

DE L'ACQUISITION 3D À LA RÉALITÉ AUGMENTÉE : LE CAS DE L'ÉGLISE DE LA CHARTREUSE PONTIFICALE DE VILLENEUVE-LÈS-AVIGNON (GARD)

Aurélie Favre-Brun^{1,2}, Livio de Luca¹

1: UMR 6572 LAMM/Université de Provence (MMSH Aix-en-Provence)
a.favre-brun@orange.fr

2: Laboratoire MAP CNRS/MCC (ENSA Marseille)
livio.deluca@gamsau.archi.fr

Résumé

La chartreuse de Villeneuve-lès-Avignon (Gard), fondée au XIV^{ème} siècle par le pape Innocent VI, a subi de nombreux bouleversements tout au long de son existence, à l'image de son église. Construite en plusieurs temps, elle a atteint son apogée au XVIII^{ème} siècle, avant d'être vendue puis divisée en lots et occupée par la population pauvre locale. Le XX^{ème} siècle marque sa renaissance à travers les expropriations et les restaurations. Elle est aujourd'hui un site touristique et un lieu de résidence pour artistes. Dans le cadre du programme 3D[Monuments] piloté par le Ministère de la Culture et de la Communication, l'église a été le théâtre de campagnes de relevés numériques et photographiques visant à reconstruire en 3D son état actuel. Une restitution hypothétique de son état post-révolutionnaire, basée sur les nombreuses et diverses sources documentaires, a également été proposée. Une base de données contenant la documentation liée aux objets 3D a été mise en place. L'élaboration de la maquette 3D a conduit l'équipe à s'interroger sur la fiabilité des informations transmises par les sources documentaires. La chartreuse a ainsi été choisie comme terrain d'expérimentation privilégié pour l'étude de l'incertitude des données documentaires réalisée dans le cadre d'une thèse de doctorat.

Mots clés : numérisation 3D, sources documentaires, restitution hypothétique, applications interactives, réalité augmentée, base de données, incertitude.

Abstract

The charterhouse of Villeneuve-lès-Avignon (Gard, France) was created by Pope Innocent VI during XIVth century. Several times, it was transformed, like its church. Built in many steps, it peaked during the XVIIIth century, then it was sold, divided in 17 parts and occupied by poor local families. The XXth century is the century of the Charterhouse's rebirth through expropriations and restoration campaigns. Today, it's a cultural place with expositions and artists in residence. Under the program 3D[Monuments] of the Ministry of Culture and Communication, the church was the place of campaigns of digital and photographic surveys. The aim was to rebuild the actual state of this building and propose a restitution of its state before the French Revolution. A data base which contained documentation, related to the 3D objects, was created. The development of 3D model led us to think about the reliability of documentary sources. The site of the charterhouse has been selected as the testing ground for the study of documentary data uncertainty created as a part of a doctoral thesis.

Keywords : 3D scanning, documentary sources, hypothetical restitution, interactive applications, augmented reality, data base, uncertainty.

1. Introduction

La documentation abondante issue des études pluridisciplinaires menées sur la chartreuse de Villeneuve-lès-Avignon implique qu'elle soit organisée dans une base de données. La maquette 3D numérique de l'église, réalisée dans un cadre pédagogique¹ pour le programme national de numérisation 3D[Monuments]², a été une première étape dans la

création d'une plate-forme documentaire numérique liant les documents historiques à leur représentation 3D (NUBES³). Elle devra être accessible aux acteurs du patrimoine (archéologues, architectes, historiens, restaurateurs) pour la consultation des données et l'intégration de la documentation. Les problèmes rencontrés lors de la restitution hypothétique des objets et structures architecturales disparus nous ont conduits à nous interroger sur la fiabilité des sources

¹DPEA « Culture Numérique et Patrimoine Architectural » (dir. Michel Berthelot).

²Programme national de numérisation 3D du patrimoine (<http://www.map.archi.fr/3D-monuments/>).

³NUBES, An integrated platform for describing, analysing, documenting and sharing digital representations of heritage buildings (<http://www.map.archi.fr/nubes>).

documentaires. Notre étude⁴ tente de répondre à cette problématique par la mise en place de dispositifs de représentation et de visualisation de la confiance accordée afin de renseigner le modèle 3D. Nous introduirons notre propos par un bref historique du site de la chartreuse et une description des travaux numériques (relevés et modélisation) menés sur l'église et les objets liturgiques. Nous nous intéresserons ensuite à la valorisation des sources documentaires ainsi qu'aux perspectives de recherche et à la réflexion menée sur l'incertitude des sources.

