Restitution 3D de monuments historiques à partir de plans anciens

Christophe Riedinger, Michel Jordan, Hedi Tabia

▶ **To cite this version:**

Christophe Riedinger, Michel Jordan, Hedi Tabia. Restitution 3D de monuments historiques à partir de plans anciens. GRETSI 2015, Sep 2015, Lyon, France. hal-01197051

HAL Id: hal-01197051
https://hal.science/hal-01197051

Submitted on 11 Sep 2015

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.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Restitution 3D de monuments historiques à partir de plans anciens

Christophe RIEDINGER, Michel JORDAN, Hedi TABIA

ETIS, UMR8051
ENSEA – Université Cergy-Pontoise – CNRS, France
michel.jordan@u-cergy.fr, hedi.tabia@ensea.fr

Résumé – La modélisation 3D de monuments historiques, que ce soit pour des applications professionnelles (historiens, archivistes) ou pour des applications ludiques, constitue un enjeu scientifique et technologique. Nous présentons dans cette communication un ensemble d'algorithmes permettant la modélisation 3D de bâtiments du patrimoine à partir de plans d'architecte d'époque. Les principales structures (murs, ouvertures) du bâtiment étudié sont extraites des plans au sol par le biais d'algorithmes de traitement d'image. Les vues en élévation ou en coupe permettent de calculer les informations de hauteur du modèle 3D et de texturer certaines de ses faces verticales.

Abstract – 3D modelling of cultural heritage monuments is a challenging scientific and technological issue, either for professional applications for historians, curators and archivists or for entertainment. In this paper, we present a set of algorithms for the 3D modelling of cultural heritage monuments from old architect plans. Image processing algorithms allow us to extract the main building structures (walls and openings) from floor plans. Elevation and cut-off views help us to compute height information and to apply textures to the vertical faces of the 3D models.

1 Introduction

De manière générale, la création de modèles 3D se fait soit à partir d'acquisitions de données sur un site particulier (données laser ou photogrammétrie, complétées par des prises de vue photographiques pour la texturation des modèles), soit de manière complètement synthétique en utilisant des outils de CAO et de dessin 2D/3D. Dans les deux cas, il s'agit d'approches coûteuses, en temps de calcul et/ou en temps d'opérateur. De plus, ces technologies ne sont pas adaptées à toutes les situations : ainsi, l'acquisition de données laser convient bien pour des objets de taille petite ou moyenne, autour desquels il est possible de tourner. Pour des applications du domaine du patrimoine historique, les approches par acquisition de données sont bien entendu limitées au cas de monuments dont subsistent des parties significatives, et excluent toute possibilité de représenter des parties disparues d'un monument autrement que par synthèse d'image. Par exemple, le projet « Cluny-3D » combine acquisitions de données sur le terrain et infographies pour restituer les bâtiments de l'Abbaye de Cluny au Moyen-Age [3].

Nous proposons une voie différente de modélisation 3D de bâtiments du patrimoine, en travaillant sur des documents d'époque de la construction de ces bâtiments, en particulier les plans d'architecte (*cf.* fig. 1). Cette approche nouvelle, particulièrement pertinente dans le cas de monuments très documentés et dont les archives sont numérisées, permet de modéliser des parties du monument modifiées, détruites, voire même jamais construites ! Les modèles 3D ainsi élaborés sont un outil supplémentaire de compréhension du monument et de ses fonctions pour les historiens et archivistes qui les étudient, en confrontation aux textes historiques qui sont leurs sources habituelles. Dans cet article, nous développons un schéma de restitution 3D du Château de Versailles, en nous focalisant dans un premier temps sur la restitution d'intérieurs du bâtiment, afin en particulier de donner aux historiens un outil d'étude des circulations dans ce bâtiment.

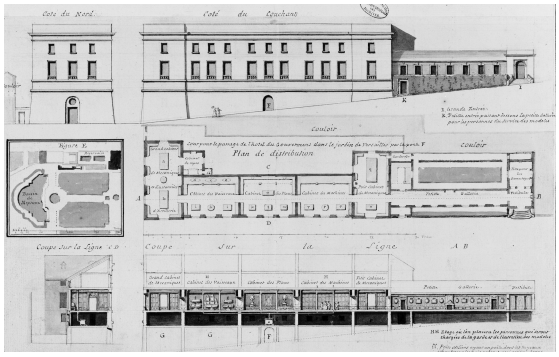


FIGURE 1 – Exemple de plan d'un monument historique (château de Versailles, plan du XVIII$^{\text{ème}}$ siècle) ; de haut en bas, élévation, plan au sol, coupe transversale.

