

MAURICE CARBONNEL  
RELEVÉ PHOTOGRAMMÉTRIQUE DES MONUMENTS  
CONSTITUTION D'ARCHIVES PHOTOGRAMMÉTRIQUES  
DES MONUMENTS HISTORIQUES

L'application des procédés photogrammétriques au levé des monuments a été envisagée dès l'apparition de la photographie elle-même. Cependant ces procédés ne sont devenus pratiques et intéressants que depuis une vingtaine d'années, au moment où les appareils et les méthodes ont été précisés et mis au point sous une forme définitive en vue des applications topographiques.

L'Institut Géographique National français qui, pour les levés photoaériens, a organisé un des centres de photogrammétrie les plus importants du monde, a pu mettre son matériel et ses techniciens au service de l'architecture et de l'archéologie et réaliser de nombreux relevés architecturaux.

#### 1) LES TECHNIQUES PHOTOGRAMMÉTRIQUES APPLIQUÉES AUX RELEVÉS ARCHITECTURAUX

Sur le plan technique, le problème qui se pose est le suivant: déterminer les projections sur trois plans de référence convenablement choisis (généralement un plan horizontal et deux plans verticaux) des différentes parties d'un monument.

Un relevé architectural établi suivant les méthodes habituelles entraîne, pour être précis, un très grand nombre de mesures et un séjour sur place prolongé. Le volume de travail nécessaire est souvent prohibitif, surtout lorsqu'il s'agit de représenter complètement, fidèlement et en détail, des monuments importants et complexes, présentant des surfaces irrégulières (sculptures, motifs ornementaux, chapiteaux, etc.).

La stéréophotogrammétrie donne une solution à ce problème en limitant au minimum les déterminations à faire sur place; c'est là le point le plus important. Les méthodes photogrammétriques permettent de réunir très rapidement et aux moindres frais une documentation (les clichés, accompagnés d'un petit nombre de mesures topométriques) qui pourra être archivée et conservée indéfiniment; cette documentation pourra n'être exploitée sous forme de levé architectural précis que le jour où la possession de ce levé sera jugée utile.

##### 1) *Travaux sur place*

Ils comportent des prises de vues photographiques et les déterminations topométriques nécessaires à l'établissement d'un canevas de points de repère devant servir ultérieurement d'appui à la « restitution » des clichés.

*Prise de vues* - Le matériel à mettre en oeuvre comprend essentiellement des chambres métriques spécialement conçues pour la prise de vues à courte distance. Par « chambre métrique » il faut entendre des appareils photographiques mono-

blocs formés d'un corps rigide reliant l'objectif au plan d'appui de la plaque supportant l'émulsion. Ce plan porte des repères qui sont photographiés sur les clichés en même temps que le monument et qui serviront à replacer ces clichés dans des conditions identiques à celles de la prise de vues au moment de leur exploitation. Les chambres métriques doivent être étalonnées en laboratoire avec une grande précision; leur organisation exclut la possibilité d'en faire varier la distance principale en vue d'une mise au point sur des objets situés à différentes distances. Aussi est-il bon de disposer, pour les relevés architecturaux, de plusieurs jeux de chambres photographiques réglées pour divers éloignements. Il est intéressant aussi de pouvoir utiliser des appareils ayant des focales différentes. L'Institut Géographique National a étudié et réalisé dans ses ateliers plusieurs séries de chambres de 150 et 125 mm de focale et de formats 13 x 18 et 18 x 18 cm.

Avec ce matériel, les opérateurs prennent, dans des conditions bien définies, des clichés formatant, deux par deux, des couples stéréoscopiques, de façon à couvrir stéréoscopiquement toute la surface du monument ou de la partie du monument dont on désire pouvoir éventuellement faire le levé. Le nombre de clichés à prendre est fonction de l'importance du monument, de la précision à atteindre et aussi des difficultés rencontrées dans le choix des points de vue (reculs possibles, angles morts, etc.).

Ces difficultés peuvent éventuellement diminuer le rendement des opérations: le manque de recul ou les angles morts obligent en effet à prendre un plus grand nombre de clichés. Il peut-être nécessaire aussi de construire des échafaudages pour la photographie de détails d'approche difficile. Ces échafaudages, ainsi que des moyens d'éclairage artificiel, font d'ailleurs partie du matériel dont les opérateurs photogrammètres doivent disposer. Mais, même avec ces difficultés, les travaux de prise de vues restent très rapides et demandent des délais qui restent sans comparaison avec ceux qu'exigerait un relevé direct.