Historique de la chartreuse

État 1 : palais cardinalice. Le cardinal Étienne Aubert possédait à Villeneuve un palais édifié à l'emplacement d'anciens domaines agricoles. En 1352, il succède au pape Clément VI et devient Innocent VI. Il acquiert de nouveaux terrains sur lesquels il étend son palais, doté d'une salle consistoriale (ou tinel) et d'une chapelle dédiée à saint Jean-Baptiste. Des fresques illustrant la vie de ce saint, réalisées vers 1355 par Matteo Giovannetti, ornaient les murs de ces deux salles. Elles sont considérées comme les ensembles peints les plus somptueux de la fin du Moyen-Âge.

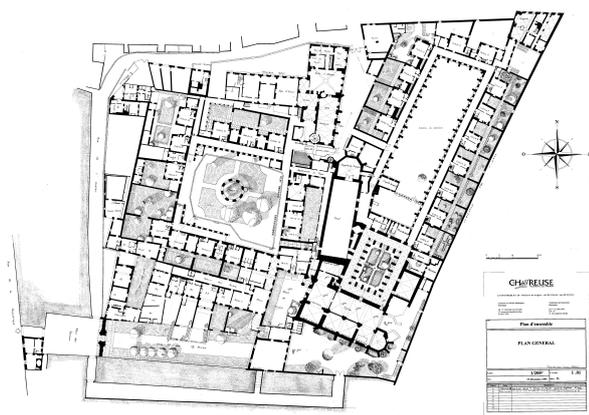


Figure 1 : Plan actuel de la chartreuse.

État 2 : fondation de la chartreuse (1356). De nouveaux terrains sont achetés afin d'agrandir les lieux et installer une première communauté. L'église accueille la messe de dédicace le 19 août 1358. En août 1362, la chartreuse devient Notre-Dame du Val-de-Bénédiction. Innocent VI décède le 12 septembre 1362 et est inhumé dans l'église.

État 3 : seconde fondation de la chartreuse. Les descendants du défunt pape poursuivent son œuvre et agrandissent la chartreuse ainsi que la communauté. Une chartre de janvier 1372 mentionne la construction de nouveaux espaces. Jusqu'au XVII^e siècle,

l'établissement religieux ne connaîtra que très peu de modifications.

État 4 : dernière phase de constructions (XVI^e siècle). La chartreuse, à son apogée, est la plus riche de France. Trois campagnes de travaux d'embellissement, réalisées entre la fin du XV^e siècle et le XVIII^e siècle, l'ont en partie remodelé. A la suite de la Révolution française (1789), la chartreuse, devenue bien national, est mise en vente. Les objets liturgiques sont recensés (Guirand et Mercurin, 1791) avant d'être déposés à la collégiale de Villeneuve. La communauté cartusienne est dissoute le 13 août 1792. La chartreuse est achetée et divisée en 17 lots, vendus et occupés par des particuliers qui contribuent à sa dégradation tout en préservant paradoxalement les bâtiments. En 1904, la Commission des Monuments Historiques charge l'architecte Jules Formigé d'effectuer le relevé des bâtiments. La chartreuse est classée Monument Historique par arrêté du 5 juillet 1905. A partir de 1909, d'importants travaux de restauration sont entrepris. En 1948, le site est accessible aux visiteurs. Un centre culturel s'installe dans les murs en 1973, orientant la suite des travaux de réfection. En 1976, s'ouvre le musée municipal Pierre de Luxembourg à Villeneuve-lès-Avignon où sont exposés la plupart des tableaux. En 1980 enfin, le tinel est transformé en salle de spectacles. Depuis 1990, la chartreuse abrite le Centre National des Écritures du Spectacle qui organise des expositions et accueille des artistes en résidence. Il est difficile de dater avec précision les premières études menées sur la chartreuse. Depuis sa fondation au XIV^e siècle, elle a été abondamment documentée. Nous disposons à ce jour d'une grande variété de documents hétérogènes dans leurs formes et leurs contenus. Les documents collectés se composent de dessins, textes descriptifs (Anonyme, s.d.; Guirand et Mercurin, 1791; Valla, 1991), photographies, documents audiovisuels et enregistrements sonores⁵, correspondances, plans (Figure 1), etc. Des études scientifiques récentes (rapports d'études archéologiques (Nagel et Urban, 2005), monographies (Sournia et Vayssettes, 2006; Piniès, 2010) apportent des données plus précises, produites par des techniques et des outils performants (scanners laser, tachéomètres, relevés photos haute définition). L'édifice lui-même et le mobilier archéologique sont également étudiés, au même titre que les sources orales émanant de spécialistes scientifiques ou de personnes anonymes.

