

PHOTOGRAMMÉTRIE POUR LA RECHERCHE ARCHITECTURALE: VINGT ANS D'EXPÉRIENCE À L'ÉCOLE D'ÉTUDES ARABES

Antonio Almagro

*Escuela de Estudios Árabes, CSIC Laboratorio de Arqueología y Arquitectura de la Ciudad, LAAC
c/ Frailes de la Victoria 7, E8010 Granada, ESPAGNE
aalmagro@eea.csic.es*

Résumé

En 1987, une nouvelle ligne de recherche sur l'architecture islamique fondée sur l'utilisation de la documentation métrique rigoureuse a démarré à l'École d'Études Arabes (Escuela de Estudios Árabes, Consejo Superior de Investigaciones Científicas) de Grenade. À cet effet, une équipe de photogrammétrie a été mise en place avec le matériel et le personnel adéquat. Aujourd'hui, les résultats de ce processus de documentation peuvent être analysés avec un recul suffisant pour pouvoir juger du degré de réussite des réalisations, tant au niveau quantitatif -le nombre important de bâtiments documentés- qu'au niveau qualitatif par l'amélioration de la qualité de l'information disponible aujourd'hui en comparaison avec l'existant antérieur, et par le développement de méthodes simplifiées qui permettent une utilisation généralisée de ces techniques. Alors que la plupart des recherches actuelles dans le cadre de la photogrammétrie et des techniques connexes tendent à automatiser les processus, on oublie souvent que les systèmes traditionnels de représentation de l'architecture (plans, élévations, coupes, dessinés au trait sur papier, en noir ou en couleur) restent pour le moment les plus utilisés et qu'ils doivent être réalisés par des personnes avec une bonne connaissance de l'architecture et de ses formes de représentation. Nous présentons des expériences de relevés effectués aussi bien dans le cadre de nos recherches sur l'architecture islamique que dans l'enseignement des techniques de relevés pour architectes avec les moyens matériels et les méthodes utilisés dans chaque cas.

Mots clés : Photogrammétrie analytique et numérique, documentation architecturale, systèmes simplifiés, techniques de représentation.

Abstract

In 1987 a new line of research about Islamic architecture was started in the School for Arabic Studies. It was based on the use of accurate planimetric documentation. In order to do so, a photogrammetry team was created with adequate instruments and personnel. After a significant amount of time, the results of this documentation process can be analysed with enough perspective to evaluate how the goals have been achieved, both in quantity, for the high number of buildings that have been surveyed, and in quality, for the improvement of the quality of information available today in relation to that that was available in the past, and for the development of simplified methods that allow an extensive use of these techniques. Because most of the research carried on today on photogrammetry and related techniques tends to make the process almost automatic, it is often neglected that traditional architecture representation systems (plans, elevations, sections ... drawn with black or colour lines on paper sheets) is still now the most used and that those documents must be made by people with a good knowledge of architecture and its means of representation. We present several cases of architectural surveys made both by us in the course of our research works on Islamic architecture and as training works on architectural survey for architects, using the aforementioned means and tools.

Keywords : Analytical and digital photogrammetry, architectural records, simplified methods, representation techniques.

1. Introduction

Depuis 1987, l'École d'Études Arabes intègre un groupe de recherche dédié à l'étude de l'Architecture Islamique, plus particulièrement en Andalousie, qui était la zone de la péninsule ibérique sous domination musulmane au Moyen-Âge. Depuis le début de l'activité du groupe, nous avons pensé qu'il était essentiel de disposer d'une information métrique rigoureuse et précise, pour garantir la validité des études menées, parce que la géométrie est une forme de connaissance fonamen-

tale en recherche architecturale. Il paraissait donc obligatoire de posséder les moyens techniques les plus appropriés pour cette documentation archéologique et architecturale. L'expérience des nombreuses années dédiées à la restauration de monuments et à la documentation et étude du Patrimoine nous a amené à intégrer toutes les techniques possibles, autant manuelles qu'instrumentales.

La documentation géométrique de l'architecture est l'une des méthodes fondamentales tant pour l'inventaire et la protection du patrimoine construit, que pour son

étude et son analyse, deux processus qui sont clairement liés. L'identification des éléments architectoniques trouve sa meilleure expression avec l'outil même qui a présidé à son processus créatif, c'est-à-dire le dessin, qui associe à la simple représentation graphique les qualités mesurables du bâtiment lui-même. Autrement dit, le dessin permet leur reconnaissance au moyen de l'image et de la mesure.

La représentation de l'architecture historique ayant pour buts simultanés sa préservation et son étude, pose des problèmes spécifiques, parce que la connaissance des formes réelles est aussi indispensable pour les besoins de sa conservation, que pour une étude historique correcte et formelle, puisque dans les deux cas il faut séparer la réalité physique de la simple interprétation formelle, qu'elle soit structurelle ou typologique.

Naturellement, ces besoins peuvent être nuancés selon la phase du processus de préservation ou d'étude, mais il faut éviter à tout moment de donner pour une représentation de la réalité ce qui ne serait qu'une interprétation plus ou moins personnelle de cette réalité. En un mot, il s'avère indispensable de disposer d'une information la plus objective possible des biens à protéger.

Les caractéristiques spatiales que présente l'architecture islamique et les difficultés qui en découlent pour sa documentation correcte, ajoutées à l'expérience de nombreux travaux de ce type (Almagro, 1986, 1988, 1990), nous ont conduit à choisir la photogrammétrie comme technique la plus appropriée, autant en documentation architecturale qu'archéologique.

2. Les instruments

À tout moment nous avons essayé d'utiliser la technologie disponible en l'adaptant à nos besoins, tout en nous astreignant toujours à des critères d'efficacité et d'économie. Au début, nous avons acquis un restituteur stéréoscopique analytique de petit format Adam MPS2, solution économique par rapport à des restituteurs coûteux de grand format. Il dispose d'une interface qui permet la restitution «en ligne» sous AutoCad, avec les avantages de l'édition et de la correction simultanée de la restitution. Quelques années plus tard nous avons pu acquérir un restituteur analytique de grand format LEICA SD2000 qui nous a permis d'effectuer des restitutions de photographies aériennes ainsi que d'améliorer la précision des travaux. Pour effectuer les relevés et obtenir la précision adéquate, il était nécessaire de disposer de photographies métriques ou d'appareils photo semi-métriques. La solution initialement choisie a été un appareil Rolleiflex 6006 Metric avec des objectifs de 40 mm et de 80 mm. Nous travaillons avec ces instruments depuis l'année 1989. Plus tard nous avons transformé un appareil Hasselblad SWC en un appareil semi-métrique grâce à l'inclusion d'un réseau dans le plan de l'image et à l'étalonnage des constantes de l'appareil photographique par ajustement de faisceaux. Les résultats furent très satisfaisants.

