

Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural

Méthodes, formalismes et outils pour l'observation dimensionnée d'édifices

Livio De Luca
UMR CNRS/MCC 694 MAP
ldl@map.archi.fr

Cet article présente un ensemble de réflexions et développements autour de la définition d'une approche intégrée de restitution tridimensionnelle d'édifices patrimoniaux. Les apports principaux de ce travail concernent l'acquisition et le traitement des données relatives à la mesure de l'édifice, la formalisation des connaissances applicables à la restitution de sa morphologie et la structuration des représentations multiples autour de son modèle de description. Trois problèmes principaux seront abordés : le relevé de l'objet d'étude, la construction de son modèle géométrique et enfin de son enrichissement sémantique. Conformément aux phases de l'approche définie, l'article est organisé autour de trois dimensions principales : la fusion des données relevées par balayage laser 3D et photogrammétrie, l'étude et la formalisation de la nature géométrique des éléments architecturaux, la structuration sémantique de la maquette de l'édifice pour permettre une organisation efficace des représentations produites. Chacun de ces aspects est abordé par la définition de méthodes, l'élaboration de formalismes et des développements informatiques. Un échantillon (un module de façade) d'un édifice emblématique d'architecture classique, le «Convento della Carità» de Andrea Palladio à Venise, servira de terrain d'expérimentation.

Mots clés

Architecture, patrimoine, relevé, modélisation géométrique, description sémantique.

Catégories

D.2.11,E.1, H.4.m, J. 5

1 - Introduction

L'acquisition, le traitement et le rendu d'informations métriques concernant le patrimoine bâti a connu, durant ces dernières années, un progrès significatif grâce à l'introduction de nouveaux dispositifs de mesure comme le scanner 3D (*cf.* [1]) et à l'exploitation de techniques émergentes de restitution photogrammétrique comme la photomodélisation (*cf.* [2]). Par contre, si certains de ces outils et techniques fournissent un degré d'automatisation de plus en plus important, beaucoup de problèmes restent ouverts si l'on essaie d'évaluer leur efficacité par rapport aux exigences qu'une représentation architecturale requiert. Dans le relevé, les résultats obtenus par les procédures de reconstruction automatiques consistent essentiellement en une interpolation géométrique de données métriques (*cf.* [3]). En revanche, l'objectif d'une représentation en architecture est de conduire une lecture sémantique des données relevées au travers d'une interprétation géométrique de la forme qu'elles décrivent. Cela veut dire que pour être conforme aux objectifs d'une représentation architecturale, le processus de restitution tridimensionnelle d'une réalité observée doit nécessairement faire référence à un univers de connaissances. Il est donc nécessaire de réaffirmer la distinction historique entre une phase d'acquisition et une phase d'interprétation des données (*cf.* [4]) tout en tenant compte des relations de dépendance qui existent entre ces deux étapes. Pour donner un exemple, bon nombre d'édifices patrimoniaux témoignent de l'utilisation intensive faite par leurs bâtisseurs de la notion de mouluration. L'importance de cette notion est, pour la théorie architecturale, largement établie : elle y est décrite d'abord comme un outil essentiel dans la composition des formes, mais également comme le moyen par lequel la forme prend sens, par lequel la forme ajoute à ses propriétés géométriques des propriétés d'expression sensible - adoucissement, soulignement, etc. Dans ce sens, la mise en cohérence des procédures de traitements numériques par rapport aux codes de la représentation architecturale constitue le problème important que nous nous adressons. De plus, la phase de relevé n'est que la première étape du long processus qui caractérise l'élaboration des documents décrivant l'état actuel d'un édifice. Différents traitements visent en effet, non seulement à collecter et à organiser les informations mais surtout à produire de la documentation pour différentes analyses spécifiques. Dans ce sens, il est important de s'intéresser aux conditions au travers desquelles des représentations multiples produites à partir du relevé peuvent être organisées autour d'un modèle de description de l'édifice. Cela impose, à partir d'une description sémantique de l'objet, d'isoler une structure d'entités dont les représentations sont organisées en fonction de plusieurs points de vue. Cet article est organisé comme suit : la section 2 présente les principaux apports méthodologiques de l'approche de reconstruction 3D développée : depuis le relevé jusqu'à la représentation de l'édifice en fonction d'un point de vue, c'est-à-dire d'une exigence d'analyse. Enfin, la section 3 termine l'article avec des réflexions conclusives et des perspectives de recherche.

2 - Une approche hybride pour la reconstruction 3D d'édifices

Pour la phase de reconstruction tridimensionnelle à partir d'un relevé, la plupart des projets de documentation d'objets culturels emploient une technique ou une autre, tandis que seulement un petit nombre d'expériences utilisent une combinaison de techniques. Mais, au delà de l'application d'un procédé technique, qu'il soit simple ou intégré, d'autres dimensions d'ordre méthodologique s'imposent pour la détermination d'une stratégie d'acquisition et de traitement des données spatiales. Une première contribution de notre travail a consisté en une classification des approches actuelles de reconstruction 3D d'édifices patrimoniaux s'appuyant sur l'étude des exigences de description qui les déterminent et en présentant de façon transversale les procédés techniques que les auteurs ont mis en place pour leur développement. En effet, le choix d'un type de représentation véhicule les modalités de collecte de données et détermine leur traitement. Dans cette optique, nous regroupons un certain nombre d'expériences en quatre catégories d'approches principales : celles qui visent à l'exactitude géométrique du modèle 3D (cf. [5]) ; celles qui sont basées sur des exigences de description spécifiques à un type d'analyse (cf. [6]) ; celles qui se concentrent sur la restitution de l'apparence visuelle (cf. [7]) ; celles qui focalisent sur la représentation de plusieurs aspects à la fois (cf. [8]).