2. Reconstruction 3D et restitution hypothétique de l'église

L'expérience pluridisciplinaire menée depuis 2007 sur l'étude et la valorisation de l'église de la chartreuse a été réalisée par des archéologues, architectes, ingénieurs et historiens de l'art lors d'une formation de

⁴Aurélien Favre-Brun, Visualisation de l'incertitude au sein d'une maquette 3D, thèse de doctorat, sous la direction de M. Florenzano (laboratoire MAP CNRS/MCC) et A. Hartmann-Virnich (LAMM, UMR 6572 CNRS/Université de Provence).

⁵Site internet de l'Institut National de l'Audiovisuel (www.ina.fr).

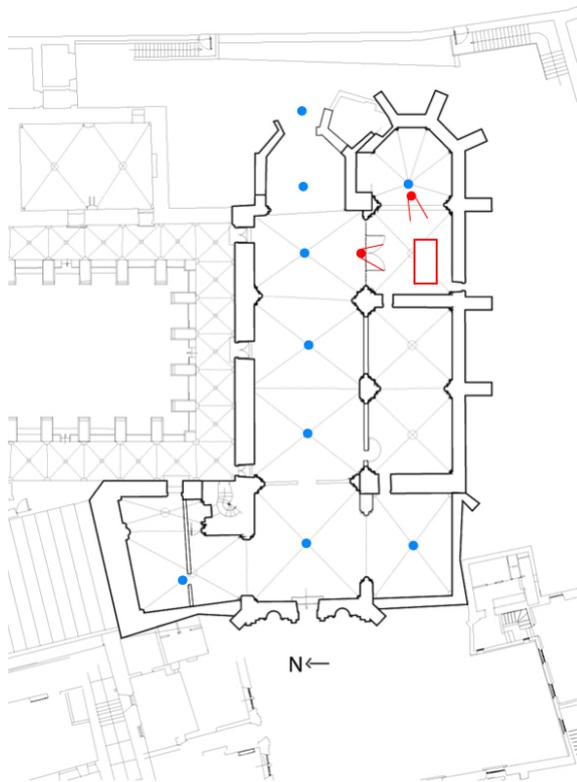


Figure 2 : Plan actuel de l'église conventuelle, avec la localisation des stations photographiques panoramiques (bleu) et l'emplacement du tombeau d'Innocent VI et des stations scanner laser (rouge).

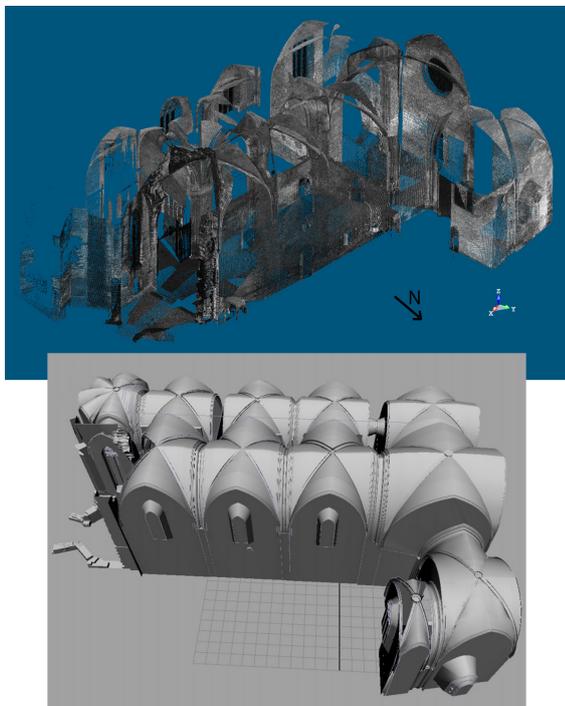


Figure 3 : Nuage de points de l'église produit par l'ENSG et reconstruction 3D de l'état actuel.

