

Acquisition de données vs gestion de connaissances patrimoniales : le cas des vestiges du théâtre antique d'Arles

Francesca De Domenico *, Livio De Luca*
Iwona Dudek*, Jean-Yves Blaise*

* UMR CNRS/MCC 694 MAP-gamsau
EAML 184, av. de Luminy 13288 Marseille Cedex 09 France
fdd(ldl,idu,jyb)@gamsau.map.archi.fr
<http://www.map.archi.fr>

Résumé. Qu'y a-t-il de commun aujourd'hui entre les domaines de l'acquisition de données 3D, de la gestion d'informations patrimoniales, ou encore de la modélisation tridimensionnelle en temps réel ? Bien peu, force est de le constater, si ce n'est que l'édifice patrimonial sert là souvent de terrain d'expérimentation. Pourtant, l'édifice patrimonial ne saurait être réduit à ce seul statut : il est avant tout objet de connaissances dont l'étude doit bénéficier de différents jeux de technologies. Notre proposition, expérimentée sur des vestiges du théâtre antique d'Arles, place l'édifice patrimonial au centre d'un dispositif visant à intégrer, au sein d'un système d'information architectural 3D en devenir, les résultats de différentes phases de son étude. Un jeu de connaissances formalisé sur l'édifice patrimonial sert de dénominateur commun depuis l'acquisition de données 3D jusqu'à la représentation dans une maquette temps réel pour la toile. Cette maquette devient outil de navigation dans le jeu d'informations et de savoirs qui caractérise l'édifice.

1 Introduction

1.1 Contexte et problématique

Les techniques du relevé architectural ont connu ces dernières années d'importantes évolutions, avant tout liées au développement de nouvelles méthodes d'acquisition de données 3D. Les capteurs à balayage laser ont été largement utilisés dans le champ de l'architecture patrimoniale (Dekeyser, 2003), depuis l'échelle urbaine jusqu'à celle de la statuaire. L'étude de (Marbs 2002) en résume bien les différents aspects. Les résultats de telles expériences ont témoigné de la qualité croissante des capteurs en terme de performance (précision et vitesse), mais aussi de la difficulté d'exploiter efficacement les nuages de points obtenus, voir (Fabio, 2001).

A l'opposé, la photo-modélisation a permis d'accélérer le processus de relevé, au détriment d'une précision qui reste le plus souvent largement suffisante dans le champ qui est le nôtre (). Récemment, des techniques mixtes ont été mises au point qui allient balayage laser et insertion de photographies (). De nombreux autres exemples comme () () ou () montrent à la fois l'importance de ce champ de recherche mais aussi les questions qui se posent d'une part sur l'automatisation du processus de relevé et sur l'utilisabilité des résultats du relevé.

Force est de constater en effet qu'aujourd'hui l'ensemble de ces techniques restent centrées que la seule phase d'acquisition de données 3D. Elles s'arrêtent au mieux à un résultat qui prend la forme d'une maquette 3D plus ou moins réaliste, dans la construction de laquelle l'expert humain doit généralement intervenir pour rendre l'objet représenté *lisible* en tant qu'artefact. Ces travaux traitent du relevé architectural comme du relevé de barils de lessive : autrement dit sans référence aux particularités de l'univers de connaissances traité.

Au delà du relevé, l'établissement de descriptions qualitatives d'objets architecturaux a depuis longtemps fait l'objet de démarches normatives qui, avec l'apparition des technologies XML, ont connu des évolutions importantes, voir par exemple (CIDOC). Mais ces définitions normatives ne font pas référence à une morphologie relevée, observée : elles se contentent au mieux de labelliser l'objet en fonction de thésaurus de typomorphes.