L'analyse de ces expériences nous a permis d'isoler quatre préoccupations distinctes pour la définition d'une approche de restitution d'objets architecturaux que nous présentons ici de façon succincte¹.

- Pour l'étape de **relevé**, la prise en compte d'une stratégie d'intégration des moyens actuels d'acquisition de données 3D (balayage laser et photogrammétrie multi-vues) afin de définir leur niveau d'adaptation au problème du relevé architectural.
- Pour l'étape de **modélisation géométrique**, la nécessité d'isoler de l'observation de l'objet la nature géométrique des éléments qui le composent et de définir des procédures appropriées pour leur reconstruction. Dans le cas spécifique des éléments typés (bases, chapiteaux, moulures, etc.) il s'agit entre autres, à partir d'une analyse des traités d'architecture, d'en extraire des règles, de les formaliser et d'en faire une traduction numérique exploitable dans le but de conduire la modélisation par une procédure d'instanciation de primitives architecturales.
- Pour l'étape d'**enrichissement de la maquette**, l'introduction de la notion d'*objectif d'exploitation* ou de *point de vue* qui conditionne les choix entre différentes représentations de l'objet. Le modèle géométrique associé à l'objet architectural doit alors être capable de supporter plusieurs représentations de l'objet (modèles multi-représentations).
- Pour l'étape d'**exploitation de la maquette numérique** produite, la structuration en parties et sous parties du modèle de l'objet architectural et l'identification de leurs relations

Note 1. Pour une description détaillée de l'approche de reconstruction 3D le lecteur pourra consulter ces publications (cf. [9],[10])

réciroques pour garantir la cohérence des informations produites au cours du processus de restitution.

Pour chaque phase ci-dessus décrite, l'approche développée introduit et exploite les connaissances architecturales comme support pour l'interprétation et la restitution des formes. En combinant les techniques de balayage laser et de modélisation basées sur l'image, le processus de reconstruction des surfaces utilise d'un côté les nuages de points pour extraire des profils significatifs et pour créer des polyèdres triangulés et de l'autre côté, les photographies numériques pour couvrir les zones d'ombre du nuage de points, pour collecter des coordonnées additionnelles et pour extraire des textures. Dans les paragraphes qui suivent, les phases principales de cette approche sont décrites.

2.1 Consolidation hybride de différentes sources

La collecte de données dimensionnelles d'un objet architectural nécessite en général un nombre très important de relevés. Même en utilisant différents dispositifs d'acquisition à la fois, il est rare d'arriver à collecter une quantité d'informations satisfaisantes pour plusieurs exploitations dans une seule campagne. Un problème important est alors celui de concevoir un système capable d'intégrer des acquisitions provenant de différents dispositifs et éventuellement effectués à des moments différents. Dans ce sens, on s'est concentré sur l'identification d'une stratégie d'acquisition exhaustive qui prend en compte non seulement la complexité géométrique et la variété d'éléments de l'édifice étudié, mais aussi un ensemble de modalités d'extraction d'informations nécessaires pour l'élaboration de représentations multiples. Plus précisément il s'agit d'une méthode d'acquisition conjointe (par scanneur laser et photo numérique) et de la fusion des données résultantes. La fusion de données est basée sur une méthode de recalage 2D/3D, c'est-à-dire la mise en place d'une image par rapport à un objet 3D (voir Fig. 1). L'algorithme implémenté (cf. [11]) permet (à partir de la sélection de 11 points homologues 2D/3D) d'estimer la matrice de projection de la caméra (position et orientation de l'appareil photo au moment de la prise de vue) dans l'espace 3D (voir Fig. 2).

L'exploitation des résultats de cette intégration a concerné trois aspects :

- La possibilité d'ajouter au relevé laser 3D des acquisitions photographiques (effectuées en campagnes de relevé successives, ainsi que de pouvoir exploiter des images de campagnes précédentes) ;
- L'extraction des coordonnées additionnelles pour couvrir les zones d'ombre du nuage de points ;