spécialisation. Cette étude mêle des données issues des campagnes de relevés 3D et photographiques associées à des sources documentaires. Le premier objectif était de réaliser une archive numérique de l'édifice actuel en procédant à des relevés laser et photographiques. Nous avons ensuite utilisé ces relevés pour proposer une restitution de l'église dans son état post-révolutionnaire (1791) en nous basant sur des textes descriptifs précis. Le choix de l'étude s'est porté sur cet édifice en particulier car il a largement été documenté et offre de multiples alternatives de restitutions spatio-temporelles (structures architecturales détruites, éléments décoratifs disparus). L'église (Figure 2) se composait à l'origine (1358) d'une nef unique à laquelle ont été accolées deux chapelles funéraires. Lors de la seconde fondation de la chartreuse, une travée supplémentaire est construite. Entre le XV^{ème} et le XVII^{ème} siècle, des travaux d'embellissement transforment l'église en un lieu richement décoré (autels, retables et sols en marbre, peintures aux murs). Puis, la Révolution française marque le début de la lente dégradation de l'église (dispersion des objets liturgiques et décoratifs, destruction partielle de l'édifice).

2.1. Traitement numérique des volumes actuels : acquisition lasergrammétrique et photographique

Suite aux campagnes de relevés lasergrammétriques conduites par l'École Nationale des Sciences Géographiques depuis 2005, nous avons organisé de nouvelles campagnes d'acquisition, afin de numériser les éléments architecturaux absents des précédents relevés (Figure 3), ainsi que les objets de mobilier (notamment le maître-autel). Plusieurs scanners laser ont été utilisés afin d'acquérir les volumes existants de l'église, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la manipulation de ce matériel faisait partie intégrante de la formation donnée aux étudiants ; ensuite, la numérisation à partir de plusieurs stations représentait un gain de temps considérable ; et enfin, chaque scanner offrant des résolutions d'acquisition différentes, ils ont été utilisés selon la complexité de l'objet à numériser ou son éloignement. Ainsi, les éléments sculptés et architecturaux lointains (voûtes, culots) ont été numérisés avec les deux scanners Mensi-Trimble GX et GS 200. Le tombeau d'Innocent VI a été relevé avec le même scanner longue distance Trimble GX, paramétré pour une acquisition à haute résolution. Le scanner à triangulation optique Konica Minolta Vi-910 a été employé pour la numérisation des objets sculptés situés à une courte distance (culots du tombeau, sculptures du maître-autel). Enfin, le scanner à décalage de phases FARO Photon a été testé lors de l'acquisition de la structure générale du maître-autel. Les nuages de points obtenus, composés de plusieurs millions de coordonnées, ont subi plusieurs traitements successifs (recalage, nettoyage, découpage sémantique) en amont de la phase de reconstruction en 3D (par maillage ou modélisation) (Figure 4).

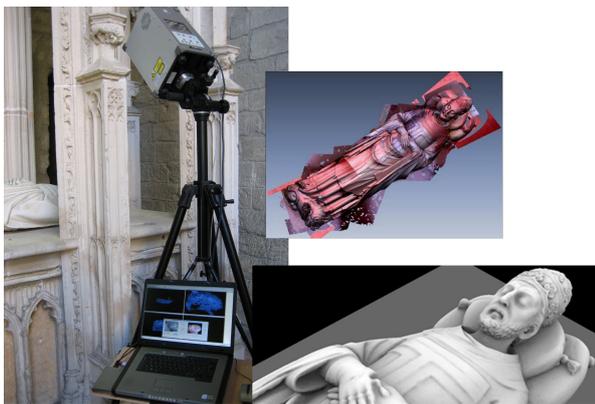


Figure 4 : Numérisation du gisant d'Innocent VI, nuages de points consolidés et rendu par occlusion ambiante.

Nous avons également effectué une campagne de relevés photographiques panoramiques pour laquelle un protocole d'acquisition a été établi en vue de réaliser des images des espaces sur 360°. L'objectif était de les intégrer dans un dispositif de visualisation 3D temps réel. Les objets de mobilier existants et conservés dans plusieurs lieux ont également été photographiés : peintures, bénitier (Figure 5) et lutrin.



Figure 5 : Reconstruction en 3D du bénitier par photomodélisation, à partir de photos convergentes calibrées et orientées (De Luca, 2009).

2.2. Proposition de restitution de l'état postrévolutionnaire

La restitution hypothétique envisagée, menée en collaboration avec les historiens du monument⁶, a abouti à la reconstruction du chœur et à la réimplantation virtuelle des éléments décoratifs (peintures et mobilier liturgique). Trois documents textuels qui dressent un état des lieux précis et détaillé de l'église du XVIII^e siècle, nous ont permis de restituer les objets d'ameublement et les espaces conventuels : les Comptes de la chartreuse (Anonyme, s.d.), une description de l'abbé Soumille de 1743 (Valla, 1991) et l'inventaire dressé en 1791

⁶Alain Girard, conservateur du musée d'art sacré (Pont-Saint-Esprit) et Jean-Louis Vayssettes, archéologue au Service Régional de l'Archéologie du Languedoc-Roussillon.

