

Modélisation 3D du château disparu des Wurtemberg à Horbourg-Wihr et exploitation de la réalité augmentée pour une mise en valeur dans la trame urbaine contemporaine

■ Laurine CARTIER

Loin d'être en contradiction avec la culture et le patrimoine, les nouvelles technologies sont aujourd'hui des outils permettant de figer des morceaux d'histoire sous une forme dématérialisée et intemporelle. Le patrimoine historique et culturel disparu actuellement peut alors renaître sous forme numérique et être mis en valeur auprès de chacun. C'est en ce sens qu'a été entreprise la reconstitution 3D du château des Wurtemberg, situé au cœur de la commune d'Horbourg-Wihr. Construit à la Renaissance, cet édifice fut démantelé dès la fin de la guerre de Trente Ans, ne laissant quasiment aucune trace derrière lui. Les données regroupées ces dernières années par les archéologues ont permis la création d'une maquette numérique du château, servant de support pour la création de contenu en réalité augmentée.

MOTS-CLÉS

Patrimoine, archéologie, château, Renaissance, modélisation 3D, visite virtuelle, réalité augmentée



Figure 1. Rendu photo-réaliste du castellum d'Horbourg-Wihr [Nivola, 2018]

quelques années avec l'établissement public Archéologie Alsace, grand acteur de la conservation du patrimoine, afin de proposer plusieurs projets de valorisation de ces édifices remarquables. Cette étude s'inscrit dans cette lancée et porte tout particulièrement sur la reconstitution du château des Wurtemberg et sur sa mise en valeur auprès des archéologues et du grand public.

Cette étude se décompose selon les quatre grands axes suivants, dont le déroulement global est présenté en Figure 3.

■ Analyse et interprétation des données

Cette première étape a pour objectif de former les différentes hypothèses de restitution. La reconstitution des éléments composant le château doit

Contexte

La commune d'Horbourg-Wihr, située dans le Haut-Rhin en Alsace, a gardé en son sol les traces de plusieurs phases d'occupation au cours des siècles, lui conférant ainsi un très fort potentiel archéologique. Des vestiges datant de la période antique (I^{er}-IV^e siècles ap. J.-C.) et de la période moderne (XVI^e-XVIII^e siècles ap. J.-C.) ont notamment été retrouvés au cours de campagnes de fouilles entreprises à partir de la fin du XIX^e siècle.

Les vestiges de deux édifices notables ont ainsi pu être relevés et analysés pour la conservation et la sauvegarde du patrimoine local. Il s'agit pour le premier d'un *castellum*, fort militaire romain construit vers le milieu du IV^e siècle ap. J.-C. dont la modélisation a été réalisée l'an passé par Thibaut Nivola au cours de son projet de fin d'études (Figure 1).

Le second édifice est quant à lui un château construit à la Renaissance par la famille de Wurtemberg dans l'angle nord-est des ruines du *castellum*. Peu de traces de ce château subsistent aujourd'hui, celui-ci ayant été complètement démantelé dès la fin de la guerre de Trente Ans (Figure 2).

Depuis quelques années, la commune d'Horbourg-Wihr souhaite promouvoir cet important patrimoine et profiter du rayonnement touristique de Colmar pour affirmer une identité propre et susciter la curiosité du public. Pour ce faire, la ville s'est associée depuis

