



**HAL**  
open science

## Modélisation spatio-temporelle d'édifices patrimoniaux

Chiara Stefani

► **To cite this version:**

Chiara Stefani. Modélisation spatio-temporelle d'édifices patrimoniaux : Proposition d'une approche pour la prise en compte de la dimension temporelle dans l'analyse de la cour d'honneur de la Sorbonne à Paris. MIAjournal, 2006, 2, pp.6. halshs-00261531

**HAL Id: halshs-00261531**

**<https://shs.hal.science/halshs-00261531>**

Submitted on 26 Mar 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Modélisation spatio-temporelle d'édifices patrimoniaux

Proposition d'une approche pour la prise en compte de la dimension temporelle dans l'analyse de la cour d'honneur de la Sorbonne à Paris

Chiara Stefani  
Laboratoire UMR 694 MAP – Gamsau  
Ecole d'architecture de Marseille 184, avenue de Luminy  
13288 MARSEILLE Cedex 09  
cst@gamsau.map.archi.fr

**Mots-clés: modélisation spatio-temporelle, transformations d'édifices, hypothèses multiples, multi-représentation, SIG**

*L'objectif de cette recherche est de définir une approche pour la représentation spatio-temporelle des édifices. Différents problèmes se posent. En effet, quand on étudie des bâtiments historiques, les informations qui concernent ses états antérieurs sont souvent contradictoires, hétérogènes, incertaines et incomplètes. D'une manière générale, les hypothèses de restitution deviennent multiples et parfois très éloignées les unes des autres. La représentation géométrique de ces hypothèses doit par conséquent faire face, premièrement, à la nécessité de restituer plusieurs hypothèses, deuxièmement, à l'exigence de qualifier les restitutions par un niveau de fiabilité qui devra être traduit par la maquette numérique sous forme d'un code de représentation.*

*Ces principes seront validés sur le terrain d'expérimentation de la Cour d'honneur de la Sorbonne à Paris pour laquelle on dispose d'un ensemble de sources historiques et d'un nuage de points de l'état issu d'un balayage laser 3D.*

## 1 - Introduction

### 1.1. Le contexte

Dans le domaine de l'architecture et de la conservation des bâtiments historiques, l'exigence d'exploiter des maquettes numériques comme outil de description et de raisonnement semble émerger de plus en plus (*cf.* [1]). Les techniques récentes de modélisation géométrique et de visualisation 3D deviennent, en effet, de plus en plus capables de représenter les édifices patrimoniaux à différentes échelles et donc de faciliter leur compréhension.

Notre travail s'appuie sur l'hypothèse que la maquette numérique peut jouer un rôle de médiateur historico-culturel dans la documentation du patrimoine bâti, car elle pourrait permettre de conduire la restitution de l'objet architectural en intégrant son état actuel, ses règles de construction et son évolution dans le temps. En ce qui concerne ce dernier aspect, on pourrait s'intéresser à la description des évolutions du bâtiment (démolition, amplification, division, ou changement de rôle dans le contexte urbain) dans un arc temporel.

Dans le but d'envisager ce type d'exploitation, différents problèmes doivent par contre être posés. Comme la problématique sur la restitution des édifices à partir des sources est très complexe, l'étude est réduite à l'ensemble des édifices et il est appliqué au terrain d'expérimentation de la Cour de la Sorbonne à Paris.

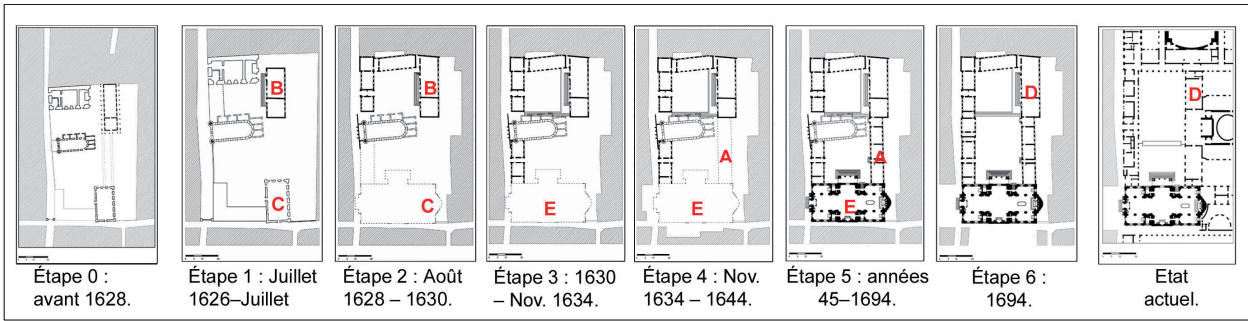


Fig. 1. Les étapes de la cour de la Sorbonne Dans [2].