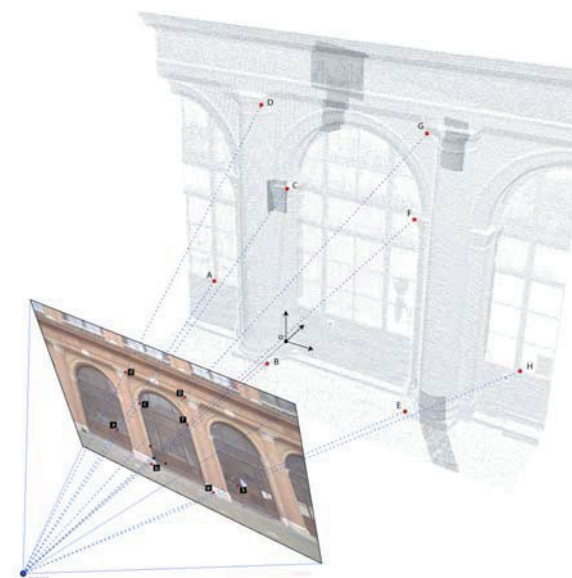


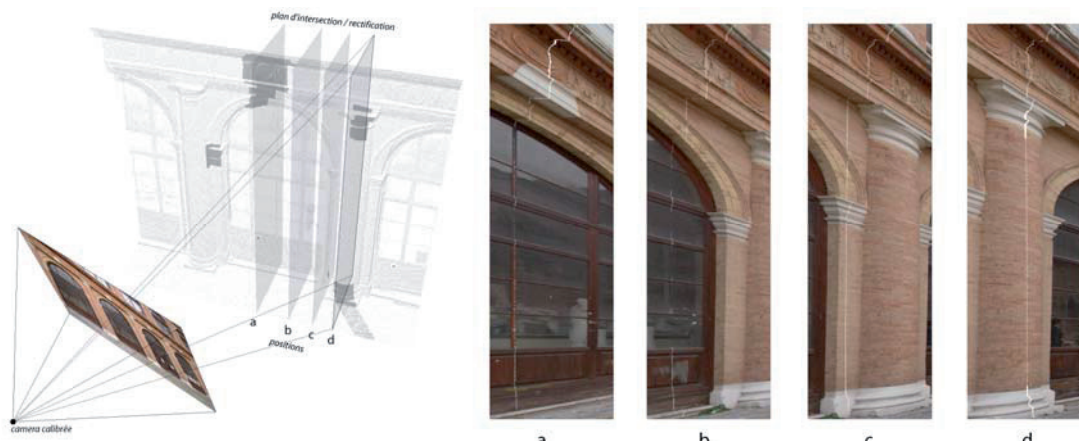
Fig.1. L'orientation d'une photographie sur le nuage de points



Fig.2. Superposition photographie/nuage de points

- La possibilité d'ajouter un support visuel (image), superposé au support métrique (nuage de points) pour l'interprétation des formes.

Les trois aspects ci-dessus présentés caractérisent un outil que nous avons conçu pour l'extraction de profils s'appuyant à la fois sur l'image et sur le nuage de points. Cet outil utilise un plan d'intersection dans le nuage de points qui est également exploité comme plan de rectification d'image. Un réseau de nœuds (programmée en langage MEL²) permet de manipuler le plan en intersection avec le nuage de points en déterminant une mise à jour en temps réel du redressement de la photographie (voir Fig. 3).



2.2 L'étude et la formalisation de la nature géométrique des éléments architecturaux

En ce qui concerne la phase de restitution de la morphologie de l'édifice, notre démarche s'appuie sur un constat : la représentation analytique d'un objet d'architecture doit s'appuyer sur l'interprétation des éléments qui le composent au travers l'exploitation de connaissances spécifiques. Pour donner un exemple on peut citer la représentation géométrique du fût d'une colonne. Cet élément, loin d'être un simple cylindre, est caractérisé par une *allure* (tronconique, galbé du bas, galbé du tiers, ou renflée) et des transitions comme l'*apophyge* (moulure adoucissant la rencontre du fût avec la base ou avec le chapiteau) ou l'*astragale* (corps de moulures séparant le chapiteau du fût) (cf. [12]). Ce type d'observation intéresse la quasi totalité des parties d'un édifice. Dans les cas, peu fréquents, où la géométrie de l'objet est plus complexe (décors, sculptures, etc.) ou échappe à une lecture sémantique, on utilisera les techniques de reconstruction par maillage automatique des surfaces (cf. [13]). À partir d'une analyse géométrique des différentes parties d'un édifice et en ayant comme objectif sa description

Note 2. MEL : Maya Embedded Language

Fig. 3. L'extraction des profils sur un support mixte : plan d'intersection/rectification

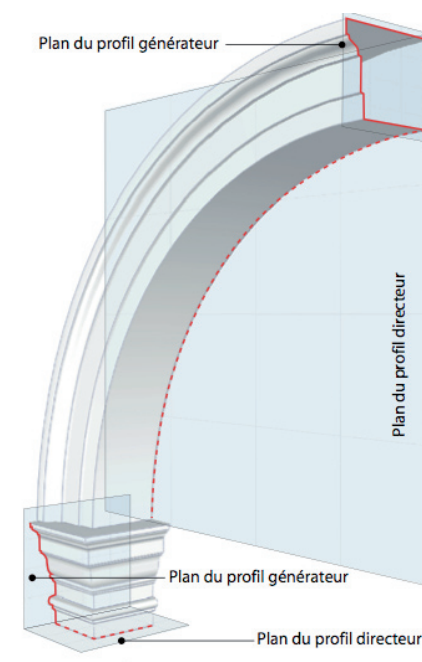


Fig. 4. Les plans de construction utilisés pour l'extraction des profils caractéristiques des formes architecturales

