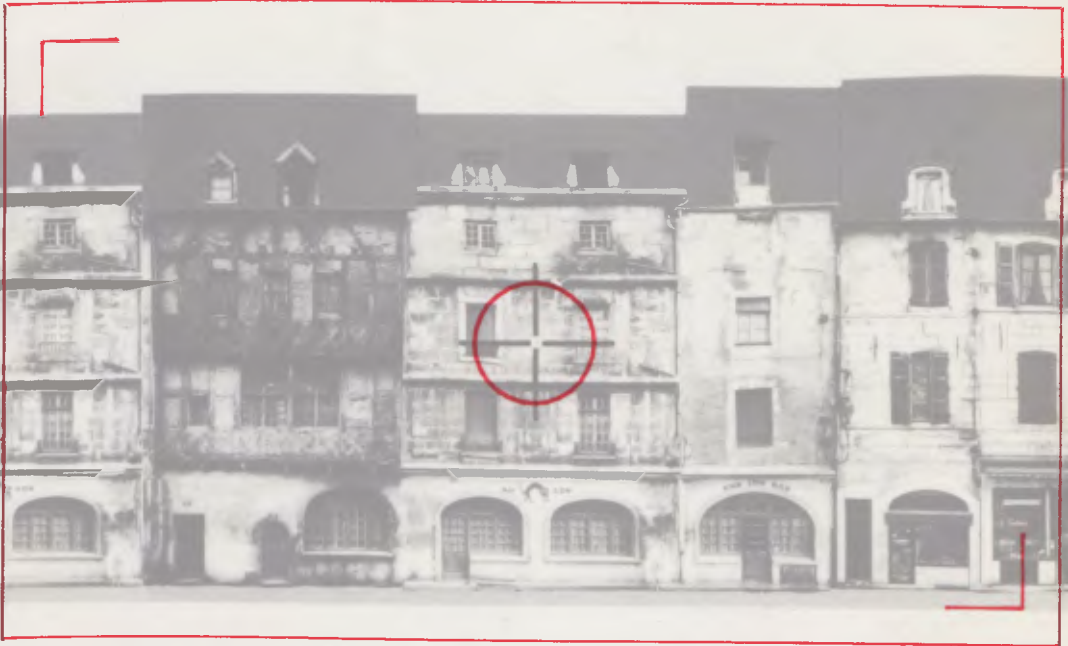




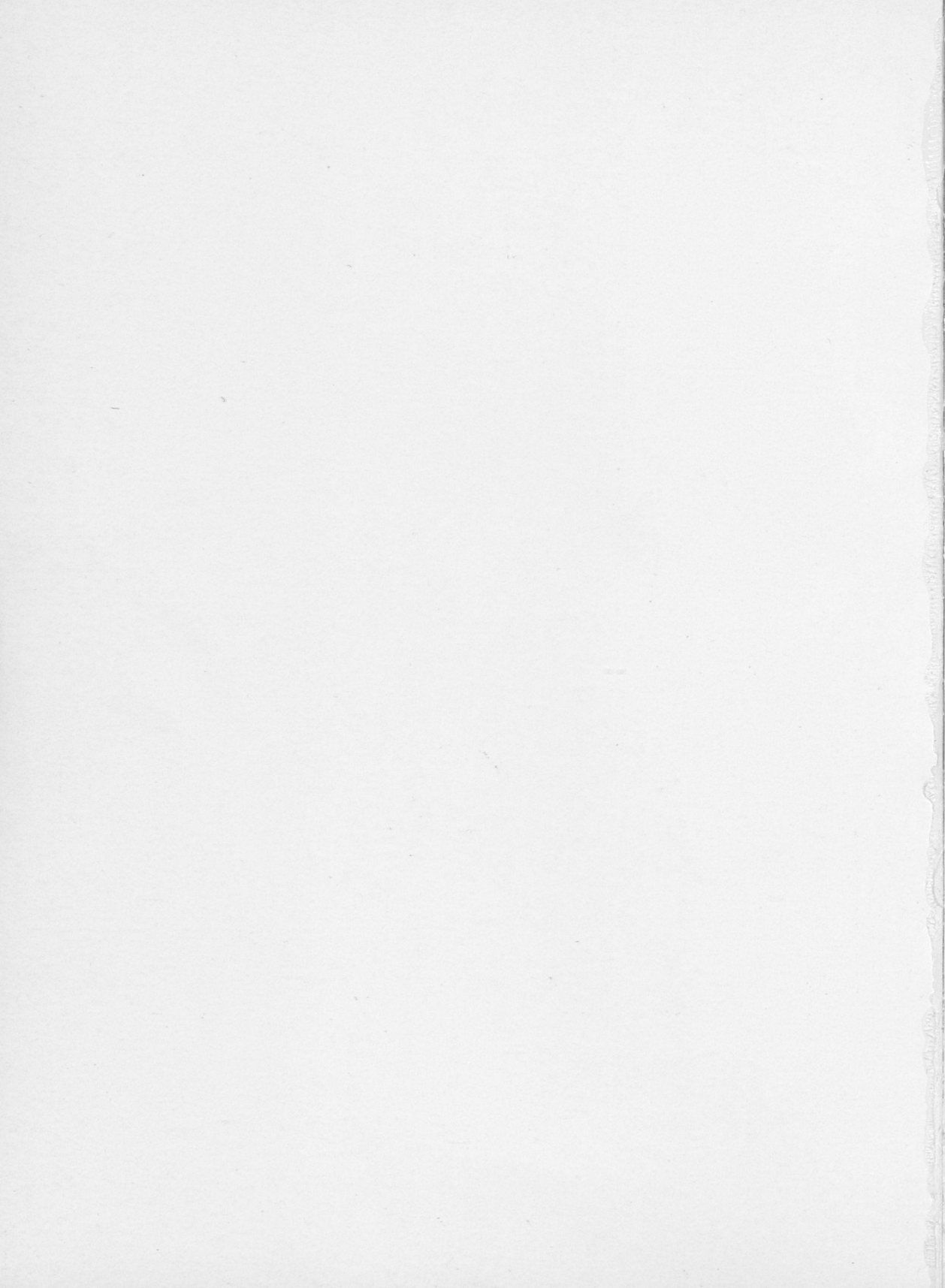
**ICCROM**

**MAURICE CARBONNELL**

PHOTOGRAMMETRIE APPLIQUEE  
AUX RELEVES  
DES MONUMENTS ET DES CENTRES HISTORIQUES



PHOTOGRAMMETRY APPLIED  
TO SURVEYS OF  
MONUMENTS AND HISTORIC CENTRES





## NOTES TECHNIQUES DE L'ICCROM ICCROM TECHNICAL NOTES

- DE ANGELIS d'OSSAT, Guglielmo. *Guide to the Methodical Study of Monuments and Causes of Their Deterioration. Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento*. 2nd ed., 1982.
- FORAMITTI, Hans. *Mesures de sécurité et d'urgence pour la protection des biens culturels*. 1972.
- GALLO, Fausta. *Biological Factors in Deterioration of Paper. Facteurs biologiques de détérioration du papier*. 1985.
- GAZZOLA, Pietro. *The Past in the Future*. 2nd ed., 1975.
- MARASOVIC, Tomislav. *Methodological Proceedings for the Protection and Revitalization of Historic Sites (Experiences of Split)*. 1975.
- MASSARI, Giovanni. *Humidity in Monuments*. 2nd ed., 1977.
- MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Ancient Binding Media, Varnishes and Adhesives*. 1985.
- STAMBOLOV, T. - VAN ASPEREN DE BOER, J.R.J. *The Deterioration and Conservation of Porous Building Materials in Monuments*. 1976.
- TEUTONICO, Jeanne Marie. *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. 1988.
- TORRACA, Giorgio. *Matériaux de construction poreux*. 1986.
- — — — — . *Porous Building Materials*. 3rd ed. rev., 1988.
- — — — — . *Solubilidad y Disolventes en los Problemas de Conservación*. 1981.
- — — — — . *Solubilité et solvants utilisés pour la conservation des biens culturels*. 1980.
- — — — — . *Solubility and Solvents for Conservation Problems*. 1975. 3rd ed. rev., 1984.



MAURICE CARBONNELL

English translation by Ross Dallas and Keith Parker

PHOTOGRAMMETRIE APPLIQUEE

AUX RELEVES

DES MONUMENTS ET DES CENTRES HISTORIQUES

PHOTOGRAMMETRY APPLIED

TO SURVEYS OF

MONUMENTS AND HISTORIC CENTRES



**ICCROM**

Rome 1989

Les auteurs sont responsables du choix et de la présentation des faits figurant dans leurs articles, ainsi que des opinions qui y sont exprimées, lesquelles ne sont pas nécessairement celles de l'ICCROM et n'engagent pas l'organisation.

Authors are responsible for the choice and the presentation of the facts contained in their articles and for the opinions expressed therein, which are not necessarily those of ICCROM and do not commit the organization.

**ISBN 92-9077-091-X**

© 1989 ICCROM  
Via di San Michele 13  
00153 Rome RM, Italy

Printed in Italy  
Sintesi Grafica s.r.l.