(Guirand et Mercurin, 1791). A l'inverse, les éléments disparus (lampes, stalles, dallage, etc.) ont été restitués à partir de sources textuelles associées à des objets existants dans d'autres lieux, contemporains de ceux de la chartreuse. Le croisement des données nous a permis de retrouver les élévations de plusieurs structures disparues et de formuler des hypothèses de restitution. L'actuelle maquette 3D présente l'état de l'église en 1791, c'est-à-dire à la veille de la dispersion de ses meubles (Figure 6). Des mises à jour sont régulièrement effectuées au fur et à mesure de l'étude documentaire.



Figure 6 : Proposition de restitution du chœur des Pères d'après l'inventaire postrévolutionnaire de 1791.

2.3. Dispositifs de visualisation

Le premier dispositif d'hybridation entre réel et virtuel superpose à une photographie 360° de l'état actuel une image calculée issue de la maquette 3D de l'état restitué (Figure 7). La visite virtuelle proposée selon ce principe a été développée dans Virtools Dev (logiciel de création d'applications 3D temps réel). L'intérêt est de faire découvrir à l'utilisateur chaque espace de l'église sur 360°, dans son état actuel et restitué. Cette application interactive est installée à la chartreuse depuis mai 2009. Dans son état actuel, la maquette numérique hypothétique est intégrée dans un spectacle multimédia - *Genius Loci* -, créée par trois laboratoires⁷. Il s'agit d'une installation de réalité augmentée à l'échelle 1 projetant des images anamorphiques de la maquette 3D sur les murs de l'église. Le principe de l'anamorphose repose sur la

⁷Le projet *Genius Loci* regroupe trois équipes: l'équipe Gamsau du MAP gère la projection d'un espace hypothétique dans un espace réel, le laboratoire LIMSI (équipe Vida) travaille sur l'interactivité entre les visiteurs et la représentation visuelle, et le laboratoire Victor Vérité réalise une scénographie culturelle et sensorielle.

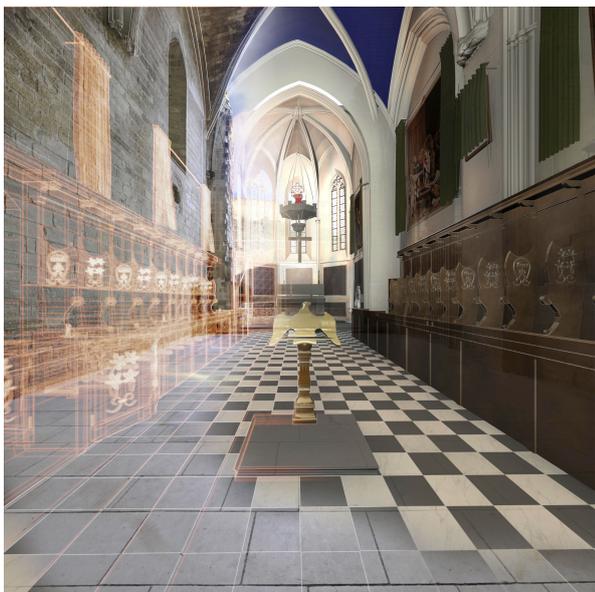


Figure 7 : Hybridation réel/virtuel. Application immersive permettant de découvrir l'église dans son état actuel puis dans son état postévolutionnaire.

correction de l'image depuis un point d'observation fixe (Figure 8). Le scénario mène progressivement le spectateur dans l'église de 1791 jusqu'à sa dématérialisation. Le spectacle est présenté au public courant juillet 2011.

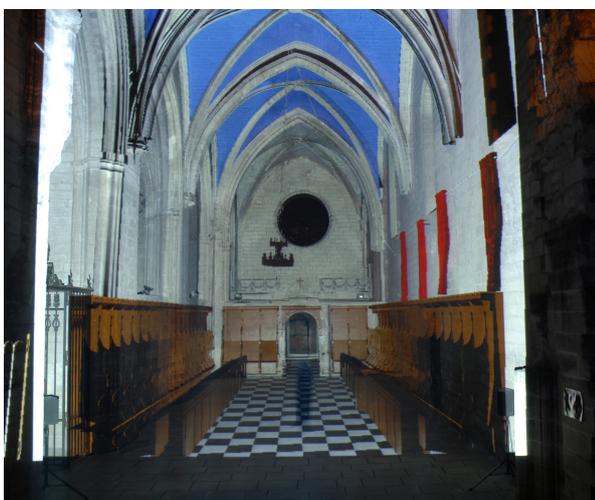


Figure 8 : *Genius Loci*, projections anamorphiques à l'échelle 1 de la maquette 3D hypothétique.

