



**HAL**  
open science

## De l'acquisition des données spatiales à la représentation architecturale : le cas des vestiges du théâtre antique d'Arles.

Francesca de Dominico

### ► To cite this version:

Francesca de Dominico. De l'acquisition des données spatiales à la représentation architecturale : le cas des vestiges du théâtre antique d'Arles. : Principes pour un système d'informations architecturales 3D. MIA JOURNAL, 2006, pp.105-115. halshs-00260784

**HAL Id: halshs-00260784**

**<https://shs.hal.science/halshs-00260784>**

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.

## De l'acquisition des données spatiales à la représentation architecturale : le cas des vestiges du théâtre antique d'Arles

Principes pour un système d'informations architecturales 3D.

Francesca De Domenico  
UMR CNRS/MCC 694 MAP  
fdd@map.archi.fr

*Pour étudier un édifice patrimonial on fait appel à des informations hétérogènes et à des technologies différentes. Plusieurs types d'informations (qualitatives et quantitatives) liés au bâtiment et plusieurs types de technologies utilisés pour son étude (technique de relevé ou de représentation 2D ou 3D) peuvent nous apporter des connaissances différentes et complémentaires de l'objet étudié. Notre objectif est d'exploiter ces connaissances issues des différents types d'analyse de l'architecture patrimoniale (documentation, relevé, modélisation, représentation etc.) et de le rendre accessibles à partir d'une plateforme commune.*

*Notre proposition expérimentée sur les vestiges du théâtre antique d'Arles considère le modèle 3D interactif comme moyen d'accès privilégié à l'information patrimoniale. Le dispositif mis en place permet, par l'interaction avec la maquette 3D temps réel de l'objet d'étude, la navigation dans les jeux d'informations qui le caractérisent.*

*Au cœur de ce système d'informations architectural 3D en devenir, un modèle de description de l'édifice utilisant des termes univoques appartenants au vocabulaire d'architecture sert de pont entre les éléments composant l'édifice et les informations relatives stockées dans une base de données.*

### Mots-clés

Relevé d'architecture, photomodélisation, 3D temps réel, gestion d'informations.

### Catégories

E.1, H.4.m, J. 5.

## 1 - Introduction

Le relevé d'architecture est l'outil privilégié d'observation et d'analyse des édifices. Les techniques et les outils actuels d'acquisition des données spatiales (scanner laser 3D, photomodélisation, etc.) permettent la restitution des aspects dimensionnels sous forme d'un nuage de points, constituant ainsi un support pour les opérations suivantes de restitution géométrique de la morphologie de l'objet.

Si l'on part de l'hypothèse d'utiliser le modèle tridimensionnelle comme support d'accès aux informations, l'élaboration de ce modèle architectural impose la structuration d'un ensemble d'entités géométriques aptes à représenter la relation entre l'objet et les informations qu'il contient. L'édifice doit être alors décrit comme une collection d'objets élémentaires organisés par un ensemble de relations correspondant à une transcription en termes de géométrie du vocabulaire de l'architecte.

Une représentation architecturale dépend d'un objectif. Cet objectif détermine le choix de la méthode, des procédures et des outils à utiliser. La phase de réalisation d'une maquette utilise en fait l'information organisée dans la modélisation de l'objet architectural. Ce modèle peut être considéré comme une sorte de matrice d'informations dont on extrait les contenus de la représentation. Il s'agit donc de conduire la description des édifices s'appuyant sur l'intégration globale et cohérente des phases de relevé, modélisation et représentation (*cf.* [1]).

Avec ce travail, nous avons essayé d'exploiter les potentialités offertes par différentes techniques issues des domaines de l'acquisition des données spatiales, de la gestion d'informations patrimoniales ou encore de la modélisation tridimensionnelle en temps réel, pour tracer les principes d'un système d'informations architecturales 3D. Un système permettant d'étudier au sein d'une plateforme unique le jeu de connaissances issues des différentes phases d'analyse de l'édifice (relevé, modélisation, documentation, représentation). Ce jeu de connaissances formalisées, assemblées autour d'éléments non ambigus (formes architecturales observées ou théoriques), sert de fil conducteur depuis l'acquisition de données spatiales jusqu'à la représentation dans une maquette 3D temps réel servant d'interface de navigation.

