

# VALORISATION NUMÉRIQUE DU THÉÂTRE GALLO-ROMAIN DE MANDEURE

Emmanuel Alby, Eddy Smigiel, Pierre Assali

*Groupe Photogrammétrique et Géomatiques (PAGE), Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection (LSIIT) INSA Strasbourg 24 bld de la victoire 67084 Strasbourg  
{emmanuel.alby ; eddy.smigiel ; pierre.assali}@insa-strasbourg.fr*

## Résumé

La ville de Mandeure (Doubs) à l'époque gallo-romaine était un grand complexe urbain dont le théâtre faisait partie. Adossé à une colline, il présente un diamètre de 142 mètres et on estime sa capacité entre 15 000 et 18 000 places. Ces caractéristiques font de lui le deuxième plus grand théâtre des Gaules (après celui d'Autun). La numérisation d'un tel édifice est un moyen d'approfondir la connaissance de ses caractéristiques géométriques grâce aux outils d'analyse d'une part, mais aussi de documenter le théâtre dans sa configuration actuelle d'autre part. Une collaboration entre l'unité d'étude des civilisations de l'antiquité de l'Université De Strasbourg et le groupe PAGE a été mise en place pour mener à bien ce projet de numérisation. De part ses dimensions, l'acquisition de données tridimensionnelles par un scanner laser terrestre s'impose. Les multiples anfractuosités ne permettant pas une documentation complète par balayage laser, un complètement des données par photogrammétrie a été nécessaire. L'émergence de nouveaux outils de corrélation à partir de couples stéréoscopiques permet d'obtenir des données de même nature et qualité. La numérisation complète du théâtre passe donc par la combinaison des deux techniques. Dans le cadre de la mise en valeur du théâtre, mais aussi pour valider les hypothèses de restitution archéologique, la modélisation d'un état d'origine a été réalisée. C'est par la confrontation des hypothèses avec les données de la configuration du terrain qu'il a été possible de représenter le théâtre tel qu'il est supposé avoir ressemblé à l'époque de sa construction.

**Mots clés :** Numérisation, laser, corrélation.

## Abstract

*Mandeure (Doubs) in Gallo Roman was a large urban complex that included the theater. Leaning against a hill, it has a diameter of 142 meters and its capacity is estimated between 15,000 and 18,000 seats. These features make it the second largest theater in Gaul (behind Autun). The digitization of such a building is a means to deepen the knowledge of its geometrical characteristics thanks to the analysis tools on the one hand, but to document the scene in its current configuration on the other. Collaboration between the unit of study of ancient civilizations at the University of Strasbourg and the group of Photogrammetry and Geomatics was established to carry out this digitization project. From its dimensions, the three-dimensional data acquisition by terrestrial laser scanner is needed. Many holes do not permit a complete documentation using laser scanning; the data set has been completed by photogrammetry. The emergence of new tools for correlation from stereo pairs provides data of same kind and quality. The complete digitization of the theater thus requires the combination of both techniques. As part of the development of the theater, but also to validate the assumptions of archaeological restoration, modeling an original state has been completed. It is by confrontation of hypotheses with data from the field it is possible to represent the scene as it is supposed to have looked like at the time of its construction.*

**Keywords :** Digitization, laser, matching.

## 1. Introduction

Les hypothèses de restitution archéologiques sont dépendantes des relevés des éléments découverts sur un site, que ce soit un grand espace, une pièce ou encore un objet fragmentaire. Les techniques topographiques classiques font parties intégrantes de la campagne de fouille. Leur rôle n'est plus à démontrer et leur présence, ainsi que des opérateurs, est indispensable dans une communauté qui utilise de plus en plus d'informations géolocalisées. Les techniques d'acquisitions telles que photogrammétrie et balayage laser font leur apparition sur le chantier au même titre

que le tachéomètre et le niveau. A travers des applications sur le site du théâtre gallo-romain de Mandeure, nous proposons, dans cet article, de présenter les interactions entre deux groupes de recherche que sont le PAGE et l'UMR 7044 respectivement fournisseur de données tridimensionnelles et archéologues. Après un exposé sur les problématiques développées en fonction des techniques utilisées nous verrons leur mise en œuvre pour le projet de numérisation du théâtre. Nous terminerons par la présentation du modèle de restitution qui constitue le point fort actuel de cette collaboration.