## 1.2. La problématique et le terrain d'expérimentation

L'histoire de cette cour est marquée par trois grandes périodes : l'état Sorbon, l'état Richelieu et l'état actuel (cf. [2]). Les informations dont on dispose sur cet ensemble architectural consistent en une variété de sources historiques (gravures entre le XVII et XIX siècle, textes, plans, photographies historiques), une documentation vectorielle (plans, coupes, vues de faces), et un nuage de points de l'état issu d'un balayage laser 3D. La difficulté de relier les sources à une restitution adéquate de l'objet architectural concerne plusieurs aspects :

*Les types de transformations des édifices.* La cour de la Sorbonne a subi de nombreuses transformations dans le temps (Voir exemple ci-contre Fig. 1) comme la création (A), l'amplification (B), la démolition (C) et la reconstruction (D). Un bâtiment peut même être divisé en plusieurs parties ayant des fonctions différentes (voir note 1). Ces aspects doivent être représentés de façon cohérente, car souvent, la compréhension des transformations subies par les bâtiments n'est pas immédiate.

*La durée des transformations.* Les édifices subissent des transformations qui ont une certaine durée, selon les types d'événements qui les ont produites. Par exemple, une démolition est faite dans l'arc temporel de quelques journées, donc dans ce cas le bâtiment subit un changement presque instantané (Voir exemple ci-contre Fig. 1.C); en revanche, le temps de construction d'un bâtiment (la durée du chantier) est une valeur non nulle (Voir exemple ci-contre Fig. 1.E).

*La pertinence des sources.* Les informations qui concernent les états antérieurs des bâtiments sont souvent contradictoires, hétérogènes, incertaines et incomplètes. Par conséquent, les transformations que les édifices ont subies sont parfois difficiles à interpréter. Chaque source est caractérisée par un certain degré de certitude et une qualité plus ou moins définie. (Voir exemple ci-contre Fig. 3a-b). Ces deux aspects dépendent d'une composante humaine, de l'état de conservation de la source, des moyens physiques qui ont permis de représenter l'objet et de l'objectif de la description (voir note 2.).

*Les hypothèses de restitution.* D'une manière générale, plus on remonte dans le temps, plus les documents sont imprécis et incomplets, ce qui amène les historiens à la formulation d'hypothèses de restitution parfois très éloignées entre elles. Parmi les sources historiques sur la Sorbonne, deux hypothèses de restitution de H.P. Nénot (cf. [4]) et O. Gréard (cf. [5]) émises avant le XVII siècle représentent différemment les édifices de la cour en quantité et en positionnement.

*La diversité des sources.* Un grand nombre de sources très différentes interagissent entre elles et avec la représentation. La maquette doit permettre de les interroger et de les gérer selon plusieurs points de vue et thèmes pour en faciliter la compréhension.

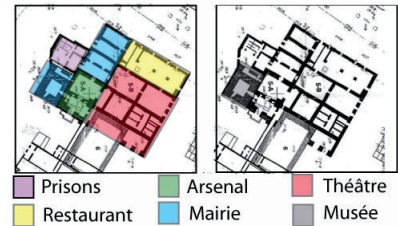


Fig. 2. Les transformations d'un bâtiment dans la ville de Cracovie.

*Note 1.* La ville de Cracovie en donne un exemple. Dans ce cas, entre le 1678 et 1983, le bâtiment en figure 2 a changé de fonction et a été divisé en plusieurs parties. A partir de 1678 il a servi de mairie, de prison, d'arsenal et de restaurant, par contre, en 1983, certaines parties ont été démolies et d'autres ont changé de fonction, devenant ainsi un musée (cf. [3]).