Mónica García, Cynthia Rockwell  
Computer Layout and Typesetting

Elisabetta Giorgi  
Cover Design



# TABLE DES MATIERES

<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>1</b>
<b>LA PHOTOGRAMMETRIE: METHODE DE RELEVÉ ARCHITECTURAL</b>	<b>3</b>
<b>ELEMENTS DE TECHNOLOGIE PHOTOGRAMMETRIQUE</b>	<b>5</b>
2.1 Deux notions de base: la perspective et la stéréoscopie	5
2.1.1 La perspective	5
2.1.2 La stéréoscopie	6
2.2 Méthodes d'exploitation des photographies métriques	7
2.2.1 Méthodes simplifiées	7
2.2.2 La stéréophotogrammétrie	7
2.2.3 Le redressement photogrammétrique	8
2.2.4 L'orthophotographie	9
2.3 Les équipements utilisés en photogrammétrie architecturale	10
2.3.1 Les chambres métriques	10
2.3.2 Les appareils analogiques de restitution stéréophotogrammétrique	13
2.3.3 Les redresseurs photogrammétriques	14
2.3.4 Les orthoprojecteurs	14
2.4 Organisation technique des relevés photogrammétriques d'architecture	14
2.4.1 La prise de vues	14
2.4.2 La restitution	15
2.4.3 Quelques notions pratiques	16
<b>APPLICATION DES METHODES PHOTOGRAMMETRIQUES AUX RELEVÉS D'ARCHITECTURE</b>	<b>17</b>
3.1 Conception, contenu et expression du relevé photogrammétrique	17
3.1.1 La conception et la programmation du relevé	17

3.1.2	Le contenu du relevé	19
3.1.3	L'expression du relevé	20
3.2	Domaines d'application	22
3.2.1	Les relevés destinés à l'analyse architecturale du monument	22
3.2.2	Les relevés destinés à des opérations de conservation et de restauration	22
3.2.3	Les relevés systématiques des monuments majeurs	22
3.2.4	Les développements de façades	23
3.2.5	Les relevés du décor	23
3.2.6	Les relevés destinés à des études particulières sur les monuments	23
3.3	Quelques aspects technico-économiques des relevés photogrammétriques	24
3.4	Organisation d'une unité de photogrammétrie architecturale	24

---

## **EVOLUTION ET DEVELOPPEMENT DE LA PHOTOGRAMMETRIE ARCHITECTURALE**

4.1	Cent trente années de photogrammétrie des monuments	27
4.2	Développement actuel des opérations de relevés photogrammétriques du patrimoine architectural	29
4.2.1	Programmes et services	29
4.2.2	Le rôle des organisations internationales	31
4.3	Le développement technologique	32

---

## **LA PHOTOGRAMMETRIE APPLIQUEE AUX CENTRES HISTORIQUES**

5.1	Les prises de vues aériennes et leur exploitation	35
5.1.1	Notions technologiques sur les couvertures photographiques aériennes stéréoscopiques	35
5.1.2	Analyse qualitative des photographies aériennes - La photo-interprétation	36
5.1.3	Exploitation photogrammétrique des photographies aériennes	37