Ensuite nous avons utilisé la même technique pour calibrer les appareils photographiques numériques. La préoccupation que nous avons toujours eu de faire de la photogrammétrie un système efficace, non pour sa précision mais pour les facilités qu'elle offre dans la prise de données et dans la documentation d'objets complexes, nous a toujours amenés à utiliser des méthodes qui simplifient le travail de terrain et surtout, l'instrumentation requise, en essayant qu'elle soit réduite à un appareil photographique et à un autre instrument de mesure de transport facile (mètre ruban ou télémètre laser). De cette manière, nous essayons de limiter les éléments d'orientation du modèle à une distance et une série de références prises sur l'objet lui-même, comme un plan vertical ou horizontal et une ligne horizontale ou verticale pour définir les plans et les axes du système de projection. Ce système simplifié, que nous avons adapté aux différentes instrumentations disponibles, n'est applicable qu'à des objets de taille moyenne et qui peuvent être documentés avec un petit nombre de modèles stéréoscopiques. Pour les grands projets de documentation, nous continuons à utiliser les restituteurs analytiques avec des photographies métriques et semi-métriques et des données d'appui topographiques, mais nous adoptons des systèmes plus simples pour une grande partie du travail quotidien de recherche qui ne requiert pas une grande précision et qui concerne généralement les bâtiments les plus petits. Simultanément, l'apparition de la photographie numérique a entraîné une révolution pour la photogrammétrie, permettant d'en étendre l'emploi aux professionnels d'autres champs d'activité. Le fait que les données métriques fassent partie intrinsèque des images numériques, et que, grâce à cela, on n'ait plus besoin d'instruments coûteux pour les mesurer, a permis de réduire drastiquement le prix des équipements nécessaires. Cela nous permet d'utiliser ces techniques par nous-mêmes, architectes et archéologues, aussi bien sur le chantier qu'en déplacement hors du laboratoire.



Figure 1 : Système de vision stéréoscopique pour le logiciel VSD.

Nous avons longtemps utilisé le logiciel ASRix de rectification d'images développé par Steve Nickerson

pour la réalisation de photo-plans de surfaces planes (façades, sols...) (Nickerson et Chapiro, 2005). Ce logiciel présente l'avantage de permettre de travailler dans l'environnement AutoCAD en insérant les photos rectifiées dans un espace tridimensionnel de manière simple et très intuitive. Pour la restitution stéréoscopique et tridimensionnelle nous utilisons jusqu'à très récemment le logiciel VSD du Prof. J. Jachimski (Jachimski, 1995), la vision des couples de photos présentées sur l'écran de l'ordinateur étant assurée au moyen d'un stéréoscope (Figure 1). Tout cet équipement s'appuie sur deux idées de base : il doit être de maniement simple, et par conséquent d'apprentissage facile, et doit permettre de travailler sur le site de façon rapide avec un minimum d'instruments, en permettant de réduire de façon considérable le travail à réaliser hors du bureau. À cela s'ajoute un coût réduit. Par ailleurs nous réussissons à associer tous ces composants avec la mise au point d'un système photogrammétrique portable, susceptible d'être transporté et utilisé n'importe où, et avec d'énormes possibilités d'utilisation plus particulièrement en archéologie.

Actuellement nous travaillons avec le logiciel Poivilliers F développé par Yves Egels (IGN, France) qui unit à tout ce dont nous venons d'exposer, le confort de travail grâce à l'utilisation de lunettes d'obturation contrôlées par infrarouge que les progrès technologiques ont mis à notre portée à un coût tout à fait abordable et qui fonctionnent maintenant également avec des écrans plats (Figure 2). Nous espérons seulement que dans un bref délai il puisse aussi être utilisé avec des ordinateurs portables.



Figure 2 : Système de vision stéréoscopique pour le logiciel Poivilliers F.

3. Méthodes

Nous avons toujours utilisé la mesure topographique pour établir des systèmes de référence et en particulier pour le relevé des plans d'étages, et nous avons même effectué des relevés complets avec cette technique. Cette procédure permet aussi d'obtenir les mesures d'appui nécessaires pour les restitutions photogrammétriques.

Toutefois, la mesure point par point par station totale, si elle est à la fois précise et fiable, s'avère insuffisante pour arriver à nos fins. L'architecture arabe

en général et hispano-musulmane en particulier, présentent habituellement des éléments d'ornement de petite taille et une grande profusion de motifs décoratifs, ce qui rend le relevé par la méthode du «point par point» non viable en pratique. Les fouilles présentent également des éléments de structure complexe dont le relevé par le procédé du «point par point» peut aussi s'avérer irréalisable. Par conséquent nous considérons comme indispensable de pouvoir disposer de systèmes de photogrammétrie.

Avec l'expansion de la photographie numérique, nous avons eu recours comme nous l'avons déjà dit à l'utilisation d'un logiciel de rectification photographique, qui est d'une grande efficacité, si l'objet à mesurer est plan ou de relief très faible. Si ce n'est pas le cas, il est nécessaire d'employer plusieurs images. Dans notre cas, nous avons décidé d'utiliser la technique de la stéréophotogrammétrie étant donné que la vision stéréoscopique constitue déjà une précieuse alliée pour l'analyse et l'interprétation de l'architecture, et le moyen le plus efficace pour permettre le dessin continu d'éléments qui, par leur complexité, ne peuvent être assimilés à des formes géométriques simples (Figure 3).