## 2. Acquisition 3D et archéologie

La nature des outils employés pour l'acquisition de données tridimensionnelles sur des objets archéologiques est très variée. Elle dépend de la nature des objets, de leurs dimensions, de leur localisation et de la finalité de l'acquisition. Pour un site donné il est fréquent d'employer de multiples techniques pour obtenir un relevé de qualité.

### 2.1. Acquisition multi scalaire

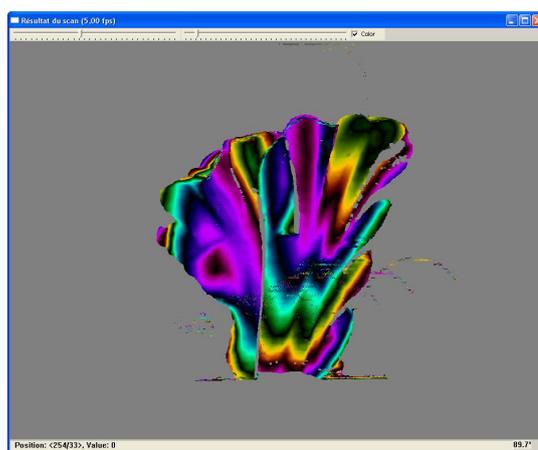
Les deux techniques adaptées au relevé d'objets archéologiques que sont la photogrammétrie et le balayage laser ne permettent pas la production de données indépendamment de l'échelle de la même façon. La photogrammétrie, grâce au rapport d'homothétie qui régit la relation entre l'objet et la mesure, possède une grande souplesse d'acquisition avec le même matériel. En effet, en ne faisant évoluer que la distance à l'objet, on peut acquérir des données d'un objet dans son ensemble ou d'une partie plus détaillée. La résolution des données produites varie aussi en fonction de ce facteur. Au contraire, le balayage laser induit l'usage d'un dispositif particulier pour chaque échelle de mesure. Les caractéristiques des systèmes sont associées à la plage de mesure. Des éléments de décor nécessitent, par exemple un bras muni d'un faisceau laser, alors que le relevé de fouilles fera appel à un scanner laser terrestre. Les coûts de l'équipement interviennent dans le choix de la technique si l'échelle d'acquisition varie. La combinaison de techniques et de matériel est une solution qui permet une certaine souplesse lors de projet de numérisation d'un site archéologique. Lors de la numérisation du site présenté dans cet article, plusieurs études ont été menées pour gérer les échelles multiples d'acquisition. Des solutions à faible coût ont été testées et comparées pour limiter l'investissement dans un scanner supplémentaire. Les limites du scanner terrestre ont aussi été repoussées pour augmenter sa plage de mesure pour les petits objets de décor.

#### *Comparaison photogrammétrie et LASER à bas coût pour l'acquisition 3D de décor*

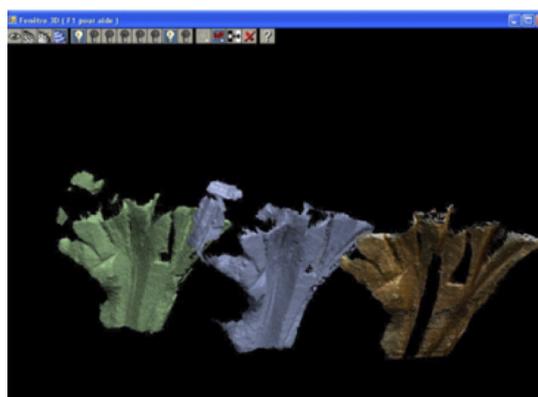
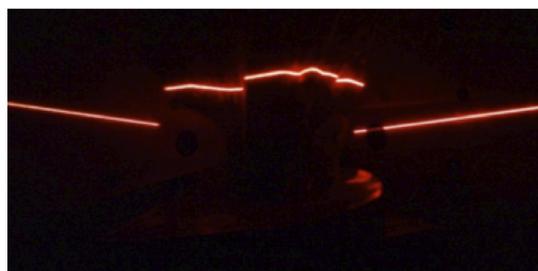
Pour élargir les applications du balayage laser sans investir dans des solutions trop onéreuses l'application DAVID-laserscanner est apparue comme intéressante. Pour pouvoir l'évaluer, elle a été comparée à un logiciel de corrélation épipolaire dense utilisé couramment pour des applications similaires: Photomodeler Scanner (Hullo et al., 2009). La solution proposée par DAVID-laserscanner a l'avantage d'être orientée utilisateur et facile à employer. Les deux techniques permettent de produire des nuages de points denses. Elles ont été confrontées à un jeu de données de référence pour mieux évaluer les précisions relatives. L'étude permet de déterminer que les deux techniques ont une précision d'environ un millimètre pour l'acquisition d'un objet d'une trentaine de centimètres. De plus amples détails