1.2 Objectifs, méthode, cas traité

Tout se passe comme si relevé architectural et documentation architecturale, pour prendre ces deux exemples, appartenaient à des domaines de recherche totalement distincts. Cet état de fait se justifie naturellement par les domaines de compétences disjoints de ceux qui relèvent et de ceux qui documentent. Pourtant relevé et documentation ont par nature un attendu commun : celui de circonscrire le jeu d'informations et de connaissances pouvant être rapporté à un objet architectural. Il nous semble donc essentiel d'étudier les conditions dans lesquelles informations quantitatives issues du relevé, informations qualitatives ou connaissances issues de la documentation puissent être exploitées au sein d'une même plateforme d'étude. Elles en ont toutes les raisons puisque autant elles informent un même objet de connaissance : l'objet architectural lui-même. Dès lors se posent deux questions :

- Attacher à un modèle de l'objet architectural des données hétérogènes.
- Représenter cet objet graphiquement pour, en tirant parti du caractère *spatial* d'un objet architectural, pouvoir se servir de la maquette comme d'un interface de navigation dans ces jeux de données.

Ce principe, établi et expérimenté dans (Dudek et al, 2002)(Dudek et al, 2003) impose de considérer la représentation tridimensionnelle non comme le résultat mais comme le moyen de fédérer des connaissances autour d'éléments non-ambigus : formes architecturales observées ou théoriques. Le résultat de la phase d'acquisition de données 3D peut ainsi être contextualisé, c'est à dire repositionnée dans l'espace de l'objet architectural, mais aussi dans l'univers de connaissances dont celui-ci dépend. Prenons un exemple : un vestige fragmentaire de corniche est positionnée dans une maquette reconstituant l'édifice dans son ensemble, avec comme indications :

- Son appartenance à une typologie établie en rapport à l'univers de connaissance (références stylistiques de la corniche, rôle dans la composition de l'édifice).
- Sa position hypothétique (et présentée comme telle) dans une reconstitution de l'édifice elle-même hypothétique et marquée comme telle.
- Son rapport avec un jeu de données hétérogènes qui vont de traités d'architecture aux photographies ayant servi à l'acquisition et à la modélisation du vestige.

On le voit, la maquette 3D exploite les résultats de la phase d'acquisition mais dans une optique qui est celle d'informer sur chaque vestige et non de produire un avatar virtuel amorphe de sa géométrie actuelle. Ce travail n'est possible qu'à condition que le jeu de connaissances relatives à l'objet architectural traité soit formalisé. En effet, ce travail pré-

suppose que nous savons a priori ce que nous mesurons et ce que nous documentons. Plus qu'une remise en cause de techniques de relevé dont les performances sont avérées, c'est d'une remise en cause de la façon dont elles sont exploitées dans le champ de l'architecture patrimoniale ou prédomine in fine l'interprétation (Kantner, ..).

L'approche résumée ci-dessus est expérimentées sur un cas concret, le théâtre antique d'Arles, et en particulier, le bâtiment de scène. De cette partie de l'édifice aujourd'hui ne reste en pied que des parties de colonnes et une partie du podium. Par contre, sur le site sont conservés beaucoup de fragments d'éléments qui faisaient parties 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 post-scène. Notre objectif est de replacer les fragments originaux (mesurés) entre les volumes d'un modèle théorique de théâtre Augustéen () au sein d'une reconstitution 3D. C'est aussi et surtout l'occasion de rassembler un jeu de connaissances et d'informations (relevé des fragments, ressources documentaires, etc..) rendus accessibles et lisibles au travers de cette reconstitution.

