

PAROS : Le sens de la mesure.

Photogrammétrie et modèles architecturaux :

Le cas du forum antique de la ville d'Arles (France)

Michel Florenzano*, Jean-Yves Blaise**, Pierre Drap***.

GAMSAU URA CNRS n°1247

Groupe d'études pour l'Application des Méthodes Scientifiques à l'Architecture et à l'Urbanisme.

Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy

184, av. de Luminy 13288 Marseille Cedex 09 FRANCE Tel (33) 91 82 71 70

* mfl@gamsau.archi.fr ; ** jyb@gamsau.archi.fr , *** pdr@gamsau.archi.fr

Commission V, Groupe de travail 4

Mots clés: ARCHITECTURE, PATRIMOINE BATI, MODELISATION, IMAGES DE SYNTHESE, REPRESENTATION DE LA CONNAISSANCE, PROGRAMMATION ORIENTEE OBJET,

RESUME

Le relevé d'architecture est aujourd'hui un outil privilégié d'observation et d'analyse des édifices. Le dossier d'étude, dont fait partie le relevé, se doit de fixer au delà des aspects dimensionnels, les aspects structurels, culturels et historiques des données patrimoniales. Dans cette perspective le projet PAROS veut proposer un outil de formalisation des connaissances architecturales et d'exploitation de la mesure photogrammétrique. Il jette donc les bases d'un relevé photogrammétrique qui irait dans le sens d'un *Système d'Information Architectural*, dédié à l'aide au diagnostic et à la représentation du patrimoine. Il se situe à l'articulation des domaines de la photogrammétrie architecturale, de la modélisation de la connaissance et de la représentation en synthèse d'image.

Nous nous inscrivons dans une double problématique, schématiquement celle du conservateur, étude de pathologie, et celle du muséographe, mise en images. Cette démarche s'appuie sur trois axes de recherche,

- Formalisation centrée objet des modèles théoriques : une classification par spécialisation et agrégation des objets étudiés (architecturaux et géométriques).
- Confrontation Modèle / Mesure : une étude par lecture comparative. L'aide au diagnostic architectural est basée sur l'évaluation des écarts entre le résultat du traitement des données photogrammétriques et chaque modèle théorique.
- Mécanismes de simulations / reconstitution d'édifices partiellement mesurés : une utilisation de définitions typo-morphologiques répertoriées et de règles structurelles ou compositionnelles. Les éléments d'architecture sont ici assemblés "au mieux" autour de modèles théoriques de composition et n'utilisent du processus de mesurage que l'information affectant leur description interne.

L'application présentée est développée sur Silicon Graphics™ indigo2, en C++, et les résultats graphiques exprimés avec POV Raytracing, AutoCad™ ou INCA (sur-couche de la Graphic Library Silicon élaborée au gamsau). Cet article présente un processus de mesurage, expérimenté sur les vestiges en élévation du Forum romain d'Arles, au travers duquel nous proposons une courte synthèse des modèles géométriques et architecturaux utilisés.

Keywords: ARCHITECTURE, CULTURAL_HERITAGE, MODELING, IMAGERY, KNOWLEDGE_BASE, CLOSE_RANGE, OBJECT_ORIENTED PROGRAMMING.

ABSTRACT

The analysis of built patrimony has, for now more than a century, set new paradigms of architectural data and knowledge. Investigating on it means producing descriptions of dimensionnal aspects along with cultural, historical aspects of the data needing representation. Therefore the main purpose of the PAROS survey process will be integrating architectural knowledge and a photogrammetrical survey tool. In other words, Paros is concerned with the implementation of a tool connecting the architectural photogrammetry, the knowledge representation and the imagery fields together.

We focus our activity on three research guidelines:

- Knowledge representation (on related topics) using object oriented programming.
- Computational model of the comparisons between the theoretical predefined architectural models and their counterpart:the actual survey.
- Deductive mechanisms using predefined typo-morphological definitions and rules in order to re-create virtual « could have been » buildings illustrating archeological or historical hypothesis.