Cet article est organisé à l'image de la démarche adoptée : la section 2 présente une brève description de l'objet d'étude. La section 3 décrit les techniques de relevé utilisées pour l'acquisition des données spatiales. La section 4 aborde le problème de la restitution tridimensionnelle des éléments architecturaux à partir des informations métriques acquises en phase de relevé. La section 5 présente la stratégie utilisée pour la structuration de la maquette en vue de sa liaison avec la base de données. La section 6 termine cet article avec des réflexions conclusives. Cette contribution présente de façon approfondie une expérience dont certains aspects ont déjà fait l'objet d' (*cf.* [2], [3]).

## 2 - Le théâtre antique d'Arles

Le terrain d'expérimentation est le théâtre antique d'Arles et plus particulièrement son bâtiment de scène. Ce théâtre qui date de la fin du I<sup>o</sup> siècle av. J.-C. est aujourd'hui largement détruit. Du bâtiment de scène, il ne reste en pied que des parties de colonnes et une partie du podium (Fig. 1). Par contre, sont conservés sur le site beaucoup de fragments d'éléments qui faisaient partie des trois ordres du front de la scène. De plus, le Musée de l'Arles Antique conserve diverses statues qui ornaient les niches situées dans le mur de scène. Une statue du théâtre, la Venus d'Arles, est exposée au musée du Louvre.

En ce qui concerne les ressources documentaires relatives au théâtre d'Arles, la situation reste la même : un grand nombre de documents, photographies, textes antiques, gravures, etc., se trouvent éparpillés dans les différentes archives ou bibliothèques de France.

La dispersion des vestiges et de documents concernant le théâtre rend difficile la compréhension du monument sous différents aspects : historique, morphologique, etc. Le théâtre antique d'Arles représente donc un terrain d'étude emblématique pour ce travail qui vise à la réalisation d'un support unique d'accès aux informations. La restitution 3D du bâtiment de scène repositionnant les fragments originaux, mesurés, entre les volumes virtuels d'un modèle théorique du théâtre augustéen, permet non seulement d'accéder à un jeu de données hétérogènes, mais aussi de comparer visuellement différentes représentations du même objet (recomposition hypothétique, état actuel, etc.). Elle permet également d'évaluer par rapport à leur taille et à leur morphologie l'appartenance de chaque fragment à une typologie établie (comparaison connaissances générales/objets particuliers) et d'étudier ses emplacements hypothétiques dans le bâtiment originel (investigation des vestiges).

## 3 - Relevé et inventaire des vestiges

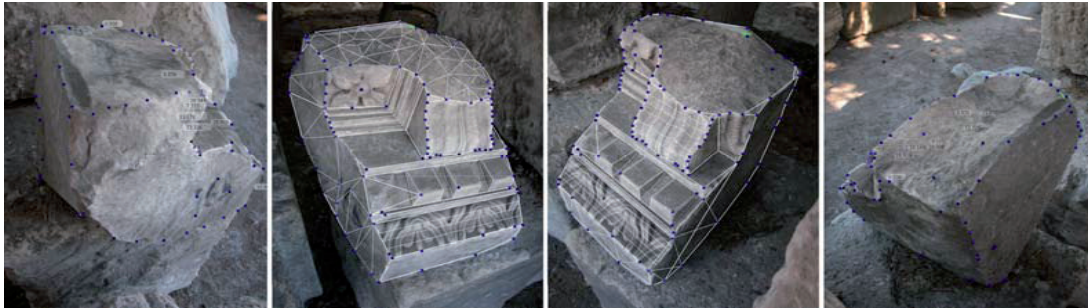
### 3.1. Photomodélisation des fragments

La technique utilisée pour le relevé des fragments conservés in situ et dans le Musée de l'Arles antique est la photomodélisation. Il s'agit d'une technique de restitution photogrammétrique à partir d'un bloc multi-image. Quatre photographies minimum ont été prises pour chaque fragment (Fig. 2). Pour le relevé, on peut utiliser des photographies convergentes, horizontales, verticales ou obliques. Le processus de restitution des coordonnées spatiales se base sur l'ajustement des blocs d'images par la méthode des faisceaux (*cf.* [4]) à partir d'un ensemble de correspondances (points homologues) sélectionnées sur les photographies. Cette méthode présente différents avantages en ce qui concerne sa flexibilité en phase d'acquisition : la mise en place sur le terrain d'une configuration d'acquisition photogrammétrique multi-image est très



Fig. 1. Le théâtre antique d'Arles [aut. F. De Domenico, 2003]

rapide et la quantité d'informations contenues dans une seule photographie (aujourd'hui jusqu'à 12 millions de pixels pour un reflex numérique), assure un niveau de précision métrique important.



