

# photogrammétrie architecturale

# la medersa bouinaniya de fès

Documentation  
d'un monument  
historique  
au Maroc

Salim Benmlih et Pierre Grussenmeyer (*E.N.S.A.I.S. - laboratoire de photogrammétrie*)

## ABSTRACT

The Médina of Fès in Morocco is classified as worldwide heritage by UNESCO, but there is no updated documentation of its monuments. The Agency for Disdensification and Rehabilitation (A.D.E.R.) of the Médina of Fès is an agency created to bring into operation the safeguarding project of this town.

The subject of our study integrates an experimental project aiming, firstly, at analysing the A.D.E.R. problems in the field of monuments restoration. In fact, the methods used for the survey are still manual and the difficulty in obtaining a complete elevation is due to the monuments dimensions as well as to their complex and subtle ornamentation.

By a restitution of the Medersa Bouinaniya, we display the aptitude of photogrammetry for representing this architecture, complex as it may be.

KEY WORDS: Architectural, Analytical and Digital photogrammetry - Image rectification - Metric and Non-Metric cameras.

## RESUME

La Médina de Fès au Maroc est classée par l'UNESCO en patrimoine mondial, mais il n'existe aucune documentation actualisée de ses monuments. L'Agence de Dédensification et de Réhabilitation (A.D.E.R.) de la Médina de Fès est une agence née pour mettre en

œuvre le projet de sauvegarde de cette ville. Le sujet de notre étude s'intègre dans un projet expérimental visant, en premier lieu, à analyser les problèmes de l'A.D.E.R. dans le domaine de la restauration des monuments historiques. En fait, les méthodes employées pour le relevé sont encore manuelles et la difficulté d'obtenir une élévation complète tient aux dimensions des monuments ainsi qu'à leur décoration complexe et fine. Par une restitution de la Medersa Bouinaniya, nous montrons l'aptitude de la photogrammétrie à analyser cette architecture aussi complexe soit elle.

MOTS CLÉS: Photogrammétrie architecturale, analytique et numérique - Redressement d'images - Chambres de prises de vues métriques et non-métriques.

## 1. INTRODUCTION

Les monuments historiques constituent un fabuleux héritage du passé. Nous sommes perpétuellement investis de la mission de les protéger pour que demain ce témoignage subsiste.

La Médina de Fès au Maroc fait partie de ce patrimoine, elle est classée par l'UNESCO en patrimoine mondial, mais il n'existe aucune documentation actualisée de ses monuments. L'Agence de Dédensification et de Réhabilitation (ADER) de la Médina de Fès est une agence chargée de mettre en œuvre le projet de sauvegarde de cette ville, elle est membre coopté du comité exécutif du Conseil International des Monuments et Sites (ICOMOS).

Cette étude a été réalisée par Salim BENMLIH, Ingénieur ESGT dans le cadre de son Travail de Fin d'études en 1995 au Laboratoire de Photogrammétrie de l'ENSAIS en relation avec Pierre GRUSSENMEYER, Professeur à l'ENSAIS.

L'étude entreprise s'intègre dans un projet expérimental visant à analyser les problèmes de l'ADER et les méthodes employées dans le domaine de la restauration des monuments historiques [Benmlih 1995].