sémantique, notre travail s'est concentré sur la définition d'une méthode pour la reconstruction géométrique à partir de profils. Cette méthode est fondée sur l'analyse des invariants et des spécificités morphologiques que l'on peut extraire d'un découpage sémantique du bâti. Pour chaque catégorie d'éléments, nous identifions les informations pertinentes à sa description géométrique, la technique la plus adaptée à leur extraction et une chaîne de procédures pour la génération des surfaces. La démarche de restitution est organisée autour de quatre notions générales : la surface dominante, la transition, le plan de construction (voir Fig. 4) et la répétition. La restitution de la forme architecturale est alors conduite par l'identification du processus permettant sa construction géométrique. En effet, l'utilisation du dessin va au-delà du simple travail de transcription passive d'une réalité donnée car le dessin en architecture est avant tout un outil d'analyse, de conceptualisation et finalement de projection (cf. [14]). L'étude de la forme a donc une double finalité : la première est celle qui conduit à la représentation, la seconde est celle qui conduit au relevé de l'objet. Le relevé peut être vu comme un processus inverse dans lequel, à partir d'un objet existant, on reconstruit les étapes nécessaires à sa réalisation et on interprète l'idée de conception qui est en amont de sa réalisation (cf. [15]). Or, une démarche de ce type ne peut être conduite qu'en faisant référence aux systèmes descriptifs et de représentation qui ont présidé à la conception de la forme. Pour l'étude des éléments du patrimoine bâti, il est donc nécessaire de faire appel aux traités d'architecture qui capitalisent les savoirs relatifs à l'art de bâtir ainsi qu'aux systèmes de représentation en différentes périodes historiques.

2.2.1 Un formalisme générique pour la description d'éléments moulurés

Dans le but d'approfondir cette thématique une expérimentation sur la formalisation des éléments moulurés du langage classique a été menée. Ce courant stylistique a fait l'objet de nombreuses théorisations développées à partir du quinzième siècle et constitue un exemple emblématique de la relation entre géométrie et architecture. La première phase de notre analyse a consisté en l'identification des éléments géométriques primitifs exploitables en combinaisons mécaniques pour la construction des moulures : les *atomes géométriques* (voir Fig. 5). Il s'agit d'un ensemble fini de primitives géométriques permettant de reproduire par combinaison toute moulure du langage classique de la classification de Rattner (cf. [16]).

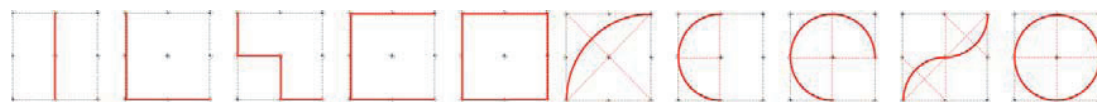


Fig. 5. Atomes géométriques pour la construction géométrique des moulures du langage classique

Ces atomes sont les seules entités de la formalisation pour lesquelles nous fournissons une information géométrique (points de contrôle de segments ou d'arcs). La génération de la surface entière de l'élément s'appuie ensuite exclusivement sur la formalisation de contraintes entre ces atomes et sur des fonctions de modélisation géométrique. Une difficulté a dû être surmontée à ce propos : la structuration des entités dans une description géométrique de la forme est strictement subordonnée aux fonctions de modélisation tridimensionnelle (révolution, extrusion, etc.). Or, le découpage de la forme résultant des exigences de modélisation géométrique ne coïncide pas forcément avec celui de sa description sémantique. Un terme architectural peut par exemple identifier une partie de l'objet dont les surfaces sont générées à partir de deux procédures de modélisation distinctes. Pour résoudre ce problème la formalisation de l'élément est alors conduite en fonction des relations entre deux niveaux parallèles de description : géométrique et sémantique. Le premier permet de reconstruire la forme en trois dimensions, le second permet d'organiser ses parties en fonction du vocabulaire de l'architecte.

Le niveau de description géométrique s'appuie sur les relations entre quatre types de nœuds qui décrivent la construction de l'élément, de la définition de ses atomes géométriques jusqu'à la génération complète du volume : *atomes géométriques* (voir Fig. 6), *profils* (voir Fig. 7), *surfaces* (voir Fig. 8). La figure 9 fournit un exemple de formalisation géométrique d'un chapiteau dorique à partir de l'interprétation du traité de Palladio (cf. [17]).

La démarche conçue s'appuie sur l'élaboration d'un réseau de *nœuds* toujours développés en langage MEL. Un *nœud* est une structure qui peut organiser, recevoir et fournir des informations au travers de ses *attributs*. Une surface, quelle que soit sa représentation géométrique (polygonale ou NURBS³), peut être enregistrée dans un nœud sous forme d'un attribut. L'interconnexion des nœuds en réseau produit le résultat final.

Le niveau de description sémantique est défini par une structure de concepts organisés autour de la description géométrique. Les nœuds de la description sémantique sont reliés d'un côté à un terme architectural, de l'autre ils regroupent les éléments de la description géométrique dans une structure hiérarchique : atomes/moules/parties du profil/profil.