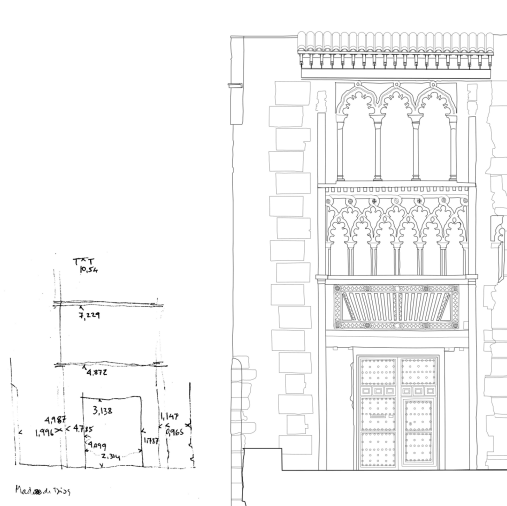


Figure 3 : Données métriques et restitution de la façade Mudéjar du palais des Oter de Lobos, à Tolède.

Il est difficile d'innover dans le domaine de la restitution photogrammétrique quand le résultat reste une représentation traditionnelle en plans, coupes et élévations. En revanche des progrès importants ont été faits au niveau de la prise de données, qui constitue une étape cruciale parce qu'elle est généralement effectuée loin du lieu habituel de travail, avec peu de moyens auxiliaires et un délai court. Il faut souligner que la prise de données conditionne absolument les possibilités et l'envergure du relevé. Dans ce domaine nous avons acquis une grande expérience pour simplifier l'obtention des prises de vues, en permettant de les faire rapidement et en réduisant autant que possible les mesures complémentaires. Le relevé avec mesure de

points d'appui complets exige généralement l'utilisation du théodolite, ce qui suppose davantage d'équipement à transporter et surtout l'emploi de personnel qualifié et plus de temps pour la prise de données. La mesure avec des méthodes topométriques reste malgré tout indispensable quand le bâtiment est très grand ou très complexe et nécessite beaucoup de couples stéréoscopiques, ou quand un haut degré de précision est nécessaire. Mais dans beaucoup de situations, surtout dans les cas simples d'un inventaire de bâtiments ou d'une première analyse et d'un diagnostic, nous pouvons avoir recours à des méthodes plus simples, si comme c'est le cas habituellement rien ne nous empêche d'établir un système de référence arbitraire, seulement conditionné par le maintien d'un plan horizontal comme seule référence obligée. Les possibilités que le logiciel lui-même et spécialement le composant de DAO offre pour fixer les directions des axes et des plans de projection, peuvent simplifier de façon notable les travaux de terrain.

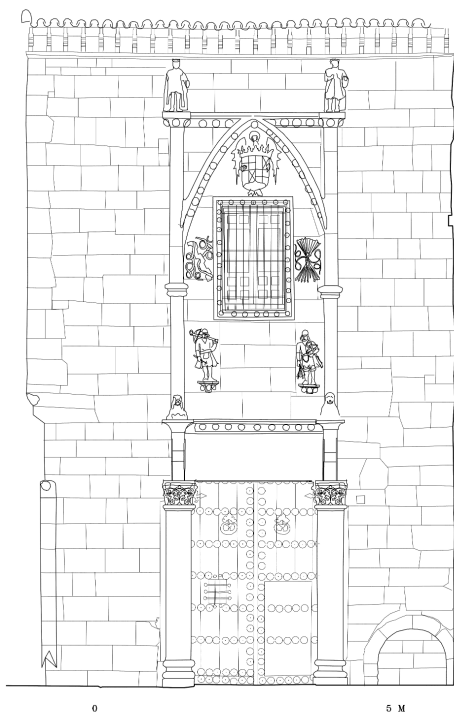


Figure 4 : Façade du "Mesón de la Hermandad" de Tolède restituée à partir d'un couple de photos et une mesure de distance.

Des différents essais effectués, pour des bâtiments ou des éléments qui peuvent être documentés avec un seul couple de photographies, la méthode la plus simple consiste à fixer un niveau à l'appareil photo pour que le plan de l'image soit vertical et de cette manière établir un système de référence sur la base du plan de l'appareil gauche. Il suffit dans ce cas de prendre une mesure ou de placer sur l'objet une référence de longueur pour pouvoir avoir les éléments suffisants pour une restitution qui est effectuée après une simple orientation relative des

photos et un ajustement de l'échelle (Figure 4). Le restituteur Adam dispose d'une option d'orientation pour ces cas. Un niveau à bulle, fixé dans le support du flash de l'appareil photo donne une précision suffisante. En tout cas l'erreur planimétrique qui se produit peut être la plupart du temps considérée comme négligeable.

Un autre système consiste en la fixation du système de référence au moyen d'éléments photographiés, comme un fil à plomb ou une ligne nivelée. Actuellement, les systèmes de photogrammétrie numérique que nous utilisons permettent d'effectuer ces ajustements de manière simple. Le logiciel VSD dispose d'un système d'orientation adapté à ces cas. Avec Poivilliers F on peut utiliser un système de contrôle minimal sur la base de trois points avec altimétrie pour déterminer uniquement un plan (vertical ou horizontal) et deux points avec les trois coordonnées pour fixer une distance et une direction horizontale ou verticale.

De cette façon, avec un couple de photographies obtenues de façon idéale selon le cas normal ou proche du cas normal, une distance mesurée et la référence d'un plan vertical ou horizontal sur l'objet (facile à définir sur une façade ou un sol), on peut facilement obtenir des documents graphiques et métriques avec peu d'efforts sur le terrain.

4. Quelques exemples

Dans les différentes figures suivantes, on montre divers exemples de travaux effectués grâce à l'utilisation de ces instruments et de ces méthodes.

En dehors de cas de monuments de grandes dimensions dont la taille ou la complexité ont justifié une documentation systématique avec photogrammétrie traditionnelle au moyen de restitutions de photos métriques sur des instruments analytiques et de points d'appui issus de réseaux topométriques, on montre des exemples de travaux effectués avec une prise de données très simplifiée.

La Cathédrale de Séville ou la Chartreuse de Grenade sont des exemples de grands monuments: le premier, la plus grande cathédrale gothique d'Europe par la surface qu'elle occupe, et le second, un cas d'ornementation extrêmement complexe et étendue (Figures 10 et 11).