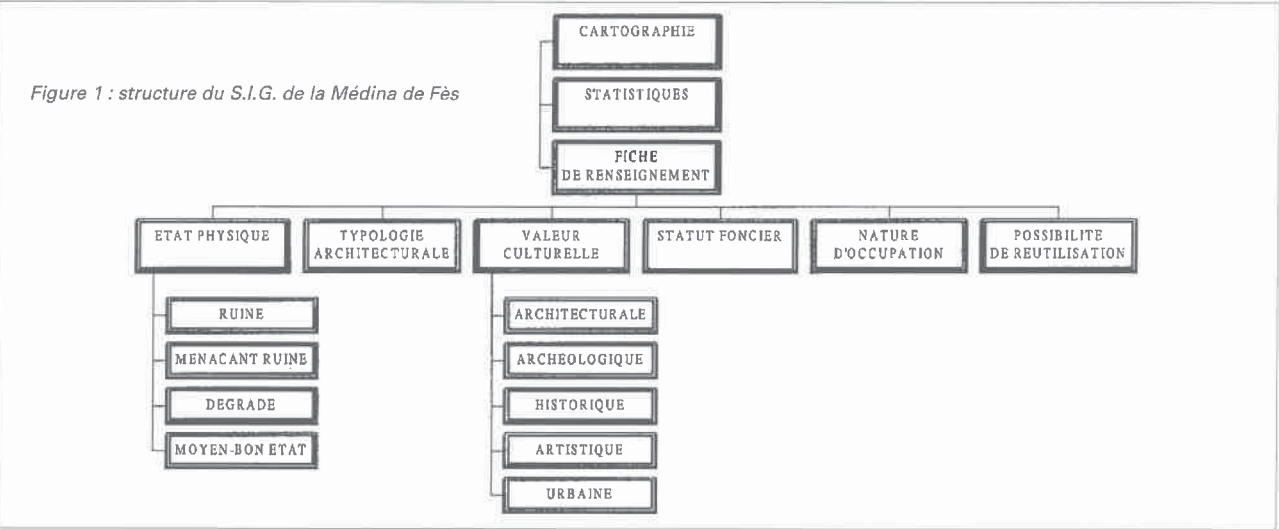
La photogrammétrie permet d'établir des plans de façades extrêmement précis reproduisant la forme et l'état des bâtiments jusque dans leurs moindres détails. Nous abordons plusieurs procédés photogrammétriques en essayant d'optimiser leur application à la

représentation de l'architecture. Nous nous intéressons aussi aux possibilités liées à l'utilisation des chambres d'amateurs (format des originaux 24 mm x 36 mm) en photogrammétrie architecturale.

Notre étude essaie de répondre ainsi aux ambitions du Comité International de Photogrammétrie Architecturale (CIPA) qui s'est fixé comme objectif de promouvoir les applications de la photogrammétrie aux monuments et sites, et de mettre en place des méthodes simples et peu coûteuses permettant la création d'une base de données photogrammétrique mondiale contenant la plus grande partie du patrimoine architectural.

2. PRÉSENTATION DU SIG DE LA MÉDINA DE FÈS

Le S.I.G de l'ADER-FES est basé sur le SGBD relationnel ORACLE et le logiciel de D.A.O MICROSTATION. Ce système offre aujourd'hui, grâce à une collecte de données exhaustive sur la totalité des 14000 bâtisses en médina, la possibilité de consulter et d'utiliser l'information à différents niveaux : Fig.1



3. PRISES DE VUES

Différentes chambres de prise de vues ont été utilisées en février 1995 pour nous permettre de mettre en œuvre différents procédés de restitution. Tableau 1

Chambre de prises de vue	Type	Focale mm	Format cm x cm	Support utilisé	Nbre clichés	Utilisation prévue
Wild P32	métrique	64	6,5 x 9	plaques (AVIPAN 100) et diapositives couleur	40 40	Photogrammétrie analytique et numérique
Pentax 67	Semi-métrique (réseau)	105	6 x 7	noir et blanc (Agfaplan 100)	40	Photogrammétrie Par digitalisation (multi-image)
Ricoh KR-10M	semi-métrique (4 marques)	28	2,4 x 3,6	diapositives couleur (Kodak Ektachrome 200)	65	archivage KODAK photoCD photogrammétrie analytique et numérique

Tableau 1 : Chambres de prises de vues utilisées pour le relevé de la Medersa Bouinaniya (Fès).