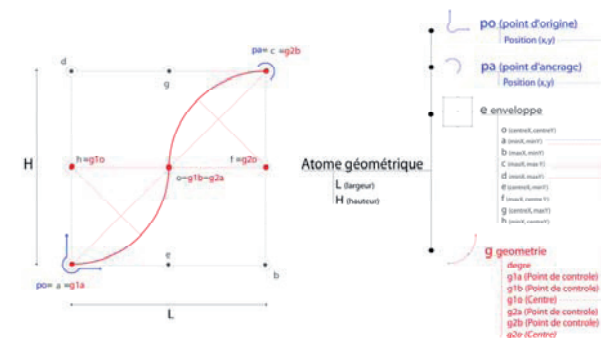


Fig. 6. Schéma des relations d'attributs d'un nœud « atome »

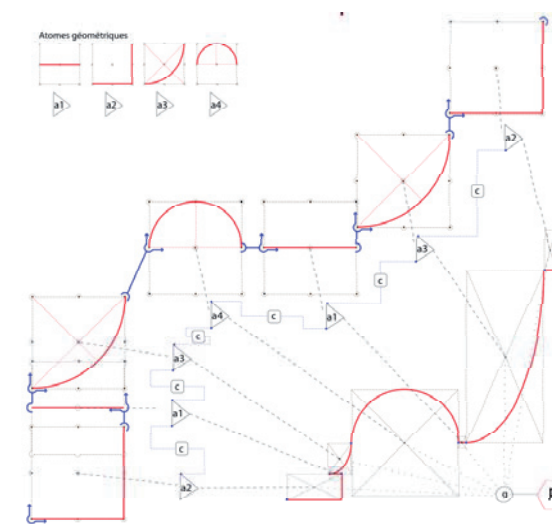


Fig. 7. Construction d'une moulure par combinaison d'atomes géométriques

Note 3. NURBS : Non Uniform Rational B-Splines

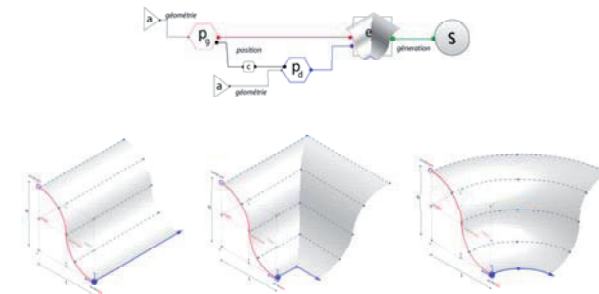
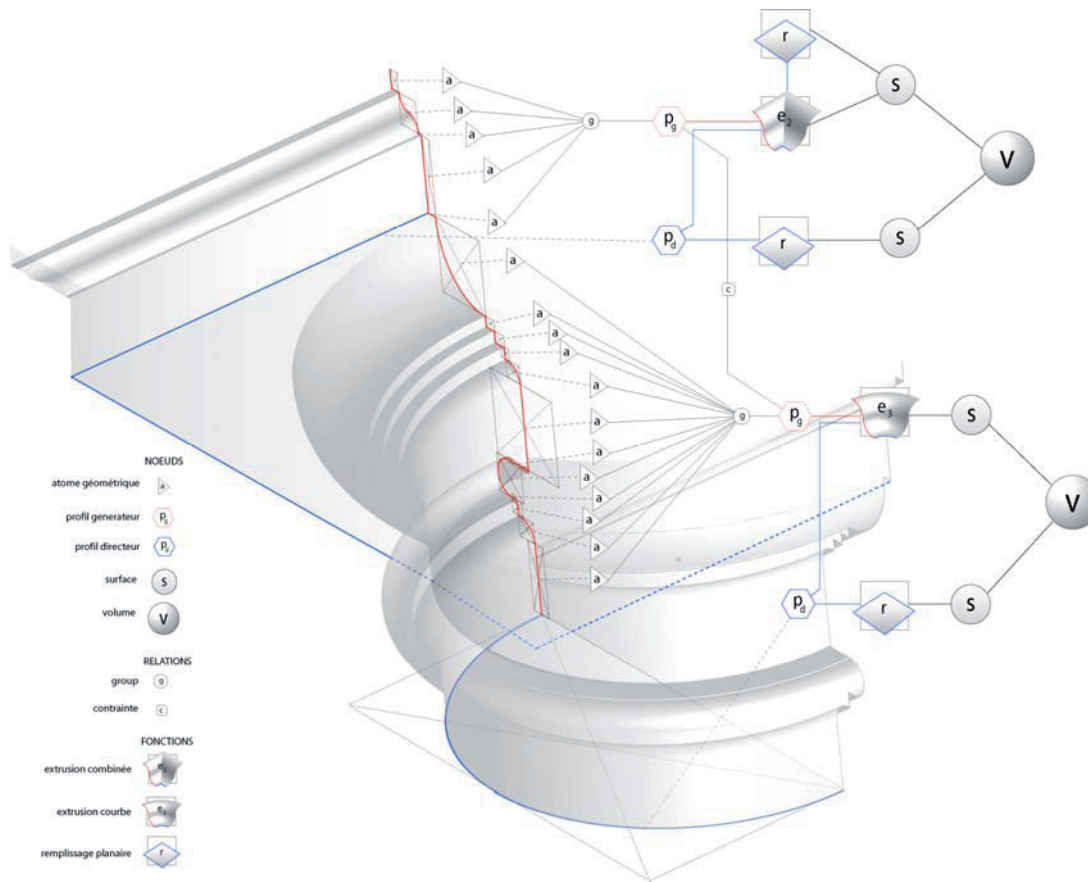


Fig. 8. Fonctions de génération de surfaces formalisées

Fig. 9. Description sémantique d'un chapiteau dorique à partir du traité de Palladio