1.1 Eléments de l'état de l'art

L'utilisation de modèles 3D est très répandue en architecture depuis au moins les années 2000, que ce soit pour obtenir des vues perspectives des projets, ou pour étudier les conditions d'illumination, les transferts de chaleur ou la propagation des ondes. La génération automatique de vues 3D à partir des plans est un domaine de recherche actif [9]. Les plans d'architecte modernes sont composées de formes géométriques et de

symboles normalisés, des éléments de texte donnent des informations sur la destination de chaque pièce, leurs dimensions, *etc*. La littérature présente différentes approches d'analyse automatique de plans, d'extraction des symboles normalisés, pour la génération de modèles 3D plus ou moins complets, avec ou sans l'intervention ou la supervision d'un opérateur [1, 6, 5, 4]. L'utilisation des éléments textuels permet d'introduire une couche sémantique dans les algorithmes, information sémantique qui peut être utilisée dans la génération du modèle 3D, en particulier pour des bâtiments sur plusieurs niveaux [2].

Ces systèmes, efficaces pour l'analyse de plans d'architecte contemporains, ne sont cependant pas utilisables dans notre cas. En effet, les images dont nous disposons présentent un certain nombre de caractéristiques dues, soit à l'époque des plans, soit à leurs conditions de conservation et de numérisation, qui rendent nécessaires de développer des algorithmes spécifiques pour leur traitement : la numérisation laisse parfois transparaître les marques de pliure des plans, des filigranes ou l'envers du document ; il n'existe pas de symbole normalisé pour la représentation des éléments d'architecture (fenêtres, escaliers), les tracés des lignes droites ne sont pas forcément complètement rectilignes, les lignes ne sont pas d'épaisseur constante, *etc*.

1.2 Organisation de notre système

Nous présentons en fig. 2 un synoptique de notre système : une première phase de prétraitements permet de réduire la quantité d'information à traiter, puis nous détectons sur les plans au sol différents éléments de structure (murs principaux, murs secondaires et cloisons, escaliers), un premier modèle 3D est alors créé, en extrudant à une hauteur arbitraire les empreintes au sol des différents murs (§2). Les textures sont extraites d'images d'élévation, et appliquées sur les faces verticales du modèle, ce qui permet, par respect des proportions de ces images, de déterminer la hauteur réelle du bâtiment (§3). Ces traitements ont été appliqués à des plans des XVII$^{\text{ème}}$ et XVIII$^{\text{ème}}$ siècles du Château de Versailles, des résultats sont présentés au fil de chaque paragraphe de cette communication.

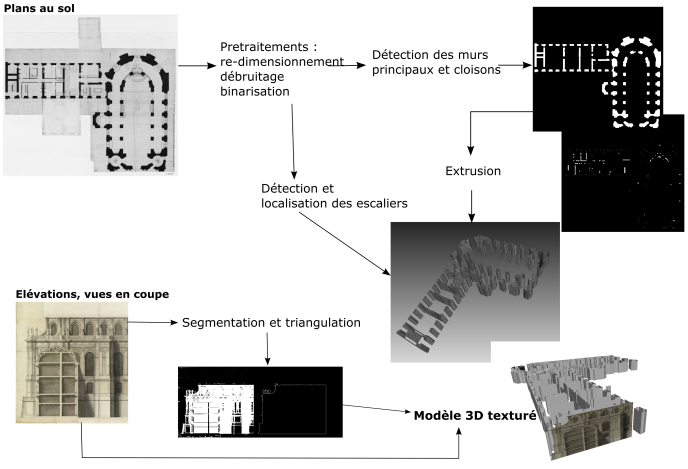


FIGURE 2 – Schéma général de l'application proposée.