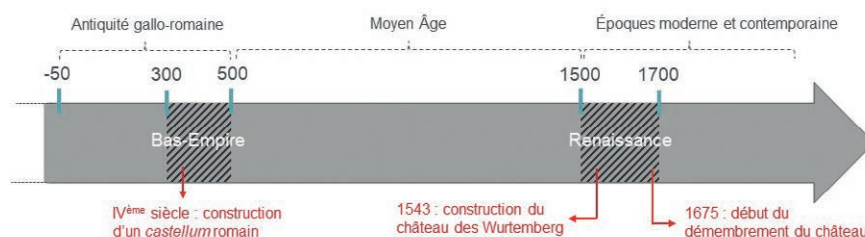


Figure 2. Chronologie des événements

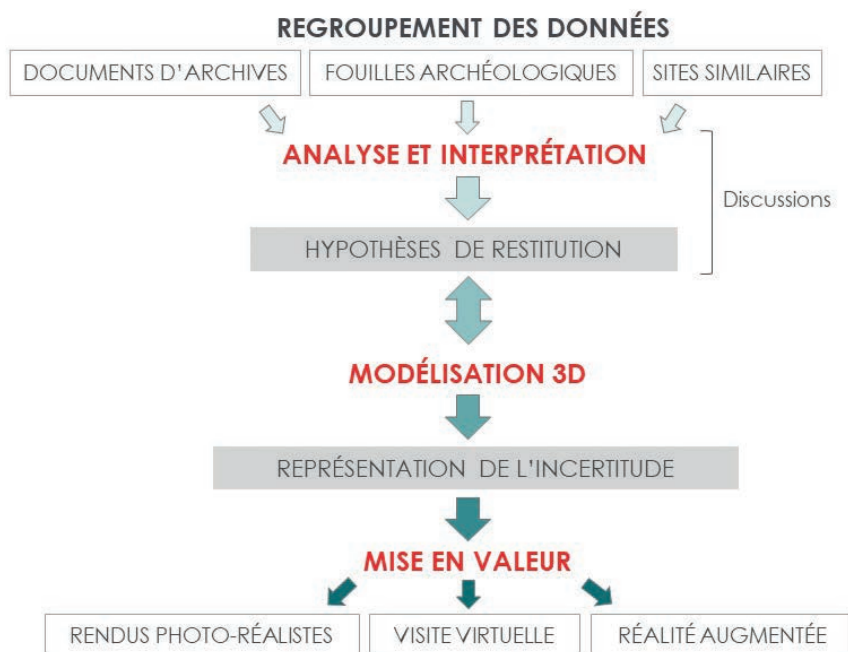


Figure 3. Étapes principales du projet

venir s'appuyer sur les données à disposition autant que possible. Dans le cas où celles-ci sont inexistantes, il s'agit de s'inspirer de l'architecture d'édifices comparables.

■ Création d'un modèle 3D du château

Considérant les hypothèses émises précédemment, l'objectif est de livrer un modèle facilement utilisable ou modifiable par la suite. Ainsi, le modèle créé devra être aisément exportable, compatible avec de multiples plateformes et optimisé pour du rendu en temps réel (réalité augmentée par exemple).

■ Utilisation d'une démarche de restitution archéologique

Celle-ci doit permettre de rendre compte de l'incertitude du modèle. Un des objectifs de la modélisation est de parvenir à créer un outil de synthèse archéologique, c'est-à-dire un modèle faisant transparaître les parties attestées par archéologie et celles qui ne le sont pas. Ainsi, le niveau de certitude et la source de chacun des éléments doivent être clairement affichés.

■ Valorisation du château

Cette valorisation, inscrite dans la trame urbaine contemporaine et à destination du grand public vise à faire cohabiter *castellum* et château au sein d'un même applicatif, doté de repères urbains

communs. Pour cela, plusieurs solutions ont été développées.

Analyse et interprétation des données

Peu d'informations permettent à l'heure actuelle de décrire parfaitement la forme et l'apparence originelles du château des Wurtemberg à la fin du XVI^e siècle. Un travail de recherche en relation avec les archéologues a donc été effectué au début de ce projet, afin de lever les principales zones d'ombre subsistantes.

Les principales données récoltées au cours des dernières années concernent l'état du château des Wurtemberg entre la fin du XVI^e siècle et son démantèlement. La modélisation se base par conséquent sur l'état du château à cette période précise.

Les données les plus anciennes datant de cette période sont des plans dessinés par l'architecte en charge à l'époque d'un réaménagement du château. Il s'agit notamment de plans de façade ainsi que de plans d'intérieur d'une des ailes.

Une représentation détaillée du château des Wurtemberg est apportée grâce à une gravure reprise depuis une ancienne lithographie (Figure 4). Ce document très précieux sert de référence pour la modélisation de l'édifice. Cette gravure, malgré son importance, est toutefois à prendre avec précaution.

En effet, les diverses représentations d'époque n'avaient pas pour objectif de figurer le château tel qu'il se présentait réellement, mais plutôt d'en donner une version exagérée, poussée vers l'opulence et la puissance, afin de montrer la richesse des possessions et le pouvoir des maîtres des lieux.