2 Un modèle pour analyser la mesure

2.1 Principe

Comme tous les objets de connaissance, l'architecture requiert une méthode d'observation capable de définir de façon univoque l'ensemble des paramètres qui la caractérisent. Or il existe encore des discontinuités d'ordre varié entre les phases d'acquisition, de traitement et de restitution tridimensionnelle d'un objet. Qu'il s'agisse d'une acquisition photogrammétrique ou laser, l'ensemble des coordonnées obtenues (nuage de points) constitue le support des opérations de reconstruction. Les différents systèmes de modélisation géométrique permettent de générer, à partir de ces points, des surfaces paramétrées ou des polyèdres par maillage automatique. L'interaction entre les formes géométriques et la synthèse de sources lumineuses, s'appuyant sur différents algorithmes de rendu, produit finalement le contenu de la visualisation. Cette séquence d'opérations décrit en réalité un processus de travail où l'acquisition des données n'est pas toujours en cohérence avec les procédures de modélisation géométrique et de rendu. L'information est le plus souvent acquise de manière discontinue, les différents traitements sont réalisés avec des outils qui ne sont généralement pas conçus pour le relevé et la représentation architecturale. Cette discontinuité d'ordre technique et méthodologique est due à l'absence des architectes et de l'architecture du mouvement qui ces dernières années a produit les principales innovations en matière d'informatique graphique. Cette absence semble avoir généré une sorte de rupture entre les nouvelles technologies pour le dessin et l'histoire de la représentation architecturale alors que l'objectif doit être d'en garantir une continuité logique. Dans ce sens, un modèle qu'il soit analogique ou numérique doit contenir dès son élaboration la structure des informations capables de le représenter.

Le travail présenté se focalise sur la possibilité d'harmoniser les principes de l'*Image-based modeling* (thème de recherche très actif ces dernières années) avec le traitement des nuages de points issus du relevé. Ces systèmes de *modélisation basés sur l'image* établissent des correspondances entre les différentes photographies d'une même scène puis exploitent les contraintes fournies par la géométrie épipolaire et enfin par les rapports géométriques communs aux scènes architecturales (parallélisme, orthogonalité, répétition, symétrie). Ils permettent ainsi de déduire les informations sur les cameras pour extraire finalement la

géométrie 3D des objets à partir de leur projection perspective sur le plan d'observation. Les primitives géométriques ou architecturales (voir plus loin) dont on connaît certaines propriétés à priori, peuvent être contrôlées dans leur positionnement en utilisant les points et les profils pertinents de leur projection sur le plan de l'image. L'opération de plaquage de textures exploitera l'alignement entre point de vue, plan image et modèle 3D.

Une fois individualisé ce contexte fortement intégré où l'information circule de façon cohérente et contrôlée entre les phases de mesure, de reconstruction et de visualisation, notre recherche vise à introduire des connaissances architecturales modélisées comme support pour le traitement des données tout au long de la chaîne *relevé – modélisation – représentation*. Si les propriétés de chaque entité architecturale peuvent être contrôlées durant leur élaboration, la connaissance peut devenir, dans ce sens, un support au raisonnement de reconstruction. En pratique, des «*primitives architecturales*» sont modélisées par un ensemble de courbes 3D paramétriques en MEL (Maya Embedded Language). Les surfaces NURBS (Non Uniform Rational B-Splines) résultantes des courbes 3D maintiennent la dépendance des mêmes paramètres. (fig. 4).

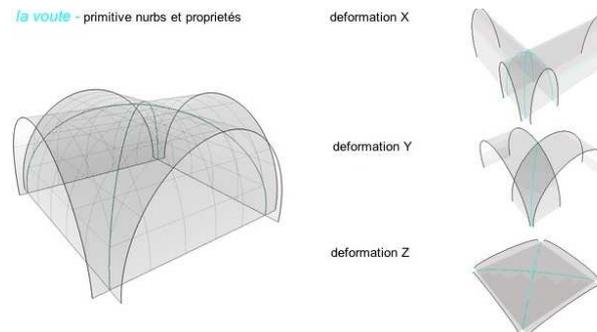


FIG. 1 – *Modèle de représentation de primitives architecturales : un exemple*

L'ajustement des courbes caractéristiques des profils pertinents sur les points du nuage détermine la déformation de la surface de façon locale tout en gardant cohérentes les propriétés intrinsèques de la primitive. Aux propriétés communes à chaque entité s'ajoute un système de contraintes capables d'exprimer les relations topologiques qu'elles entretiennent. Ces contraintes de position, d'orientation, d'échelle et de surface (contact entre deux objets, ...) structurent l'ensemble des relations spatiales qu'un objet architectural exprime par sa composition. L'objet architectural sera alors décrit par un squelette topologique composé par un niveau de relation hiérarchique entre les éléments de la scène et par un niveau parallèle de relations de dépendance.