2 Du plan au sol à la restitution 3D

2.1 Prétraitements

Les images numériques que nous traitons peuvent être de très grande taille (plusieurs centaines de Mo pour certaines images). Il est donc indispensable de réduire la taille des données à traiter, la phase de prétraitements comprend des étapes de réduction de taille, de débruitage et de binarisation. Pour réduire la taille des images d'un facteur r, nous conservons le pixel le plus foncé de chaque vignette de l'image de taille $r \times r$, ceci est justifié par le fait que les informations que nous voulons extraire des plans sont tracées à l'encre sombre sur du papier clair, et donc que les pixels sombres portent l'information utile. Les images sont ensuite débruitées par l'algorithme NLM (*Non Local Means*, [8]), qui a donné des résultats expérimentaux satisfaisants. L'algorithme de binarisation des images est basé sur le fait que la majorité des pixels de l'image sont des pixels de fond, donc de couleur claire : pour chaque pixel (u, v) de l'image initiale I, nous calculons, dans son voisinage 3×3, la moyenne des différences absolues des niveaux de gris avec la valeur médiane de I med, et obtenons l'image I_{diff}, dont nous calculons la valeur médiane med_{diff}. Chaque pixel de l'image binarisée I_b est calculé ainsi : si $I(u, v) > med, I_b(u, v) = 0$, si $I_{diff}(u, v) > s \times med_{diff}, I_b(u, v) = 255$, sinon, $I_b(u, v) = 0$, où s est un seuil fixé par l'utilisateur (nous avons vérifié empiriquement que ses variations ont peu d'influence sur le résultat final). Dans l'image binarisée, les contours des tracés sont plus marqués et seront mieux détectés (*cf.* fig. 3(b)).

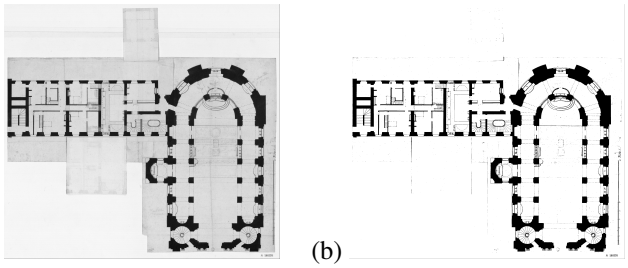
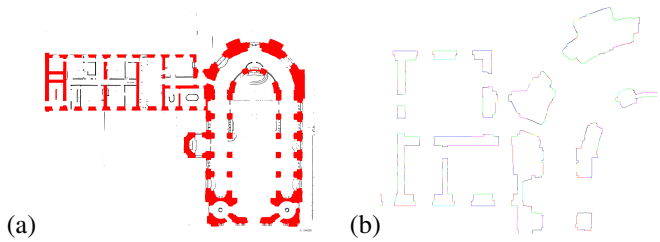


FIGURE 3 – Traitement d'une image de plan au sol (Chapelle du Château de Versailles) : (a) plan réduit en niveaux de gris (dimensions originales 9464×8736, réduites à 3185×2913) ; (b) plan binarisé (dimensions 3185×2913).

2.2 Détection des murs

Nous avons développé un algorithme unique de détection des murs, quelle que soit leur épaisseur (cloisons, murs principaux ou murs extérieurs). Les tracés n'étant pas d'épaisseur constante, ni toujours rectiligne, nous avons préféré utiliser les opérateurs de morphologie mathématique plutôt que la transformée de Hough. Chaque pixel de l'image binarisée appartenant à une composante connexe est étiqueté par sa distance au bord le plus proche de la composante connexe, par itération

d'érosion de boule unité. Le seuillage de l'image de distance permet d'extraire les composantes connexes représentant les murs ; les seuils sont choisis selon les dimensions originales des plans et le facteur de réduction r qui leur a été appliqué. Sur la fig. 4, les murs principaux ont une épaisseur supérieure à 6 pixels, les cloisons une épaisseur comprise entre 2 et 5 pixels.



(a) (b)

FIGURE 4 – Traitement d'une image de plan au sol (Chapelle du Château de Versailles) : (a) murs principaux, en rouge, et cloisons, en noir, détectés sur le plan de la fig. 3 (b) ; (b) segments de droite détectés sur les murs fig. (a) (vue de détail).

L'étape suivante consiste à segmenter les murs, c'est-à-dire à calculer les segments de droite qui forment les contours des murs, et qui seront à la base du modèle 3D. A partir de l'image binaire des murs I_m calculée à l'étape précédente, nous calculons l'image binarisée I_{grad} des gradients locaux. Le squelette morphologique de I_{grad} (calculé par amincissement, [7]) donne une image où les contours des murs sont tous marqués d'épaisseur 1. Les points extrémités des segments sont extraits, et les segments adjacents et colinéaires (dans la limite d'un seuil) sont fusionnés (*cf.* fig. 4(b) pour une vue de détail sur des segments calculés sur l'image 4(a)).