(1)



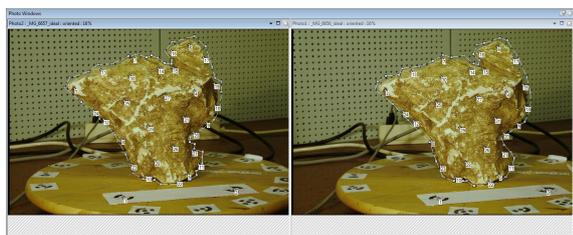
(2)



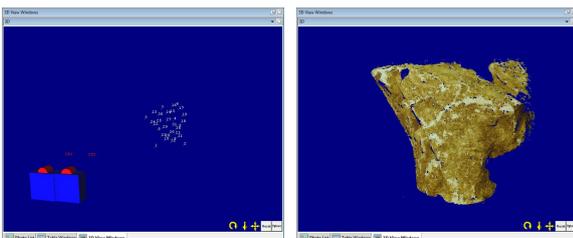
(3)

**Figure 1** : David-laserscanner. Du haut vers le bas : Ligne laser balayant l'objet et la mire, aperçu en temps réel de l'acquisition, conditions optimales d'acquisition, recalage automatique des différents maillages.

sont donnés dans (Alby et al., 2009). La figure 1 donne un aperçu de l'acquisition avec David-scanner laser. La figure 2 présente l'interface de Photomodeler.



(1)



(2)

(3)

**Figure 2 :** Photomodeler Scanner. (1) Couple stéréoscopique avec points homologues. (2) Le couple orienté dans l'interface 3D. (3) Nuage de points résultant de la corrélation automatique.

#### *Optimisation par débruitage de données issues d'un laser terrestre pour de petit objet*

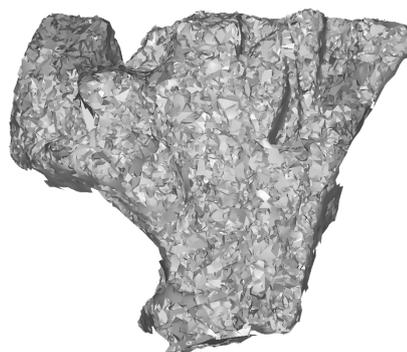
Le scanner laser terrestre est utilisé pour des zones assez vastes. La grande dimension des éléments scannés ne signifie pas l'absence de détail à certains endroits. Il peut être intéressant de pouvoir augmenter la précision de ce genre de dispositif d'acquisition. Pour obtenir plus de détail localement, on adjoint, quand cela est possible, un dispositif complémentaire dont la plage de mesure est adaptée. Dans cette étude il est proposé d'opérer à un débruitage des données, ce qui permet d'augmenter la plage de mesure du laser à disposition. La richesse des décorations des éléments scannés sur le site a permis de tester l'efficacité de la démarche. La précision pour les petits objets a été multipliée par un facteur de deux (Smigiel et al., 2008).

### **2.2. Représentation de l'architecture Antique**

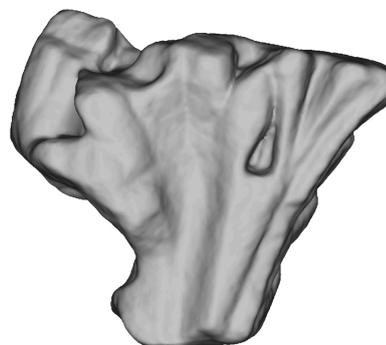
Les techniques de numérisation permettent avant tout de fournir les éléments traditionnels de représentation bidimensionnelle tels que plans, coupes et courbes de niveaux. Si les techniques d'acquisition évoluent rapidement, les usages se basent sur des normes et une tradition qui induit une dissociation entre besoins et produits possibles de l'acquisition tridimensionnelle. Ils résultent des échanges entre fournisseurs de données et utilisateurs tels qu'architectes et archéologues, que le regard de l'expert influe directement sur la représentation de l'objet archéologique. Les données 3D ouvrent des



**Figure 3 :** Photographie du fragment de chapiteau utilisé pour l'étude. Ordre de grandeur: 30 cm.



**Figure 4 :** Maillage du nuage de points brut. La représentation pour cette échelle d'objet n'est pas pertinente à cause du bruit de mesure.