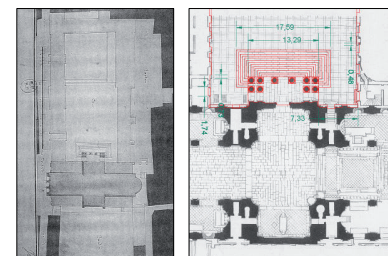


Fig. 3. Les différentes qualités métriques liées aux sources : (a) le cadastre du XIX siècle ; (b) superposition du plan extrait du relevé par scanner laser et du plan de la Chapelle de la Sorbonne de Jean Trouvelot, 1950.

*Note 2.* Par exemple, un cadastre n'a pas comme objectif celui de donner des informations métriques mais de décrire les relations entre les édifices dans une ville ; en revanche, l'objectif d'un relevé est de donner un niveau métrique élevé. Sa fiabilité augmente encore plus dans le cas d'un relevé fait à l'aide du scanner laser. Entre autre, quand on compare les sources, on a parfois des cas limites où l'absence d'informations sur les transformations d'un édifice amène certaines sources à résulter contradictoires (Voir exemple ci-contre Fig. 4a-b).

### 1.3. Objectifs

L'objectif de ce travail est de construire un système capable de gérer la représentation géométrique de l'édifice tout au long de son histoire. Pour atteindre cet objectif, il faut d'une part, structurer les éléments architectoniques par rapport à leurs positions dans l'espace, et d'autre part gérer cette structuration en fonction de la dimension temporelle.

En ce qui concerne la dimension spatiale, c'est-à-dire la description des relations entre les entités qui composent un ensemble architectural, ce travail se situe en continuité avec un travail de Thèse développé au sein du laboratoire MAP (cf. [6] [7]).

Par rapport à l'aspect temporel, un premier problème concerne la nécessité d'identifier un modèle capable de décrire les transformations des édifices et de prendre en compte leurs changements (qui peuvent être plus ou moins bien définis) et leurs modifications spatiales (de plus ou moins grande amplitude). Une méthode de description adaptée à représenter les bâtiments est celle des graphes historiques de Renolen (cf. [8] [9]), car ces graphes permettent de contrôler les événements (comme la construction, la démolition et l'union) à des états temporels établis.

Actuellement, la corrélation spatio-temporelle entre des entités 3D à l'échelle de l'architecture est un domaine de recherche nouveau, mais plusieurs travaux, dont on pourrait extraire les principes, sont actuellement menés dans d'autres domaines de recherche comme les SIG (Systèmes d'Information Géographique), l'Automatique et l'Ingénierie des systèmes (cf. [10]).

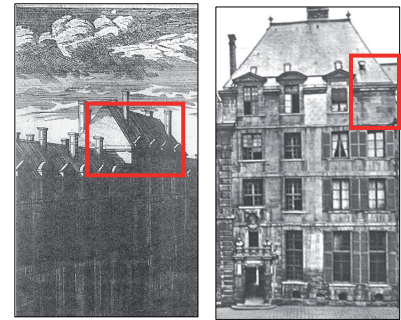
De même, pour la restitution temporelle, les éléments architectoniques invariants dans le temps devront être identifiés avec un niveau de fiabilité.

La problématique présentée ci-dessus est issue de réflexions menées sur la base d'études de terrain conduites au sein du laboratoire Map – Gamsau (cf. [11] [12]).

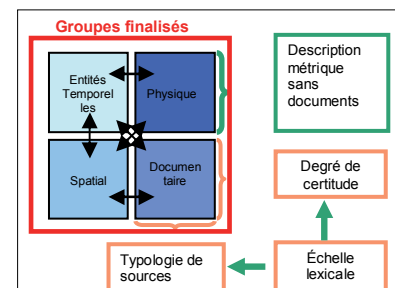
## 2- L'approche

L'étude démarre à partir d'un travail de thèse développé par [6] [7] dans le cadre du laboratoire Map-Gamsau. Cette approche consiste à ajouter une couche sémantique à la restitution de la morphologie du bâtiment à travers des *graphes de descriptions*. La description de l'édifice est conduite sur trois niveaux distincts : sémantique, structurel et de représentation. Pour passer de la restitution géométrique d'un bâtiment à ses différentes représentations, il faut prévoir trois phases : isoler les concepts et faire une décomposition morphologique (en associant des parties de la forme à des termes de description), établir un graphe de relations entre les concepts, associer à chaque concept isolé une ou plusieurs représentations. Dans cette approche, les éléments architectoniques sont organisés en fonction des relations hiérarchiques qu'une analyse exprime. Cette structure permet de construire des représentations répondant à des points de vue spécifiques.