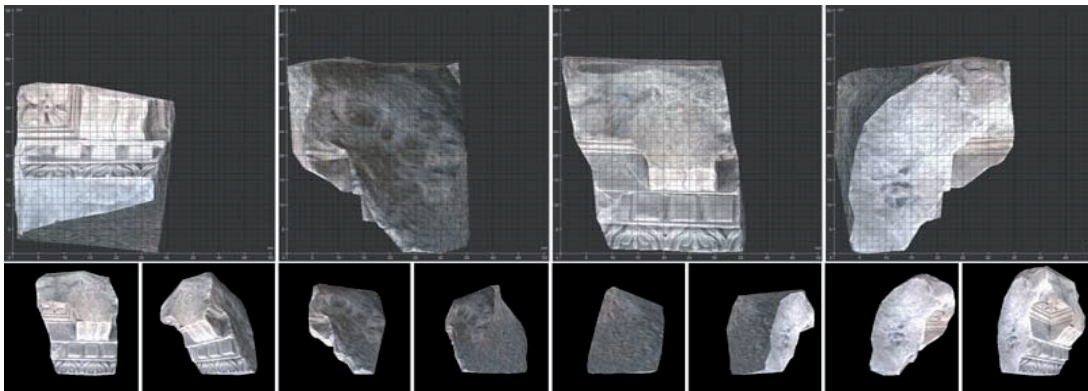
**Fig. 2.** Photomodélisation d'un fragment de corniche du frons scaenae du théâtre [aut. F. De Domenico, 2003]

Ceci rend cette technique particulièrement indiquée pour l'acquisition photographique des fragments archéologiques, souvent difficiles à déplacer. L'acquisition photographique permet un déplacement plus facile autour de l'objet et augmente de façon considérable le nombre de prises de vue enregistrables dans une campagne de relevé.

Les résultats de la photogrammétrie multi-image peuvent être des modèles filaires en 3D, mailles triangulaires construites sur l'ensemble des coordonnées extraites (Fig. 3), ou des photomodèles, représentations géométriques enrichies par les textures (Fig. 4).



**Fig. 3.** Modèle filaire du fragment construit à partir des points homologues sélectionnés sur les photographies [aut. F. De Domenico, 2003]



**Fig. 4.** Restitution tridimensionnelle du fragment [aut. F. De Domenico, 2003]

Jusqu'à présent, la simulation des matériaux a été abordée par des techniques et des outils mal adaptés pour représenter la complexité des traces que le temps a laissé sur la "peau" des édifices. Au contraire la photomodélisation peut être considérée comme une technique qui permet la description des objets en se basant sur l'intégration globale et cohérente des phases de relevé, modélisation et représentation (cf. [1]). En effet, les textures étant extraites à partir des photographies originales, permettent de représenter l'objet en trois dimensions de la manière la plus réaliste possible.

### 3.2. Analyse et classification des fragments relevés

La phase de relevé nous a permis de développer un catalogue tridimensionnel des fragments et des vestiges du bâtiment de scène (Fig. 5). La campagne de relevé a concerné des parties de corniche, de bases, des colonnes sur le site du théâtre mais également une corniche presque intacte, un chapiteau et la statue monumentale d'Auguste au Musée de l'Arles antique.

Cet inventaire nous a permis de comparer les fragments relevés sous différents aspects : taille, morphologie, matériaux et motifs de décor dans le but d'en conduire une classification. Ce type d'analyse croisée a permis par exemple d'identifier les fragments de corniche appartenant aux trois ordres du bâtiment de scène.