5.2	Relevés stéréophotogrammétriques d'ensemble des centres historiques	37
5.2.1	La méthode analogique	38
5.2.2	La méthode analytique	40
5.3	Applications de la photogrammétrie aux études d'aménagement et de protection des centres anciens	40

---

<b>QUELQUES CONCLUSIONS</b>	<b>43</b>
-----------------------------	-----------

---

<b>POSTFACE (Novembre 1989)</b>	<b>45</b>
---------------------------------	-----------

---

<b>ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE</b>	<b>49</b>
------------------------------------	-----------

---

<b>FIGURES</b>	<b>53</b>
----------------	-----------

---

# CONTENTS

---

<b>FOREWORD</b>	<b>113</b>
-----------------	------------

---

<b>PHOTOGRAMMETRY: A METHOD FOR ARCHITECTURAL SURVEY</b>	<b>115</b>
--	------------

---

<b>PRINCIPLES OF THE PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUE</b>	<b>117</b>
2.1 Two fundamental concepts: perspective and stereoscopy	117
2.1.1 Perspective	117
2.1.2 Stereoscopy	118
2.2 Methods of measuring from metric photographs	119
2.2.1 Simplified methods	119
2.2.2 Stereo-photogrammetry	119
2.2.3 Photogrammetric rectification	121
2.2.4 Orthophotography	122
2.3 Equipment used for architectural photogrammetry	123
2.3.1 Metric Cameras	123
2.3.2 Analogue stereo-photogrammetric plotters	125
2.3.3 Photogrammetric rectifiers	126
2.3.4 Orthoprojectors	126
2.4.1 Fieldwork	127
2.4.2 Plotting	128
2.4.3 A few practical ideas	128

---

<b>APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRIC METHODS TO ARCHITECTURAL SURVEYS</b>	<b>131</b>
3.1 Planning, content and final form of the photogrammetric survey	131
3.1.1 Planning and programming the survey	131
3.1.2 The content of the survey	133



3.1.3	Methods of displaying the survey	135
3.2	Fields of application	136
3.2.1	Surveys intended for the architectural analysis of the monument	136
3.2.2	Surveys for purposes of conservation or restoration	136
3.2.3	Systematic surveys of major monuments	137
3.2.4	Streetscape recording	137
3.2.5	Surveys of decorative work	137
3.2.6	Surveys required for special studies of monuments	137
3.3	Some practical and economic aspects of photogrammetric surveys	138
3.4	Organization of an architectural photogrammetry unit	138

---

<b>EVOLUTION AND DEVELOPMENT OF ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY</b>	<b>141</b>
--	------------

4.1	One hundred and thirty years of photogrammetry of monuments	141
4.2	Current developments in the application of photogrammetric surveys to the architectural heritage	143
4.2.1	Programmes and services	143
4.2.2	The role of international organizations	145
4.3	Technical developments	146

---

<b>PHOTOGRAMMETRY APPLIED TO HISTORIC CENTRES</b>	<b>149</b>
---	------------

5.1	Aerial photographs and their utilization	149
5.1.1	Technical aspects of stereoscopic aerial photographic coverage	149
5.1.2	Qualitative analysis of aerial photographs - Photo-interpretation	150
5.1.3	Photogrammetric measurement from aerial photographs	150
5.2	Adapting aerial photogrammetric survey procedures to recording historic centres	151
5.2.1	Analogue methods	152
5.2.2	The analytical method	153
5.3	Applications of photogrammetry in studies to enhance and protect historic centres	154

<b>SOME CONCLUSIONS</b>	<b>157</b>
<b>POSTSCRIPT (November 1989)</b>	<b>159</b>
<b>BIBLIOGRAPHY</b>	<b>163</b>
<b>FIGURES</b>	<b>53</b>

## AVANT-PROPOS

Lorsqu'en 1970, la décision fut prise d'introduire dans les cours du Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels (ICCROM) une sérieuse initiation aux relevés photogrammétriques d'architecture, l'enseignement correspondant fut confié à Hans Foramitti et à moi-même. Pendant une dizaine d'années, notre "duo" se renouvela chaque mois de février, modifié progressivement en fonction de l'expérience acquise et de l'évolution de la matière enseignée.

Deux manuels, publiés par l'ICCROM, ont alors présenté l'essentiel des leçons données aux participants du cours de conservation architecturale: *La photogrammétrie au service des conservateurs*, par Hans Foramitti (1970, 2<sup>ème</sup> édition en 1973) et *Quelques aspects du relevé photogrammétrique des monuments et des centres historiques*, par Maurice Carbonnell (1974).

Aujourd'hui, ces manuels sont épuisés. Le développement que la "photogrammétrie architecturale" connaît, tant dans ses techniques que dans ses applications, conduit à ne pas les rééditer et à rédiger un autre ouvrage, objet de la présente publication.

Hans Foramitti est décédé en juin 1982. Le message que nous a laissé notre ami a largement inspiré ce nouveau manuel, que nous dédions à sa mémoire.

Décembre 1984

Maurice CARBONNELL

Président du Comité international de photogrammétrie architecturale\*

*L'auteur remercie vivement ses collègues de l'Institute of Advanced Architectural Studies de l'Université de York -  
Mr Ross Dallas, chef de la section de photogrammétrie,  
Mr K.V. Parker, bibliothécaire, et Mrs Jean Darley, secrétaire -  
pour tout le soin qu'ils ont apporté à la traduction de cet ouvrage.*

Durant les cinq années qui se sont écoulées depuis la rédaction de ce manuel, le développement technologique exposé dans le chapitre 4.3 s'est beaucoup accéléré et a influencé, de façon importante, les applications de la photogrammétrie aux monuments et aux centres urbains anciens. Il nous a paru indispensable de présenter cette évolution récente à la fin du volume, dans un court chapitre complémentaire.

Novembre 1989

Maurice CARBONNELL

\*Le CIPA est l'un des Comités internationaux spécialisés du Conseil international des monuments et des sites (ICOMOS), créé conjointement avec la Société internationale de photogrammétrie.