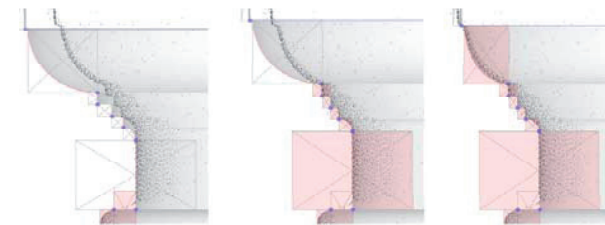


Fig. 10. Instanciation de la primitive dans le nuage de points. Déformations sous-contraintes des atomes géométriques



Fig. 11. La primitive instanciée sur une photographie orientée

2.2.2 L'extraction d'informations dimensionnelles

Dans l'approche de reconstruction développée, nous utilisons les éléments formalisés comme primitives à instancier sur le nuage de points issu d'un balayage laser 3D. Dans ce cadre, les relations établies entre les deux niveaux de description (géométrique et sémantique) sont exploitées pour extraire de la phase de relevé des informations pertinentes pour la description architecturale des éléments qui composent l'édifice. Les contraintes géométriques établies entre les différents éléments nous permettent de déformer la primitive (voir Fig. 10), sans aucune

perte de continuité entre les surfaces qui la composent, pour l'adapter finement à l'objet relevé (voir Fig.11). Le niveau de description sémantique nous permet alors d'extraire de la représentation géométrique un abaque d'informations dimensionnelles pertinentes. Par exemple, nous pouvons connaître la hauteur de l'échine du chapiteau et non pas la seule distance entre deux points du nuage.

2.3 Structuration de la maquette et multi-représentation

Le concept de forme numérique contient toutes les instances de l'objet qui peuvent être représentées en considérant qu'elles ont une nature géométrique caractérisée par leur extension spatiale (*cf.* [18]). Les éléments architectoniques ont en effet une forme (extension spatiale), ils peuvent être décrits par des structures (collections d'entités et décomposition partie-ensemble), ils ont des attributs qualitatifs (couleurs, textures, termes, etc). Cela impose avant tout de considérer l'édifice comme système de connaissances architecturales, ensuite d'en extraire un modèle de description, enfin de définir les représentations possibles de sa forme en fonction de plusieurs objectifs d'analyse.

Pour décrire un édifice, la première phase consiste alors en une décomposition morphologique en fonction d'un vocabulaire utilisé par une analyse spécifique. La figure 12 montre deux découpages du même objet élaborés en fonction de deux objectifs différents. La deuxième phase concerne la description sémantique de la morphologie de l'édifice. Pour cela on utilise une représentation symbolique, dans l'espace 3D, des relations (partie/ensemble) établies entre les éléments isolés. Il s'agit d'un graphe 3D (arborescence dans l'espace) dont la configuration dépend de la manipulation (relations hiérarchiques) d'un ensemble de termes dans une liste de termes (voir Fig.13). Nous établissons ce graphe à l'aide de nœuds : *entité morphologique*, *groupe finalisé*, *repère*.

- Une *entité morphologique*, qui résulte d'un découpage morphologique, constitue un concept identifié par l'utilisateur pour la description de l'édifice et est associée à des représentations géométriques.
- Un *groupe finalisé* regroupe des *entités morphologiques*. Son extension spatiale résulte en effet de l'union des enveloppes englobant les entités qui lui appartiennent.
- Un *repère* indique un aspect particulier à l'intérieur d'une entité. Par exemple, une moulure d'un élément ou un aspect particulier sur la surface de l'entité (personnage historique d'un bas-relief, dégradation du matériau, etc.).

La troisième phase concerne l'organisation des représentations multiples (multi-représentation) que l'on peut associer aux entités. Différentes recherches se concentrent aujourd'hui sur les

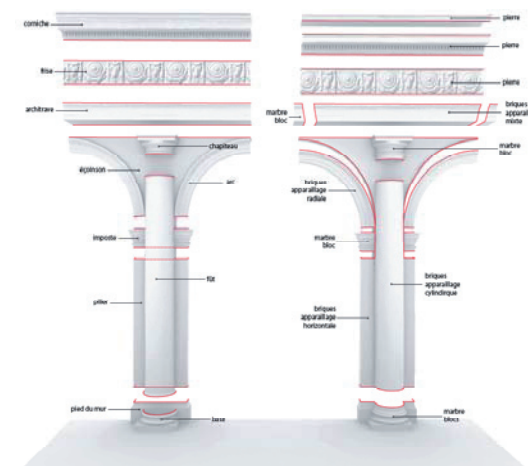


Fig. 12. Deux découpages morphologiques élaborés en fonction de deux objectifs d'analyse : le vocabulaire de l'architecte (à gauche) et les techniques de construction (à droite).