Dans le même sens, une observation approfondie des détails et des dimensions de ces fragments a permis d'isoler des modèles théoriques de référence pour l'étape suivante de restitution des formes originelles.

## 4 - Restitution 3D de l'objet architectural

### 4.1. Modélisation 3D des éléments à partir des données acquises

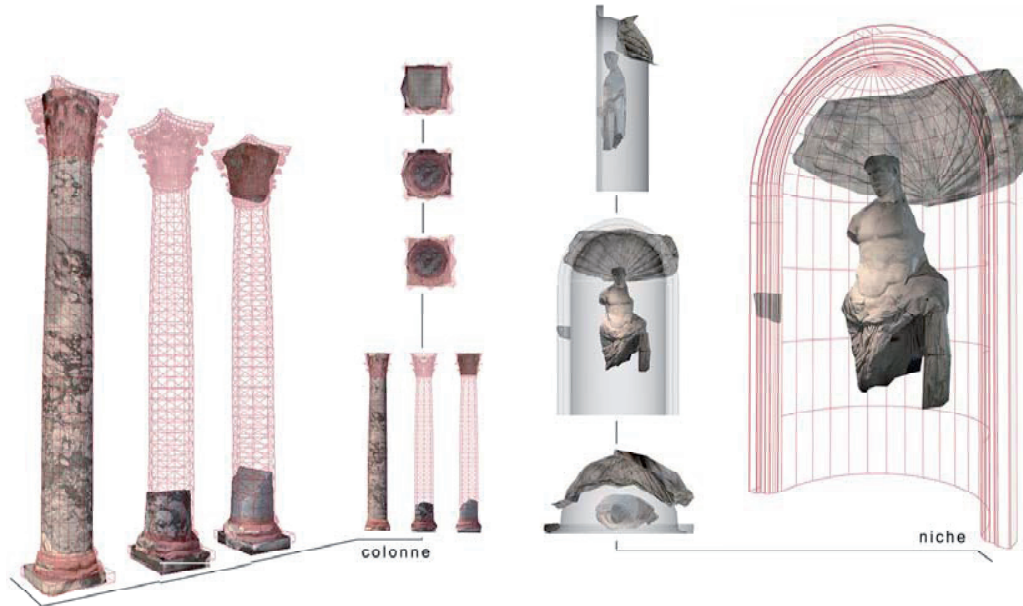
Plusieurs travaux (cf. [5], [6]) se sont concentrés sur la représentation d'hypothèses de restitution d'édifices disparus ou partiellement détruits s'appuyant sur les techniques d'infographie 3D. Une réflexion est par contre nécessaire à ce propos. En effet, si pour la restitution de l'état actuel d'un édifice, la demande de réalisme peut trouver des justifications dans la volonté de pouvoir apprécier l'état de conservation des matériaux qui le composent, en ce qui concerne la représentation des états antérieurs, il est important de réfléchir sur l'adéquation des techniques de représentation par rapport à la rigueur qu'une visualisation scientifique requiert.

Cette expérience a été pour nous l'occasion de souligner l'importance de véhiculer dans la représentation de l'édifice le degré d'incertitude qui est à la base de sa restitution hypothétique. Cette approche est fondée sur le choix d'associer à la représentation de l'édifice une indication de l'état de connaissance qui justifie sa restitution (cf. [7]).



Fig. 5. Catalogue tridimensionnel des fragments relevés [aut. F. De Domenico, 2003]

La représentation de l'édifice s'appuie donc sur la simple comparaison métrique entre des modèles théoriques (en filaire) dimensionnés sur les fragments relevés (Fig. 6, Fig. 7). Cette opération est conduite par instanciation (positionnement et déformation) d'un ensemble de primitives architecturales formalisées à partir des traités d'architecture (cf. [8], [9]).