## Chapitre 1

# LA PHOTOGRAMMETRIE: METHODE DE RELEVÉ ARCHITECTURAL

L'emploi de la *photogrammétrie* dans la documentation des monuments et des centres historiques est lié aux exigences modernes de la conservation et de la restauration. "Aucune mesure pratique ne saurait être prise à l'égard d'un monument sans une connaissance intime de celui-ci" (Hans Foramitti). Cette connaissance s'acquiert par la recherche scientifique et historique et par des relevés précis exprimant, de façon rigoureuse et complète, les formes et les dimensions du monument dans son état actuel. Comment parvenir à de tels relevés?

Les *méthodes directes* traditionnelles de "relevé à main" consistent essentiellement en des déterminations d'alignements et de directions orthogonales, en des repèvements d'horizontalité et de verticalité, en des mesures de longueur. Ces méthodes ont l'avantage d'un contact très proche avec l'édifice et d'une bonne précision dans le relevé d'éléments de petite dimension. Elles ont l'inconvénient d'une mauvaise homogénéité d'ensemble (par suite du cumul des erreurs) et d'un dessin exécuté "en différé" à partir de croquis cotés, en s'aidant le plus souvent aujourd'hui de photographies. Enfin et surtout, elles conduisent à un relevé ponctuel aboutissant à un canevas de points entre lesquels il faut tracer des lignes. Dans ces méthodes, en effet, une ligne continue sur l'objet, une arête par exemple, sera représentée par ses deux extrémités, éventuellement par plusieurs points si le relevé est particulièrement poussé et, sur le dessin, la ligne qui réunira les points mesurés résultera forcément d'une abstraction, négligeant inévitablement les déformations et les irrégularités entre ces points.

Les relevés directs présentent, de plus, le grave inconvénient de nécessiter des échafaudages pour atteindre les parties élevées du monument. On s'affranchit plus ou moins complètement de cet inconvénient en faisant appel aux *méthodes indirectes*, dans lesquelles on procède par intersections de visées (de directions) déterminées, à partir d'un certain nombre de "stations" formant un réseau de base, avec un instrument topographique (un théodolite, par exemple) mesurant des angles horizontaux et verticaux. Ces relevés "topométriques" (ou "géodésiques" suivant la terminologie germanique) sont sans grande efficacité pour le relevé des détails. Ils assurent, en revanche, une bonne homogénéité d'ensemble et, par conséquent, un canevas solide, plus ou moins dense selon le nombre de points intersectés, donc selon le temps que l'on consacra aux mesures topographiques et aux calculs qui doivent leur faire suite. Entre les points de ce canevas il faudra, ici encore, tracer les lignes architecturales. On retrouve donc l'inconvénient des relevés ponctuels.

L'intérêt d'une *méthode utilisant la photographie*, non seulement comme aide au relevé, mais comme la base même du relevé a été pressenti dès l'invention de la photographie. Il réside avant tout dans le fait que, enregistrant sur chaque cliché toute

la surface architecturale qu'il couvre, sans discontinuité et sans hiérarchisation des éléments qu'elle comporte, on doit pouvoir aboutir à un tracé continu des lignes et à la saisie totale des surfaces dans leurs formes effectives. On doit pouvoir également recueillir toutes les données nécessaires à la mesure de n'importe quelle partie de l'édifice, même inaccessible. Mais comment passer de la photographie au relevé? C'est ce que montrera le chapitre suivant, consacré aux notions essentielles sur la technologie de la photogrammétrie.

La technique ou, plus exactement, l'ensemble des techniques qui permet de mesurer et de "relevé" la forme et les dimensions d'un objet à partir de photographies de cet objet s'appelle, en effet, la *photogrammétrie*. Elle permet, de surcroît, de déterminer la position de l'objet dans un système de référence donné. Ses domaines d'application sont nombreux. Ils concernent, avant tout, l'établissement des cartes topographiques et des plans du sol à l'aide de photographies aériennes de la zone à lever; cette application, aujourd'hui universelle, représente la très grande majorité des activités photogrammétriques dans le monde et permet l'existence d'une industrie d'équipements spécialisés active et très moderne. Les autres secteurs de travaux photogrammétriques ont généralement un double caractère pratique et scientifique: auscultation d'ouvrages d'art et de constructions, projets de génie civil, contrôles et métrologie industriels, hydraulique, trajectographie, études de déformations et de mouvements, médecine et morphologie humaine, etc.

Les applications aux monuments et aux sites ne sont donc qu'un domaine particulier d'emploi de la photogrammétrie. Elles bénéficient toutefois des progrès et des développements résultant des études théoriques et des recherches opérationnelles faites dans les autres domaines.



# ELEMENTS DE TECHNOLOGIE PHOTOGRAMMETRIQUE

La technologie photogrammétrique a un caractère hautement scientifique qui fait appel principalement aux mathématiques, à l'optique, à la photographie et, aujourd'hui, à l'informatique et à l'électronique. Il est cependant possible de la présenter de façon simple et accessible à tous ceux qui, voulant aller au-delà d'une simple information, désirent comprendre les principes de la méthode photogrammétrique de relevé et pouvoir en apprécier les possibilités (et les limites) d'emploi pour la documentation et l'étude du patrimoine architectural.

## 2.1 Deux notions de base: la perspective et la stéréoscopie

### 2.1.1 La perspective

En premier lieu, il faut bien se rappeler que l'image photographique est une *perspective*, c'est-à-dire la section plane d'une gerbe perspective formée par la multitude des rayons lumineux provenant de l'"objet" photographié et convergeant au centre de perspective de l'objectif (fig. 1). La perspective enregistrée sur l'émulsion photographique répond à des *lois géométriques* simples et bien connues. En particulier, elle présente des déformations (et non pas des défauts) dues à deux causes principales: le relief de l'objet et l'inclinaison de l'axe photographique par rapport au plan de référence du relevé (fig. 2). De sorte que - sauf dans le cas d'un objet plan photographié selon un axe perpendiculaire à ce plan - l'image photographique ne peut pas fournir directement un relevé.