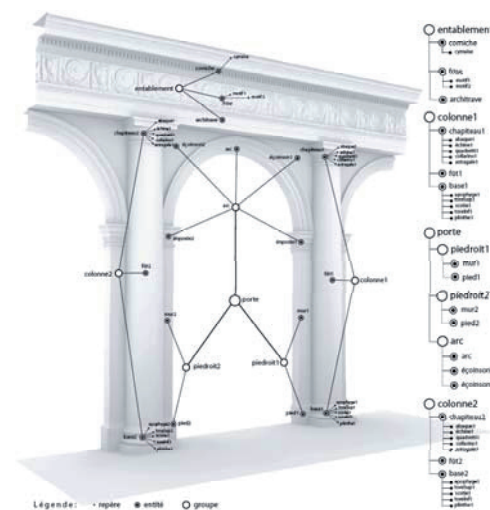


Fig. 13. Graphe de description sémantique

multi-représentations d'entités géométriques dans différents domaines : en cartographie (cf. [19]) les multi-représentations sont exploitées pour garantir un niveau d'information graphique adéquat à une échelle donnée ; en génie mécanique des multiples représentations correspondent à différents niveaux de complexité polyédrique nécessaires à différentes exploitations de la maquette numérique (cf. [20]). Ces expériences organisent plusieurs représentations du même objet en s'appuyant toujours sur la même base géométrique (vecteurs 2D ou polygones 3D). La différence parmi les multiples représentations concerne donc la quantité d'informations géométriques qu'elles contiennent.

Comme on l'a vu, l'analyse d'édifices peut se servir de techniques de représentation qui exploitent différentes bases géométriques : nuages de points, modèles filaires ou polyèdres. Il est alors indispensable d'introduire une distinction entre les notions de résolution et de représentation : une représentation résulte d'une technique d'élaboration qui permet de décrire la forme d'un objet en fonction d'une base géométrique et d'un niveau de résolution. Pour chaque type de représentation géométrique, il est alors important de comprendre le rôle qu'elle peut jouer dans la documentation de l'état actuel de l'édifice. Il s'agit d'identifier le type de description qu'elle permet, les techniques et/ou les procédures nécessaires à son élaboration et les informations qu'elle véhicule.

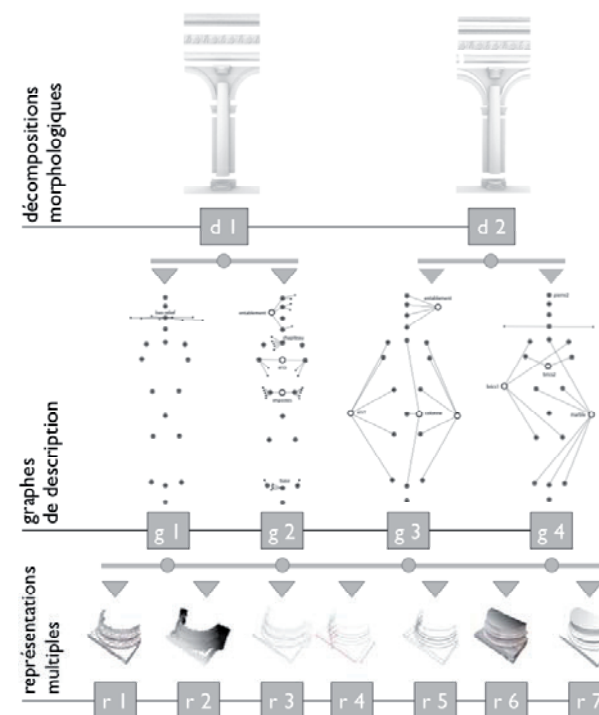
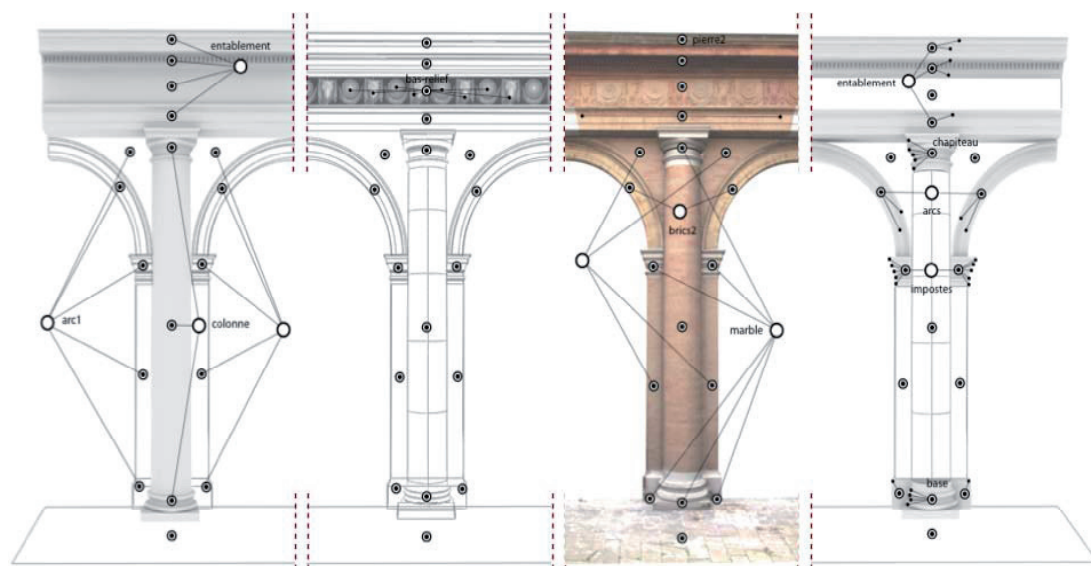


Fig. 14. La structure de description basée sur trois niveaux parallèles. Du haut vers le bas : niveau sémantique, structurel et de représentation.

