtile aux objectifs du projet. Toutefois, les développements accomplis cette année ne sont pas arrêtés et pourront, par la suite, être améliorés. Enfin, les recherches liées à la diffusion des produits réalisés ont su répondre aux objectifs d'utilisation scientifique et de communication des maquettes 3D.

# MISE EN VALEUR NUMERIQUE ET RECONSTRUCTION 3D DU THEATRE GALLO-ROMAIN DE MANDEURE



Société d'accueil : **LSiiT - UMR CNRS 7005**  
*Equipe TRIO/INSA*  
*Groupe Photogrammétrie et Géomatique*

PFE présenté par : **Pierre ASSALI**

Directeur (directrice) du PFE : **Gaëlle CAVALLI**

Correcteurs : **Emmanuel ALBY & Eddie SMIGIEL**

## 1. Introduction

Au travers de son projet d'agglomération 2020, la Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard (CAPM) a reconnu d'intérêt communautaire la valorisation touristique du site antique de Mandeure-Mathay qui attire chaque année plusieurs milliers de visiteurs. Ce sont les vestiges encore visibles du théâtre antique qui représentent l'atout majeur du site. En effet, avec ses 142 mètres de diamètre pour une trentaine de hauteur, le théâtre impose naturellement sa monumentalité.

Depuis 2007, le groupe PAGE (Photogrammétrie Architecturale et GEomatique) intervient sur le site dans le cadre d'un Projet Collectif de Recherches. L'ensemble des données acquises depuis 3 ans vise à la sauvegarde numérique du site via la construction de modèles tridimensionnels servant de support à l'expertise archéologique.

Les objectifs de ce PFE sont :

- ✓ Inventaire et organisation des données existantes numérisées par le laboratoire depuis 2007
- ✓ Acquisition complémentaire et numérisation finale du théâtre (complétion du modèle existant) : LiDAR aérien, LiDAR terrestre, photogrammétrie (Corrélation Épipolaire Dense - CED)
- ✓ Constitution d'une base de données documentaire photographique (texture ou simple documentation archéologique)
- ✓ Création d'une maquette 3D virtuelle du théâtre "*tel que construit*", sur la base du modèle "*tel que mesuré*", et surtout selon l'expertise architecturale des archéologues de l'Université de Strasbourg, spécialistes du site.
- ✓ Mise en place des chaînes de traitements permettant d'aboutir à un produit final exploitable par les archéologues (fichiers \*.pdf 3D par exemple).

## 2. Acquisition numérique & exploitations

Les données acquises sur le site au cours de différentes campagnes sont principalement de deux types : des nuages de points obtenus par balayage laser (terrestre et aérien), et des clichés photographiques. La phase de traitement consistera notamment en la production de nuages de points à partir des ces photographies (CED) et en leur intégration au modèle lasergrammétrique.

Les données LiDAR sur lesquelles nous avons travaillé ne sont qu'un échantillon extrait de la campagne de levé effectuée par la société AERODATA France. Elles représentent un carré de 500m de côté, soit une surface de 25 hectares, incluant le théâtre antique. Nous disposons d'un million de