Pour pouvoir exploiter avec rigueur les perspectives photographiques, il faut, d'une part, qu'elles soient réellement planes, ce qui conduit à utiliser généralement des *plaques* plutôt que des films (l'usage de films nécessite un dispositif assurant leur planéité rigoureuse au moment de l'exposition). D'autre part, que leurs données géométriques en soient connues de façon très précise. C'est pourquoi les appareils photographiques utilisés en photogrammétrie ne sont pas des appareils courants, même de très grande qualité, mais des *chambres métriques* réalisées spécialement, d'une haute technologie optique et mécanique, étalonnées en laboratoire avec une précision qui s'exprime en centièmes ou en millièmes de millimètre.

Une chambre métrique est un instrument reliant rigidement l'objectif au fond de chambre sur lequel s'applique la surface sensible au moment de l'exposition. Ses caractéristiques sont les suivantes (fig. 3):

- l'axe optique de l'objectif,  $Ox$ , ou *axe principal*, rigoureusement perpendiculaire au plan du fond de chambre, coupe ce plan en un point  $M$ , dit *point principal*. Celui-ci se trouve à l'intersection de deux lignes orthogonales qui joignent deux à deux des repères  $r$  placés sur le fond de chambre et qui sont reproduits sur la surface sensible en même temps que l'image du sujet (fig. 4);

- la distance OM qui sépare le centre de perspective de l'objectif O du point M est la *distance principale*  $c$  de la chambre; elle peut être différente de la distance focale de l'objectif, relative à un sujet "à l'infini", et correspond au choix d'un éloignement moyen optimal du sujet photographié. Dans la pratique, on caractérise d'abord un type de chambre métrique par une valeur arrondie (au mm) de sa distance principale;
- autre caractéristique: le *format* du fond de chambre, donc des plaques utilisées. Le format et la distance principale déterminent le *champ* de la chambre;
- enfin une chambre métrique se caractérise par la *distorsion* de son objectif, aberration selon laquelle un rayon PO venant d'un point P de l'objet et faisant un angle  $\alpha$  avec l'axe principal sort de l'objectif selon une direction Op qui fait avec l'axe principal un angle  $\alpha'$  différent de  $\alpha$ . Cependant, tous les objectifs photogrammétriques modernes sont *orthoscopiques*, c'est-à-dire que leur distorsion est si faible qu'elle peut être couramment négligée (quelques millièmes de mm dans le plan de l'image).

### 2.1.2 La stéréoscopie

Il s'agit d'une vision en relief artificielle de l'objet photographié. A la vision binoculaire naturelle, dans laquelle le cerveau fusionne en une seule image tridimensionnelle les deux images différentes reçues par les rétines des deux yeux de l'observateur, elle substitue une perception spatiale obtenue, selon le même mécanisme naturel, par l'examen de deux photographies de l'objet prises de deux points de vue différents (fig. 5). Il suffit pour cela que ces photographies soient à peu près à la même échelle, qu'elles soient prises selon des axes approximativement parallèles et qu'elles soient examinées individuellement par chacun des deux yeux, l'oeil gauche ne regardant que la seule photographie gauche et l'oeil droit la seule photographie droite. Pour y parvenir plus aisément, on utilise des instruments d'optique appelés *stéréoscopes* (fig. 6) qui assurent la séparation des deux images observées, ainsi qu'un certain grandissement de ces images. De plus, l'impression de relief ressentie sera d'autant plus forte que la *base de prises de vues*, c'est-à-dire la distance qui sépare les deux points de vue photographiques, sera plus grande.

L'*image spatiale* perçue en stéréoscopie présente toujours des déformations d'ordre perspectif, liées à la position de l'observateur et au relief de l'objet, et une exagération des profondeurs qui a l'avantage de permettre de déceler de faibles différences de relief souvent invisibles en vision directe. Cette image offre un moyen de connaissance de l'objet extrêmement intéressant.

Un perfectionnement important consiste à introduire dans le système optique d'observation un *repère spatial* que, à l'aide de commandes appropriées, on peut déplacer par rapport à l'image perçue. L'opérateur, qui voit alors simultanément une image en relief de l'objet et le repère, peut agir sur celui-ci pour l'amener au contact de n'importe quelle partie de l'image spatiale et le guider pour lui faire suivre, sur cette

image, toutes les lignes (architecturales) qui l'intéressent. Ainsi se trouve introduit, par ce dispositif de *pointé* et de *suivi stéréoscopiques*, la possibilité d'un *relevé continu* (et non plus ponctuel) de ces lignes, dans leur forme réelle.

## 2.2 Méthodes d'exploitation des photographies métriques

### 2.2.1 Méthodes simplifiées

Nous ne les mentionnerons que pour mémoire:

- pour des relevés simples et rapides, on peut appliquer certaines *méthodes expédiées* qui consistent surtout à orienter l'axe de prise de vue perpendiculairement au plan de référence et à effectuer une "mise à l'échelle" de la photographie, soit générale si le sujet relevé est plan ou présente peu de relief, soit par éléments partiels si le relief ne peut être négligé; dans ces méthodes, on travaille généralement sur chaque photographie considérée individuellement;
- la *méthode des intersections*, longtemps utilisée au début de la photogrammétrie, exploite simultanément deux photographies du sujet prises de deux points de vue; elle consiste à mesurer sur les photographies les coordonnées-image de points sélectionnés et, partant de ces mesures, à construire graphiquement les projections, sur un plan horizontal et sur un plan vertical, des rayons perspectifs homologues correspondants et leurs intersections; on peut aussi calculer les coordonnées-objet de chaque point. La photogrammétrie aboutit alors, comme les méthodes directes ou les méthodes géodésiques, à une autre forme de relevé ponctuel.

L'expression moderne de ce procédé est la *photogrammétrie analytique* sur laquelle nous reviendrons ultérieurement (cf. 4.3).

### 2.2.2 La stéréophotogrammétrie

La principale méthode de la photogrammétrie architecturale est, aujourd'hui, la *stéréophotogrammétrie qui opère par couple de photographies stéréoscopiques*. Elle réalise une combinaison du "pointé" stéréoscopique avec une reconstitution - optique ou, le plus souvent, mécanique - du schéma géométrique instantané de prise de vues, c'est-à-dire de l'ensemble formé par les deux points de vue, par un point de l'objet, par les deux rayons perspectifs homologues issus de ce point et par les deux points-image correspondants (**fig. 7**).