L'extraction des textures à partir d'un modèle élaboré à partir des principes énoncés ci-dessus peut être assimilée à une requête dans un système de gestion d'informations. En fait, chaque texture élémentaire extraite à partir des photographies sera organisée en fonction du modèle de description de l'objet en suivant l'organisation hiérarchique de ses éléments. Il s'agit là d'une perspective très intéressante si l'on considère que dans le domaine de la conservation du patrimoine une photographie représente le témoignage de l'état d'un édifice à un moment précis. Le modèle 3D acquiert ainsi un rôle fondamental dans le développement de systèmes d'informations à l'échelle architecturale : le modèle devient le moyen d'accès privilégié aux informations organisées en bases de données. La même cohérence d'information gérée tout au long du processus de reconstruction tridimensionnelle peut, en

effet, être exploitée pour circuler dans les informations à caractère documentaire attachées aux objets représentés. L'observateur qui a capturé, interprété, analysé, modélisé et diffusé la réalité, la regarde maintenant «*augmentée*» par sa compréhension.

2.2 Application

Le relevé des vestiges et des fragments du théâtre antique d'Arles a été conduit en utilisant la technique de la photo modélisation, permettant à partir des photographies, de mesurer, modéliser et extraire les textures des objets. Les textures, étant extraite des photographies originales, permettent de représenter l'objet en trois dimensions de la manière la plus réaliste possible. Quatre photos pour chaque fragment ont été nécessaires pour effectuer la calibration des caméras. Chaque fragment relevé a pu être replacé en vraie grandeur dans le jeu de primitives architecturales constituant l'édifice théorique.

Le travail de relevé vise à informer quantitativement un catalogue tridimensionnel des différentes parties des éléments de la scène. La plupart des fragments situés dans le site du théâtre ont été relevés, dont des parties de corniche, de bases, des colonnes ; mais aussi dans une corniche presque intacte, un chapiteau et la statue monumentale d'Auguste aujourd'hui conservés dans le musée de l'Arles antique. De la même façon, il serait envisageable de photo-modéliser la célèbre Venus d'Arles, aujourd'hui conservée au Musée du Louvre. Les modèles 3D des fragments ont été replacés dans la scène en relation avec l'analyse morphologique des formes originelles du théâtre présentée dans la section suivante.

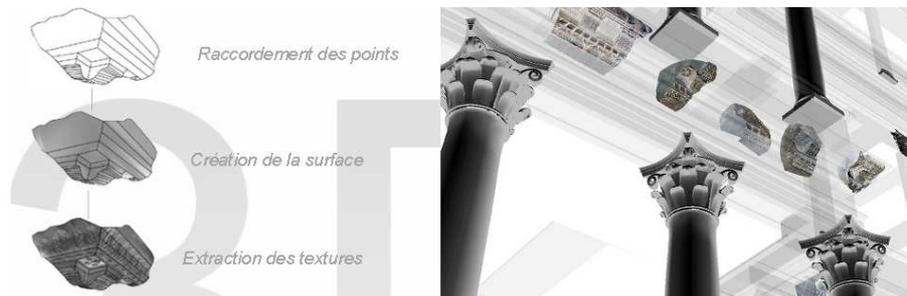


FIG. 2 – Fragments de corniche relevés et édifice théorique : principe et résultat