2.3 Localisation des escaliers

Les escaliers constituent un autre élément architectural et fonctionnel important, pour lequel nous avons défini un algorithme semi-automatique de localisation, ce qui permet de prendre en compte des escaliers de formes variées, et représentés de façon non normalisée (fig. 5). L'utilisateur dessine une zone rectangulaire approximative autour d'une cage d'escalier, et l'algorithme localise précisément les marches de l'escalier dans cette zone. Cette manière de faire permet de réduire le temps de calcul (seules les zones dessinées par l'utilisateur sont traitées), et évite à l'opérateur d'avoir à supprimer des fausses détections.

Les escaliers sont représentés par des ensembles de traits pleins (pour les marches d'escalier proches de l'étage représenté par le plan) ou pointillés (pour les marches d'escalier de l'étage supérieur ou inférieur). L'algorithme commence par détecter les composantes connexes de l'ensemble escalier–murs (pixels noirs sur la fig. 6, à gauche), cela nous permet d'isoler les traits pointillés ; les pointillés appartenant à la même ligne sont regroupés en calculant leur meilleure droite d'approximation, et en accumulant l'angle de ces droites avec l'horizontale. En faisant un traitement différent dans les cas des droites obliques, verticales et horizontales, on peut obtenir les droites approchant

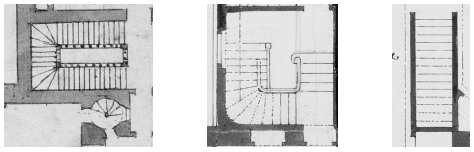


FIGURE 5 – Plusieurs exemples d'escaliers sur des plans du Château de Versailles.

chaque ligne pointillée, et ainsi délimiter chaque marche d'escalier. Nous pouvons alors passer à l'étape de détection des escaliers proprement dite. Deux marches d'escalier consécutives ont deux points en commun ; le complémentaire des droites tracées sur le plan (fig. 6, à gauche) est un ensemble de composantes connexes. Si deux composantes connexe adjacentes ont deux points en commun, on peut considérer avec une grande probabilité que ce sont des marches d'escalier. Nous conservons les pixels de ces composantes connexes. En ajoutant une contrainte supplémentaire : une composante connexe qui touche le bord de l'image ne peut pas faire partie de l'escalier, la boîte englobante de l'ensemble des pixels conservés définit la boîte englobante de l'escalier recherché (fig. 6, à droite). Nous avons constitué une petite bibliothèque de modèles 3D d'escaliers correspondant aux formes d'escaliers courantes dans les plans et nous choisissons manuellement le modèle d'escalier correct à insérer à l'emplacement déterminé par l'algorithme.

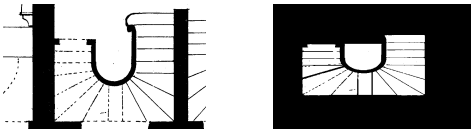


FIGURE 6 – Détection des escaliers : résultats de l'algorithme de localisation.

2.4 Restitution 3D

Le premier modèle 3D est obtenu simplement par extrusion des murs extraits du plan au sol, ce qui donne à l'utilisateur une meilleure compréhension du bâtiment restitué (fig. 7). La hauteur des murs extrudés est laissée dans un premier temps au choix de l'utilisateur. L'exploitation des images d'élévation permettra par la suite de la fixer automatiquement, en respectant les proportions de ces images.

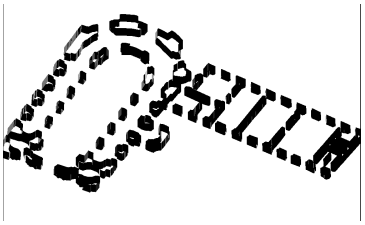


FIGURE 7 – Modèle 3D calculé par extrusion des murs détectés sur le plan original (en rouge sur la fig. 4(a)).

3 Modélisation des faces verticales

Dans les modèles issus de l'analyse des plans au sol, chaque mur est représenté par deux triangles adjacents constituant un rectangle. Nous utilisons les vues en coupe ou en élévation présentes dans les archives pour améliorer les faces verticales du modèle ; cette partie requiert l'intervention de l'utilisateur pour associer à chaque mur la ou les vues pertinentes. Après avoir sélectionné un mur, l'utilisateur dessine un rectangle approximatif correspondant à ce mur dans une image d'élévation ; dans ce rectangle, la région d'intérêt est automatiquement détectée, en utilisant un algorithme d'inondation, puis ses contours sont polygonalisés. Les sommets de ce polygone englobant forment les sommets d'un maillage triangulaire par lequel nous remplaçons les deux triangles représentant le mur. Sur ce maillage nous appliquons également la texture extraite de l'image d'élévation pour améliorer le « réalisme » du modèle (*cf.* fig. 8). Cet algorithme est appliqué de manière répétitive sur les différentes faces verticales composant le modèle, extérieures et intérieures ; ceci permet également d'ajuster la hauteur du modèle, selon les proportions hauteur/largeur des images d'élévation (*cf.* fig 9).