The Paros application is developped on a Silicon Graphics indigo 2, using the C++ Object-Oriented programming language. The graphic results are shown using the POV raytracing tool, AutoCAD software or INCA (an extension of the Silicon Graphics Library elaborated by GAMSAU). This paper presents our experimental measurement process, and an introduction, step by step, to the theoretical models (architectural and geometrical) we have been lead to define.

¹PAROS est un programme de recherche soutenu par le ministère de la culture et de la francophonie

1. Les modèles architecturaux

La description du patrimoine architectural proposée s'appuie sur un travail de définition et d'analyse de *régularités*. C'est une

recherche des modèles de représentation de ces entités, capables de produire par filiation des objets particuliers. Nous isolons donc des familles d'objets dont la structure ou le comportement présentent des similitudes. Le corpus étudié est

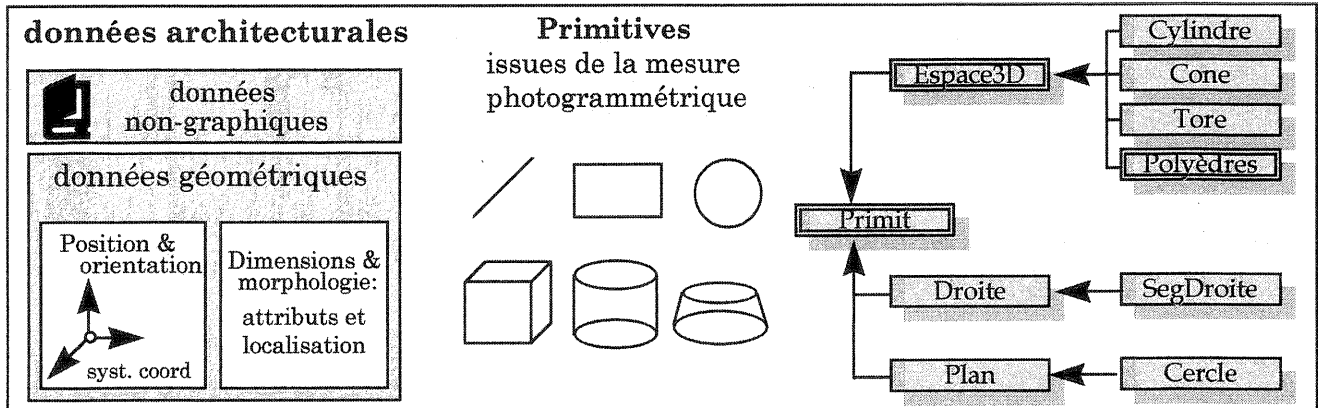


Figure 1: structure interne de l'entité architecturale

démarche de structuration des connaissances liées aux objets architecturaux, visant à isoler des *entités élémentaires* sur lesquelles s'appliquent des *relations* pour former un ensemble bâti. Autour du corpus d'éléments ainsi reconnus s'organisent à la fois la mise en œuvre des traitements liés au processus de mesurage lui-même et la représentations des données *architecturales* stricto sensu. L'étude de la forme des entités passe par la définition de modèles géométriques (primitives) (cf. Fig. 1) recouvrant les parties significatives de leurs surfaces, modèles utilisés comme boîte à *outils d'études morphologiques*. L'approche informatique centrée objet nous permet de

décrire sous forme de classes d'objets (au sens programmation orientée objet) dont les propriétés communes sont factorisées au sein d'une classe abstraite (cf. Fig. 2). L'entité architecturale dispose de propriétés décrivant sa nature (dimensions, éléments de définition, etc...) et son comportement au sein du système de relations qu'est l'édifice. Les relations liant ces entités sont ainsi formalisées pour organiser celui-ci en fonction des règles de la composition architecturale.