*Déterminations topométriques* - Elles sont, elles aussi, fort rapides. Elles consistent en l'exécution d'une petite triangulation donnant, pour chaque couple, les positions relatives d'un certain nombre de points identifiables sur les photographies. Ces points sont soit des détails bien définis du monument, soit des repères placés spécialement, repères très simples qui se réduisent fréquemment à une marque à la craie. L'essentiel est que ces points soient photographiés avec les surfaces étudiées et que les coordonnées en soient déterminées dans un système d'axes unique pour l'ensemble du monument; ainsi toutes les parties se trouvent-elles reliées entre elles et le relevé formera un tout homogène.

Les mesures topométriques ne mettent en oeuvre qu'un matériel couramment utilisé par les géomètres: théodolites, mires, stadias, décamètres, etc.

*Archives photogrammétriques d'un monument* - Comme il a été dit plus haut, les travaux sur place permettent de constituer très vite une collection de clichés couvrant un monument ou un ensemble de monuments, collection dont l'archivage rend de multiples services:

— elle reflète l'état exact du monument à la date de prise des vues; toute modification ultérieure pourra être immédiatement constatée; éventuellement, des reprises de certaines vues permettront de déceler et de mesurer les dégradations et les déformations, et ainsi d'étudier et de prévoir les modes de protection, de consolidation et de restauration à adopter.

— elle est utilisable à tout moment, soit pour effectuer des études archéologiques par simple examen stéréoscopique, soit pour faire des restitutions, totales

ou partielles, soit pour contrôler les mesures, sans qu'il soit obligatoire de revenir sur place, et permet, même après dégradation importante ou disparition totale du monument, d'en obtenir des plans fidèles et précis.

Les documents d'archives comprennent, pour chaque monument:

— le jeu des clichés négatifs originaux sur plaques de verre.

— un jeu d'épreuves-contact, sur lesquelles ont été identifiés les points de repère dont les coordonnées ont été mesurées au cours des opérations topométriques.

— un répertoire donnant la liste et les coordonnées des points ci-dessus, et tous les renseignements utiles aux restitutions futures éventuelles.

## 2) *Exploitation des archives photogrammétriques*

Lorsqu'elle est jugée utile, l'exploitation des couples de clichés se fait sur un appareil de restitution de grande précision — de 1er ordre dans la classification internationale généralement adoptée; elle donne le relevé, total ou partiel, de tout ce qui a été photographié. Ce relevé peut être fait en élévation, plan ou coupes. Une représentation géométrique exacte des surfaces non planes, quelle qu'en soit la complexité, peut être obtenue par le tracé de courbes analogues aux courbes de niveau d'une carte. Ces courbes seront effectivement des courbes de niveau s'il s'agit d'un sol, d'un plafond, d'une voûte. Elles représenteront les projections de sections planes verticales s'il s'agit de murs, de colonnes, de chapiteaux, de statues..., en général de parties du monument ayant une disposition verticale. Cette représentation en courbes est la seule qui puisse être donnée de ces éléments architecturaux lorsqu'ils n'ont pas une forme géométrique simple. Elle peut conduire, d'autre part, à l'établissement de maquettes très précises par des procédés identiques à ceux qui sont employés pour les cartes en relief; ce procédé est particulièrement intéressant pour la reproduction des bas-reliefs, dont le moulage — pour des raisons diverses — ne peut être entrepris.

La restitution photogrammétrique permet d'obtenir un relevé de qualité homogène (le moindre détail étant traduit avec la même précision que les lignes principales), grâce au tracé automatique de toutes les lignes, qui ne fait intervenir aucune interpolation; ceci ne peut être obtenu par aucune autre méthode. Ce tracé automatique, qui exclut toute interprétation personnelle, garantit également l'objectivité du relevé; il ne repose sur aucune hypothèse préalable de direction ou de forme et traduit l'état exact du monument.

La précision obtenue dans le levé peut être très grande; elle est étroitement liée aux conditions de prise de vues, mais elle atteint sans difficulté 3 à 4 mm, si les distances des points de vue aux détails photographiés ne dépassent pas 10 à 15 mètres. Pour des prises de vues plus rapprochées, elle peut être de l'ordre du millimètre (bas-relief par exemple).