3 Un modèle pour structurer des données hétérogènes

Les fragments sont replacés dans l'espace d'un édifice théorique décrit par un modèle qui s'appuie sur l'analyse du vocabulaire architectural (dans son application au cas du théâtre antique). Cette analyse a pour objectif de dégager des concepts invariants susceptibles d'une part de représenter les objets physiques présents dans l'édifice (base, chapiteau, etc..) et d'autre part de correspondre à des éléments signifiants dans la composition de l'édifice (La conque servant d'arrière-plan à la statue monumentale d'Auguste n'a pas ici de sens propre par exemple). Chaque élément de ce vocabulaire est susceptible d'être représenté par une ou plusieurs primitives architecturales. Ce vocabulaire sert pour recomposer, niveau par niveau le modèle théorique d'un bâtiment de scène de période Augustéenne. L'édifice est en effet décrit par une structure hiérarchique liée à notre analyse du vocabulaire, structure qui vise à présenter les relations entre les éléments en utilisant cinq niveaux d'approfondissement (exemple : chapiteau/*partie-de*/colonne/*partie-de*/colonnade/*partie-de*/front de scène/*etc...*).

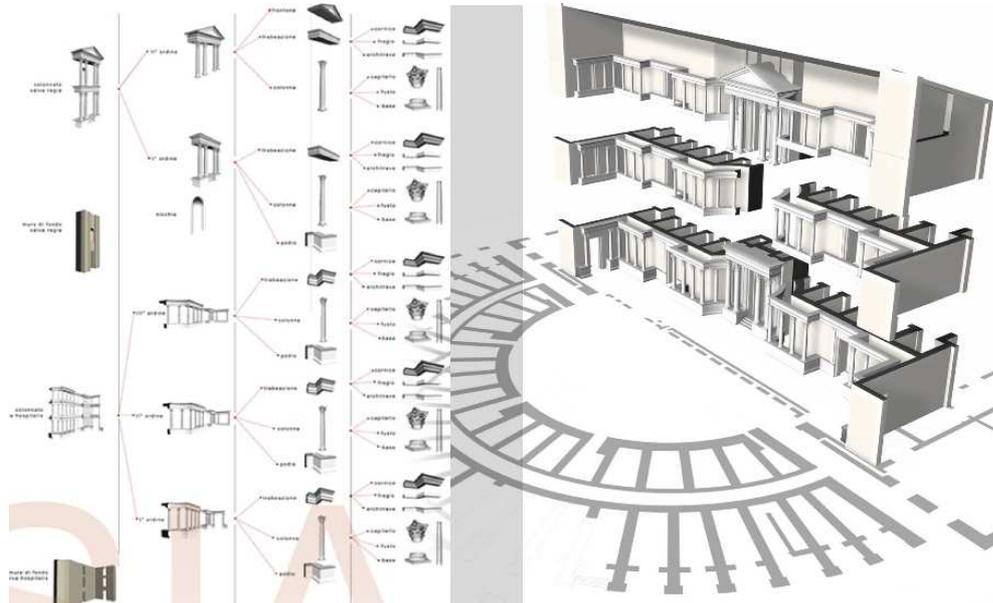


FIG. 3 – L'abaque, décomposition hiérarchique en éléments catégorisés par niveaux, et la recomposition du modèle théorique à partir de cet abaque.

Chaque élément de cette structure sert de filtre dans l'exploitation de la maquette 3D puisqu'il est représenté soit par sa géométrie propre soit par un groupe de sous-éléments. Les fragments peuvent alors être rapportés aux objets de niveau 1. Une fois constitué l'abaque d'éléments, et une fois comprises les règles de sa composition, c'est la phase de compréhension de l'objet qui est acquise. Cette structure de description permet d'établir des relations bilatérales entre des informations structurées et la scène 3D. Aux cinq niveaux d'approfondissement de la scène 3D, correspondent 5 niveaux d'organisation des informations. Dans le schéma ci-après est présentée l'interface du système: au centre le modèle de description qui guide le passage entre les niveaux, à la fois dans la scène 3D et entre les fiches informatives. Ces fiches rassemblent les définitions des éléments, mais aussi toutes sortes de ressources qui contribuent à les décrire (photos, gravures, etc.). A cela s'ajoute le catalogue 3D des fragments, chacun décrit par une fiche technique dans laquelle on retrouve des informations sur sa localisation, son état de conservation, ses matériaux, ses dimensions etc... La scène 3D permet de sélectionner un élément pour visualiser sa position dans la structure hiérarchique de description et les informations complémentaires. De la même façon il est possible de se servir de la structure hiérarchique en choisissant un terme pour aller chercher l'élément 3D correspondant dans la scène et les informations complémentaires.