La mission principale consistait à couvrir les quatre façades de la cour intérieure (fig. 2) de la Medersa :

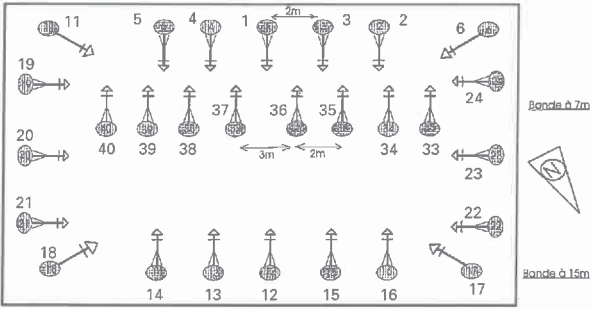


Figure 2 : disposition des prises de vue (niveau 0) - chambre Wild P32 - Medersa Bouinaniya, Fès.

Avec la chambre Wild P32, les façades ont été photographiées dans un premier temps en considérant l'éloignement maximum par rapport à l'objet (échelle des clichés : 1:230 à 1:285). Pour autoriser la restitution de certains détails de la façade sud-ouest qui intéressait davantage l'ADER et nous donner les possibilités de finesse d'analyse par voie photogrammétrique nous avons rajouté une bande de prises de vue à 7 mètres

(échelle des clichés env. 1/110). Aucun échafaudage n'a pu être utilisé.

L'objectif de l'ADER étant la constitution à court terme d'un archivage des monuments figurants sur son SIG, en priorité ceux de la catégorie «menaçants ruine et dégradés», nous avons durant 4 jours, relevé la Medersa Bouinaniya (tableau 1) ainsi qu'une maison (Dar Lazrak) avec une chambre à petit format de marque Ricoh et stocké les images sur CD Rom en utilisant le procédé KODAK Photo CD [Hanke, 1994]. Cette solution peu coûteuse pourrait être mise en œuvre pour la sauvegarde rapide des constructions.

#### 4. PHOTOGRAMMÉTRIE ANALYTIQUE

##### 4.1 Stéréorestitution analytique

Un calcul d'aérotriangulation par la méthode des faisceaux avec le logiciel ORIENT [Kager, 1990] a permis de calculer un ensemble homogène d'une centaine de points avec une précision de l'ordre de 1 à 3cm en X, Y et Z répartis sur les quatre façades de la cour intérieure de la Médersa. Les pointés ont été réalisés sur les plaques de verre (Wild P32) et les mesures sur le stéréorestituteur Planicomp Zeiss P33 de l'ENSAIS. Environ 60 points de calage avaient été relevés sur place à l'aide d'un tachéomètre électronique. Cette opération d'aérotriangulation est fondamentale avant d'entreprendre la restitution. Les points calculés serviront de points de contrôle lors du calcul des orientations des clichés avec les différents procédés que nous évoquerons par la suite.

Nombre de plaques P32	20
nombre de points de la compensation	128
nombre de points de calage	64
points de calage : emq (x,y,z)	< 0,01 m
points de jonction : emq (x,y,z)	< 0,03 m
nombre d'observations	803
nombre d'observations éliminées	11
emq de la compensation	11µm

Tableau 2 : résultat de la compensation par la méthode des faisceaux

Afin de rendre compte de la complexité de l'édifice et pour respecter l'organisation de l'information selon sa hiérarchie et ses catégories nous avons défini un zonage des matériaux. Nous avons pu attribuer un niveau à chaque corps de métier :

- un niveau pour la sculpture sur bois,
- un niveau pour la sculpture sur plâtre,
- un niveau pour la construction nue dotée des différents éléments nécessaires à l'analyse architecturale :
  - les lignes de rupture de la construction
  - les lignes de structure

- les lignes des appareils
- les lignes de décor
- les limites entre plein et vide

Nous avons aussi comparé notre restitution avec des plans architecturaux existants à l'échelle 1/50. Les écarts ne sont pas importants et ceci prouve qu'il ne faut pas négliger le relevé à la main encore pratiqué actuellement. Les architectes sont convaincus de la très grande précision d'ornementation et de la représentation des détails les plus fins rendu possible par la photogrammétrie, alors qu'elle reste quasiment impossible par les relevés classiques.