**Figure 5 :** Maillage du nuage de points débruité. Les détails de l'objet peuvent être appréciés grâce à la réduction du bruit.

perspectives de représentation plus spécifiques. Précision et densité des données fournies par les techniques actuelles permettent d'imaginer l'utilisation de l'objet virtuel ainsi produit pour la réalisation d'éléments de représentation dans des conditions plus faciles que sur le terrain et dans des temps courts. En effet, la qualité atteinte par les jeux de données complets permet la manipulation de modèles tridimensionnels réalistes grâce à l'intégration des images issues de l'objet et la facilité d'acquisition et de manipulation des données. Les formats de fichiers grand public évoluent aussi vers une diffusion facilitée de l'information tridimensionnelle. L'intégration de modèle manipulable dans un format aussi répandu que le format PDF permet une communication facilitée entre fournisseurs et utilisateurs.

### **2.3. Exploitation innovante des données tridimensionnelles**

Outre l'exploitation des données pour leur aspect dimensionnel, le produit de l'acquisition peut être utilisé à d'autres fins que la production de représentation. Un modèle réaliste peut aussi être utilisé comme interface permettant la centralisation d'informations d'autre nature (Alby et al., 2007), tels que documents écrits ou encore images. Les documents sont ainsi localisés et organisés en fonction de la forme de l'objet auxquels ils font référence. Un tel produit a évidemment des visées d'usage par le grand public, mais aussi de servir d'outil de travail pour les archéologues eux-mêmes.

## **3. Le théâtre gallo-romain de Mandeure**

Le laboratoire PAGE a depuis longtemps collaboré avec des archéologues pour le relevé d'éléments d'architecture. Le rapprochement avec l'UMR 7044 (Étude des civilisations de l'Antiquité, Université de Strasbourg) permet d'avancer dans la problématique de représentation de l'architecture avec les archéologues. Le site autour duquel se déroulent ces échanges est le théâtre gallo-romain de Mandeure.

Le peuplement du site de l'actuelle commune de Mandeure remonte à l'époque gauloise. Dès le III<sup>ème</sup> siècle avant J-C, il semblerait que ce site accueillait un lieu de culte important de tradition celtique.

À l'époque romaine, cette cité était connue sous le nom d'Epomanduodurum. On estime sa superficie à environ 200 hectares, répartis sur les communes de Mandeure et de Mathay. L'implantation humaine dans le secteur s'explique certainement par la configuration du lit du Doubs qui devient navigable. Il semble que la ville gauloise et son habitat se trouvent enfouis sous la ville romaine, dans le méandre du Doubs et sur ses abords. Les prospections à grande échelle n'ont cependant pas permis d'identifier un rempart gaulois, excluant ainsi la configuration d'oppidum au profit d'une agglomération de plaine ouverte. Epomanduodurum était une importante cité, la deuxième du peuple Séquane, la capitale

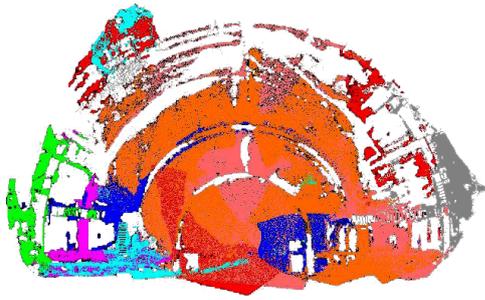
de la Séquanie restant Vesontio (Besançon). C'est au début du 1<sup>er</sup> siècle après J.-C. que commence réellement l'urbanisation de la cité, grâce à la construction des grands thermes de Courcelles et plus tard du théâtre. Adossé à une colline partiellement excavée, il présente un diamètre de 142 mètres et on estime sa capacité entre 15 000 et 18 000 places. Ces caractéristiques font de lui le deuxième plus grand théâtre des Gaules (après celui d'Autun). Face à lui et constituant sans doute le décor de la scène, devait se trouver un sanctuaire romain, construit à la même époque sur un ancien lieu de culte gaulois. Cet édifice devait également culminer à 40 mètres et donc répondre à la monumentalité du théâtre. Certains des éléments de décor du site ont été choisis pour être utilisés dans un projet financé par l'Agence Nationale pour la Recherche intitulé Ornement Architectural des Gaules. Ce projet auquel nous participons se focalise sur les objets de petite taille.