**Fig. 6.** Restitution 3D des éléments théoriques du bâtiment de scène à partir du relevé des vestiges [aut. F. De Domenico, 2003]

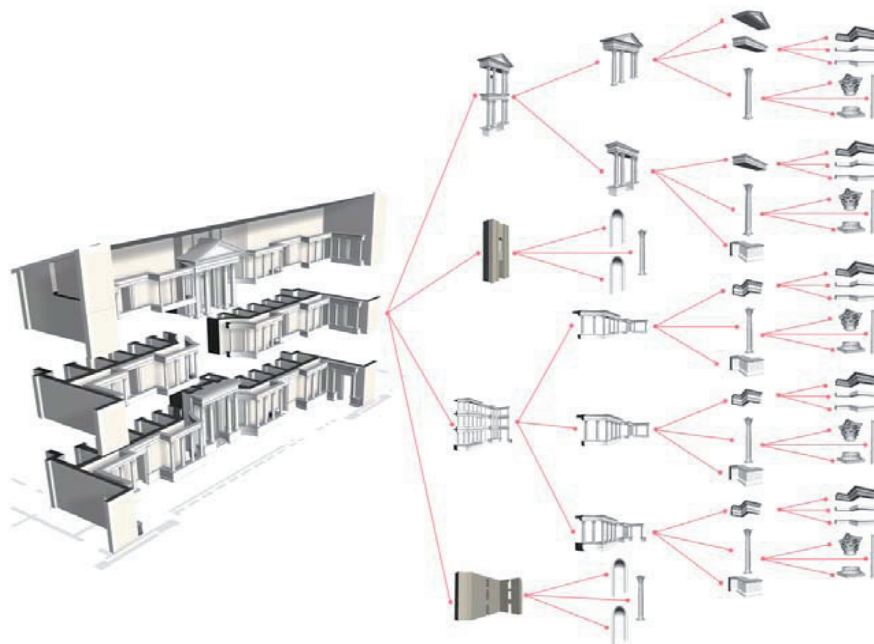
#### 4.2. Modèle de description de l'objet architectural

Comme nous l'avons déjà dit, l'objectif final de la phase de restitution consiste à lier des informations structurées à la maquette 3D pour pouvoir se servir de cette dernière comme outil de navigation dans la documentation. Pour cela, nous devons nécessairement concevoir un modèle de description de l'édifice valable à la fois pour sa reconstruction tridimensionnelle mais aussi pour structurer les informations dans une base de données. Or, ce travail n'est possible qu'à condition que le jeu de connaissances relatives à l'objet architectural traité soit formalisé. Un système de connaissances architecturales peut être décrit comme une collection d'objets structurés identifiés par un vocabulaire précis (cf. [10]). Mais la description de la structuration de ces objets dans un ensemble ordonné nécessite l'observation d'ordre plus complexe. Goulette



**Fig. 7.** Restitution 3D des éléments théoriques du bâtiment de scène à partir du relevé des fragments [aut. F. De Domenico, 2003]

(cf. [11]) identifie trois types de relations entre les éléments que l'on peut lire dans le vocabulaire de l'architecte : les relations topologiques, les relations partie-ensemble et les relations de composition. Nous concentrons notre attention sur les relations partie-ensemble qui expriment des logiques de structuration hiérarchique d'une composition architecturale. Il s'agit des relations qui expriment les ensembles architecturaux en fonction d'une logique fondée sur l'analyse de la composition de l'édifice. La figure suivante présente l'analyse des relations hiérarchiques du modèle théorique du front de la scène d'un théâtre romain de période augustéen (Fig. 8).



**Fig. 8.** Modèle de description du bâtiment de scène restitué [aut. F. De Domenico, 2003]

La structure de description visant à représenter les relations hiérarchiques entre les éléments utilise cinq niveaux. Pour donner un exemple : un chapiteau, qui fait partie d'une colonne, qui fait partie d'une colonnade qui fait partie du front de la scène. La maquette 3D ainsi réalisée a servi aussi comme support pour l'élaboration d'images pour l'évaluation de l'hypothèse de restitution au travers d'une superposition réel/virtuel (Fig. 9).