La méthode de stéréorestitution, qui au niveau des équipements nécessaires est la plus coûteuse, permet de répondre à la plupart des demandes des architectes, aussi bien pour la restitution des lignes principales d'un édifice que des détails. L'utilisation des diapositives réalisées avec la chambre Ricoh (format 24 mm x 36 mm) est aussi possible en stéréorestitution [Grussenmeyer, Merckel, 1995] avec une précision de l'ordre du centimètre qui est généralement requise par les architectes.

##### 4.2 Possibilités d'utilisation de la photogrammétrie par digitalisation

Contrairement à la stéréophotogrammétrie où on analyse des couples de clichés à l'aide d'un stéréorestituteur, la photogrammétrie par digitalisation [Bizolier, 1995] utilise de multiples clichés de l'objet pris sous des angles différents (faisceaux convergents). Ces clichés sont exploités à l'aide d'une table à digitaliser (sans vision stéréoscopique).

Le principe de fonctionnement s'apparente donc au relevé de points par intersections spatiales à l'aide de théodolites, chaque station de théodolite étant remplacée par une photographie.

Les prises de vues sont réalisées avec des appareils équipés d'une grille réseau (Pentax 67, Rollei 6006, LEICA R5 par exemple). La digitalisation des croix du réseau permettra de compenser les défauts de planéité du film dans la chambre photographique ainsi que les

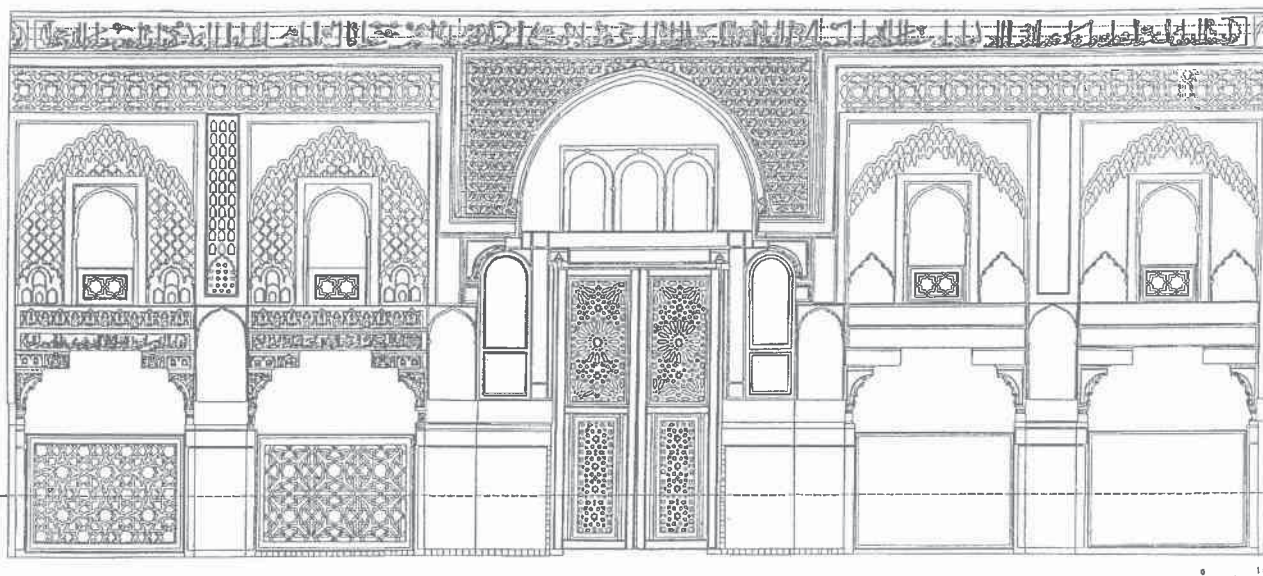


Figure 3 : restitution stéréoscopique de la façade sud-ouest de la Medersa Bouinaniya (Fès)



aberrations introduites par le tirage sur papier des clichés.