Les méthodes photogrammétriques apportent donc une solution complète aux problèmes divers des relevés architecturaux, puisqu'elles sont susceptibles d'être appliquées à n'importe quel type de relevé (restitution d'un monument complet, relevé de certains éléments architecturaux ou sculpturaux...) et que la précision atteinte peut être aussi grande qu'il est nécessaire, tout en ne nécessitant que des travaux sur place de courte durée et exécutés avec un personnel très qualifié mais peu nombreux.

## II) LES RELEVÉS PHOTOGRAMMÉTRIQUES DE MONUMENTS EXÉCUTÉS PAR L'INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL

### 1) *Un travail expérimental: le relevé de la Sainte-Chapelle du Palais de Justice à Paris*

Ce travail d'essai fut effectué en 1943-44, dans le but de mettre au point un matériel et un mode opératoire pratique pour la prise de vues et d'étudier la précision obtenue. Il a comporté la restitution:

— du portail et de la rose: élévation d'ensemble à 0,02 p.m. et tracé de la rose à 0,05 p.m.

— d'une voûte: plan à 0,02 p.m. avec tracé de courbes de niveau à équidistance de 10 centimètres.

— d'un élément intérieur du mur sud et de l'élément extérieur correspondant: élévation à 0,02 p.m. et rattachement des deux relevés pour déterminer les épaisseurs du mur.

Les contrôles effectués après la restitution ont montré que l'erreur moyenne de position planimétrique d'un détail quelconque est inférieure à l'erreur graphique (2/10 mm à l'échelle du levé). On peut admettre que cette précision est obtenue toutes les fois que l'échelle du tracé reste inférieure à 5 fois l'échelle des photographies. L'erreur moyenne sur la détermination des éloignements (points cotés-courbes) reste inférieure à 1 cm pour des éloignements de 30 mètres. Il s'agit de la position absolue des points restitués par rapport à la base, les positions relatives des points voisins étant déterminées avec une plus grande précision.

Sur chaque planche, la verticale et l'horizontale vraies peuvent être tracées. Il est facile, à partir de ces repères, de déterminer l'orientation des différentes lignes qui constituent le monument. En ce qui concerne la Sainte-Chapelle, la restitution avait permis de faire les constatations suivantes:

— le monument tout entier est incliné sur la verticale (0,5 %);

— le mur du portail a participé à ce mouvement, mais le plan moyen de la rose est sensiblement vertical;

— le tracé de la rose présente d'importantes dissymétries et diffère considérablement du tracé théorique donné par Viollet-le-Duc.

### 2) *Deux relevés récemment exécutés en France*

Le premier concerne l'église Saint-Laurent au Puy-en-Velay (Haute-Loire). Ce travail a été effectué en 1962 à la demande de M. André J. Donzet, Architecte en Chef des Monuments Historiques, pour étudier les déformations de l'édifice et le système de consolidation à adopter; il donne donc un excellent exemple d'application de la photogrammétrie à l'étude de la restauration d'un monument.

Il a comporté, pour une travée complète:

— le tracé de l'élévation, à 0,02 p.m.

— le tracé du plan des voûtes, à 0,02 p.m. avec courbes de niveau à équidistance de 5 cm.

L'élévation a montré l'inclinaison des piliers et la dissymétrie de l'arc-doubleau. Sur le plan des voûtes apparaissent, dans leur position exacte, les multiples fissures,

tandis que la restitution en courbes de niveau exprime, de façon géométriquement exacte, le gauchissement de ces voûtes.

Le second relevé est celui du plafond de la salle du Théâtre National de l'Opéra à Paris. Il avait pour but de fournir les dimensions nécessaires à la fabrication et à la mise en place d'un faux plafond, doublant le plafond actuel et supportant une nouvelle peinture selon la maquette de M. Chagall. Un couple de photographies à axe vertical, prises du plancher de la salle, et une petite triangulation donnant la position de cinq repères placés près du plafond ont permis une restitution à l'échelle de 0,04 p.m. et le tracé de courbes de niveau à équidistance de 5 cm. Différentes coupes ont complété cette restitution.

### 3) *Relevés photogrammétriques des monuments égyptiens*

Ces relevés donnent un exemple fort important de la constitution d'une collection d'archives photogrammétriques. Ils montrent d'autre part les nombreuses possibilités de la photogrammétrie architecturale.

Dans le cadre de la campagne internationale pour la sauvegarde des monuments situés dans la vallée du Nil entre Assouan et la frontière soudanaise et susceptibles de disparaître par suite de la construction du haut-barrage d'Assouan, le gouvernement français (Direction des Affaires Culturelles du Ministère des Affaires Etrangères) a offert à l'UNESCO de se charger de la constitution d'une collection d'archives photogrammétriques de ces monuments, tâche qui a été exécutée par l'Institut Géographique National.