**Fig. 9.** Deux superposition réel/virtuel : les volumes hypothétiques sont incrustés sur les photographies de l'état actuel du théâtre [aut. F. De Domenico, 2003]



## 5 - Principes pour un Système d'Informations Architecturales 3D

### 5.1. Problématique

Dans l'étude d'un édifice, au delà du relevé, le développement de descriptions qualitatives est un domaine de recherche beaucoup plus vaste. Il apparaît donc essentiel aujourd'hui d'étudier les conditions au travers desquelles les informations quantitatives, extraites du relevé et les informations qualitatives, produites par l'interprétation des données acquises ou par l'analyse de sources documentaires, peuvent être analysées à l'intérieur d'une plateforme unique et intégrée. Il s'agit en effet d'une problématique complexe qui nécessite l'interaction de trois aspects distincts :

- *Le modèle de données*, qui définit la manière dont les informations hétérogènes sont organisées, stockées et indexées dans une base de données ;
- *La représentation géométrique* qui concerne la relation entre un type de représentation (nuages de points, structures filaires, mailles polyédriques ou géométrie enrichie) et le type d'informations qu'elle véhicule (dimensions, structure, volume, apparence visuelle, etc.). De plus on s'intéresse à la manière dont ces représentations sont accessibles à la consultation et/ou à la manipulation ;
- *Un modèle de description de l'édifice* qui constitue le noyau central de l'intégration entre informations quantitatives et qualitatives. Cet aspect concerne la stratégie utilisée pour structurer des informations autour de la morphologie de l'objet et les modalités d'accès aux données.

Dans notre cas, comme nous analysons des vestiges, la stratégie de structuration d'informations hétérogènes choisie s'appuie sur le modèle de description de l'hypothèse de restitution réalisée.

### 5.2. L'architecture du système

Le système développé est basé sur une architecture en trois parties qui répondent à trois exigences distinctes :

- *Stockage de données hétérogènes*. Une base de données organise les maquettes 3D des vestiges, les fiches de description des fragments et des modèles théoriques ainsi qu'un ensemble de sources documentaires numérisées ;
- *Manipulations de représentations géométriques tridimensionnelles en temps réel*. Une scène 3D interactive permet l'affichage et la manipulation des représentations 3D ;

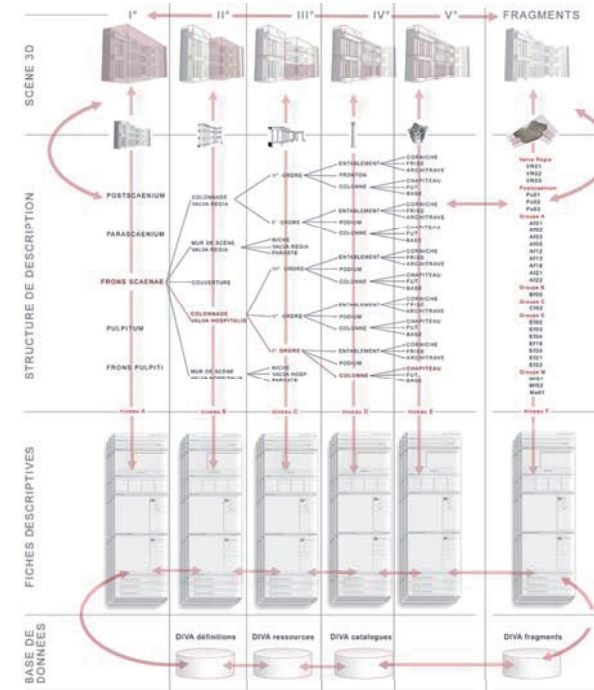


Fig. 10. Les relations entre la scène 3D, les fiches descriptives et la base de données [aut. F. De Domenico, 2003]

- *Consultation et gestion des données en ligne.* L'application est développée autour d'un site Internet qui constitue l'accès utilisateur aux données stockées dans la base et fournit les passerelles nécessaires pour le dialogue entre la scène 3D et les informations hétérogènes.

La structure de description permet d'établir des relations bilatérales entre des informations structurées et la scène 3D (Fig. 10). Cela permet d'isoler des éléments dans la scène 3D, en isolant en même temps un concept, un terme auquel on attache des informations spécifiques. En effet, l'organisation des informations suit le modèle de description de l'édifice : aux cinq niveaux d'approfondissement de la scène 3D, correspondent cinq niveaux d'organisation des informations. Le modèle de description de l'édifice constitue alors le pont entre les niveaux d'observation, à la fois dans la scène 3D et entre les informations structurées dans une base de données. Cette base contient les définitions des éléments et un ensemble de ressources qui s'y rattachent (photos, gravures, etc.). Aux fiches relatives aux éléments de vocabulaire, s'ajoutent celles des fragments dans lesquelles on retrouve les informations sur leur localisation, leur état de conservation, leurs matériaux, leurs dimensions, etc.