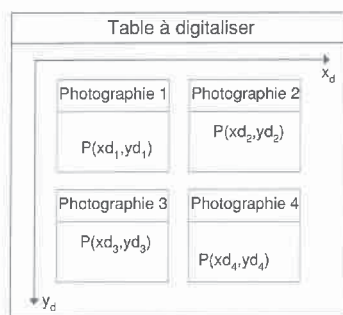


Figure 4 : exemple de disposition des clichés sur la tablette à digitaliser

La restitution se fait en digitalisant les points sur plusieurs clichés : tout point relevé sur deux clichés au moins peut être calculé en  $(X, Y, Z)$ ; cependant, pour obtenir un contrô-

le correct des intersections on s'attachera à relever les points sur trois clichés au moins. Le relevé des polygones s'effectue en digitalisant des points homologues en série. Pour des objets-plans on peut travailler sur une seule photographie après avoir défini le plan sur lequel on restitue. Dans ce cas le procédé peut être performant.

La photogrammétrie par digitalisation s'avère être le procédé qui demande le moins d'investissements, mais ce n'est pas pour autant le plus rentable. En effet, les manipulations photographiques (prises de vues multiples, développements, agrandissements....) sont nombreuses et la restitution prend beaucoup de temps (car chaque point doit être visé sur toutes les photos où il apparaît). Ce procédé souffre d'autres limitations notamment la difficulté de restitution de formes ou de lignes ne présentant pas de points remarquables du fait de la discontinuïté du pointé.

La vision humaine ayant ses limites, il ne faut pas espérer pouvoir observer des objets de taille trop petite. Même s'il est possible de jouer sur l'échelle du cliché ou sur le grossissement de la loupe de la souris, il ne sera pas facile de reproduire tous les détails de décor qui ont été représentés par la stéréophotogrammétrie analytique.

Le procédé évolue actuellement et les pointés de points homologues peuvent être réalisés directement sur l'écran de l'ordinateur sans faire appel à une tablette à digitaliser.

## 5. PHOTOGAMMÉTRIE NUMÉRIQUE SUR PC

### 5.1 Utilisation du système DVP-DVR2

Le DVP «Digital Vidéo Plotter» est un système de photogrammétrie numérique. Il a été développé dans le département des sciences géodésiques et de télédétection de l'université Laval, Québec au Canada depuis 1989. DVP fonctionne sur un ordinateur de type PC486, il est équipé d'un système d'observation stéréoscopique simplifié : on affiche sur l'écran de l'ordinateur partagé en deux, les moitiés respectives droite et gauche des images numérisées. On regarde alors à travers un système de petits miroirs similaires à ceux d'un stéréoscope à miroirs, ce système est monté sur un bras réglable rattaché à un support au dessus de l'écran.

Figure 5 : Le système DVP



Avec le concours de M. Trachsel de la société LEICA, nous avons procédé à la restitution partielle de la façade à partir d'un couple de

photos représentant un modèle stéréoscopique. La restitution a été faite avec le logiciel de vidéo-restitution DVP (restitution en 3D) et son action DVR2 (restitution sur l'image redressée en 2D). Les deux clichés à l'échelle 1:280 réalisés avec la chambre Wild P32 ont été numérisés à l'aide d'un scanner de bureau au format utile A4 avec une résolution de 400ppp (pixel 64  $\mu$ m).

Trois zones représentant différents niveaux de détails ont pu être traitées :

- Une grille en bois
- Un extrait d'écriture sur bois
- Un extrait de sculpture sur plâtre

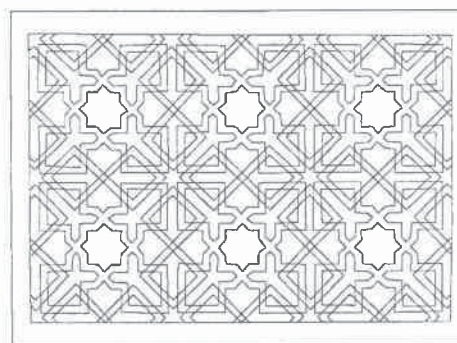


Figure 6 : Restitution d'une sculpture sur bois à l'aide du système DVP-DVR2 (Medersa Bouinaniya)

Après orientation des photos sous DVP,

la majeure partie des zones de la façade pourrait être traitée en 2D par le module DVR2. La restitution en 2D ne nécessitant pas de vision stéréoscopique, le travail en est facilité. Les principes du redressement d'images est rappelé dans le paragraphe suivant.