La documentation des portails de palais médiévaux de Tolède a été effectuée lors d'une visite rapide en prenant des couples stéréoscopiques et de simples distances, dans le but de confectionner un inventaire. En à peine deux heures, toute la prise de données des façades les plus importantes a été faite, y compris le temps de déplacement en ville (Figures 3, 4 et 5, 6 et 7).

Un exemple intéressant d'application de cette méthode simplifiée, à un cas relativement complexe, est le relevé du pavillon ou qubba occidental du palais du Badi de Marrakesh (Figures 8, 9 et 12). Des couples stéréoscopiques de toutes les parois ont été pris avec un ap-

pareil photo numérique, avec les mesures nécessaires pour dessiner le plan, obtenues au moyen d'un distance-mètre laser Leica. Certaines de ces mesures et observations à l'intérieur du bâtiment, comme la vérification de la verticalité des murs, ou des traces des socles couverts de zelij (mosaïques de pièces émaillées) qui marquent une ligne horizontale sur toutes les parois, ont permis une restitution complète en 3D de la totalité du monument grâce à laquelle on a pu commencer son étude et la formulation d'hypothèses sur sa forme d'origine (Figure 13).

5. Réflexions sur le présent et le futur

Il ne faut pas oublier que la photogrammétrie classique, basée sur la restitution stéréoscopique, n'est rien de plus qu'une technique de mesure. Comme tous les autres instruments et systèmes, elle n'est qu'un simple outil, certes plus sophistiqué et plus précis qu'un mètre ruban, mais au bout du compte un simple instrument. La qualité du résultat final du travail, surtout quant à l'expression graphique, dépend dans tous les cas de celui qui manie ces instruments. Et en architecture, le processus de sélection et l'abstraction qui suppose de passer de la réalité de l'œuvre architectonique à sa représentation par un dessin requiert une activité de type intellectuel que les machines, jusqu'à présent, ne peuvent pas effectuer de manière pleinement efficace. Par conséquent, la qualité d'un relevé dépend en grande partie de l'habileté, de la pratique et surtout, de la capacité d'interprétation de l'opérateur qui manie le système de restitution.

Les nuages de points 3D

Le besoin de faciliter les processus en les rendant moins dépendants d'un travail délicat et parfois fatigant, a mené à un grand développement des systèmes automatisés dans lesquels l'opérateur a moins de travail, mais aussi moins de capacité de décision. Le développement des scanners, qu'ils soient laser ou bien basés sur la corrélation automatique entre plusieurs photographies pour produire des nuages de points tridimensionnels, a été pendant ces dernières années le grand domaine de recherche et de progrès dans les techniques de mesure et de documentation. Les scanners laser sont encore loin de résoudre de façon adéquate beaucoup des problèmes qui se posent aujourd'hui. Premièrement à cause du coût énorme des instruments et du logiciel, deuxièmement à cause de la nécessité d'un personnel très qualifié pour son maniement, troisièmement, parce que l'information qu'ils fournissent (nuages de points aléatoires ou modèles photographiques 3D) n'est pas facile d'utilisation pour les usagers et est difficilement convertible aux formats habituels de la représentation architectonique. Les scanners appelés photogrammétriques, basés sur l'utilisation de photographies pour obtention de nuages de points, présentent

l'avantage d'un coût beaucoup plus abordable, mais continuent à présenter les problèmes précédemment évoqués. Le maniement de l'information obtenue au moyen des nouveaux procédés requiert toujours des systèmes technologiques, généralement informatiques (matériel et logiciel), dont beaucoup sont actuellement chers et d'utilisation compliquée. Ceci fait que les utilisateurs finaux ont peu les moyens de mettre à profit le potentiel de ces systèmes. D'autre part, il faut considérer qu'étant donné la formation traditionnelle qu'ont reçue la plupart des techniciens, leur mentalité est plus préparée à interpréter et à assimiler l'information contenue dans les dessins traditionnels que dans les images tridimensionnelles fournies par les nouvelles techniques. Pour cette raison, malgré l'apparence spectaculaire de ces images, il est peu probable qu'elles donnent directement la réponse réelle aux besoins de l'activité quotidienne de la conservation pour les deux motifs évoqués: nécessité de compter sur les moyens technologiques adéquats, non seulement au bureau mais aussi souvent sur les chantiers, et manque de formation et capacité de compréhension de l'information fournie.

Données de masse ou données sélectionnées?

Sans doute, le scanner laser peut-il donner très rapidement une plus grande précision en comparaison avec la mesure de points par photogrammétrie, mais son système de mesure de points aléatoires finit aussi par générer dans beaucoup de cas des imprécisions importantes, surtout en ce qui concerne la représentation précise des bords clairement définis des éléments. C'est pour les surfaces sans bord net, que ces instruments apportent une aide presque sans pareil. Un cas évident est celui des peintures sur les surfaces courbes pour lesquelles la façon d'obtenir une représentation digne de confiance, autant dimensionnelle que de contenu est par le recours au modèle 3D texturé. Il faut considérer qu'une grande masse d'information stockée brute n'est pas nécessairement plus utile qu'une information judicieusement choisie et interprétée. Il s'avère difficile d'admettre que les nuages de points ou les modèles photo-réalistes tridimensionnels, malgré leur effet, permettent une meilleure compréhension de la réalité dimensionnelle et spatiale d'un bâtiment que celle fournie par une bonne série de plans, élévations et coupes effectuées en suivant les procédés et les critères traditionnels.

Le relevé pour la connaissance

Mais, comme il ne pouvait en être autrement, cette automatisation a été en grande partie menée à bien par des chercheurs spécialisés en photogrammétrie et traitement d'images, qui tentent d'offrir aux utilisateurs chargés du Patrimoine des instruments confortables et précis. Or, dans ce processus on a un peu oublié que le dessin est à la fois une méthode de représentation et une méthode d'analyse et par conséquent de connaissance. Dans la mesure où nous remplaçons l'homme par

la machine ou par le logiciel, nous perdons des capacités d'analyse et d'acquisition directe d'information, que nous devons alors acquérir par d'autres moyens. Se passer du dessin traditionnel et de son processus de réalisation peut supposer de renoncer à une forme d'acquisition de connaissance qui jusqu'à présent a fonctionné parfaitement, sans que nous puissions assurer que les documents graphiques que les nouvelles techniques nous procurent, pourront remplacer de façon satisfaisante la méthode traditionnelle, ou qu'ils seront obtenus par un procédé réellement plus commode.