Cette reconstitution peut s'effectuer de différentes façons. L'une des plus courantes consiste à matérialiser les rayons perspectifs par deux tiges qui pivotent autour de deux points fixes représentant les deux centres de perspective et à astreindre les axes de ces tiges à passer, en chacune de leurs positions instantanées, par les deux images homologues de chaque "point" du sujet relevé (**fig. 8**). A leur autre extrémité, les axes des tiges se rencontrent en une articulation mobile qui, dans le mouvement continu des deux tiges, va décrire un *modèle* du sujet; par simple homothétie, l'*échelle* de ce

modèle est égale au rapport de la distance introduite entre les deux pivots à la base de prise de vues.

Il reste à associer le mouvement du dispositif mécanique à celui du repère spatial de pointé stéréoscopique et l'on réalise ainsi un *appareil de restitution stéréophotogrammétrique* (fig. 8). Dans cet appareil, l'opérateur place les deux clichés à traiter (négatifs originaux ou contre-types positifs) sur deux plateaux lumineux qui portent des repères indiquant la position du pied de la perpendiculaire abaissée de chaque centre de perspective sur le plan du plateau correspondant. Grâce à ces repères, il peut effectuer le "centrage" du point principal du cliché sur l'axe principal. Puis il introduit, de chaque côté, la distance principale exacte de la chambre de prise de vues (au centième de mm près) en agissant sur une commande qui fait varier l'éloignement entre le centre de perspective et le plateau porte-cliché. Ces opérations terminées, la reconstitution des deux gerbes perspectives est assurée. Il reste à incliner les clichés afin de leur donner, par rapport au système d'axes trirectangle de l'appareil, la même orientation que celle que chacun d'eux avait, au moment de la prise de vues, par rapport au plan de référence du relevé. Cette inclinaison est obtenue, selon des procédés qu'il n'est pas utile de décrire dans ce manuel, par des rotations autour des centres de perspective.

Après ces réglages préliminaires, la "restitution" proprement dite peut commencer. A l'aide de commandes qui sont, le plus souvent, deux volants et une pédale, l'opérateur agit sur le repère spatial du système optique et pointe avec lui tout point de l'image stéréoscopique qu'il perçoit ou lui fait suivre toute ligne de cette image qu'il veut relever. Simultanément, sous l'action des mêmes commandes, l'articulation inférieure des deux tiges reconstitue ce point ou parcourt cette ligne dans le *modèle* qu'elle décrit, à une échelle choisie et réglée préalablement en introduisant, entre les deux pivots-centres de perspective, une distance appropriée (*base de restitution*). Les coordonnées instantanées de l'articulation peuvent être mesurées et enregistrées. Ses mouvements, d'autre part, peuvent être transmis à une table traçante en associant deux par deux les axes du système de référence; selon la combinaison retenue, de chaque ligne suivie par l'opérateur la table traçante dessinera une projection orthogonale qui sera soit une élévation, soit une coupe verticale, soit une section horizontale (fig. 9). Cette restitution, dite *analogique*, sera donc, selon le mode d'enregistrement retenu, *numérique* ou *graphique*.

### 2.2.3 Le redressement photogrammétrique

Cette méthode, qui est également largement employée, conduit à des relevés qui sont soit des tracés graphiques assez sommaires, soit des *documents photographiques* obtenus par transformation des photographies métriques originales.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'image photographique présente des déformations perspectives (cf. 2.1) dues au relief du sujet et à l'inclinaison de l'axe de prise de vue par rapport au plan de référence. *Si le sujet est plan* (ou peut être considéré comme plan dans certaines tolérances de précision) la première cause n'existe plus

et il est possible de corriger l'effet de l'inclinaison de l'axe par une opération de *redressement photogrammétrique* pour laquelle différentes méthodes peuvent être utilisées (fig. 10):

- des constructions graphiques, faisant appel principalement à un système de grilles perspectives: le dessin est reporté maille par maille;
- l'emploi d'une *chambre claire*, petit appareil qui consiste en un prisme semi-transparent à travers lequel on voit simultanément, d'une part, la photographie placée sur une tablette verticale face au prisme, d'autre part, une feuille de papier posée sur la table sous le prisme. La photographie apparaît projetée sur la feuille de dessin et l'opérateur peut, en quelque sorte, la "dessiner" avec son crayon; au préalable, en jouant sur l'inclinaison de la tablette, sur l'orientation du prisme et sur les distances prisme-tablette et prisme-table, il a assuré la superposition de quatre points identifiés sur la photographie avec les positions correctes reportées sur le papier à dessin de ces mêmes points dans le relevé.

Nous citons surtout pour mémoire ces deux premières méthodes qui ne sont plus guère appliquées aujourd'hui, encore que la chambre claire puisse encore rendre des services intéressants pour le dessin de petites surfaces planes encadrées par des lignes relevées par d'autres méthodes.

- troisième méthode de redressement: une transformation photographique du cliché original incliné à l'aide d'un appareil optique appelé *redresseur*. Il s'agit d'un agrandisseur spécial dans lequel le porte-cliché, l'objectif et la table de projection reçoivent les inclinaisons et les translations nécessaires à la réalisation simultanée des conditions géométriques de mise en perspective exacte et des conditions optiques assurant la netteté de l'image (fig. 11). On obtient ainsi, à l'échelle souhaitée, une photographie semblable à celle que l'on aurait prise, du même point de vue, selon un axe perpendiculaire au plan du sujet (fig. 12).

L'opération de redressement photographique peut ensuite se poursuivre de deux façons. On peut, d'une part, calquer la photographie redressée et établir ainsi un relevé graphique sur lequel, de surcroît, on rectifiera, par des constructions simples faisant appel aux lois de la perspective, les déformations résiduelles relatives aux éléments architecturaux présentant quelque relief par rapport au plan principal du sujet. On peut, d'autre part, assembler une série de photographies redressées se rapportant à un même plan de référence et constituer un *photoplan*, forme la plus élaborée du relevé photographique des surfaces architecturales de peu de profondeur. Nous verrons ultérieurement des exemples d'application de ce type de relevé (cf. 3.2).