Dans le but de définir une approche pour la représentation spatio-temporelle d'un édifice, il s'agit de prendre en compte quatre aspects. (Voir exemple ci-contre Fig. 5). Premièrement il faudrait structurer les éléments architectoniques par rapport à leur position dans l'espace. En fait, un bâtiment est décrit d'abord au travers des relations spatiales existant entre les éléments qui le composent. Deuxièmement il faudrait ajouter un niveau de structuration lié à la dimension temporelle, car un bâtiment subit des changements dans le temps qui se manifestent au



**Fig. 4.** Sources contradictoires : comparaison entre la gravure de la cour de la Sorbonne (a) et la photo historique du bâtiment concerné (b), qui montrent respectivement quatre et trois lucarnes sur le sommet du même bâti.



**Fig. 5.** Schéma conceptuel des quatre dimensions temporelle, spatiales, physique et documentaire.

*Note 3.* Les quatre aspects sont liés réciproquement : seulement les aspects physique et documentaire ne peuvent pas être liés car le premier concerne une description métrique sans documents, en revanche le deuxième intéresse les sources, en particulier leur degré de certitude et leur typologie. Des requêtes multicritères permettent de sélectionner les édifices selon certaines caractéristiques. La sélection constituera un groupe finalisé qui montrera les relations entre ses éléments.

travers de modifications de sa morphologie. Troisièmement, il est nécessaire de décrire le niveau physique d'un bâtiment, car il est caractérisé par ses volumes dont on peut tirer les mesures métriques et les matériaux.

Le dernier aspect à considérer est un niveau documentaire qui enrichit les informations sur les bâtiments selon les sources dont on dispose. (voir note 3.).

### 3- La multi représentation

La reconstruction de tous les états s'appuie sur les sources que l'on a. Vu qu'elles ont un certain degré de certitude, un niveau métrique et une certaine qualité, la représentation qu'on peut faire est fortement conditionnée par ces trois aspects. Elle est basée sur deux critères :

*Représentation tirée d'une source.* On peut tirer la représentation directement d'une source, dès que l'on a les informations métriques des éléments composants un bâtiment (c'est le cas du scanner laser) ou les proportions réciproques entre ses sous éléments (dans les plans).

*Représentation déduite par connaissance.* Bien qu'on n'a pas souvent des informations métriques sur un élément relevé ou sur un détail d'un dessin (tel qu'un chapiteau, une base, une lucarne, etc.), on peut le restituer, car il est identifiable comme type architectonique décrit dans un des célèbres traités d'architecture (Fig. 6) ou car la connaissance de la morphologie des éléments permet de combler ces manques (Fig. 7).

Les objectifs de cette étude sont multiples. Premièrement, les éléments déduits par connaissance doivent être représentés graphiquement par des couleurs différentes dans le but de guider facilement la compréhension de la maquette (cf. [13] [14]). Deuxièmement, au fur et à mesure que les informations sur une entité temporelle augmentent, on peut améliorer la qualité de la représentation de la maquette. De cette façon, on peut intercaler les nouvelles sources documentaires sur les édifices.

### 4- La modélisation spatio-temporelle

On introduit une méthodologie qui permet de représenter les bâtiments selon trois niveaux différents de compréhension qui prennent en compte les relations spatiales entre les entités, les types de représentations des informations et des manques d'information, la durée de vie et les transformations subies par les édifices.

Si les entités temporelles sont séparées de leur représentation et de leur structure, la représentation peut évoluer en fonction des découvertes sur un site historique. Les trois couches donnent des informations pertinentes sur les mêmes entités temporelles selon différents points de vue (voir note 4.).