2. La mesure informe le modèle

Le processus mis en place dans ce travail confronte le nuage de points résultant d'une campagne de relevé photogrammétrique sur les entités de l'édifice étudié aux modèles théorique architecturaux. Lors du relevé photogrammétrique, l'opérateur affecte à chacune de ces entités les points mesurés qui la concerne. Ce processus s'appuie donc sur un **relevé renseigné** ayant fait l'objet d'une étude préalable. On peut voir le processus de la façon suivante:

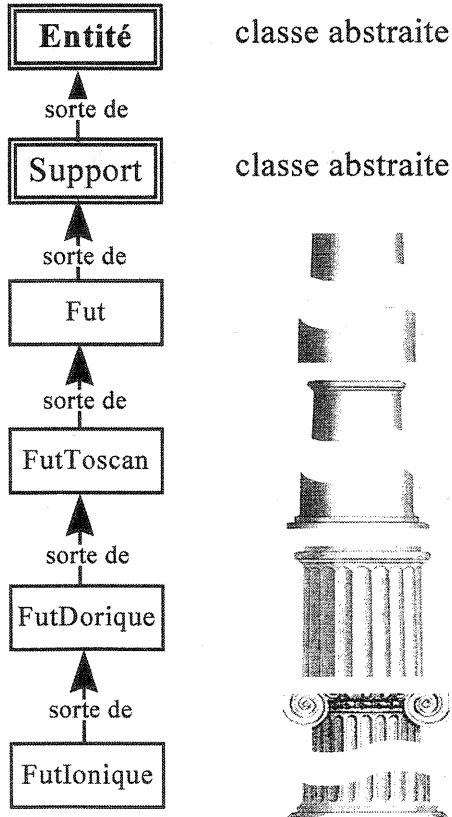


Figure 2: hiérarchie des fûts

Saisie photogrammétrique :

- Discrétisation de l'objet en nuage de points mesurés sur sa surface.

Traitement des données.

- Définition de modèles géométriques reconstruits sur ces points.
- Définition du modèle architectural que les modèles géométriques informent.
- Assemblage des entités architecturales.

Le passage des points aux primitives géométriques puis aux entités architecturales se fait au travers des opérations d'**optimisation** (nuage de points → primitives géométriques) et d'**ajustement** (primitives géométriques → attributs caractérisant l'entité architecturale). Le passage des entités à l'édifice, ou à un groupe d'entités, se fait au travers des opérations de **mise en cohérence** (entités indépendantes → entités cohérentes) et de **complètement** (instanciation de nouvelles entités à l'aide d'entités mesurées et de règles compositionnelles).

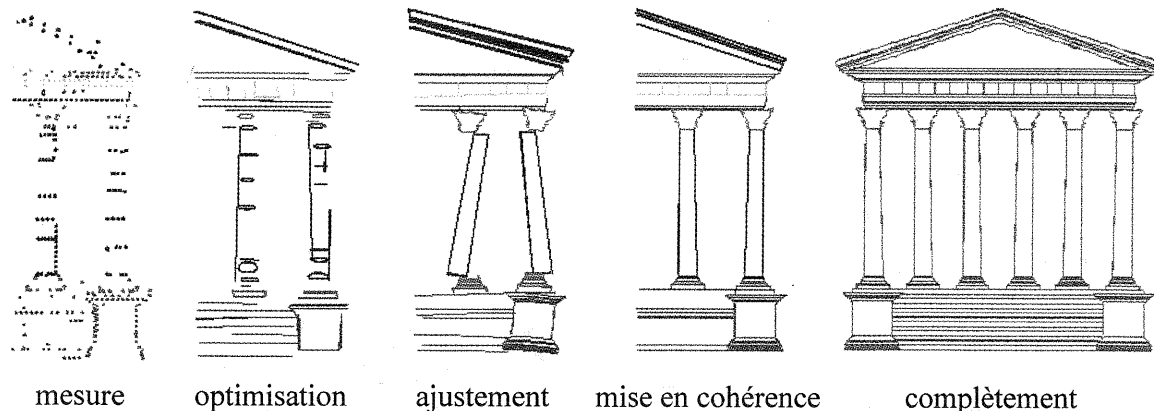


Figure 3: les cinq étapes du processus PAROS

3. Les traitements de la mesure

3.1 L'optimisation

La photogrammétrie fournit un nuage de points mesurés à la surface des entités architecturales. A travers un traitement du nuage de points (relevés et étiquetés), nous reconstruisons les primitives géométriques nous permettant de déduire les caractéristiques morphologiques de ces entités. La méthode d'analyse du nuage de points est basée sur le critère des moindres carrés : Pour une série d'observations toutes entachées d'une erreur aléatoire centrée et donc exempte de systématisme, le critère des moindres carrés (des résidus) correspond à la distribution la plus probable des écarts d'observations (erreur de mesure).