## **4. Relevé tridimensionnel du théâtre**

Depuis plusieurs années le PAGE et l'UMR 7044 collaborent sur le site de Mandeure. Des interventions classiques pour des tâches topographiques se mêlent aux relevés tridimensionnels à base de balayage laser ou dispositifs photogrammétriques. Les objectifs de l'intervention du PAGE sont multiples. La localisation des fouilles qui se déroulent chaque année se basant sur les méthodes d'arpentage s'accompagne de numérisation détaillée, pour compléter un modèle contemporain du site. Les fouilles modifient la configuration du site, ce qui nécessite l'acquisition du même lieu à plusieurs périodes. Les données, même si elles se veulent contemporaines, sont multiples à certains endroits. Même si le relevé topographique des fouilles est indispensable, c'est autour des relevés à balayage laser et photogrammétrique que ce concentre la collaboration. Comme il a été évoqué au paragraphe 2.1 de cet article, les phases de relevé ne se déroulent pas aux mêmes échelles. Sur le site de Mandeure, on peut distinguer trois échelles. Le théâtre complet dépasse l'hectomètre, les espaces intérieurs qui le constituent relèvent du décamètre alors que les éléments de décor retrouvés lors de fouilles restent confinés au-dessous du mètre. Les techniques d'acquisition sont aussi variées que les échelles d'objets sur le site.

### **Relevé de la Cavea et de l'orchestra**

C'est la partie monumentale du site et c'est la plus emblématique. Le relevé, grâce au dégagement qu'offre cet espace, a été réalisé avec un scanner laser terrestre (ici un Trimble GX®). La configuration du site et sa conservation induisent la présence importante de masques, de plus petite dimension, qui auraient ajouté un nombre important de stations avec le scanner si on n'avait pas fait le choix de la photogrammétrie pour le relevé des cavités latérales.



**Figure 6 :** Nuage de points du théâtre colorés selon les stations d'acquisition du scanner.



**Figure 7 :** Nuage de points colorés avec les valeurs RVB des points issus du scanner.

### Relevé des cavités latérales

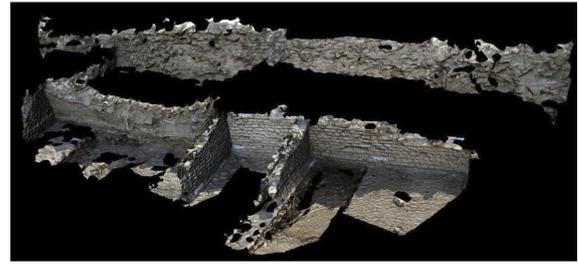
Ces espaces se situent sous la cavea originale effondrée à ces endroits. Ils sont nombreux et ont été relevés par photogrammétrie. La corrélation épipolaire dense permet d'obtenir des nuages de points comparables à ceux issus du balayage laser (Fassi, 2007). Les données produites sont donc aisément fusionnées au nuage de points produit par le scanner.

### Relevé d'élément de décor

Deux études ont été menées dans le cadre de l'acquisition d'objets de petite taille (30 cm environ), elles ont été présentées en 2.1 dans leur aspect théorique. Elles aboutissent sur des méthodes de traitement et de représentation des données tridimensionnelles qui sont exploitées au laboratoire.

## 5. Modélisation 3D pour la restitution archéologique

Le modèle de restitution a été réalisé pour la communauté d'agglomération du pays de Montbéliard. Il a été construit en collaboration étroite avec l'équipe d'archéologues de l'UMR 7044. Le laboratoire PAGE a accueilli pendant deux mois un architecte pour permettre la meilleure interaction en vue de la réalisation du modèle tridimensionnel. La première étape a consisté à



(1)

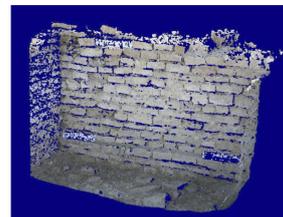


(2)

**Figure 8 :** Nuage de points obtenu par corrélation à partir d'un couple stéréoscopique (en haut). Photographie de la zone correspondante (en bas).



(1)



(2)



(3)

**Figure 9 :** Couple stéréoscopique avec points homologues (en haut). Nuage de points obtenu (en bas à gauche). Maillage texturé à partir du nuage (en bas à droite).