Fig. 15. Quatre « points de vue » sur l'objet étudié. De gauche à droite : l'analyse de l'ordre, des bas-reliefs, des matériaux et des éléments moulurés.

La division entre trois niveaux parallèles de description (sémantique, structurel et de représentation) introduit par notre approche peut alors être exploitée pour la construction de points de vue sur l'édifice. Cela consiste en la possibilité de construire une représentation de l'édifice en fonction d'un besoin d'analyse spécifique. La logique du système est basée sur l'exigence de décliner les structures de description (voir Fig. 14) pour permettre une vraie liberté d'organisation des données. Cela offre une liberté importante dans l'exploitation des données issues du relevé, car, à partir du même modèle géométrique de la morphologie, on peut élaborer différentes descriptions sémantiques en fonction d'une exigence d'analyse. Comme nous nous intéressons principalement à la documentation graphique du patrimoine bâti, la notion de point de vue coïncide alors avec celle d'objectif de la représentation (voir Fig. 15).

3 - Conclusions

Ce travail se situe dans le cadre spécifique de l'acquisition de données dimensionnelles et de leur exploitation pour la représentation du patrimoine bâti. Pour chacune des préoccupations abordées (relevé, reconstruction, structuration, représentation) beaucoup d'efforts sont encore à faire pour que les résultats obtenus répondent aux exigences des différents domaines disciplinaires qui s'intéressent aux monuments historiques. À ce propos, l'observation conjointe des deux niveaux de formalisation parallèles (géométrique et sémantique) met en lumière un aspect que nous jugeons important : la description sémantique d'une forme est contrainte par une représentation mentale (divisions, transitions, etc.) qui n'est pas toujours suffisante pour la description exhaustive de sa morphologie. Cela justifie la démarche que nous adoptons : on ajoute une couche sémantique à une représentation géométrique. Mais cela suggère en même temps le niveau de difficulté qu'une démarche inverse peut poser.

Références bibliographiques

- [1.] W. Boehler et al., *"3D Scanning Software : an introduction"*, [in] Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, Corfu 2002
- [2.] P. Debevec et al., *"Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry and image-based approach"*, [in] Proceedings of SIGGRAPH 1996, pp. 11-20
- [3.] F. Remondino, *"From point cloud to surface : the modeling and visualization problem"*, [in] ISPRS International Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D Models, Tarasp-Vulpera, Switzerland 2003

- [4.] J.-P. Saint-Aubin, "*Le relevé et la représentation de l'Architecture*", Inventaire Général E.L.P., Paris 1992
- [5.] G. Fangi et al., "*Fast and accurate close range 3D modelling by laser scanning system*", [in] Proceedings of CIPA International Symposium, Surveying and Documentation of Historic Buildings, Monuments, Sites, Postdam, Germany 2001
- [6.] A. Lingua, "*Digital Photogrammetry : a standard approach to cultural heritage survey*", [in] Proceedings of ISPRS International Workshop, Vision Techniques for digital architectural and archeological archives, Ancona, Italy 2003
- [7.] T. Abmayr et al., "*Realistic 3D reconstruction – combining laserscan data with RGB color information*", [in] Proceedings of ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XXXV, Part B, Istanbul 2004, pp.198-203
- [8.] S. F. El Hakim et al., "*Effective 3D Modeling Of Heritage Sites*", [in] Proceedings of 4th International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, Banff, Canada 2003, pp. 302-309
- [9.] L. De Luca et al., "*Reverse engineering of architectural buildings based on a hybrid modeling approach*", *Computers & Graphics*, Elsevier, April 2006, Vol. 30, n°2, pp. 160-176
- [10.] L. De Luca, "*Relevé et multi-représentation du patrimoine architectural. Définition d'une approche hybride de reconstruction 3D d'édifices*", Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, CER d'Aix-en-Provence 2006
- [11.] R. Tsai, "*An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision*", [in] Proceedings of IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1986
- [12.] J-M. Perouse de Montclos, "*Architecture vocabulaire. Principes d'analyse scientifique*", Imprimerie Nationale, Paris 1972
- [13.] C. Curless, "*A Volumetric Method for Building Complex Models from Range images*", [in] Proceedings of SIGGRAPH 1996
- [14.] J. Lichtenstein, "*La couleur éloquente*", Flammarion, Paris 1989
- [15.] R. Migliari, / L. Docci, "*Geometria e Architettura*", Gangemi editore, Rome 2000
- [16.] D. Rattner, "*Parallel of the classical orders of architecture*", Acanthus Press 1998, New York 1998
- [17.] A. Palladio, "*Les quatre livres de l'Architecture*", Edition originale : Venezia , 1570, Re-Re- édition : The four books of Architecture, Dover publications 1965
- [18.] B. Falcidieno, / M. Spagnuolo, "*A Shape-abstraction paradigm for modelling geometry and semantics*", [in] Proceedings of International Conference on Computer Graphics, Los Alamitos 1998.
- [19.] S. Spaccapietra et al., "*GIS Databases: from Multiscale to Multirepresentation*", [in] Proceedings of the International Workshop on Emerging Technologies for Geo-Based Applications, Ascona, Switzerland 2000
- [20.] J.-C. Léon, "*Structure d'un environnement de Conception Multi-vues et Multi-représentation*", [in] Actes des Journées Modeleurs Géométriques, Grenoble 1997