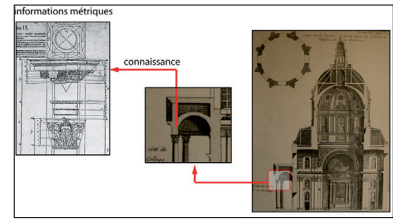
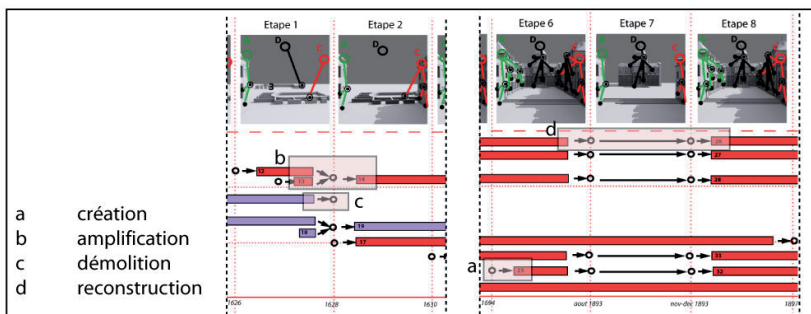


Fig. 6. La représentation déduite par connaissance.

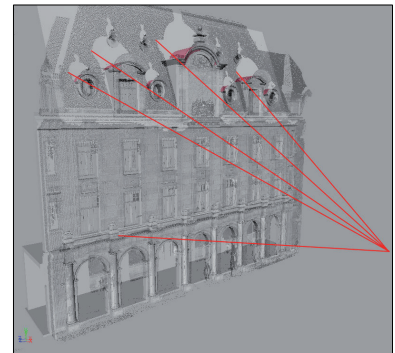


Fig. 7. Superposition de la maquette construite à partir du nuage de points et de surfaces reconstruites sur la base de la déduction.

Note 4. Les trois couches d'informations sont :

*Le niveau conceptuel*, décrit à travers des graphes de Renolen [8] [9]. L'avantage de ce modèle vectoriel est que la durée de vie de chaque entité et leurs relations temporelles sont visibles immédiatement.

*Le niveau structurel*, décrit à travers les groupes finalisés dans le cadre du projet Nubes [7] [11]. Le groupe d'objets choisi ayant une certaine caractéristique montre les changements relationnels dans le temps (dans la Table 1, ils sont visualisés à travers les symboles ○, ⊙, ●).

*Le niveau de la représentation*, réalisé à travers l'interface graphique de Virttools. La modélisation qui a été faite a comme objectif celui de représenter les étapes historiques, donc la conformation des bâtiments.

Table 1. Les trois aspects structurel, de la représentation et conceptuel.

## 5 - L'implémentation

Le système d'information lie une base de données développée en MySQL [15] contenant les sources sur les bâtiments, une scène 3D interactive pour l'affichage et la manipulation des requêtes spatio-temporelles, un site Internet en PHP [16] pour accéder aux données stockées dans la base et qui fournit les passerelles nécessaires pour dialoguer entre la scène 3D et la base (voir note 5.).

## 6 - L'affichage visuel des résultats

Une fois formulée la première requête temporelle à la base de donnée, Virtools permet d'afficher les entités temporelles résultantes. Mais comment peut-on lier les sources à la représentation ? (cf. [13] [14]).

*au niveau temporel.* La méthode choisie pour différencier les étapes des édifices par rapport à leurs dates de construction est celle d'une échelle de couleurs appliquées sur la maquette. Une nuance d'une couleur est attribuée aux édifices ayant la même date sur la base d'un calcul sur un pourcentage. (Voir exemple ci-contre Fig. 9a).

*au niveau spatial.* Les bâtiments peuvent être sélectionnés selon leurs positions spatiales (cf. [17]). : ils sont visualisés si appartenant à un espace physique défini par un enveloppe ou au cadre visuel d'une caméra dont le point de vue est significatif. (Voir exemple ci-contre Fig. 9b).