Le prix du système DVP est environ cinq fois moins élevé qu'un équipement de photogrammétrie analytique. Le DVP reste cependant moins convivial car il est beaucoup plus confortable de travailler derrière des oculaires d'un stéréorestituteur analytique que devant un écran d'ordinateur. Pendant la phase de stéréorestitution aucun zoom n'est permis ; on ne dispose donc que du grossissement du stéréoscope, ce qui est un facteur limitant pour la vitesse de restitution et parfois gênant pour voir certains détails.

L'utilisation des couples de clichés réalisés à l'aide de la chambre Ricoh (format 24mm x 36mm), puis numérisés sur CD Rom, pourrait rendre ce système particulièrement intéressant.

Il est à noter que depuis quelques mois plusieurs systèmes de stéréophotogrammétrie numérique fonctionnant sur des ordinateurs de type PC sont commercialisés.

## 5.2 Redressement d'images numériques à l'aide du logiciel MSR (Rollei)

L'image photographique est, du point de vue géométrique, une perspective conique ; la carte est une projection orthogonale. L'image et la carte, n'étant donc pas dans la même géométrie, ne seront pas directement superposables.

Dans le cas d'un objet plan ou considéré comme tel, la géométrie de l'image peut être corrigée rigoureusement en utilisant le principe du redressement. La technique consiste à travailler sur une perspective unique en partant du principe que l'objet est plan. La précision relative du redressement est de l'ordre de la dimension d'un pixel à l'échelle de l'objet ; mais il faut aussi tenir compte des facteurs suivants : la planéité de l'objet, l'angle de prise de vue par rapport à l'objet, la qualité des points d'appui.

Du point de vue mathématique, c'est une transformation à huit paramètres qui permet de passer d'une perspective à une autre, elle s'écrit :

$$\begin{cases} x = \frac{a_1X + b_1Y + c_1}{a_3X + b_3Y + 1} \\ y = \frac{a_2X + b_2Y + c_2}{a_3X + b_3Y + 1} \end{cases} \quad \begin{array}{l} (x,y) : \text{coordonnées-photo} \\ \text{et } (X,Y) : \text{coordonnées du} \\ \text{point dans l'objet-plan} \end{array}$$

Les coefficients  $a_i$  et  $b_i$  sont calculés à partir d'au moins quatre points de calage. Ces points de calage doivent appartenir au plan à redresser, et être bien répartis sur l'objet.

Rolleimetric MSR est un logiciel de redressement d'images fonctionnant dans l'environnement graphique Windows. Il permet d'obtenir des photos rectifiées, d'y mesurer des coordonnées en 2 dimensions et des distances, et de produire des tracés à l'échelle. MSR permet aussi d'assembler plusieurs photos (jusqu'à 32) pour obtenir une image redressée unique, cette technique de mosaïque est très utile pour traiter les cas de sujets de grande dimension.

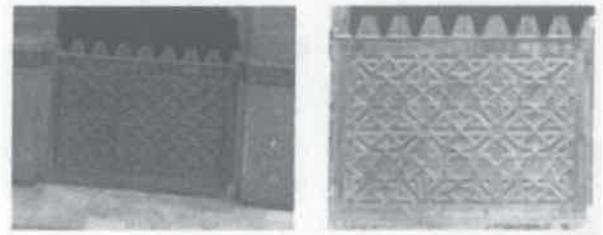
Plusieurs parties de la façade sud-ouest de la Medersa peuvent être considérées comme planes ; dans ce cas idéal, le redressement peut corriger rigoureusement la géométrie de l'image. L'utilisateur d'un tel logiciel devra s'assurer au préalable de la planéité de l'objet considéré.