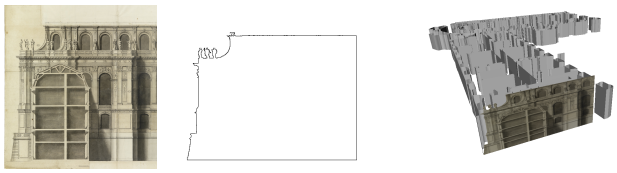


FIGURE 8 – Utilisation d'une image d'élévation : image originale, polygone englobant, modèle 3D avec un mur texturé.

4 Conclusion

Nous avons présenté dans cet article un ensemble d'algorithmes pour l'analyse, aussi automatique que possible, de plans anciens de monuments historiques, afin de construire un modèle 3D de ces monuments. Le traitement numérique des images permet d'extraire des plans au sol les principales informations sur la structure du bâtiment, tandis que l'analyse des vues verticales (coupes ou élévations) ajoute du réalisme au résultat. Nous ne pouvons cependant pas qualifier de « réalistes » les modèles 3D obtenus ; en effet, rares sont les parties d'un bâtiment dont nous est parvenu l'ensemble des plans. N'oublions pas non plus que, aux époques de construction de ces bâtiments, le plan n'est pas la réalisation, mais plutôt un document intermédiaire entre une vue d'artiste et un plan moderne... De ce fait, l'évaluation quantitative de notre méthode est difficile à effectuer, en l'absence de « vérités terrain » incontestables. Cependant, les modèles 3D obtenus constituent bien une manière nouvelle de parcourir les archives, et pourraient donner accès à de nouvelles interprétations pour les historiens spécialistes.

FIGURE 9 – Deux modèles 3D résultats sur le Château de Versailles : l'Appartement du Roy, et la Chapelle.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet VERSPERA, *financé par le* LABEX *Patrima (Fondation des Sciences du Patrimoine). Nous remercions particulièrement nos collègues du Centre de Recherche du Château de Versailles, des Archives nationales et de la Bibliothèque nationale de France, partenaires du projet, qui nous ont fourni les plans numérisés utilisés ici et toutes les indications utiles pour leur interprétation.*

Références

[1] Dosch (Ph.), Tombre (K.), Ah-Soon (C.) et Masini (G.). – A complete system for the analysis of architectural drawings. *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol. 3, n° 2, 2000.

[2] Horna (S.), Damiand (G.), Meneveaux (D.) et Bertrand (Y.). – Building 3D Indoor Scenes Topology from 2D Architectural Plans. *In : GRAPP*, pp. 37–44. – Spain, mars 2007.

[3] Landrieu (J.), Père (C.), Rollier-Hanselmann (J.) et Schotte (G.). – Reconstitution virtuelle de l'église abbatiale Cluny III : des fouilles archéologiques aux algorithmes de l'imagerie. *In : Actes du Colloque Virtual Retrospect 2009*. pp. 151–159. – Pessac, France, 2010.

[4] Lewis (R.) et Séquin (C.). – Generation of 3D building models from 2D architectural plans. *Computer-Aided Design*, vol. 30, n° 10, 1998, pp. 765–779.

[5] Lu (T.), Yang (H.), Yang (R.) et Cai (S.). – Automatic analysis and integration of architectural drawings. *International Journal of Document Analysis and Recognition (IJDAR)*, vol. 9, n° 1, 2007, pp. 31–47.

[6] Or (S.-H.), Wong (K.H.), Yu (Y.-K.), Chang (M.-M.) et Kong (H). – Highly Automatic Approach to Architectural Floorplan Image Understanding & Model Generation. *In : Proceedings of Vision, Modeling and Visualization, VMV'2005*. – Erlangen, Germany, 2005.

[7] Soille (P.). – *Morphological Image Analysis : Principles and Applications*. – Secaucus, NJ, USA, Springer-Verlag New York, Inc., 2003, 2 édition.

[8] Van De Ville (D.) et Kocher (M.). – Sure-based non-local means. *Signal Processing Letters, IEEE*, vol. 16, n° 11, 2009, pp. 973–976.

[9] Xuetao (Y.), Wonka (P.) et Razdan (A.). – Generating 3D Building Models from Architectural Drawings : A Survey. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 29, 2009.