3.2 L'ajustement

Une fois l'opération d'optimisation des primitives menée à bien, on dispose d'informations numériques qui n'ont pas encore de traduction en termes d'architecture (ensemble de points et de vecteurs non observables et donc ne pouvant être le résultat d'une mesure directe). La procédure d'Ajustement consiste à passer des primitives d'une entité à ce qui la caractérise, à savoir ses attributs; c'est le passage de données observées à des informations déduites.

Les points mesurés, comme les primitives géométriques issues de la mesure, doivent servir de contrôle à toutes les étapes du processus de construction du modèle PAROS.

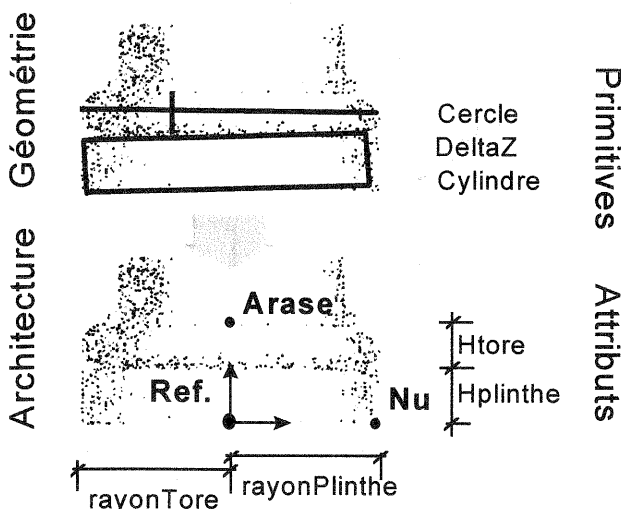


Figure 4: Principe de l'ajustement

3.3 la mise en cohérence et complètement.

L'opération de mise en cohérence d'un ensemble d'entités agit sur le positionnement, l'orientation, et le dimensionnement des entités considérées. La méthode est formalisée par un système d'équations mettant en jeu des êtres architectoniques (axes, trames, etc..) et les attributs des entités (le référentiel, le nu du mur, l'arase,...).

Les règles et relations utilisées sont issues d'une analyse conduite sur l'architecture à relever au même titre que sont isolées les entités.

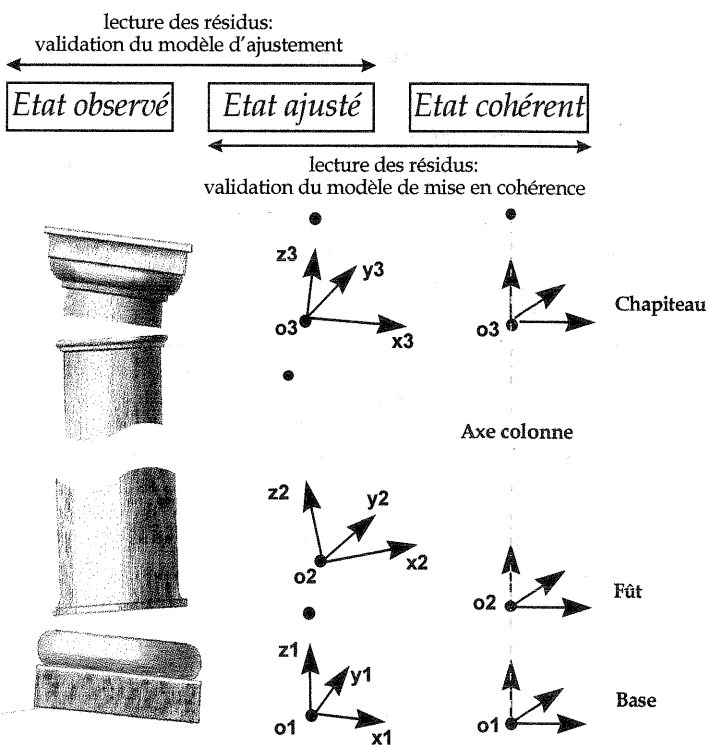


Figure 5: Mise en cohérence des entités architecturales sur l'axe de la colonne

4. La mise en oeuvre de ces modèles sur le forum antique de la ville d'Arles

L'élaboration des modèles architecturaux à été menée en collaboration avec l'Institut de Recherche sur la Provence Antique (IRPA) en Arles. Les restes du portique mesuré étant en très mauvais état, la finalité de la campagne de mesure a clairement été posée en terme de simulation d'un état antérieur