**Figure 10 :** Photographie d'un fragment de chapiteau.



**Figure 11** : Modèle maillé et texturé du fragment de la figure 10. Les parties blanches correspondent à des manques de données et sont volontairement non cachées par la texture.

formuler les hypothèses les plus vraisemblables vis-à-vis des éléments théoriques relatifs aux théâtres de la même époque et des éléments issus des fouilles sur le site et de les confronter au modèle contemporain du théâtre.

### 5.1. Hypothèses et formalisation en deux dimensions

Les plans 2D ont été établis de manière à synthétiser tous les éléments produits concernant la forme supposée du théâtre. Cette première formalisation est un moyen de faire le bilan à l'échelle de l'édifice sur la pertinence de certains éléments. La vision globale permet surtout une mise en cohérence des connaissances du théâtre effectives à ce jour. Notre participation à l'établissement des plans a résidé principalement dans l'exploitation du modèle maillé du théâtre contemporain, fournissant notamment les différents niveaux d'élévations, des coupes du terrain, etc. La synthèse en deux dimensions des hypothèses de restitution permet de faire évoluer les hypothèses locales et de proposer une première version.

### 5.2. Construction du modèle 3D

Le passage à la modélisation tridimensionnelle ne se fait que lorsque les hypothèses ont été choisies et mises en cohérence en deux dimensions. Les représentations bidimensionnelles permettent une figuration d'une restitution mais seuls les spécialistes peuvent en évaluer la pertinence. L'apport de la troisième dimension n'est pas lié qu'à la figuration, il permet de valider les hypothèses de restitutions dans un mode de perception proche de l'œil humain. Le modèle ainsi obtenu est un outil de communication.

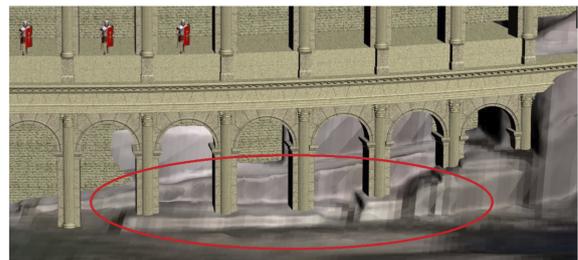
#### *Modélisation géométrique*

La modélisation géométrique dans le cas d'une restitution est un assemblage d'éléments définis en deux dimensions. Avant d'obtenir le modèle final, plusieurs étapes sont nécessaires. La première s'effectue en deux dimensions; il s'agit de transformer les éléments

de dessin de relevé et d'hypothèse pour qu'ils soient exploitables pour le passage en trois dimensions (de Montclos, 1993; Fuchs, 2006). Pour réaliser ce passage plusieurs logiciels sont nécessaires. Les éléments de dessin sont faits dans AutoCAD®, le passage à la troisième dimension est réalisé dans Sketchup®, l'assemblage des différents objets se réalise dans AutoCAD® et enfin, le modèle tridimensionnel est finalisé dans 3DStudio MAX® pour les paramètres de rendu. La modélisation, surtout lorsqu'elle requiert l'utilisation de différents logiciels, nécessite une méthodologie rigoureuse qu'il conviendra de respecter une fois établie. De plus, la question des formats de fichiers informatiques est une problématique majeure si l'on veut passer d'un outil à un autre.

### 5.3. Exploitation du modèle géométrique

Avant même de poursuivre le processus de modélisation, c'est-à-dire l'éclairage et le texturage du modèle, nous pouvons d'ores et déjà en utiliser la géométrie. Une première exploitation concerne la validation des hypothèses architecturales de restitution. Le modèle nous permettra également de réaliser une estimation de la capacité d'accueil du théâtre.



**Figure 12** : Confrontation du modèle de restitution avec le modèle de l'existant.

#### *Validation des hypothèses*

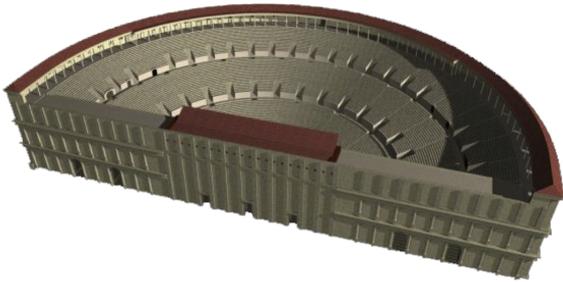
Le principe utilisé pour valider/infirmar les hypothèses de restitution réside dans la comparaison de la maquette virtuelle avec l'état actuel du théâtre. En superposant au modèle maillé contemporain la maquette de restitution, nous pouvons mettre en évidence les zones de concordance ainsi que les incohérences géométriques (Bur et al., 2003). Bien sûr, la détection de ces zones est facilitée par les possibilités de manipulation tridimensionnelle des différents objets.