Un plan théorique du château et du *castellum* dressé en 1894 à partir d'observations archéologiques permet de recaler l'ensemble des éléments de la maquette numérique.

Quatre sondages archéologiques ont été menés entre 2004 et 2017 dans l'optique de retrouver des vestiges du *castellum* et du château. Les rapports de fouilles ont été étudiés afin de saisir les enjeux de chacun des sondages effectués, pour ensuite isoler les faits et hypothèses nécessaires et suffisantes pour la modélisation. Ces informations ont ensuite été intégrées à la maquette numérique pour justifier du positionnement, de l'orientation et de la géométrie des éléments principaux du château. Les éléments dont nous disposons ne permettant pas de restituer le château

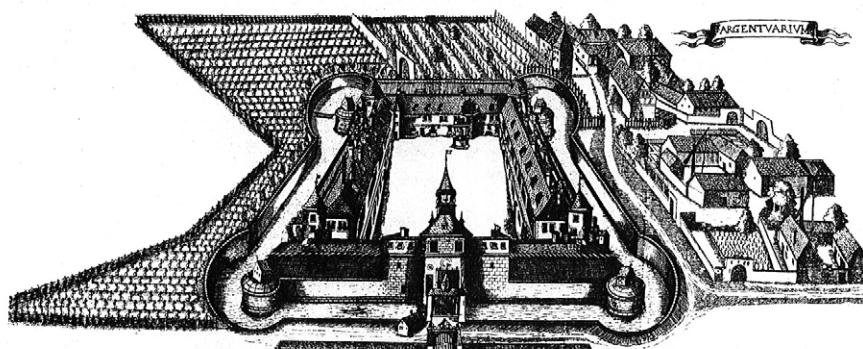


Figure 4. Gravure de X. Saile représentant le château des Wurtemberg après son réaménagement à la fin du XVI^e siècle



dans sa majeure partie, nous avons pu au cours de ce projet étudier et visiter des sites similaires au château, de par leur architecture et leur époque, et pouvant ainsi servir d'inspiration pour la modélisation. Le château de Riquewihr, construit quelques années seulement avant celui d'Horbourg-Wihr par le même architecte, ou encore la seigneurie d'Andlau font notamment partie de ceux-ci.

Tous ces éléments ont été ensuite mis en relation pour proposer des reconstitutions du château. Ce travail est présenté régulièrement aux archéologues, qui valident ou bien corrigent chacun des composants. Parfois, plusieurs propositions sont nécessaires avant d'être satisfait par la modélisation d'un seul élément. Ces allers-retours sont chronophages, mais permettent de fournir un modèle abouti et dont chaque élément est justifiable.

Modélisation 3D

Les hypothèses de restitution sont ensuite progressivement assemblées pour proposer une modélisation des éléments du château. Une fois la structure de base validée par les archéologues, l'ensemble des détails est ajouté au fur et à mesure jusqu'à obtenir une maquette complète.

■ Logiciel

La modélisation a été réalisée dans sa grande majorité sur le logiciel Maya d'Autodesk. Il s'agit d'un logiciel très utilisé dans le milieu de l'animation

3D car il permet d'effectuer un très grand nombre de tâches, allant de la modélisation pure et dure au rendu d'animation en haute définition.

Maya est un logiciel de modélisation polygonale. Comme son nom l'indique, la construction des objets 3D se réalise à partir des 3 composantes d'un polygone : les faces, les arêtes et les sommets. Ce sont les différentes combinaisons d'opérations sur ces composantes (extrusion, rotation, mise à l'échelle, découpe...) qui mèneront au produit final.

Ce logiciel est parfaitement adapté pour la modélisation du château des Wurtemberg, car il permet de gérer aisément la géométrie de chacun des objets 3D, donnant ainsi la maîtrise complète sur chacune des étapes de construction. Il est par conséquent possible d'alléger le modèle en y appliquant des méthodes d'optimisation, améliorant de cette façon les performances du rendu, notamment en temps réel. Enfin, Maya produit des rendus très propres esthétiquement, ce qui en fait un choix par excellence pour la production de modèles réalistes.

■ Maquette blanche

La première étape de modélisation consiste en la représentation des volumes principaux du château. Le modèle résultant est alors appelé "maquette blanche". Par définition, ce modèle n'est pas texturé et présente un niveau de détail minimum. Cette étape est essentielle puisqu'elle pose la structure de base du château. Les éléments

plus détaillés sont ensuite modélisés puis ajoutés à ce socle (Figure 5).