possible et non dans une optique de diagnostic du bâtiment. Les modèles mis en oeuvre s'appuient donc sur les hypothèses archéologiques de l'IRPA. L'ensemble mesuré ici est le dernier vestige en élévation du forum, centre de la colonie romaine d'Arles. Le portique lui-même, daté du IV^{ème} siècle, est une extension d'une construction importante, antérieure, dont la destination (temple ou propylées) reste douteuse.

4.1 Conditions de prise de vues

Les prises de vues ont été réalisées en Juin 1995, place du forum en Arles depuis un élévateur (cf. Fig 7).

- Camera: UMK 100, Zeiss Iéna.
- Emulsion: Film Technical PAN Kodak + un couple sur plaque de verre (émulsion ORWO).
- Développement : Ilford microphen.

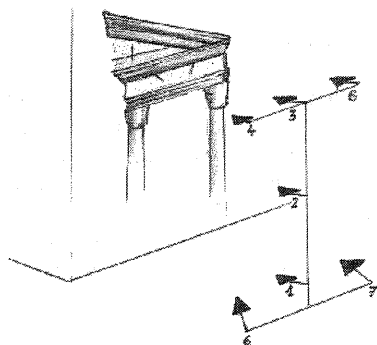


Figure 6: Schéma de prise de vue

4.2 La restitution

Nous avons isolé sur l'édifice 13 entités architecturales, sur lesquelles les services de l'Atelier du Patrimoine, sous la direction de M. Maumont, ont saisi 654 points. Chaque entité architecturale, comme élément du corpus pré-établi, a fait l'objet d'une description par le biais de primitives géométriques correspondant à des spécificités mesurables de sa morphologie. Il existe donc pour chaque entité architecturale un nombre fini et surabondant de primitives géométriques mesurables, permettant d'appréhender sa morphologie. Ici, nous avons choisi, compte tenu de l'état de l'édifice et de l'objectif de l'étude, un sous-ensemble de ses primitives, encore redondant pour retrouver ses attributs morphologiques.

Ainsi, lors de la saisie, les points mesurés ont été affectés, grâce à un codage alphanumérique, à des primitives géométriques (plan, cercle, droite) décrivant la morphologie des entités architecturales en jeu. Les points mesurés sont alors transmis

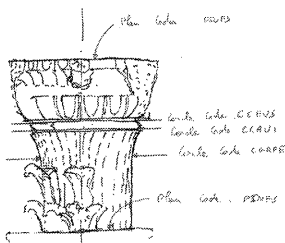


Figure 7: schéma de restitution du chapiteau n°2 (à gauche sur la fig.6)

au système PAROS à l'aide d'un fichier ASCII où le code alphanumérique, identifiant chaque point, le référence à une primitive géométrique et à une entité architecturale.

Le processus de calcul PAROS peut alors se dérouler :

- L'optimisation des primitives géométriques sur les points mesurés (§ 4.2.1)
- L'ajustement : calcul des caractéristiques géométriques des entités architecturales à l'aide des primitives géométriques déjà calculées.
- La mise en cohérence des entités ajustées. (§ 4.2.2)
- Le complètement des entités manquantes lors du mesurage. (§ 4.2.3)

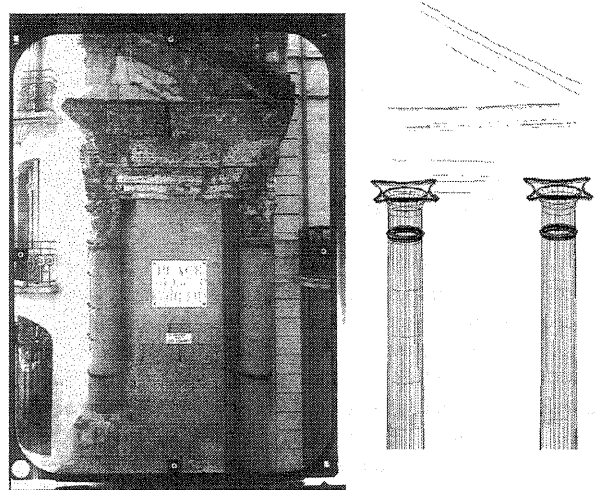


Figure 9 : A gauche : Les points mesurés en réserve sur l'image. A droite les primitives géométriques ainsi que deux chapiteaux et deux fûts calculés sur leurs primitives.