### 5.3. L'interface du système

En conformité avec son architecture, l'interface du système est caractérisée par trois éléments principaux (Fig. 11). En haut à gauche, la scène 3D interactive (Fig.12), dans laquelle on peut sélectionner des éléments dont on récupère la position dans la structure de description située en bas à gauche. Les fiches informatives (à droite) affichent les données relatives aux entités sélectionnées dans la scène 3D. La représentation tridimensionnelle est en définitive une interface qui permet à l'utilisateur de :

- Sélectionner un élément par son nom dans la structure hiérarchique et visualiser sa position dans la scène ;
- Obtenir des fiches d'informations en relation avec cet élément ;
- Sélectionner un élément dans la scène 3D et visualiser sa position dans la structure hiérarchique ;
- Changer le niveau d'observation courant (entre les cinq niveaux) ;
- Visualiser/masquer les éléments ou des groupes d'éléments ;
- Contrôler de façon interactive les niveaux de transparence des éléments et des groupes d'éléments ;
- Visualiser/Masquer les fragments et les vestiges dans l'espace 3D.

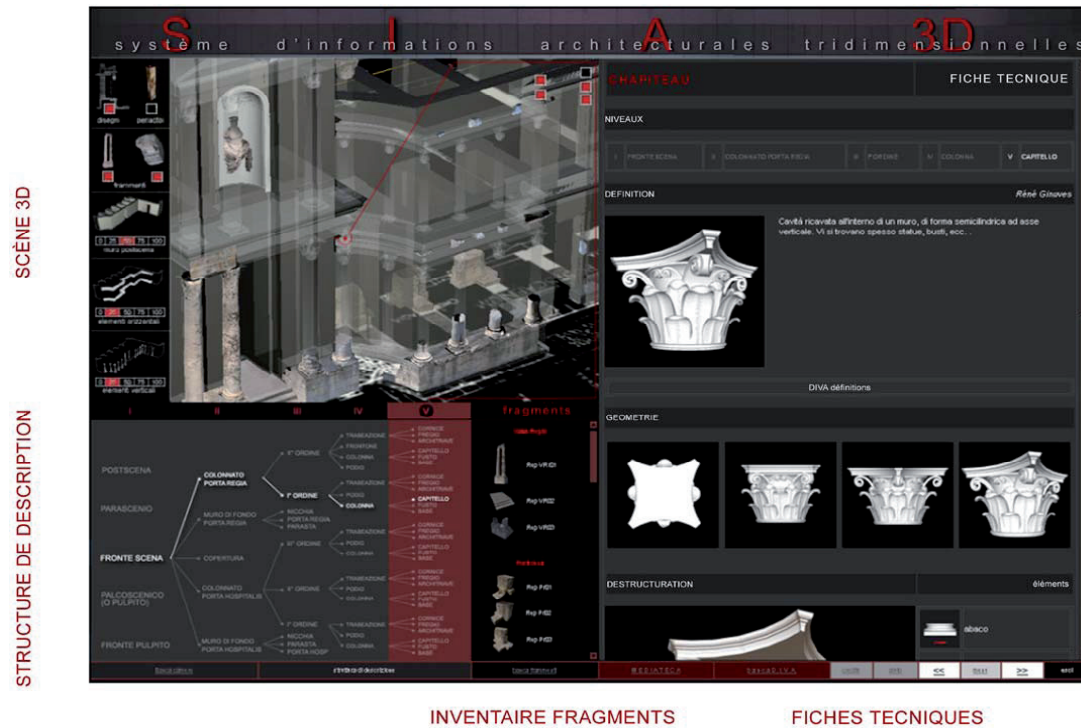


Fig. 11. L'interface du système d'informations architecturales 3D [aut. F. De Domenico, L. De Luca 2003]

## 6 - Conclusion

Cette expérience nous a permis d'évaluer l'apport que la maquette 3D peut fournir dans un dispositif de visualisation d'informations et de connaissances relatives à des vestiges archéologiques. Plusieurs conclusions peuvent être tirées à la fin de cette expérience. Notamment, il est important de remarquer l'apport donné par le modèle de description à la structuration des informations et des représentations. Cependant, si d'un côté il faut insister sur la nécessité de construire cette maquette à partir des connaissances de base de l'architecte exprimées par son vocabulaire, de l'autre côté il faut retenir que cette structure de description n'est pas forcément unique car la décomposition morphologique d'un édifice dépend toujours d'un objectif d'analyse.