#### 2.2.4 L'orthophotographie

Le relevé photographique des éléments architecturaux présentant des variations de profondeur exige que soient corrigées à la fois les déformations perspectives dues à l'inclinaison de l'axe principal et celles qui sont causées par le relief du sujet. Ces dernières peuvent s'exprimer par une variation d'échelle de la photographie.

L'*orthophotographie*, ou "redressement différentiel", assure cette double correction sous la forme d'un redressement effectué par petites surfaces élémentaires, chacune d'elles faisant de plus l'objet d'une mise à l'échelle particulière.

Il existe plusieurs systèmes orthophotographiques. Pour rester dans un schéma simple, nous retiendrons un type d'*orthoprojecteur* composé de deux éléments (fig. 13). Le premier est un appareil de restitution stéréophotogrammétrique dans lequel le modèle est exploré sous forme de profils parallèles équidistants. Le second est une chambre de projection qui reçoit, par rapport au plan de référence du relevé, une orientation semblable à celle qu'avait l'un des deux faisceaux perspectifs de la prise de vues. Cette chambre est animée d'un mouvement vertical continu déterminé par le parcours de chaque profil, tandis que la composante longitudinale de ce profil est donnée par le déplacement, sur la table de projection, d'une petite fente rectangulaire. Le grand côté de cette fente, perpendiculaire au profil, a une dimension égale à l'équidistance des profils (quelques millimètres). Sous sa surface, la fente découvre une couche sensible (généralement un film-plan) qui reçoit l'image de la petite partie correspondante du cliché placé dans la chambre de projection. La fente parcourt progressivement tout le film par bandes successives jointives et l'on obtient finalement une image photographique unique, dérivée du cliché original, dans laquelle se trouvent corrigées les déformations dues à l'inclinaison de l'axe principal, grâce à l'orientation du faisceau de projection, et les déformations dues au relief du sujet, grâce à la variation d'échelle continue introduite par le mouvement vertical de la chambre de projection. Le document photographique obtenu est donc une projection orthogonale du sujet sur le plan de référence (fig. 14).

L'orthophotographie s'accommode mal des discontinuités de forme que présentent les monuments et des angles morts dans la prise de vues qui en résultent. Elle convient très bien, par contre, aux formes continues des coupoles et des voûtes ou aux décors sculptés d'assez faible relief.

## 2.3 Les équipements utilisés en photogrammétrie architecturale

### 2.3.1 Les chambres métriques

Rappelons d'abord que les chambres métriques utilisent généralement des *plaques photographiques*. Certaines chambres peuvent cependant recevoir des films-plans et quelquefois des films en rouleau; des dispositifs assurant la planéité de ces films doivent alors être prévus.

Les chambres sont réglées pour une distance optimale de prise de vue correspondant au meilleur domaine d'emploi autorisé par leur format et la focale de leur objectif; ce réglage fixe la *distance principale*. Le diaphragme assure une certaine *profondeur de champ* dans laquelle doit s'inscrire le sujet relevé. Toutefois certaines chambres, à vocation plus universelle, peuvent être employées à des distances du sujet trop diverses pour qu'elles puissent être couvertes par la seule profondeur de champ. Des dispositifs faisant varier la "mise au point" et, par conséquent, la distance principale



sont alors utilisés; en raison de la précision d'étalonnage des chambres, ces dispositifs doivent être d'une très haute technicité. On en trouve de trois types: translation de l'objectif le long de l'axe principal, insertion de bagues de différentes épaisseurs entre l'objectif et le corps de chambre, montage de lentilles additionnelles (sans introduire de distorsion). Les variations de distance principale sont alors enregistrées sur le bord du cliché.

Il existe, d'autre part, une relation étroite entre la base, la distance principale, le format et le champ de la chambre. En effet, la stéréophotogrammétrie opérant par intersection des rayons perspectifs homologues, sa précision sera d'autant plus grande que: 1) l'angle sous lequel se coupent ces rayons s'approchera de l'angle droit, 2) l'échelle moyenne des photographies sera plus grande (fig. 15). L'angle d'intersection ( $\alpha$ ) est lié au rapport de la base à l'éloignement (B/E); l'échelle moyenne des clichés est déterminée par le rapport de la distance principale à l'éloignement (c/E). Enfin, pour une même distance et une même base, le même sujet pourra être photographié à un éloignement moindre si le champ de la chambre ( $\beta$ ) est plus grand; la précision sera alors accrue puisque les deux rapports B/E et c/E augmenteront. Or le champ est déterminé par la distance principale et le format de la chambre. Tous ces éléments sont donc bien liés entre eux.

Un grand champ, cependant, peut n'être pas favorable à une bonne prise de vues si l'édifice photographié présente un fort relief et beaucoup de discontinuités de surface: il y aura alors trop d'"angles morts" et de parties masquées par des éléments plus avancés. Il faut donc transiger, en tenant compte également des conditions d'environnement immédiat: recul possible, végétation, accès à des points de vue élevés, etc.

Enfin la stéréophotogrammétrie exigeant, pour chaque couple de clichés, un parallélisme approximatif des axes principaux, il est intéressant d'assurer le parallélisme rigoureux de ces axes et, de plus, leur orthogonalité à la base de prise de vues. Les photogramètres donnent à ce schéma le nom de *cas normal* (fig. 16). Il en résultera une simplification des appareils de restitution, simplification qui pourra s'accroître encore si l'on s'astreint à placer la base de prise de vues parallèlement au plan de référence du relevé, tout organe d'orientation des clichés dans l'espace devenant alors inutile.

Les considérations qui précèdent expliquent pourquoi il existe toute une gamme de chambres de prise de vues métriques, qui se divise en deux grands groupes.

*Chambres stéréométriques.* Ces chambres réalisent directement le cas normal. Elles sont constituées par deux appareils identiques montés aux extrémités d'un tube rigide qui constitue une base de longueur très exactement connue (à 0,01 mm près). Cette longueur est forcément limitée: elle est le plus souvent de 40 et 120 cm (fig. 17).