Une autre question essentielle est celle que l'on se pose devant l'absence d'analyse et d'interprétation de l'élément par la personne qui fait le relevé. L'interprétation doit être effectuée par l'utilisateur final, ce qui offre les avantages évidents que ceux qui font le relevé n'ont pas besoin d'être experts dans la représentation, mais présente aussi l'inconvénient que l'utilisateur final peut manquer des éléments adéquats en devant interpréter le relevé de façon différée et sans contact direct avec l'élément à représenter.

La question s'avère plus critique si l'utilisateur final est un public non averti ou si les travaux doivent être publiés sur papier. La transformation des données obtenues avec des systèmes de documentation automatisée en dessins conventionnels est encore un sujet qui nous renvoie aux procédés de la documentation traditionnelle.

Cet aspect de la représentation, basée sur l'interprétation et l'analyse simultanée de l'objet, s'avère indispensable dans les systèmes traditionnels mais tend à être omis en raison d'une part de la recherche de méthodes toujours plus automatisées, mais aussi parce que cet aspect ne s'avère pas prioritaire pour ceux qui développent les nouveaux systèmes.

Le relevé graphique

Sans doute peut-on réconcilier les nouvelles technologies en développement avec le besoin d'analyse lors du relevé, à condition de considérer que le modèle 3D obtenu n'est pas un relevé en soi, mais un produit intermédiaire (à livrer au client ou non, ça peut se discuter...) au même titre que la prise de vue stéréoscopique ou les points d'appui. Ce constat implique le besoin d'un logiciel (simple et gratuit si possible) destiné à produire des relevés (au sens architectural du terme) exploitables à partir à la fois de nuages de points (laser ou obtenus par corrélation dense), mais aussi d'images, de relevés point à point, de restitution stéréo etc. Il est des domaines où le laser est imbattable, par exemple pour obtenir des plans ou des coupes de grands bâtiments. Mais, même dans le simple cas de coupes, rendre lisibles et utilisables les coupes issues du modèle 3D nécessite une bonne compréhension du monument. Pour d'autres relevés, il sera préférable de recourir à la stéréo, ou au redressement, à l'orthophoto, etc. Là encore, il y a un besoin important de formation, ne serait-ce que pour la rédaction de cahiers des charges, dans la mesure où l'élaboration des modèles 3D est souvent confiée à des

entreprises spécialisées, ou pour choisir la source de données la plus efficace.

Face à tout ceci la photogrammétrie stéréoscopique a atteint une maturité et un développement dignes d'être exploités avant d'être relégués. Nos travaux et les exemples présentés donnent la preuve des possibilités qu'offre une instrumentation aujourd'hui totalement abordable grâce à l'utilisation d'un matériel standard de bas coût et de logiciel toujours plus répandus et économiques (sinon d'utilisation libre).

Des expériences que nous avons acquises avec les instruments et techniques appliquées décrites, par exemple, sur des façades de bâtiments de taille moyenne (jusqu'à 15 m de hauteur) nous pouvons déduire quelques conclusions intéressantes. En comparant des restitutions photogrammétriques avec des relevés effectués avec des moyens manuels on observe que dans les zones où il a été facile de mesurer avec le mètre ruban, les dessins coïncident. Toutefois, apparaissent des erreurs considérables dans les zones inaccessibles et dans le cas d'éléments qui sont sur différents plans et pour lesquels on n'a pas effectué un recalage qui les met en rapport. Les erreurs commises dans la mesure avec des moyens manuels, si elle est effectuée avec peu de minutie, s'avèrent souvent excessives même pour une échelle de 1/100ème. Malgré tout, le temps de prise de données est généralement assez long. La prise de données avec un appareil semi-métrique ou numérique calibré et un appui complet avec station totale peut réduire le temps de prise de données de plus de 50% par rapport au relevé manuel, mais on obtient par ailleurs une bien plus grande précision. La prise de données avec un contrôle réduit, sans utilisation de station totale, procure une économie considérable de temps (jusqu'à n'avoir besoin que de 5% du temps de la mesure manuelle et de 20% du temps requis pour un contrôle complet) sans augmenter excessivement les erreurs. En tout cas, la précision obtenue est plus que suffisante pour dessiner à l'échelle du 1/100ème. On considère en outre que le temps de restitution peut prendre entre 50 et 70% du temps nécessaire pour dessiner au propre un relevé manuel.

Cette expérience permet de vérifier que l'on peut utiliser la photogrammétrie dans des relevés de monuments et de restes archéologiques de taille réduite ou moyenne sans avoir besoin de recourir à des équipements sophistiqués et coûteux. En un mot, les équipements disponibles sur le marché sont susceptibles d'être utilisés dans tout centre de recherche ou de documentation, de par leur coût raisonnable, et le fait de ne pas nécessiter d'un personnel très spécialisé en photogrammétrie. En résumé, la photogrammétrie a cessé d'être une technique sophistiquée et coûteuse pour se mettre à la portée de toute institution ou professionnel avec des responsabilités sur le patrimoine culturel.

6. Conclusion

Aujourd'hui le problème réside réellement dans la formation de personnes capables de manier ces systèmes. Dans ce domaine, nous disposons aussi de l'expérience de l'introduction de la photogrammétrie dans les cours de conservation tant au niveau local à l'École d'Architecture de Grenade (Almagro, 2004) qu'au niveau international à l'ICCROM (Centre International pour la Conservation de Rome) (Almagro-Vidal et Almagro, 2005). L'apprentissage de l'utilisation du logiciel ne présente pas de problèmes et est facilement assimilé par les élèves, spécialement dans la rectification photographique. La restitution stéréoscopique requiert davantage de temps de formation pratique, dont on ne dispose généralement pas, ce pourquoi les résultats peuvent parfois paraître quelque peu décevants. S'adapter à la vision stéréoscopique et au maniement du ballonnet n'est pas immédiat. Cela requiert quelques mois de pratique jusqu'à l'obtention de résultats pleinement valables, mais si nous le comparons avec le temps nécessaire pour utiliser avec aisance un autre type de logiciel, comme par exemple AutoCAD, nous vérifierons qu'il n'est pas très différent. L'important est que, pour que cet apprentissage soit généralisé, il doit préalablement exister une prise de conscience par les utilisateurs potentiels et les responsables de la conservation du Patrimoine à tous les niveaux. La photogrammétrie doit être diffusée et être enseignée, non plus comme un système sophistiqué et complexe mais comme une technique abordable. La photogrammétrie devrait non seulement être synonyme de précision mais, surtout, de rapidité et d'efficacité dans la documentation.