■ Optimisation du modèle

La création d'un environnement simulé nécessite une réflexion poussée avant même de démarrer la modélisation d'objets 3D sous peine de ne pas pouvoir obtenir le rendu souhaité. En choisissant de réaliser un tel projet, il faut avoir à l'esprit que plus la scène est composée d'objets, plus elle est lourde et plus il sera difficile de proposer un rendu graphique en temps réel. Des techniques d'optimisation appliquées sur chaque objet créé sont donc un gage de réussite pour la suite du projet. Chaque objet de la scène doit par exemple être pensé de manière à posséder le plus petit nombre de faces. Il faut donc penser à supprimer de l'objet les faces invisibles à la vue du visiteur, comme souvent celles se trouvant en dessous des objets par exemple. Tout est une question d'équilibre : le nombre de faces doit être suffisant pour accentuer le réalisme de la scène, mais ne doit pas non plus dépasser un certain seuil afin de ne pas limiter les performances du rendu.

Pour des objets complexes dont la géométrie ne peut être simplifiée, des méthodes d'optimisation sont applicables sur la base d'un travail relatif à la texture de ces objets.

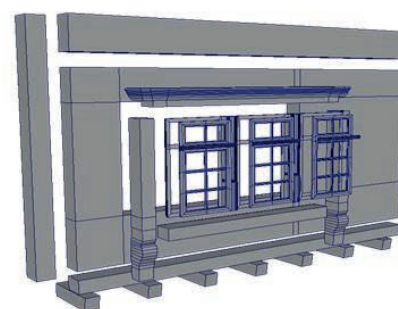


Figure 6. Réalisation des décors du pan de bois en textures

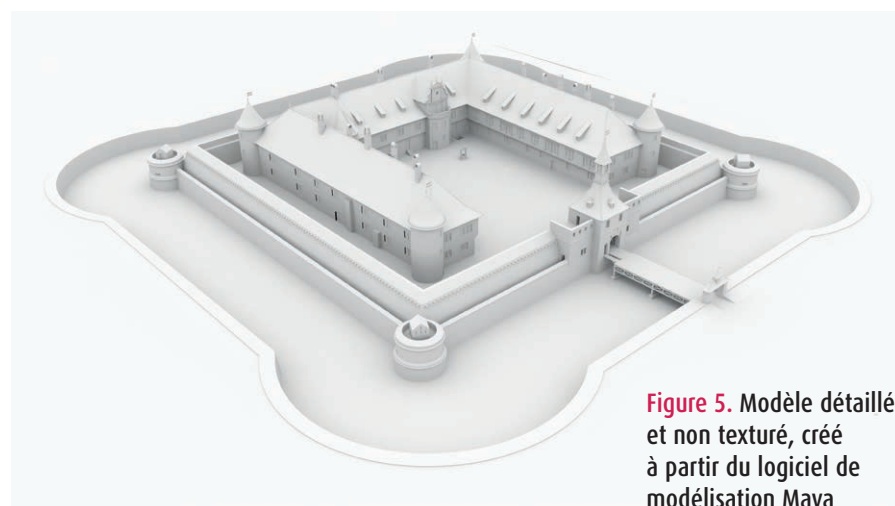


Figure 5. Modèle détaillé et non texturé, créé à partir du logiciel de modélisation Maya



Autant que possible, nous veillons à privilégier l'emploi de textures à la modélisation simple pour la représentation d'éléments détaillés. Cette technique permet d'économiser un grand nombre de faces, en particulier sur des objets caractérisés par des formes complexes.

La plus grande partie du pan de bois du château a été réalisée de cette façon. Les poutres principales ont été modélisées mais les décors, typiques de l'époque Renaissance, ont été mappés à l'aide de textures (Figure 6).

■ Texturage

Une fois la modélisation complétée, l'étape suivante consiste à appliquer l'ensemble des textures sur les objets 3D. Étant donné que très peu d'éléments du château demeurent visibles aujourd'hui, les textures ont principalement été sélectionnées sur la base de sites similaires ou encore téléchargées depuis des bibliothèques en ligne.