3. Valorisation et perspectives de recherche

3.1. Base de données documentaire

À ce jour, plusieurs centaines de documents concernant l'église ont été réunies à partir de sources documentaires papier et internet (téléchargement lé-

gal d'extraits d'ouvrages⁸ et d'images⁹). Ces sources sont complétées par les relevés numériques (photographies et nuages de points) détaillés ci-dessus. Une « source documentaire » est un type de document, tout support confondu, qui contribue à la compréhension d'un fait, d'un site, d'un édifice. Dans le cadre de l'étude du patrimoine architectural, les sources utilisées pour comprendre l'évolution d'un édifice sont nombreuses et hétérogènes. Elles nécessitent un tri et une organisation pour un meilleur traitement. En nous fondant sur des thésaurus archivistiques, nous avons défini une classification : documents iconographiques (photos, plans, gravures, tracts, etc.), documents sonores et audiovisuels (vidéo, enregistrement sonore), sources orales (témoignage scientifique, témoignage/rumeur non scientifique), documents numériques (nuage de points, maquette 3D, base de données), documents matériels (maquette/modèle, reproduction édifice, vestige archéologique/objet), documents textuels (ouvrage imprimé, rapport, correspondance).

Ainsi, la base de données (Figure 9) mise en place dans la plateforme NUBES associe, pour chaque objet 3D de la maquette hypothétique, les informations issues des sources documentaires qui argumentent le raisonnement scientifique de la restitution. Cette base de données structure les informations dont nous disposons et permet de renseigner le modèle 3D. Le lien entre la maquette hypothétique et la base de données permet d'accéder aux sources documentaires depuis les objets 3D et inversement (De Luca et al., 2010). Le travail de restitution de l'église, basé sur ces documents, a suscité de nombreuses interrogations sur la fiabilité des sources documentaires utilisées. L'organisation de la base de données est une première étape pour évaluer les niveaux de confiance que l'on peut accorder aux documents. Nous envisageons de développer, au sein de NUBES, une interface spécifique de gestion et de visualisation de l'incertitude. Nous cherchons actuellement à traduire graphiquement cette "confiance".

3.2. Codification de l'incertitude

3.2.1. État de l'art

L'analyse de l'incertitude des données est une problématique récurrente dans de nombreux domaines, notamment en géographie pour la représentation cartographique des données au sein des SIG. Des dispositifs de représentation et des outils pour la visualisation des données et de leur incertitude ont été développés et appliqués dans divers contextes (urbanisme, militaire, météorologie). Plusieurs classifications de l'incertitude ont été définies, dont la typologie de (Thomson et al., 2005) qui compte neuf catégories : exactitude/erreur,

⁸www.gallica.fr – Bibliothèque numérique des collections numérisées de la Bibliothèque nationale de France.

⁹Rubrique "Collections" du site <http://www.culture.fr> du Ministère de la Culture et de la Communication.

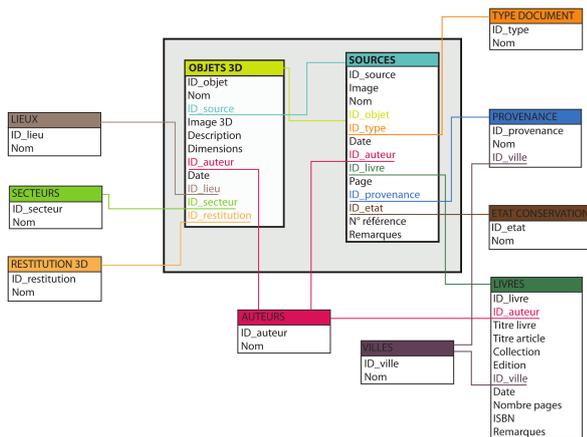


Figure 9 : Modèle de base de données centrée sur les sources et les objets 3D.

précision, exhaustivité, cohérence, filiation, crédibilité temporelle (actualité de la source), fiabilité de la source, objectivité, dépendance avec d'autres sources. La représentation graphique et visuelle des niveaux de fiabilité des données a également été étudiée. Bertin (1973) définit sept variables graphiques pour représenter l'incertitude dans des cartes géographiques : localisation, taille, valeur, texture, couleur, orientation et forme. D'autres recherches ont abouti à l'utilisation de nouvelles variables, notamment la saturation et le "focus" (netteté du contour, clarté du remplissage, brouillard et résolution) définis par MacEachren (1992). Les conclusions des expériences menées nous apprennent que la saturation et la valeur de la couleur sont les deux seuls critères de visualisation des niveaux d'incertitude qui ont véritablement été approfondis, et qui s'avèrent donc être les meilleurs à ce jour.