#### *Estimation de la capacité d'accueil du théâtre*

La connaissance des dimensions globales de notre théâtre restitué nous permet de réaliser une estimation de sa capacité d'accueil. (Olivier, 1989), travaillant sur la restitution du théâtre d'Autun, nous donne un coefficient de 3,3 spectateurs par mètre carré de gradins. Nous conservons cette valeur pour réaliser l'estimation et il ne reste ainsi plus qu'à déterminer la superficie des gradins pour en déduire le nombre de places assises.

#### 5.4. Finalisation de la maquette

L'étape appelée ici finalisation de la maquette intervient après la modélisation géométrique. Elle correspond à la préparation d'un rendu réaliste du modèle par texturage et l'éclairage du modèle.



**Figure 13 :** Modèle de restitution basé sur les hypothèses archéologiques et confronté au modèle de l'existant.

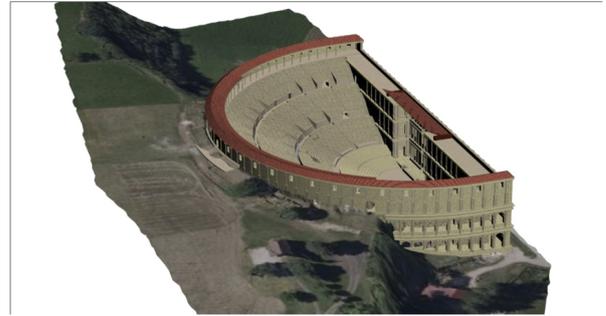
##### *Les matériaux*

Une fois les différents objets d'une scène modélisés, il devient nécessaire de les "habiller", de manière à augmenter leur réalisme, ou tout du moins à leur donner l'aspect souhaité. Il s'agit donc de définir puis d'appliquer des matériaux aux objets. Dans notre étude, chaque matériau défini est composé de deux textures : une texture de coloration et une texture de relief. La texture de coloration permet de donner aux objets leur couleur (définie par une image créée à l'avance). La texture de relief permet, quant à elle, de simuler un léger relief sur la surface de l'objet. Elle est souvent définie par la même image que la texture de coloration après conversion en niveaux de gris et rehaussement des contrastes. La combinaison des deux textures est ainsi utilisée pour donner du grain aux objets. Cette procédure semble donc bien adaptée aux rendus sur les éléments en pierre calcaire du théâtre. De plus, les textures de relief permettent également de recréer les effets de jointure entre les blocs.

##### *Eclairage*

Après avoir créé le contenu géométrique de la scène et habillé les différents composants, la qualité de la mise en scène finale dépendra largement du paramétrage de l'éclairage. Il s'agit d'une composante essentielle au bon rendu d'une scène. Un modèle, même très élaboré, avec des textures soignées et une animation spectaculaire, ne sera pas satisfaisant tant qu'il ne sera pas bien éclairé. C'est pourquoi l'éclairage doit être paramétré avec autant de soin que la modélisation et l'habillage. Chaque source lumineuse placée dans la scène est, en tant qu'objet, paramétrable. Ainsi, il est possible d'intervenir sur son intensité, sa couleur, choisir si elle crée une ombre ou pas. De la même manière, le type d'ombre créé est paramétrable (couleur, densité, etc.). Pour éclairer la maquette du théâtre, deux sources lumineuses sont principalement utilisées : un projecteur et une lumière unidirection-

nelle. L'une joue le rôle du soleil, et crée donc des ombres. La deuxième, d'intensité plus faible, ne projette pas d'ombre et sert uniquement à contrebalancer l'éclairage de sorte qu'il ne soit pas unilatéral. Le paramétrage des sources lumineuses est un travail nécessitant de nombreuses tentatives et corrections.