L'interface est accessible sur un navigateur standard équipé du plug-in Vrttools pour la lecture de la scène 3D. Celle-ci interagit avec les différents documents externes (représentation graphique de la structure hiérarchique ou informations complémentaires) au travers d'actions javascript décrites de façon autonome et reconnues par le plu-in au travers de leur seul nom. Une modification des liens entre les divers éléments de l'interface ne nécessite donc pas de ré-intervention dans la scène. Le contenu exact de ce que nous avons

appelé des informations complémentaires dépend de la nature de l'objet sélectionné. Les fragments renvoient par exemple vers des fiches descriptives complètes s'appuyant sur les normes en vigueur (voir SIRBEC), là où à d'autres niveaux ce sont des éléments de bibliographie qui sont accessibles.

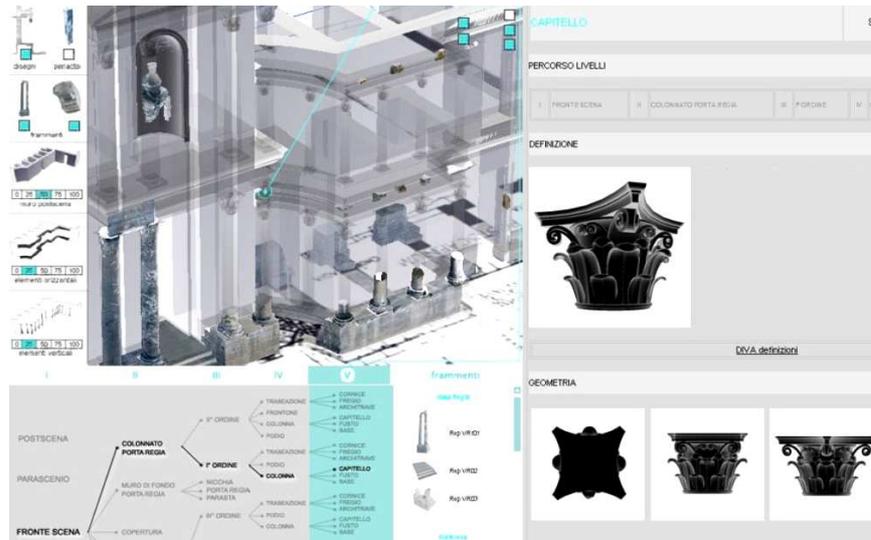


FIG. 4 – *Eléments de l'interface : en bas à gauche la structure hiérarchique décrivant l'édifice, en haut à gauche sa représentation tridimensionnelle, en partie droite les informations complémentaires sur les objets sélectionnés par l'utilisateur*

Ce travail est encore largement en cours, mais nous pensons qu'il constitue une contribution à l'émergence d'un système d'informations architecturales qui exploite réellement les concepts de base de ce champ de connaissance (des formes bâties dans l'espace) comme les systèmes d'informations géographiques exploitent la représentation du territoire.

4 Conclusion et perspectives

L'expérience que nous avons brièvement rapporté ici partait de l'hypothèse selon laquelle la maquette tridimensionnelle de l'objet architectural peut servir de moyen d'accès privilégié aux informations le caractérisant (Dudek et al, 2002). Nous avons souhaité évaluer cette hypothèse devant deux nouvelles difficultés : utiliser les résultats d'un processus de mesurage, et prendre en compte ces éléments non-régulier de la morphologie architecturale que sont des fragments ou vestiges. Dans les deux cas l'apport d'un modèle théorique de l'objet à relever ou à documenter, placé en a priori, nous semble avoir été démontré. Partant de là, la maquette tridimensionnelle de l'objet architectural s'impose comme lieu ou le jeu d'informations relatives à l'édifice trouve sa meilleure représentation. Cependant, il faut insister sur la nécessité de construire cette maquette à partir des connaissances de base de l'architecte qu'exprime son vocabulaire. C'est à cette condition que la maquette peut exprimer les liens qui existent entre processus de mesure et de documentation de l'objet par exemple. Si de premières conclusions ont pu être tirées de notre travail, il n'en reste pas

Acquisition de données vs gestion de connaissances patrimoniales

moins que de nombreuses questions restent à traiter. Le rôle de la représentation en architecture a en effet toujours été multiple et il nous semble que ce champ de recherche reste largement à explorer.