Aujourd'hui, l'analyse des sources documentaires, et l'incertitude qui en découle, nécessite des recherches spécifiques plus approfondies. Les connaissances pour un même objet peuvent varier d'un document à l'autre selon les informations transmises (auteur, contexte de création, type d'information diffusé, outils employés, etc.). Les sources étant à la base des restitutions, il est essentiel de déterminer la fiabilité des informations communiquées. Certains travaux de recherche se sont concentrés sur la représentation de l'incertitude au sein même de la maquette 3D. Les variables graphiques les plus courantes pour la mettre en évidence sont la transparence, les fausses couleurs, la variation de l'opacité, les types de rendus ou les effets mouseover, paramétrés selon le niveau de fiabilité. Strothotte et al. (1999) propose aux utilisateurs de son système de jouer sur l'épaisseur des lignes et sur la saturation selon le niveau de confiance. Kensek et al. (2004) présente un prototype de reconstitution virtuelle basé sur un vocabulaire sémantique associé à des variables paramétrées selon la fiabilité des sources documentaires. Enfin, la réflex-

ion sur la modélisation informationnelle du patrimoine architectural conduite par Blaise et Dudek (2006) aboutit à l'élaboration de 14 règles (plus 1) réparties en quatre groupes : informations, modélisation, représentation et abstraction. Cette dernière approche vise à montrer l'ensemble des connaissances d'un objet architectural par le biais d'un « indicateur de cohérence » constitué de symboles graphiques.

3.2.2. Application à l'église

Nous avons choisi de concentrer notre étude sur quatre éléments pour lesquels les niveaux de connaissance sont différents, voire contradictoires. Il s'agit du maître-autel (objet existant parfaitement connu) ; d'une porte de communication entre deux chapelles (faible quantité d'informations) ; et enfin, du jubé ainsi que de l'ensemble architectural abside/clocher pour lesquels nous bénéficions de nombreuses informations contradictoires. Dans cet article, nous ne présentons que le résultat le plus abouti concernant le maître-autel. La méthode actuellement testée se présente sous la forme d'un graphique d'incertitude (Figure 10), développé sur deux axes : les sources documentaires (axe Y) croisés avec les critères morphologiques et spatiaux de l'objet (axe X). Il permet de voir rapidement le niveau de fiabilité accordé à chaque document d'après les informations spatio-morphologiques fournies par les sources. Les indicateurs graphiques déterminent le niveau de confiance attribué : un point rouge pour une information certaine, un point orange pour signaler l'incertitude (données imprécises, incomplètes) et pas de point pour l'absence d'information. La dimension temporelle n'est, pour l'instant, pas prise en compte puisque la maquette 3D actuelle représente l'église à un instant T (1791). La base de données devra intégrer, dans son état final, des catégories liées à l'aspect temporel afin de proposer une maquette 3D numérique évoluant dans le temps.

Notre réflexion devra être approfondie, notamment sur la granularité de l'incertitude associée aux codes visuels et graphiques (dégradé de couleurs, forme des « points », autre dispositif de visualisation, etc.). Les travaux cités précédemment donnent quelques pistes sur les formes de ces indicateurs (saturation, transparence, taille, netteté de contour, etc.).

4. Conclusion

Le travail mené depuis plusieurs années sur l'acquisition de l'état actuel de l'église, puis sur sa restitution hypothétique se poursuit actuellement par la réalisation d'une thèse sur la codification de l'incertitude des sources documentaires mais également par le développement de systèmes de diffusion culturelle. Aujourd'hui, l'interaction maquette numérique 3D / base de données permet de tester différentes approches de représentation de la confiance des sources documentaires qui sont à la base des restitutions. Les pistes évoquées ci-dessus sont en cours de développement.