4.2.1 Un exemple d'optimisation

Exemple d'optimisation d'une primitive géométrique : cercle correspondant à la ceinture haute du fût de colonne. Ici les points ont été relevés sur le fût N° 1 (à droite sur la photo de la figure 6) sous l'apophyge du filet de l'astragale. Les grandeurs sont exprimées en mètre.

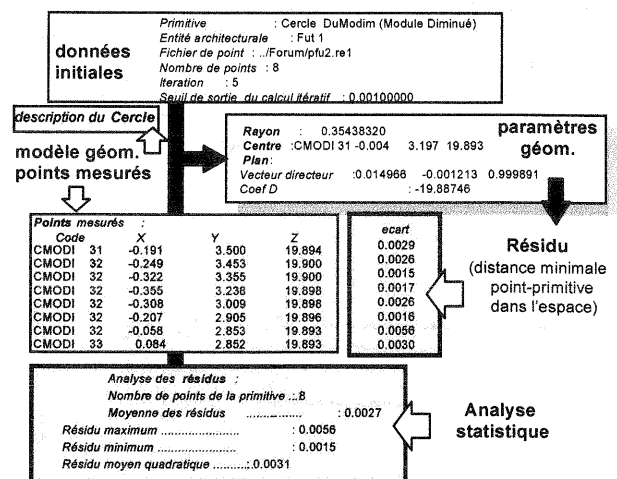


Figure 8: optimisation par les moindres carrés

4.2.2 La mise en cohérence

Les entités architecturales assemblées pendant l'opération de mise en cohérence forment un canevas tridimensionnel sur lequel s'appuiera la validation des hypothèses de composition choisies.

Ci-dessous figurent les résultats de l'adaptation de ce canevas tridimensionnel décrit par les entités architecturales avant et

après la mise en cohérence. L'opération de mise en cohérence cherche à minimiser le déplacement de chacune des entités architecturales considérées pour satisfaire les règles de composition relatives au corpus étudié.

Dans le cas du portique présenté ici, l'incohérence constatée entre modèle de proportions des colonnes et observation va bien dans le sens des conclusions archéologiques : il s'agit de fûts de réemploi. En effet, le diamètre des fûts observés est nettement plus important que ne le laisse penser les modèles théoriques.

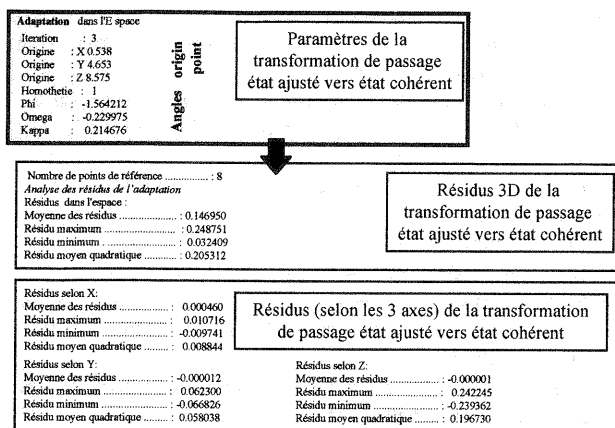


Figure 10: Lecture de l'influence de la mise en cohérence sur les entités architecturales

4.2.3 Le complètement

Lors de la phase de complètement, des mécanismes de déductions nous permettent d'instancier les entités non mesurées, pour satisfaire le modèle théorique sous-jacent.

Les caractéristiques de ces nouvelles entités s'appuient sur les données rassemblées à chaque étape du processus, et renseignant à la fois ses dimensions et sa position dans l'ensemble de la composition.