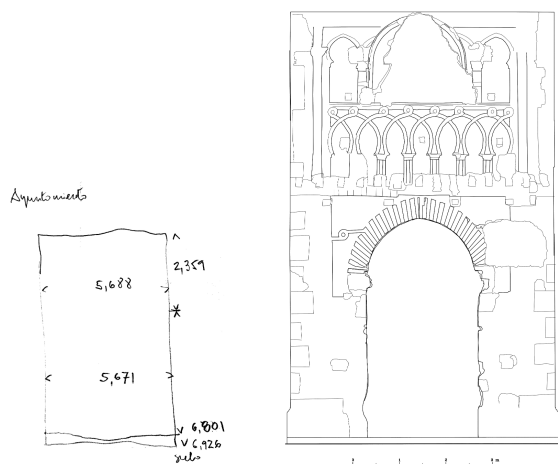


Figure 5 : Mudéjar à l'intérieur de l'Hôtel de Ville de Tolède.

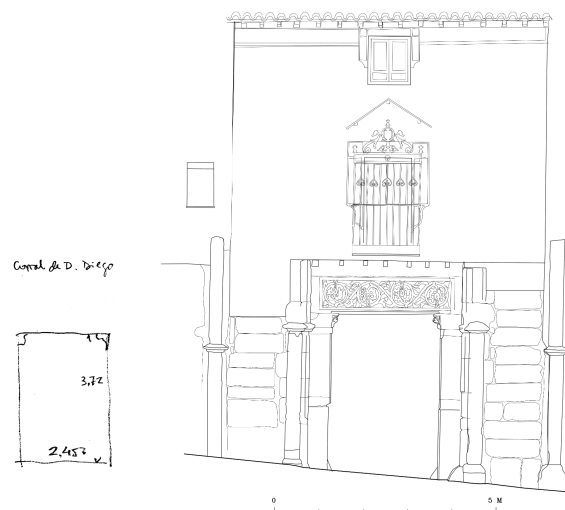


Figure 6 : Données métriques et restitution de la façade du Corral de D. Diego, de Tolède.

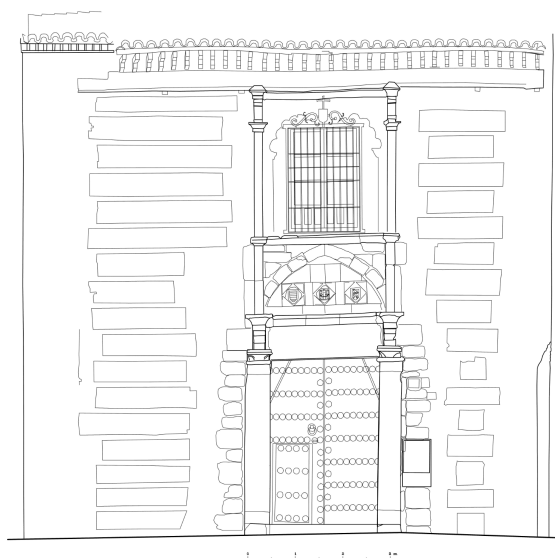


Figure 7 : Façade du palais des Ayala à Tolède.

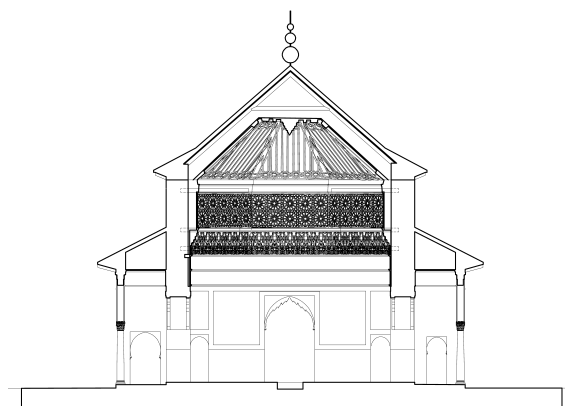


Figure 8 : Coupe hypothétique du pavillon ouest du Palais du Badi, basée sur le relevé photogrammétrique.

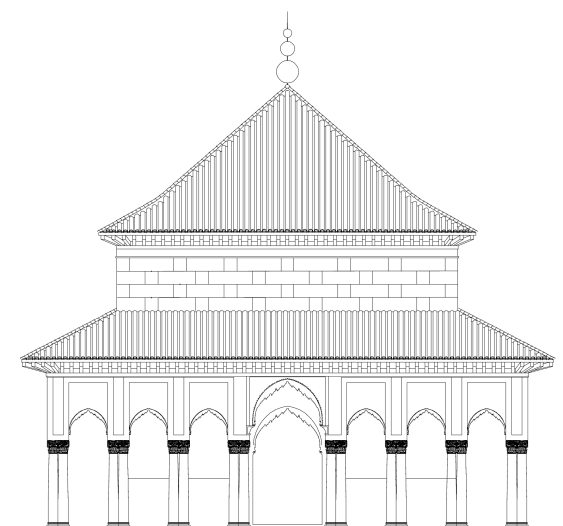


Figure 9 : Élévation hypothétique du pavillon ouest du Palais du Badi, basée sur le relevé photogrammétrique.