Notre réflexion sur la représentation de l'incertitude des

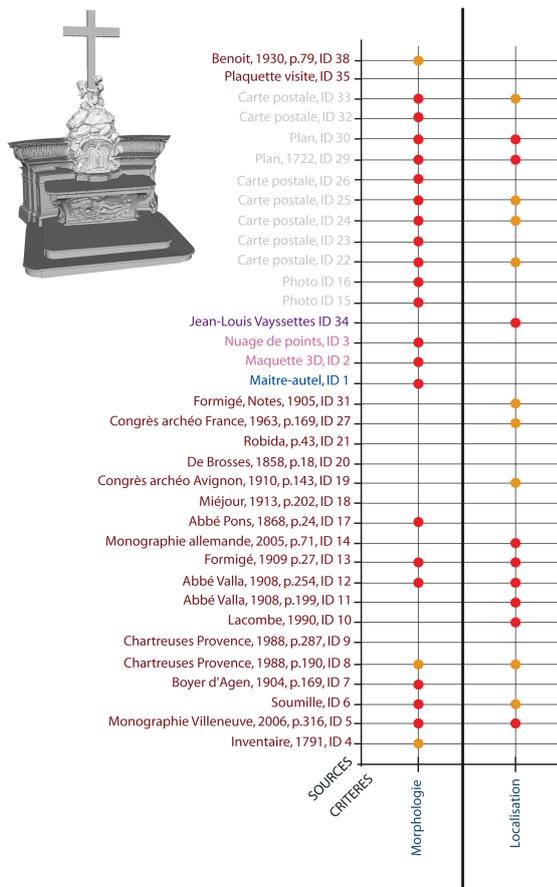


Figure 10 : Graphique d'incertitude spécifique au maître-autel dans lequel les sources documentaires croisent les données spatio-morphologiques.

sources documentaires doit être affinée, tant par la définition de critères d'évaluation des niveaux de confiance, que par la mise en place de codes graphiques qui doivent l'exprimer à l'utilisateur de la maquette (informaticien, architecte, archéologue, historien).

Références

Anonyme, s.d. Comptes de la chartreuse.
 Bertin, J., 1973. Sémiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes, Paris, France, 444 p.
 Blaise, J., Dudek, I., 2006. Modélisation informationnelle. UMR CNRS/MCC 694 MAP, Marseille, France, 87 p.
 De Luca, L., 2009. La photomodélisation architecturale. Relevé, modélisation et représentation d'édifices à partir de photographies. Ed. Eyrolles, Paris, France.
 De Luca, L., Busarayat, C., Stefani, C., Véron, P., Florenzano, M., 2010. NUBES : describing, analysing, documenting and sharing digital representations of heritage buildings. Dans: Focus K3D conference on Semantic 3D Media and Content. Sophia Antipolis, France.
 Guirand, F., Mercurin, C., 1791. Inventaire du mobilier des couvents et églises de Villeneuve-lès-Avignon. (AD 30, H 327, f23).

Kensek, M., Dodd, L. S., Cipolla, N., 2004. Fantastic reconstructions or reconstructions of the fantastic? Tracking and presenting ambiguity, alternatives, and documentation in virtual worlds. *Automation in Construction* 13.

MacEachren, A., 1992. Visualizing uncertain information. *Cartographic Perspective* 13.

Nagel, E., Urban, E., 2005. Baugeschichtliche untersuchung eines teils des ehemaligen kartäuserklosters 'la Chartreuse du Val de Bénédiction'. Dans: Villeneuve-lès-Avignon. Guide du voyageur et notes historiques, Montpellier, Manufacture de la Charité, 106 p., 28 planches et 94 relevés pierre à pierre.

Piniès, J.-P., 2010. La chartreuse de Villeneuve. Métamorphoses d'un monument, Jeanne Laffitte, 416 p.

Sournia, B., Vayssettes, J., 2006. Villeneuve-lès-Avignon, Histoire artistique et monumentale d'une villégiature pontificale. Cahiers du Patrimoine 72.

Strothotte, T., Masuch, M., Isenberg, T., 1999. Visualizing knowledge about virtual reconstructions of ancient architecture. Dans: *Computer Graphics International*. Los Alamitos, États-Unis.

Thomson, J., Hetzler, B., MacEachren, A., Gahegan, M., Pavel, M., 2005. A typology for visualizing uncertainty. Dans: *Conference on Visualization and Data Analysis*. San Jose, États-Unis.

Valla, A., 1991. Villeneuve-lès-Avignon. Guide du voyageur et notes historiques, Montpellier, Manufacture de la Charité, 479 p.