Cette phase, ici aboutissement de l'étude, a pour objectif la reconstitution d'un modèle probable de l'ensemble *Portique* du forum. A partir des données issues du processus PAROS, nous proposons une série d'images sur lesquelles figurent à la fois les entités mesurées et les entités déduites (podium, bases, deux fûts et deux chapiteaux).

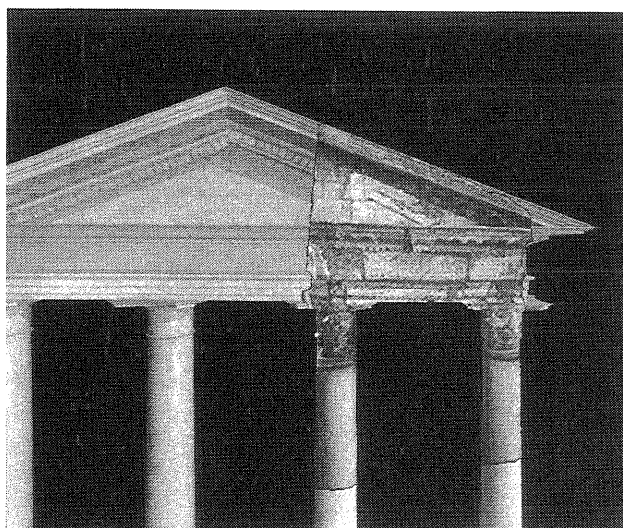


Figure 11 : L'image du modèle reconstitué, avec incrustation d'une photographie de l'édifice existant.

5. Un terrain de recherche

La première étape du projet Paros nous a permis de mettre en œuvre, sur le forum d'Arles, les hypothèses présentées dans ce travail.

Le modèle PAROS décrit l'édifice par le biais d'objets architecturaux, considérés à la fois du point de vue de la mesure et de la représentation des connaissances. Il propose de dimensionner et de positionner le modèle architectural à l'aide de traitements de la mesure photogrammétrique. Cette approche

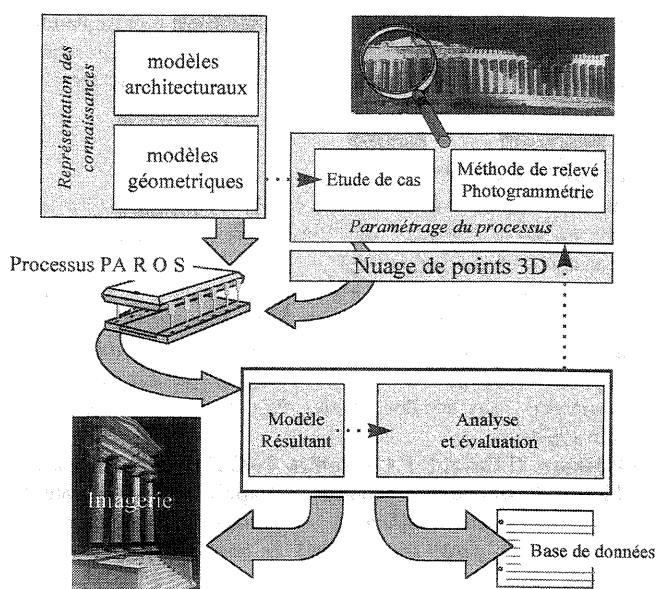


Figure 12 : Schéma synoptique

se répercute sur la saisie, les traitements de la mesure et sur la représentation des modèles architecturaux.

Cinq points doivent être soulignés pour illustrer notre démarche:

- Représentation des connaissances centrée objet
- Intégration de la mesure dans un système de gestion de base de données, prémice d'un système d'information architectural
- Approche tridimensionnelle de la mesure à la représentation de l'édifice
- Economie de mesure induite par la connaissance préalable