Références

- Almagro, A., 1986. Le relevé photogrammétrique de la Giralda à Séville. Dans: Relevés photogrammétriques d'Architecture Islamique. Tunis, Tunisie, pp. 177–188.
- Almagro, A., 1988. La Alhambra y la representación de su arquitectura. Dans: Symposium Internacional de Fotogrametría Arquitectónica. Grenade, Espagne, pp. 141–154.
- Almagro, A., 1990. Photogrammétrie numérique pour la documentation du site archéologique de Madinat al-Zahr. Dans: CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage. Cracovie, Pologne, pp. 11–20.
- Almagro, A., 2004. Levantamiento Arquitectónico. Universidad de Granada.
- Almagro-Vidal, A., Almagro, A., 2005. Training on documentation in architectural heritage: The experience of ARIS and CLADIC courses. Dans: CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage. Turin, Italie.
- Jachimski, J., 1995. Video stereo digitizer. A small digital stereophotogrammetric working station for the needs of sit and other applications. *Geodesy, Photogrammetry and Monitoring of Environment (Chosen Problems)*, *Geodezja* 38, A71–93.
- Nickerson, S., Chapiro, A., 2005. ASRix: A simple image rectifier. Dans: CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage. Turin, Italie, pp. 476–480.

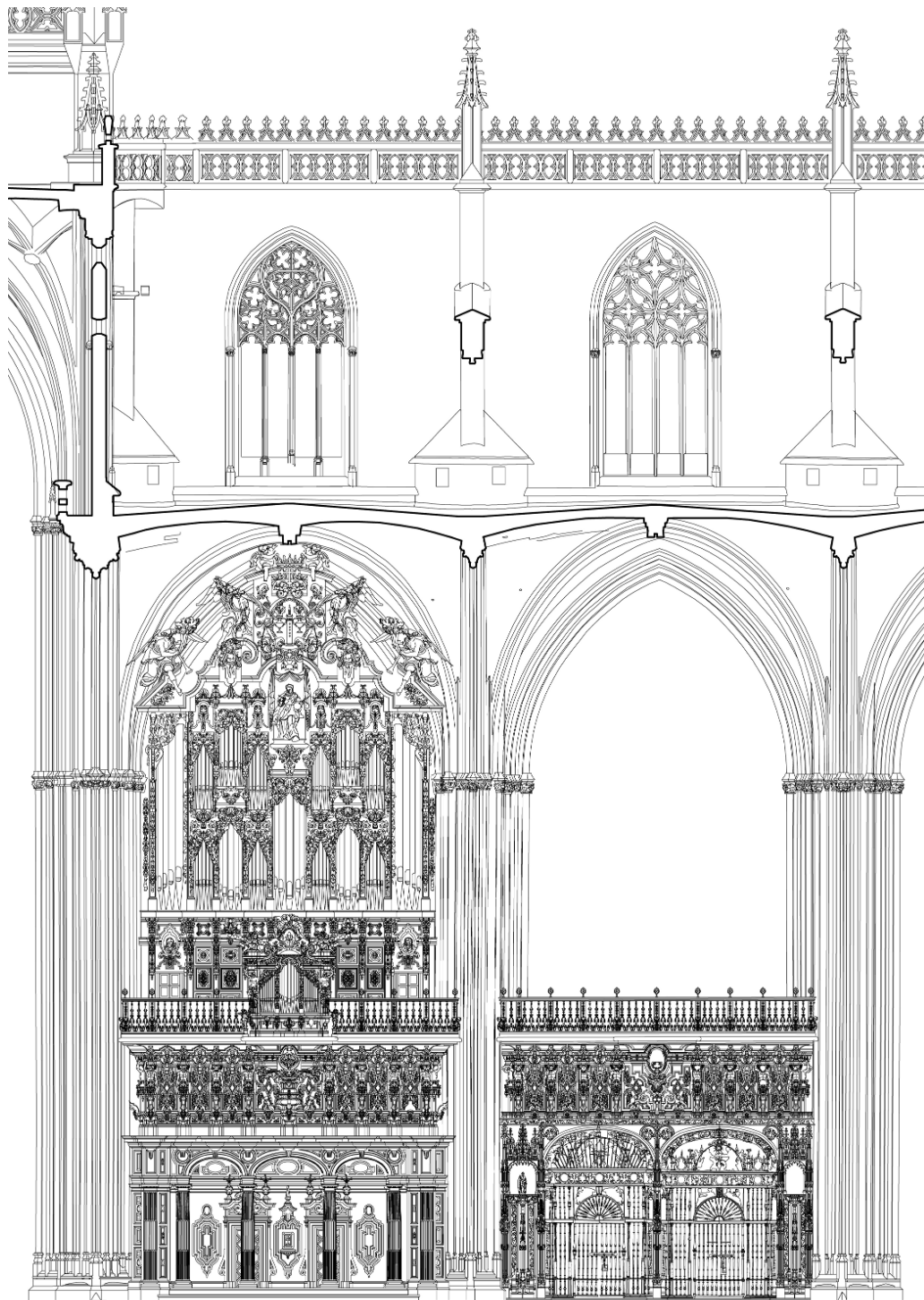


Figure 10 : Orgue et clôture du chœur de la Cathédrale de Séville, restitués par stéréophotogrammétrie.