La première étape du texturage est donc de choisir les images qui nous serviront de base pour préparer les textures. La résolution des images est un critère important de ce choix : une image haute résolution ne sera pas pertinente pour couvrir un objet se trouvant loin de la vue du visiteur car elle surchargera le modèle. Les performances du rendu s'en trouveront alors impactées.

Une fois les images choisies, nous pouvons à présent gommer tous les défauts susceptibles de créer des effets de répétition, notamment sur de grands objets présentant une texture continue. Cette étape est réalisée avec le logiciel Photoshop. Les traitements des images varient selon le résultat attendu. Quelques retouches seulement sont nécessaires pour certaines textures, tandis que d'autres ont besoin d'être créées de toutes pièces.

L'ajout d'une image sur un objet 3D ne suffit parfois pas à le rendre réaliste. En effet, une multitude de détails tels que le grain, les creux, les bosses, la transparence ou autres constituants d'une matière ne peuvent pas être correctement retranscrits en appliquant simplement une image 2D sur la surface de l'objet.

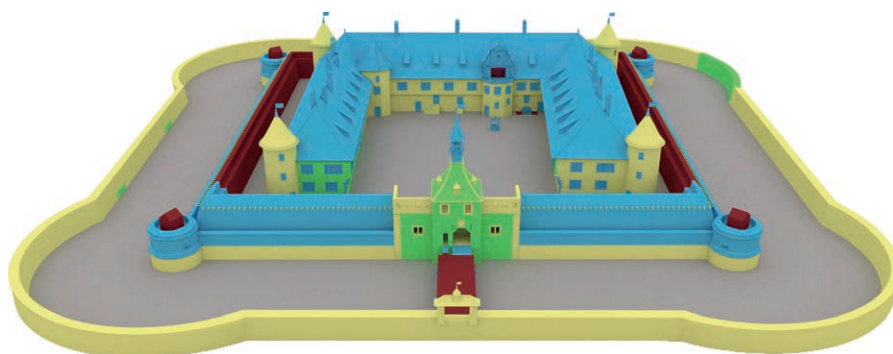


Figure 7. Maquette colorée en fonction des niveaux d'incertitudes

Pour éviter de modéliser ces petits détails, une solution consiste à superposer à notre image des cartes de textures spéciales qui permettent d'ajouter lors du rendu un certain nombre d'informations au matériau.

Au total, la réalisation de la maquette numérique a nécessité environ 4 mois de travail. Voici ci-après quelques données la concernant.

Modèle Maya

Taille : 154 Mo (Maya ASCII File)
9102 objets 3D (523 132 faces)
94 textures

Évaluation de l'incertitude

La restitution du château des Wurtemberg ne repose pas entièrement sur des faits et dispose en ce sens d'une part conséquente d'incertitudes. Afin de distinguer les éléments certains de ceux qui ne le sont pas, la maquette numérique doit devenir un outil de synthèse archéologique, c'est-à-dire qui permette de distinguer les parties avérées de celles qui le sont moins. Ainsi, le modèle 3D a pour objectif de devenir un outil évolutif, qui pourra varier en fonction de l'évolution des données et hypothèses.

Des aspects tels que le degré d'incertitude des données utilisées pour la construction du modèle 3D n'ont généralement pas de représentation visuelle intégrée au modèle virtuel. Les utilisateurs risquent alors d'être induits en erreur en considérant la maquette comme une vérité objective et ne pourront exercer leur esprit critique à propos de celle-ci. C'est donc en quelque sorte une forme d'honnêteté que de propo-

Légende	
■	N1 : Attesté par les fouilles et les travaux archéologiques
■	N2 : Restitué par déduction logique
■	N3 : Restitué par analogie
■	N4 : Restitué par hypothèses



20 m

ser une restitution faisant apparaître toutes les informations.

Dans ce but, les éléments composant la maquette numérique du château sont classés selon les 4 niveaux d'incertitudes définis par [Nivola, 2018] qui suivent.

– **Attesté par les fouilles et les travaux archéologiques** : s'appuie sur des preuves objectives d'éléments retrouvés et observés (diagnostics archéologiques, relevés scanner, plans d'archives...).

– **Restitué par déduction logique** : correspond aux parties modélisées par prolongement et déduction entre deux éléments attestés. Cela concerne notamment les parties du plan théorique de C. Winkler qui n'ont pas été fouillées.