Si l'image dispose d'un réseau et si on connaît les paramètres d'étalonnage de la caméra, le logiciel compare les coordonnées théoriques des croix avec leurs positions réelles mesurées. Il calcule une transformation projective qui permettra de corriger les déformations dues aux défauts de planéité du film dans la chambre de prise de vues, à l'agrandissement et au scannage.

L'image finale peut être générée avec différentes résolutions. On peut ainsi faire correspondre un pixel de l'image redressée à une surface de 1 cm x 1 cm de l'objet. L'image peut alors être vectorisée à l'aide d'un logiciel de dessin assisté par ordinateur. Le résultat est une restitution en 2D de la partie de la façade concernée.

Si les clichés ne sont pas trop inclinés par rapport au

plan de la façade, les résultats peuvent être très satisfaisants. Les images redressées peuvent être retravaillées à l'aide de logiciels de traitement d'image comme «Photoshop» ou «Coreldraw».



Figures 7 et 8 : Image non redressée et redressée (sculpture en bois)

## 5.3 Restitution par opérateurs de contours

L'architecture islamique est complexe et certaines parties de la Médersa Bouinaniya pourraient être traitées à l'aide d'algorithmes d'extractions de contours pour représenter les lignes caractéristiques des objets (mosaïques, grille en bois, gravures sur plâtre). Ces techniques sont encore en phase de développement et il faut citer l'étude réalisée par [Gaschen, Maas, Streilein, 1994] à l'aide du logiciel KHOROS. Ce logiciel de traitement d'images et de visualisation est développé à l'Université du Nouveau Mexique, Albuquerque, USA. Il est accessible sur Internet, bien qu'il ne soit pas du domaine public.

Un contour dans l'image est caractérisé à partir du gradient de la différence d'intensité des signaux de l'image. A chaque pixel est attribuée une valeur de gradient associée à une somme et une direction. Dans les parties homogènes de l'image la somme des gradients est nulle ou proche de zéro alors qu'en présence de contours la somme est importante. Mais la somme des gradients ne suffit pas pour caractériser un contour. Une image très contrastée aura des sommes de gradients importantes et dans ce cas les directions seront plus ou moins réparties accidentellement. Un contour sera aussi défini si des directions préférentielles de gradients sont trouvées. Comme le calcul des gradients est très sensible aux bruits de l'image, il faut au préalable «lisser» l'image à l'aide d'un filtre pour réduire le rapport signal sur bruit.

## 6. CONCLUSION

Dans le cadre de ce projet nous avons pu mettre en œuvre des procédés certes connus mais rarement mis en œuvre dans le contexte des monuments historiques d'architecture islamique.

La stéréorestitution de la Médersa Bouinaniya effectuée dans notre cas sur ZEISS Planicomp P33 à l'aide des clichés réalisés avec une chambre métrique Wild P32 conduit à des résultats très satisfaisants. Cette méthode est la plus universelle, elle correspond à l'attente des architectes mais nécessite des investissements élevés et une main d'œuvre qualifiée.

Les solutions basées sur la photogrammétrie numérique sont assez spectaculaires. Pour un petit budget (environ 100 000 francs), on peut disposer d'un équipe-

ment de redressement d'images numériques et de périphériques de qualité, avec la possibilité d'exploiter les clichés stockés sur un CD-Rom. Ce procédé est cependant limité aux objets plans.

Les systèmes du type «Digital Video Plotter» sont originaux mais moins «productifs» que les systèmes analytiques. Par contre dans un but éducatif ils constitueraient une solution intéressante pour l'Institut de Formation aux Métiers Traditionnels du Bâtiment de Fès qui forme le personnel aux techniques de restauration des monuments historiques.

L'évolution de l'étude de ces architectures complexes est peut être l'extraction automatique des contours. Le logiciel «KHOROS» propose des fonctions de traitement d'image et de reconnaissance automatique de formes qui pourraient constituer les solutions de demain.