Après deux campagnes d'essai (1955-1956) trois campagnes sur le terrain de six semaines chacune (1960-1961-1963) ont permis de recueillir 2000 clichés, portant sur 27 monuments ou sites d'importances diverses, parmi lesquels les vastes et célèbres ensembles de Philae et d'Abou Simbel. En 1961, d'autre part, à la demande de l'Institut Français d'Archéologie Orientale, le relevé complet du temple de Dendara, en Haute-Egypte, a été exécuté.

Pour tous les monuments de Nubie, les archives photogrammétriques sont conservées en double exemplaire: l'un au Centre de Documentation sur l'Egypte Ancienne, au Caire; l'autre à l'Institut Géographique National en vue des restitutions. Certaines restitutions ont déjà été entreprises, soit pour permettre des restaurations (reconstruction d'un mur du temple de Kalabsha, écroulé quelques mois après le passage des photogramètres...), soit en vue d'études archéologiques qui se poursuivront longtemps encore après l'achèvement de la campagne de sauvegarde, soit surtout pour servir de base aux études préalables au démantèlement et au transfert de certains temples et aux travaux de reconstruction dans les nouveaux choisis.

Les restitutions effectuées à ce jour concernant:

— des éléments architecturaux de grandes dimensions: façades des deux temples d'Abou Simbel, pylône de Ouadi es Seboua, murs extérieurs de Kalabsha, façades de Dendara, etc..., monuments souvent fort riches en sculptures et en statuaire (parfois colossale comme à Abou Simbel).

— des détails architecturaux: portes, murs, piliers, colonnes, chapiteaux...

— des statues, dont les immenses statues osiriaques de Ramsès II dans le Grand Temple d'Abou Simbel et l'une des images de la reine Néfertari dans la façade du Petit Temple.

— enfin des bas-reliefs, particulièrement la « frise des prisonniers » et la scène du « couronnement de la reine » à Abou Simbel.

Les restitutions se poursuivent sur les temples de Nubie et sur Dendara, selon un programme établi en fonction des études archéologiques et des travaux sur les bords du Nil.

Les documents présentés à l'exposition qui accompagne le Congrès donnent un aperçu des réalisations de l'Institut Géographique National dans le domaine des relevés architecturaux et des possibilités très étendues des procédés photogrammétriques appliqués à ces relevés.

MAURICE CARBONNEL

PHOTOGRAMMETRIC STUDY OF MONUMENTS. THE SETTING UP OF PHOTOGRAMMETRIC ARCHIVES OF HISTORIC MONUMENTS SUMMARY.

*Photogrammetric techniques allow a complete study, both faithful and detailed, of a monument, however complex it may be, by limiting to a minimum the shots to be taken on the spot. These shots are determined as follows;*

- 1. Photographs taken with metric cameras specially designed for this work: the plates forming stereoscopic pairs, and the whole monument is covered by these pairs.*
- 2. Topometric measures giving, in a system of coordinates defined for the monument, the relative positions of a certain number of landmarks photographed at the same time as the surfaces under study.*

*The plates, a set of proofs on which are identified the landmarks and the list of these points' coordinates form the photogrammetric archives of the monument; they express the monument's state at a given time.*

*These archives can be exploited, as soon as they may be of use, by photogrammetric reconstruction. This can be done in elevation, plans or section. It also allows an exact geometric representation of unlevel surfaces by means of curves representing different levels or vertical equidistant sections, whose equidistance can be, if necessary, reduced to 1mm. These curves can serve as the basis for establishing very exact models. Photogrammetric reconstruction presents a complete study of the monument, which is homogeneous, objective and of considerable precision.*

*The National Geographic Institute of France has applied photogrammetric methods in different studies. The first, effected as an experiment, was of Sainte-Chapelle in Paris. Recently studies were made of a bay (elevation and vaults) of Saint-Laurent at Pay-en-Velay, in view of the church's restoration, and of the ceiling of the Opera House in Paris.*

*But it has been chiefly in Egypt that the National Geographic Institute has employed these methods, in the study of 27 temples and Nubian sites, including the great works at Philae and Abu Simbel. The archives collected during five short visits to the spot consisted of 2,000 plates and thousands of landmarks. The reconstructions, already important and still in hand, are one of the essential bases for the work of preservation undertaken under the aegis of UNESCO.*