– **Restitué par analogie** : s'inspire de vestiges archéologiques similaires de la région. Il s'agit par exemple d'éléments possédant des caractéristiques architecturales de la Renaissance Rhénane.

– **Restitué par hypothèses** : il s'agit du niveau de certitude le plus bas et le plus inexact qui concerne les éléments modélisés alors qu'aucune donnée les concernant n'existe actuellement.

La représentation visuelle associée à ces niveaux est un code couleur défini sur chacun des éléments de la maquette grâce à l'utilisation de calques (Figure 7), qui permettent de classer les différents objets de la scène 3D et ainsi de les faire apparaître ou disparaître au besoin.



Figure 8. Rendus photos-réalistes du château

Mise en valeur du château

Dès lors qu'une maquette 3D est générée, la question de sa diffusion devient essentielle. L'objectif principal étant de valoriser et de faire découvrir le patrimoine historique de la commune d'Horbouurg-Wihr, une réflexion doit être menée afin de proposer le moyen de communication le plus cohérent par rapport au public visé ainsi que par rapport au message à diffuser. En ce sens, plusieurs solutions ont été retenues et sont présentées ci-dessous.

■ Rendus photo-réalistes

Plusieurs rendus photos-réalistes ont tout d'abord été réalisés à partir du moteur de rendu Arnold, dont quelques-uns sont présentés en Figure 8. Ces rendus haute définition permettent d'observer le château sous toutes ses coutures. Afin d'apporter du réalisme au modèle, les abords immédiats ont également été modélisés à partir de plusieurs représentations et écrits d'époque.

■ Visite virtuelle

Une visite virtuelle a ensuite vu le jour, permettant de visualiser le *castellum* et le château des Wurtemberg à partir d'une série de vues panoramiques 360°. Une précédente visite mettant en scène le *castellum* ayant été réalisée l'an

passé, l'objectif était ici de parvenir à y intégrer des points de vue propres au château pour n'obtenir au final qu'une simple et unique application. Cette visite permet de se promener virtuellement dans la commune d'Horbouurg-Wihr à travers trois types de panoramas :

- environnement contemporain
- insertion du *castellum* et du château dans l'environnement contemporain : panoramas mixtes, mêlant le contemporain avec l'ancien dans une même image
- environnement d'époque : entièrement modélisé numériquement

Le visiteur peut ainsi naviguer entre les différentes époques et voir apparaître le *castellum* et le château à l'endroit précis où ceux-ci se tenaient à l'époque. Les panoramas ont été créés à partir de photographies ou bien exportées à l'aide d'un moteur de rendu pour l'environnement d'époque notamment. La superposition d'éléments virtuels sur un environnement contemporain dans un même panorama est une solution pour présenter et mettre en valeur les différents objets 3D restitués (Figure 9).

■ Réalité augmentée

Enfin, la dernière proposition de mise en valeur du château repose sur l'utilisation de la réalité augmentée. Ce

terme désigne des méthodes numériques permettant d'ajouter à notre perception du réel une surcouche d'information contextuelle en temps réel. Il s'agit ici d'augmenter notre sens de la vision en intégrant dans l'espace réel la maquette numérique du château à l'aide d'un smartphone ou d'une tablette. La réalité augmentée est une des technologies sélectionnées pour ce projet, car elle permet notamment de ne pas couper l'utilisateur de son environnement et de lui procurer des points de repères utiles à sa compréhension. Une application a donc été développée à partir du moteur de jeu vidéo *Unity* couplé au SDK (*Software Development Kit*) *Vuforia*. Ce dernier est une sorte de boîte à outils spécialement destiné à faciliter le développement d'applications en réalité augmentée.

Différents moyens existent pour déclencher l'apparition d'un modèle numérique à partir de la caméra d'un smartphone, allant de la reconnaissance de cibles diverses à des systèmes plus complexes reposant par exemple sur la détection de plans. Nous avons choisi dans notre étude de baser notre application sur un système de marqueurs (*marker based augmented reality*). Comme son nom l'indique, ce système propose de faire apparaître le modèle voulu dès lors qu'un



Figure 9. Insertion du château dans l'environnement contemporain (à gauche l'environnement contemporain, à droite intégration du château)



Figure 10. Apparition des différents modèles colorés du château

marqueur est reconnu. Il peut s'agir de QR codes ou encore d'images bien plus complexes. Nous avons défini comme image cible une partie du cadastre de la commune d'Horbourg-Wihr. Après avoir intégré dans l'application les différentes maquettes numériques, celles-ci ont été recalées pour qu'elles apparaissent à l'endroit précis où se tenait autrefois le château.