Face à l'urgence de la situation, il est important de rapidement mettre en œuvre pour les bâtiments de la Médina de Fès «menaçant ruine et dégradés» répertoriés dans le S.I.G. une campagne de prises de vues (stéréoscopiques si possible) à l'aide d'appareils petit format (24 mm x 36 mm) ou moyen format (6 cm x 6 cm). Les clichés seront archivés sur CD Rom et pourront éventuellement servir par la suite à la restitution en cas de restauration.

Nous n'avons pas abordé la technique de l'orthophotographie dans cet article car les éléments des façades concernés par l'étude se limitaient pour l'essentiel à des parties planes de l'objet.

#### REMERCIEMENTS

Nous remercions M. HAJJAMI, Directeur de l'A.D.E.R. de Fès, pour les moyens mis à notre disposition lors du relevé des monuments de la Médina et la confiance qu'il nous a accordée pour la réalisation de cette étude.

(Etude réalisée par Salim Benmlih, ingénieur ESGT dans le cadre de son travail de fin d'études 1995 au laboratoire de photogrammétrie de l'E.N.S.A.I.S., en relation avec Pierre Grussenmeyer, professeur à l'E.N.S.A.I.S.)

#### BIBLIOGRAPHIE

**Benmlih S.**, (1995). Evaluation de méthodes photogrammétriques modernes pour la représentation des architectures complexes. Mémoire de Diplôme d'ingénieur E.S.G.T., inédit.

**Bizolier S.**, (1995). Conception d'un logiciel de photogrammétrie par digitalisation. Mémoire de Diplôme d'ingénieur E.N.S.A.I.S., inédit.

**Cipa, Icomos** (1988). Relevés photogrammétriques d'architecture islamique. Symposium International de Tunis, octobre 1984. Edité par la Maison Tunisienne de l'Édition, 1988.

**Gaschen S., Mans H.-G., Streilein A.** (1994). Einsatz der Photogrammetrie beim Kulturgüterschutz im Jemen. Vergleich verschiedener Auswertemethoden. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 8/94.

**Grussenmeyer P., Merckel B.** (1995). Architectural photogrammetry with metric and non-metric cameras. Test object for architectural photogrammetry, (C.I.P.A.).

**Hanke K.** (1994). The Photo-CD - A source and Digital Memory for Photogrammetric Images. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Volume XXX Part 5, pp144-149.

**Icomos 1993 and the authors.** Architectural photogrammetry. Published in 1993 by the Sri Lanka National Committee of ICO-MOS.

**Kager H, Waldhäusl P.**, 1990. Orient - A Universal Photogrammetric Adjustment System. Product information, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Technical University Vienna.

**Karara H.M.**, (1989). Non Topographic Photogrammetry. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

**Kölbl O.**, (1992). Perspectives de la photogrammétrie moderne. Revue géomètre N°11/1992.

**Saint Aubin Jean Paul** (1992). Le relevé et la représentation de l'architecture. Paris : Inventaire Général, E.L.P. 232p.

**Schiessel F.**, (1995). Photogrammétrie architecturale au Château de Lichtenberg : mise en œuvre de différentes méthodes de restitution. Mémoire de Diplôme d'ingénieur E.N.S.A.I.S., inédit.

**Waldhäusl P. and Burtscher T.** (1989). Evaluation of photogrammetric methods for the documentation of the world's architectural heritage. XII Int. Symp. on Architectural Photogrammetry, Roma.

La mémoire de l'existant !



**Rollei**  
Metric Service

### Un système polyvalent de métrologie 3D :

Des mesures photogrammétriques de l'existant, pour une restitution adéquate plane ou tridimensionnelle des données pour la CAO (précision jusqu'au 1/10ème de mm).  
Bénéficiant de 75 ans d'expérience en Haute Précision, les appareils spéciaux Rollei associés à une station de travail PC et aux logiciels RolleiMetric, **c'est la solution** en photogrammétrie.

**Demandez  
notre documentation  
technique**

**Rollei**  
Metric Service

7, rue Victor Hugo - 92323 Châtillon Cedex - Tél. (1) 47 35 08 93 - Fax (1) 47 35 64 70