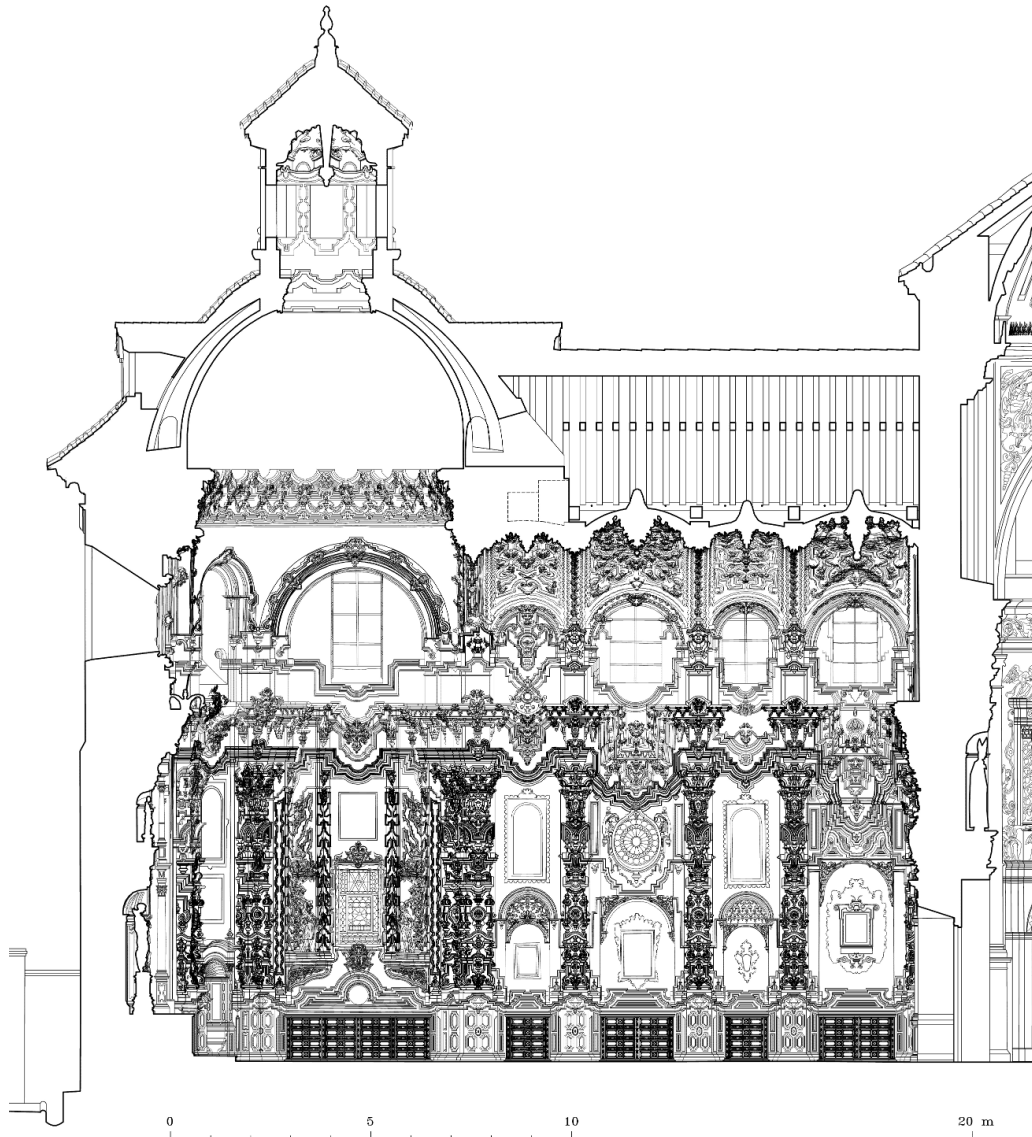


Figure 11 : Coupe de la Sacristie de la Chartreuse de Grenade restituée par stéréophotogrammétrie.

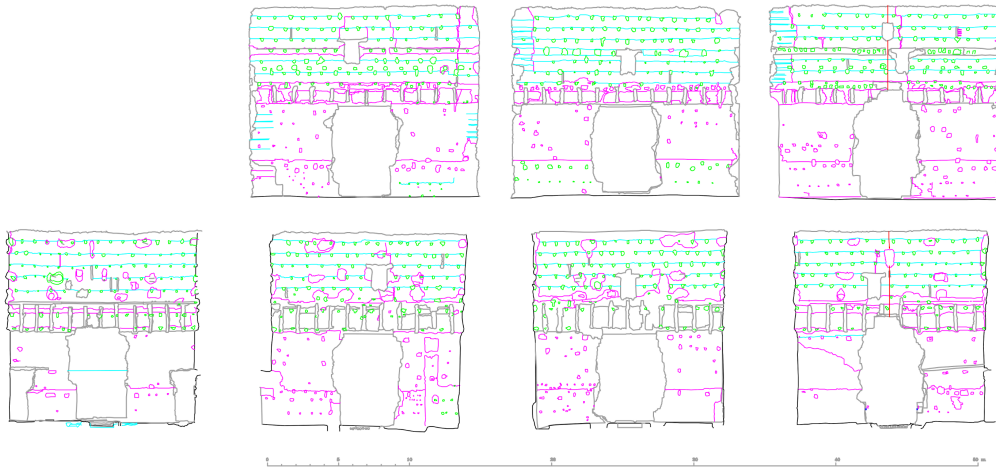


Figure 12 : Restitution des parois extérieures et intérieures du pavillon ouest du palais du Badi à Marrakech.

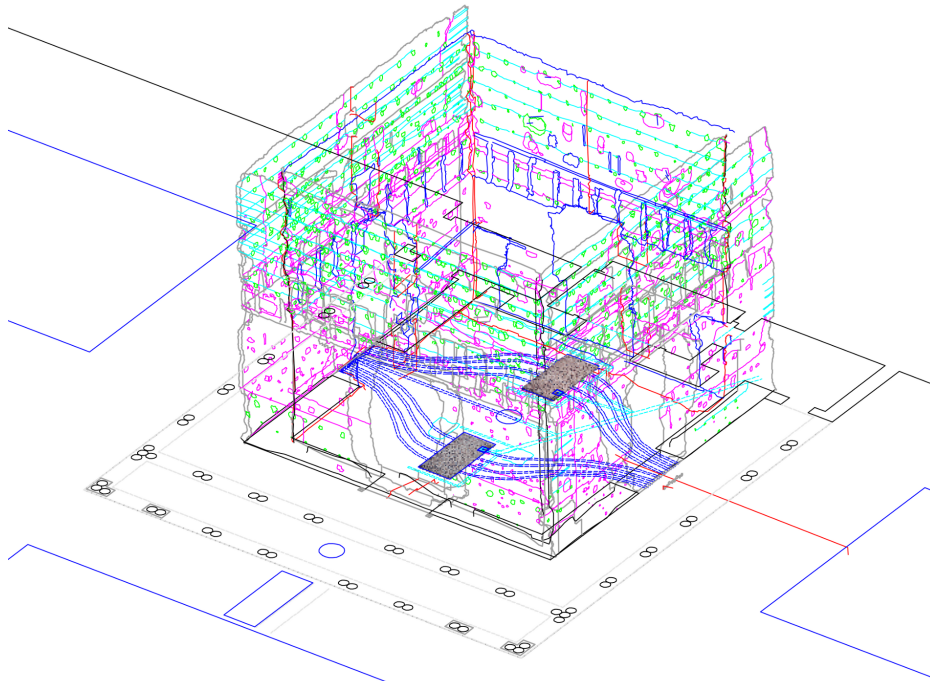


Figure 13 : Modèle tridimensionnel formé à partir des restitutions des parois du pavillon ouest du Palais du Badi à Marrakech.