Afin de faciliter la compréhension du processus de restitution, les quatre maquettes correspondant aux niveaux d'incertitudes définis précédemment ont été intégrées dans l'application. Il est ainsi possible de les superposer jusqu'à obtenir le modèle complet (Figure 10).

Conclusion

Cette étude propose de suivre les principales étapes de reconstitution du château des Wurtemberg à Horbourg-Wihr ainsi que les moyens et méthodes utilisés pour la mise en valeur de celui-ci. Un processus interprétatif a tout d'abord été réalisé, afin d'aboutir aux conclusions concernant l'orientation, la position ainsi que la géométrie des différents éléments du château. Cette étape a été réalisée à partir de l'insertion des données issues de fouilles archéologiques mais également, lorsque ces dernières ne suffisaient plus, par comparaison avec des sites similaires en termes de géométrie et d'époque. La modélisation du château s'est par

la suite déroulée sur le logiciel Maya. Une fois la maquette blanche complétée, les textures ont été préparées puis plaquées sur chacun des objets 3D. Pour que le château apparaisse de la manière la plus réaliste possible, un travail particulier a été effectué sur le rendu des matériaux destinés à habiller le modèle final. De nombreuses textures ont pour cela été créées et retravaillées jusqu'à obtenir le résultat souhaité. Le modèle 3D a également été travaillé dans une optique d'optimisation, en générant un nombre minimum de faces lors de la construction de chaque objet, ou encore en créant des décors entièrement basés sur des textures, évitant ainsi de modéliser une multitude de détails. Ces techniques allègent de manière importante le modèle final, lui laissant la possibilité d'être utilisé pour du rendu en temps réel, notamment pour des applications de réalité augmentée.

Dans un souci de transparence à propos de la réalisation du modèle 3D, quatre niveaux d'incertitudes ont été utilisés pour créer une maquette distinguant clairement les éléments certains de ceux l'étant moins. Cette représentation visuelle permet ainsi de saisir la relation entre la réalité archéologique (ce qui existe encore) et la réalité virtuelle (ce qui a été reconstruit virtuellement).

Une fois la maquette numérique du château complétée, plusieurs moyens de valorisation ont été mis en place, afin de répondre au mieux aux attentes de la commune d'Horbourg-Wihr. Le

castellum et le château cohabitent désormais sur un même applicatif grâce à une visite virtuelle du site dans la trame urbaine contemporaine, ainsi que dans leurs environnements d'époque respectifs. Une application mobile permettant d'observer plusieurs modèles miniatures du château a été développée, afin de pouvoir l'observer sous tous les angles. Enfin, des rendus photos-réalistes ainsi qu'une vidéo ont également pu voir le jour au cours de ce projet et finissent de compléter la mise en valeur. ●

Contact

Laurine CARTIER
l.cartier@ttge.fr

Référence

Nivola, T. (2018) *Modélisation 3D du castellum de Horbourg-Wihr et exploitation de la réalité augmentée pour une mise en valeur dans la trame urbaine contemporaine*, Mémoire de Projet de Fin d'Études, INSA Strasbourg, pp. 1-79.

ABSTRACT

Key words: Heritage - archaeology - castle - Renaissance - 3D modeling - virtual visit - augmented reality

Far from being in contradiction with culture and heritage, new technologies are nowadays tools for freezing pieces of history in a dematerialized and timeless form. The historical and cultural heritage that has now disappeared can then be reborn in digital form and highlighted to everyone. This is the reason why the 3D reconstruction of Wurtemberg castle, located in the heart of the municipality of Horbourg-Wihr, was undertaken. Built during the Renaissance, this building was dismantled at the end of the Thirty Years' War, leaving almost no trace behind it. The data gathered in recent years by archaeologists have made it possible to create a digital model of the castle, which serves as a support for the creation of augmented reality content.