Références

- Cleveland W.S. (1993), Visualizing data, Hobart Press, 1993.
- Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G. et Smyth P. (1996), The KDD process for extracting useful knowledge from volumes of data, Communications of the ACM, 39(11), pp 27-34.
- Pickett R.M. et Grinstein G.G. (1988), Iconographics displays for visualizing multidimensional data, Proceedings of the IEEE Conference on System, Man, and Cybernetics 1988, pp 514-519.
- Symanzik J., Ascoli G.A., Washington S.S. et Krichmar J.L. (1999), Visual data mining of brain cells, Computing Science and Statistics, Vol. 31, pp 445-449, 1999.
- Marbs, A. (2002), Experiences with laser scanning at i3mainz - CIPA, Heritage Documentation - International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording - Corfu, Greece - 2002
- [Pollefeys et al, 1999] M.Pollefeys, R.Koch, M.Vergauwen, L.Van Gool
"An automatic method for acquiring 3D models from photographs: application to an archaeological site"
- in Proceedings ISPRS WG V/5 Workshop, Thessaloniki, Grèce, 7-9 juillet 1999.
[Van Den Heuven, 1998] Frank A. Van Den Heuden
"3D Reconstruction from a single image using geometric constraints"
ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing n° 53, 1998, Elsevier Editeur.
- Fabio, R (2001), From point cloud to surface : the modeling and visualisation problem – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol XXXIV- 5/W10- 2001

DEA MCAO

(Modélisation et conception des processus assistés par ordinateur)

UNIVERSITES de PROVENCE, de la MEDITERRANEE AIX-MARSEILLE
et de TOULONE; COLE NATIONALE SUPERIEURE des ARTS et
METIERS, ECOLE ARCHITECTURE
de MARSEILLE-LUMINY

Image-Based Modeling and Photo Editing
Byong Mok Oh Max Chen Julie Dorsey Frédo Durand
Computer Graphics Group
Laboratory for Computer Science
Massachusetts Institute of Technology
SIGGRAPH 2001 Proceedings

RNTI - 1

Paul Ernest Debevec, Camillo J. Taylor, Jitendra Malik, Modelling architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based Modeling and Rendering Architecture approach. SIGGRAPH 96 conference

Fabien Dekeyser, François Gaspard, Livio De Luca, Michel Florenzano, Xin Chen, Pascal Leray, Cultural Heritage Recording with Laser Scanning, Computer Vision and Exploitation of Architectural Rules. ISPRS conference: Vision techniques for digital architectural and archaeological archives. Ancona 2003

Dekeyser etc... MAP

Dudek I, Blaise J.Y (2002):

Exploiting the architectural heritage's documentation: a case study on data analysis and visualisation, Proceedings I-Know 03 Conference on Knowledge Management, Journal Of Universal Computer Science, pp 128-134, 2003.

I.Dudek, J.Y Blaise, 3D models as visual interfaces for documenting the architectural heritage: the defensive system of Cracow, in Proc VIIP 2002, Malaga, Spain, 2002, pp 48-53.

Dudek I, Blaise J.Y, Bénistant P (2003):

Exploiting the architectural heritage's documentation: a case study on data analysis and visualisation, Proceedings I-Know 03 Conference on Knowledge Management, Journal Of Universal Computer Science, pp 128-134, 2003.

Annexe 1

Voici un exemple d'annexe.

Summary

Merci de ne pas changer le titre de cette section qui doit contenir la traduction en anglais du résumé présenté sur la première page.