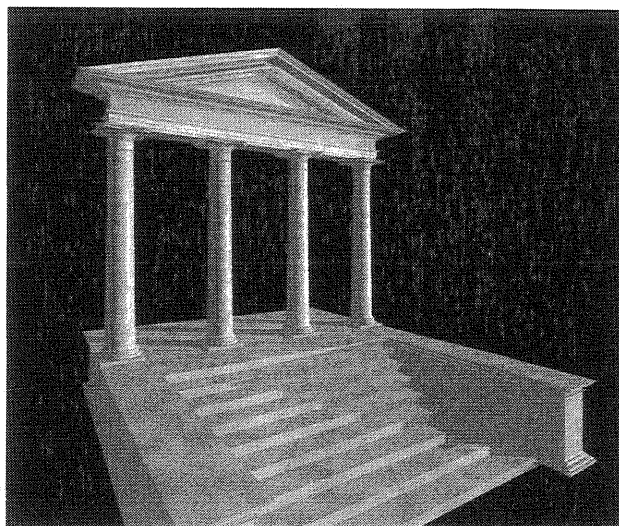


Figure 13: Le portique du forum après la phase de complètement

des objets mesurés (654 points sur le forum d'Arles)
Nous poursuivons dans cette voie à la fois dans le domaine traité ici (simulation) et dans celui, plus délicat, de l'aide au diagnostic. Par ailleurs, la restitution, rendue plus lourde par le codage des primitives géométriques décrivant la morphologie des entités, doit faire l'objet d'une étude visant à assister l'opérateur par une interface « intelligente ».

Nous avons souhaité présenter les premiers résultats d'un programme de recherche qui, au delà du dimensionnement des modèles architecturaux, s'attachera à intégrer l'ensemble des données patrimoniales. Il s'agit en effet de coupler les techniques de la photogrammétrie à celles de la représentation des connaissances au sein d'un *système d'information architectural* réunissant la mesure, les données architecturales, historiques, urbanistiques, ...

6. Références

- Jean-Paul Saint Aubin** *Le relevé et la représentation de l'architecture* Service de l'inventaire général, Editeur : Documents & méthodes 1992
- Charles M. Eastman** « *A data model for design knowledge* » Automation in construction, Elsevier 1994
- Michel Florenzano ; J.Y Blaise ; P.Drap** « *Paros : du relevé photogrammétrique à la représentation de l'architecture construite* » Interface des mondes réels et virtuels Montpellier juin 1995
- J P Haton. N Bouzid. F Charpillet. M-C Haton. B Lâasri. H Lâasri. P Marquis. T Mondot. A Napoli** *Le raisonnement en Intelligence Artificielle - modèles, techniques et architectures pour les systèmes à base de connaissance*

InterEditions 1991

- Marc Heijmans** « *Nouvelles recherches sur les cryptoportiques d'Arles et la topographie du centre de la colonie* » Revue Archéologique Narbonnaise, 24, 1991, p. 161-200.
- Philippe Hottier** « *Théorie élémentaire des moindres carrés* » Publication IGN 1988
- Jean-Louis Lemoigne** *La théorie du système général*, P.U.F. 1990
- G.Masini, A.Napoli, D.Colnet, D.Léonard, K.Tombre** *Les langages à objets - Langages de classe, langages de frames, langages d'acteurs* Interéditions 1989
- Andrea Palladio** *The four books of architecture* traduction Isaac Ware, Dover Publications 1965.
- Jean Marie Pérouse De Montclos** *Architecture vocabulaire - principe d'analyse scientifique* Imprimerie Nationale 1972
- André Streilein** « *Towards Automation in Architectural Photogrammetry : CAD-Based 3D-Feature Extraction* » Institute of Geodesy and Photogrammetry, Zurich. ISPR Journal of Photogrammetry 1994
- Herbert Alexander Simon ; Jean-Louis Lemoigne (Trad.)** *Science des systèmes, sciences de l'artificiel / Traduction de / : « The sciences of the artificial »* Editeur Dunod, 1991. Collection AFCET systèmes.
- Vitruve de l'architecture.** Livre I Traduit du latin par Philippe Fleury, Edition Les belles lettres 1990
- Peter Waldaeusl** « *Defining the future of architectural photogrammetry* » Publication : congrès ISPR Commission V, Washington 1992
- S. Watanabe** « *Knowledge integration for architectural design.* » Automation in construction Elsevier 1994



Figure 14 Le modèle reconstitué par le processus P A R O S et le cliché photogrammétrique d'origine (cas du forum d'Arles)