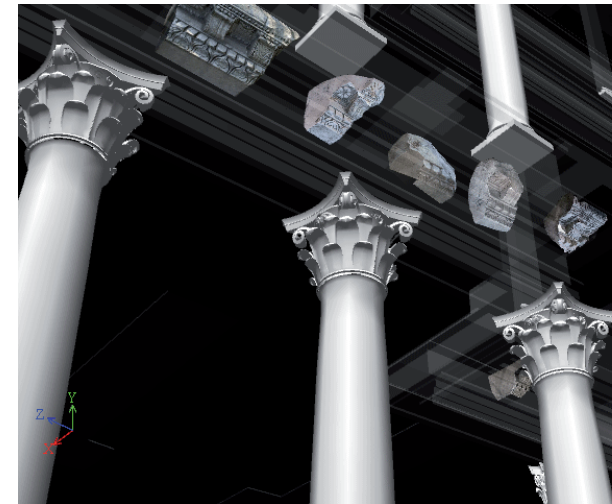


Fig. 12. La scène 3D interactive [aut. F. De Domenico, L. De Luca 2003]

## Références bibliographiques

- [ 1.] M. Florenzano, / L. De Luca, “*Relever, modéliser, représenter le patrimoine construit*”, [in] II<sup>o</sup> Rencontres Internationales Monaco et la Méditerranée - Nouvelles technologies au services de la protection du patrimoine méditerranéen et de la diffusion de sa culture, Association Monégasque pour la Connaissance des Arts, Monaco 2003
- [ 2.] J.-Y. Blaise et al., “*Acquisition de données vs gestion de connaissances patrimoniales : le cas des vestiges du théâtre antique d'Arles*”, [in] EGC 2004 - 4<sup>èmes</sup> journées d'Extraction et de Gestion des Connaissances, Clermont Ferrand 2004
- [ 3.] J.-Y. Blaise et al., “*Architectural Modelling and Information Interfacing: Learning from Three Case Studies*”, [in] ITI 2004 - 26th International Conference on Information Technology Interfaces, Cavtat / Dubrovnik 2004
- [ 4.] O. Faugeras, “*Three-Dimensional Computer Vision : A Geometric Viewpoint*”, MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1993.
- [ 5.] F. Lecocq, “*Reconstruction virtuelle de Rome antique*”, [in] Proceedings of Virtual Retrospect, Biarritz 2003, pp. 77 - 84
- [ 6.] B. Frischer, “*Mission and recent projects of the UCLA cultural virtual reality laboratory*”, [in] Proceedings of Virtual Retrospect, Biarritz 2003, pp. 65-74
- [ 7.] I. Dudek et al., “*Exploiting the Architectural Heritage's Documentation: A Case Study on Data Analysis And Visualisation*”, [in] Proceedings of I- KNOW '03, Graz, Austria 2003
- [ 8.] F. Dekeyser et al., “*Cultural heritage recording with laser Scanning, computer vision and exploitation of Architectural rules*”, [in] International Workshop on vision techniques for digital architectural and archaeological archives, ISPRS WG V/4 and IC WG III/V, Ancona 2003
- [ 9.] L. De Luca et al., “*Reverse engineering of architectural buildings based on a hybrid modeling approach*”, *Computers & Graphics*, Elsevier, April 2006, vol. 30, issue 2, pp. 160-176
- [ 10.] P. Quintrand et al., “*La CAO en architecture*”, Hermes, 1985
- [ 11.] J.-P. Goulette, “*Sémantique formelle de l'espace : Application au raisonnement spatial qualitatif en architecture*”, *Intellectica : Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, 1999, N<sup>o</sup>29, pp. 9-34