## 7 - Conclusions

*Les liaisons entre la morphologie et la documentation.* Finalement, les restitutions tridimensionnelles élaborées peuvent être intégrées à l'intérieur d'un système d'informations à l'échelle architecturale consultable sur Internet. Cela permet de relier un jeu d'informations hétérogènes (plans, gravures, dessins, documents, etc.) directement à la morphologie de l'édifice (représentation 3D en temps réel). En ce sens, la maquette 3D, dans ses dimensions spatiales et temporelles, peut devenir le support privilégié pour la consultation des sources documentaires collectées, analysées, et interprétées.

Compte tenu de la complexité de la problématique qui a été abordé seulement sur l'ensemble des bâtiments, on pourrait d'une part rendre cette approche généralisable, d'autre part affiner l'étude sur la visualisation des résultats d'une requête.

*La généralisation de l'approche.* Les fouilles archéologiques posent des problèmes encore différents. Parfois des fragments sont déplacés en des endroits géographiques différents en causant de nombreux problèmes d'interprétation (voir note 6.).

*Les transformations temporelles.* Il s'agit de trouver une méthode efficace de représentation des transformations des édifices, au niveau visuel pour l'affichage des résultats (usage de *couleurs* différentes selon les dates de construction), et au niveau de leur sélection (usage d'une *ligne du temps* pour visualiser le passage d'une date à une autre autour d'un même concept). L'utilisateur doit pouvoir reconnaître immédiatement un édifice reconstruit d'un édifice agrandi ou divisé en plusieurs sections (Fig.10).

*L'échelle urbaine.* Les sources sur la Sorbonne donnent aussi des informations concernant les changements du quartier entre le XVII et XIX siècle. Les transformations peuvent en effet intéresser seulement certaines parties de l'édifice, la totalité de l'édifice ou le contexte urbain. Il faudrait donc amplifier l'étude au niveau urbain en traçant une échelle adéquate de représentation. Dans ce sens on voit bien la nécessité de

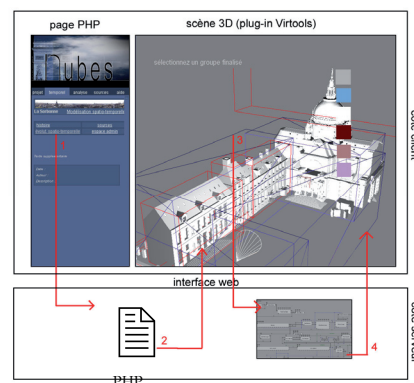


Fig. 8. L'architecture du système

*Note 5.* L'application web NUBES est basée sur le dialogue entre une base relationnelle SQL et la scène 3D par des scripts php et java. L'utilisateur a accès à une page PHP pour formuler une requête temporelle (Fig.8.1) qui est envoyée au serveur MySQL (Fig.8.2). Les édifices obtenus sont visualisés à travers un plug-in Virtools sur la page web (Fig.8.3). Successivement, un bloc DEV (GetWebData) permet de formuler des requêtes spatiales dans la base de données (Fig.8.4). Pour coordonner les données stockées dans la base et les représentations spatiales, les tableaux relatifs aux entités triées sont dupliqués de façon dynamique dans une base de données interne à la scène 3D.

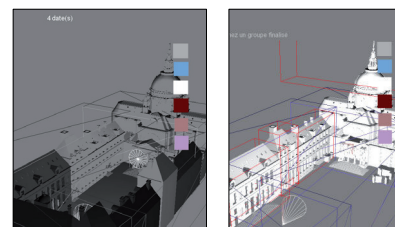


Fig. 9. L'affichage visuel des résultats : (a) pourcentage de couleur proportionnel aux dates ; (b) sélection des entités dans l'espace selon leur enveloppe.

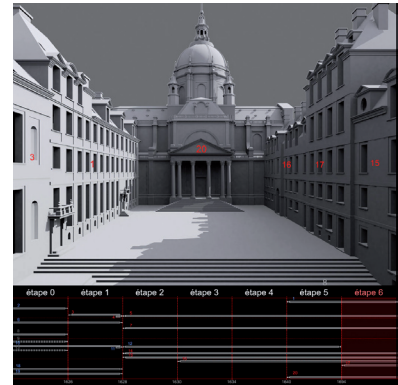
*Note 6.* De plus, les textes documentaires sur un édifice ou des vestiges posent de nombreuses difficultés d'interprétation en ce qui concerne la description d'un fragment disparu et la qualification de l'état de conservation par les historiens. Les mots utilisés sont sujets à la subjectivité et à la façon de raisonner de l'auteur.

structurer de façon cohérente les deux niveaux de description spatiale et temporelle. (cf. [18]).