**Figure 14 :** Modèle de restitution inséré dans le contexte actuel.

#### 5.5. Produits réalisés

Une maquette telle que celle présentée est un outil de communication performant. D'un point de vue scientifique tout d'abord, elle permet de figurer des hypothèses architecturales basées sur des données archéologiques, tout en respectant les dimensions prévues dans les trois directions de l'espace. De plus, d'un point de vue visuel, elle donne à voir un état aujourd'hui disparu du théâtre, permettant ainsi de le visiter comme il était possible de le faire à l'époque de sa construction. Ce genre de réalisation est un outil très intéressant dans le cadre de la mise en valeur du site, notamment auprès du grand public. Différents produits ont été réalisés: tout d'abord à des fins de transmissions du modèle 3D, puis des rendus 2D sous formes d'images de synthèse et de vidéos. L'image constitue l'outil principal de la communication autour d'un site comme celui de Mandeure. Tout au long du processus de réalisation de la maquette, les images créées ont servi d'outil de communication entre les différents partenaires du projet. Une fois la maquette réalisée, les images sont utilisées pour présenter et mettre en valeur l'architecture externe et interne du théâtre antique. En plus d'images fixes, les environnements de modélisation permettent la réalisation de films d'animations. De manière assez simple, il est possible, via la création et le déplacement d'une caméra, de simuler un déplacement autour et à l'intérieur du théâtre. Il est par exemple possible de recréer le cheminement d'un spectateur depuis une entrée du théâtre, jusqu'à sa place dans les gradins, face à la scène.

## 6. Conclusion

L'intervention du PAGE sur le site du théâtre gallo-romain de Mandeure s'est déroulée depuis plusieurs années pour aboutir au modèle tridimensionnel de restitution présenté dans cet article. Les phases préliminaires

d'acquisition ont donné lieu à des expérimentations et échanges avec l'UMR 7044. Ces expérimentations ont permis de mettre en place des méthodes d'acquisition et de traitement adaptées aux types d'éléments rencontrés sur le site. C'est sur les bases de cette relation avec les archéologues que la modélisation a pu aboutir et satisfaire les architectes et archéologues qui ont formulé les hypothèses de restitution. Un modèle de ce type est une formalisation, il est prévu qu'il soit modifié pour permettre d'affiner les hypothèses ou en tester d'autres. L'acquisition de données apparaît dans cet article comme une étape intégrée dans un processus plus important de formalisation d'hypothèses archéologiques, de leur validation et enfin de figuration d'une réalité envisageable. D'autres expérimentations basées sur cette interdisciplinarité sont en cours et permettront de maintenir la discussion sur la mise en place de représentations plus proches des données tridimensionnelles tout en permettant leur appropriation dès les post-traitements.

## Références

- Alby, E., Meyer, E., Grussenmeyer, P., Rampaso, M., 2007. Gestion d'ouvrage architectural : de la saisie photogrammétrique à l'interface 3D d'accès aux données patrimoniales. *Revue XYZ* 110, 45–53.
- Alby, E., Smigiel, E., Assali, P., Grussenmeyer, P., Kauffmann-Smigiel, I., 2009. Low cost solutions for dense point clouds of small objects: Photomodeler Scanner vs. David Scanner-laser. Dans: CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage. Kyoto, Japon.
- Bur, D., Perrin, J., Fuchs, A., Germonprez, V., 2003. Laser scanning as a tool for archeological reconstitution : a gallo-roman temple in Naix-aux-forges, France. Dans: CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage. Antalya, Turquie.
- de Montclos, J. P., 1993. Principes d'analyse scientifiques, architecture, vocabulaire, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France. Imprimerie Nationale, Paris, France.
- Fassi, F., 2007. 3D modeling of complex architecture integrating different techniques - a critical overview. Dans: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVI(Part 5/W47). Zurich, Suisse.
- Fuchs, A., 2006. Outils numériques pour le relevé architectural et la restitution archéologique. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré - Nancy 1, France.
- Hullo, J., Grussenmeyer, P., Fares, S., 2009. Photogrammetry and dense stereo matching approach applied to the documentation of the cultural heritage site of Kilwa, Saudi Arabia. Dans: CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage. Kyoto, Japon.
- Olivier, A., 1989. Autun : Esquisse d'une restitution architecturale. *Dossiers Histoire et Archéologie* 134, 36–41.
- Smigiel, E., Alby, E., Grussenmeyer, P., 2008. Terrestrial laser scanner data denoising by range image processing for small-sized objects. Dans: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII (Part 5). Pékin, Chine.