*La représentation géométrique des hypothèses.* La maquette devra être capable de traduire un niveau de fiabilité (ou d'incertitude) relatif au type de source documentaire utilisée pour la restitution (photographie, dessin technique, croquis, etc.) (voir note 7.).

## Références

- [ 1.] J. Y. Blaise et al., "Multi-représentation dans un système d'informations sur le patrimoine architectural et urbain pour le réseau Internet", activité de recherche Map-Gamsau, pp. 1-11, 2001
- [ 2.] R. Pillorget, "Richelieu, rénovateur de la Sorbonne", dans *Richelieu et la culture*, Actes du colloque international tenu à la Sorbonne en novembre 1985, Paris, p.43-54, 1987
- [ 3.] J. Macrhowski, "*Dawny Ratusa Krakowski*", RK Vol. XVII, 1906, Krakov.
- [ 4.] O. Gréard, "*Nos adieux à la vieille Sorbonne*", Paris, p. 406, 1893
- [ 5.] H. P. Nenot, "*Monographie de la nouvelle Sorbonne*", introduction par O. Gréard, Paris, 1903
- [ 6.] L. De Luca, DEA MCAO, "*Proposition d'une approche pour l'introduction des connaissances architecturales dans la chaîne : relevé-modélisation-représentation*", 2002
- [ 7.] L. De Luca, Thèse de doctorat de l'ENSAM, "*Relevé et multi-représentation du patrimoine architectural : définition d'une approche de reconstruction 3D d'édifices*", 31 mars 2006
- [ 8.] A. Renolen, "Conceptual Modeling and Spatiotemporal Information Systems: How to Model the Real World", Department of Surveying and Mapping, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, [in] ScanGIS'97, June 1 – 3. pp. 1-22, 1997
- [ 9.] A. Renolen, "Modeling Spatiotemporal Information: The Spatiotemporal Object Model", Department of Surveying and Mapping, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, pp. 1-22, 1997
- [ 10.] N. Pelekis et al., "Literature Review of Spatio-Temporal Database Models", *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 19, Issue 03, pp 235-274, 2004
- [ 11.] Programme 3D-Monuments, [on-line], <<http://www.map.archi.fr/3D-monuments>>, consulté le 20/01/2006
- [ 12.] J.Y. Blaise, F. de Domenico, L. De Luca, I. Dudek, "*Acquisition de données vs gestion de connaissances patrimoniales : le cas des vestiges du théâtre antique d'Arles*", ACTES de EGC - Clermont Ferrand, 2004
- [ 13.] J. Y. Blaise, I. Dudek, "New experimentation of a generic framework for architectural heritage data visualization", *Journal of WSCG*, Vol.11, No.1, Czech Republic, pp.1-8, février 2003
- [ 14.] R. Spence, "*Information\_visualisation*", Editions ACM Press / Addison-Wesley, 2001
- [ 15.] Guide de l'utilisateur SQL, [on-line], <<http://www.mysql.com>>, consulté le 15/05/2006
- [ 16.] PHP, [on-line], <<http://www.php.net/>>, consulté le 15/05/2006
- [ 17.] R. Billen, E. Clementini, "Etude des caractéristiques projectives des objets spatiaux et de leurs relations", *Géomatique-14/2004* [in] "*Les ontologies spatiales*", pp. 145-165
- [ 18.] Z. Yin, "*A Multi-Scale GIS Database Model Based On Petri Net*", School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, XXXVI(4/W6), China



**Fig. 10.** Restitution des états historiques de la cour de la vue Sud: état 6 (1694).

*Note 7.* Ainsi, par exemple, la maquette numérique doit être composée de parties « sûres » et « moins sûres », qui marqueront les différences entre la géométrie observée et la géométrie restituée à partir d'hypothèses (cf. [12] [13]).