Parmi les appareils de ce type d'un usage très courant, nous citerons:

- les chambres SMK-40 et SMK-120 de Carl Zeiss (R.F.A.):  
c = 60 mm, format 9 x 12 cm (8 x 10 utiles);
- les chambres SMK-5.5/0808/40 et SMK-5.5/0808/120 de Carl Zeiss Jena (R.D.A.):  
c = 56 mm, format 9 x 12 cm (8 x 8 utiles);
- les chambres C-40 et C-120 de Wild-Heerbrugg (Suisse):  
c = 64 mm, format 6.5 x 9 cm.

Tous ces appareils ont un dispositif permettant d'incliner les axes de prise de vues selon une série d'angles de site bien définis, par exemple  $\pm 10$ ,  $\pm 30$ ,  $\pm 60$ ,  $\pm 80$ ,  $\pm 90$  degrés pour les chambres Wild (un degré est la quatre-vingt dixième partie d'un angle droit). Certains d'entre eux permettent aussi de donner à la base une position verticale (fig. 18).

*Chambres individuelles.* Si des raisons de dimension de l'élément architectural relevé ou de gêne créée par l'environnement de cet élément conduisent à prendre du recul et à augmenter l'éloignement, on devra, pour conserver la même précision, opérer avec une base plus grande et une distance principale accrue, donc un format supérieur. On ne pourra plus alors utiliser une chambre stéréométrique dont la base est limitée et on devra mettre en oeuvre une chambre métrique individuelle (fig. 19) que l'on placera successivement sur deux trépieds formant les deux extrémités de la base choisie.

Les deux chambres individuelles actuellement les plus utilisées sont:

- la chambre terrestre universelle P.31 de Wild-Heerbrugg (Suisse), avec deux corps de chambre de distances principales 100 et 200 mm et un format 4 x 5 inches (102 x 127 mm); les variations de distance principale s'obtiennent en interposant des bagues calibrées entre l'objectif et le corps de chambre;
- la chambre photogrammétrique universelle UMK-1318 de Carl Zeiss Jena (R.D.A.), avec quatre corps de chambre de distances principales 64, 99, 200 et 300 mm et un format 13 x 18 cm; elle utilise des plaques ou des films en rouleau (avec un système à dépression assurant la planéité); les chambres de 99 et 200 mm ont un système de variation de la distance principale par translation de l'objectif.

L'emploi de ces chambres n'exclut pas de pouvoir opérer dans le "cas normal" puisqu'elles comportent un dispositif optique qui permet, en visant la seconde station, d'orienter l'axe principal selon une perpendiculaire à la base. Mais cela n'est pas toujours possible et, d'autre part, il est moins aisé, avec ce type d'appareil, de placer la base parallèlement au plan de référence du relevé.

Notons enfin qu'entre les prises de vues faites avec des chambres stéréométriques et celles que l'on peut exécuter avec des chambres telles que les P.31 ou les UMK, il existe un compromis dans lequel on veille au maintien du rapport B/E, mais où l'on sacrifie le rapport c/E: il consiste à utiliser des chambres individuelles identiques aux

appareils photographiques constituant les chambres stéréométriques. C'est la solution retenue par:

- Carl Zeiss (R.F.A.) pour sa chambre TMK-6:  $c = 60$  mm, format  $9 \times 12$  cm, inclinaisons en site repérées, identiques à celles de la SMK, soit  $\pm 30$ ,  $\pm 70$ ,  $\pm 100$  grades (un grade est la centième partie d'un angle droit). Il existe également une TMK-12 de même format mais de distance principale 120 mm);
- Wild-Heerbrugg (Suisse) pour sa chambre P.32:  $c = 64$  mm, format  $6,5 \times 9$  cm, montée sur un théodolite T2 ou une base basculante (site de  $- 40$  à  $+ 40$  grades).

### 2.3.2 Les appareils analogiques de restitution stéréophotogrammétrique

La simplification des appareils entraînée par l'application du "cas normal" et le parallélisme de la base de prise de vues au plan de référence du relevé a conduit différentes firmes à concevoir des *systèmes photogrammétriques simplifiés*, quoique très précis, limités à ces conditions. C'est ainsi que:

- à la série de chambres Carl Zeiss (R.F.A.): TMK-6, SMK-40, SMK-120, s'est ajouté le Terragraph, dont la fabrication est maintenant interrompue;
- à la série de chambres Wild-Heerbrugg (Suisse): P.32, C-40, C-120, s'ajoute l'autographe A-40.

Pour la restitution des photographies prises avec un axe incliné, un calculateur d'inclinaison peut s'interposer entre le restituteur et la table traçante.

Les firmes concentrent aujourd'hui leurs efforts sur des appareils plus universels pouvant traiter tous les clichés pris avec l'ensemble des chambres métriques disponibles. Ces restituteurs sont, en fait, les mêmes que ceux qui sont utilisés en stéréophotogrammétrie aérienne, avec quelques modifications ou équipements additionnels lorsque cela est nécessaire. Parmi les *restituteurs analogiques universels* répondant le mieux actuellement aux besoins des relevés architecturaux, nous citerons (fig. 20):

- le Planimat D.3 de Carl Zeiss (R.F.A.), avec un dispositif additionnel pour la restitution des clichés de 60 mm de distance principale ( $c$  de 55 à 308 mm). Le calculateur d'inclinaison est utilisable avec cet appareil;
- l'Aviomap A.M.U. de Wild-Heerbrugg (Suisse), comportant une calculatrice en interface avec la table à tracer (gamme des distances principales de 54 à 311 mm);
- le Topocart D de Carl Zeiss Jena (R.D.A.) qui peut restituer des photographies prises avec des distances principales allant de 45 à 310 mm;
- le Stéréosimplex II/C de Officine Galileo (Italie):  $c$  de 85 à 220 mm.

Tous ces appareils ont des possibilités d'inclinaison des porte-clichés (donc des axes de prise de vues par rapport à la perpendiculaire au plan de référence) de l'ordre de  $\pm 5$  degrés.

### 2.3.3 Les redresseurs photogrammétriques

Les redresseurs disponibles pour les relevés d'architecture sont les mêmes que ceux que l'on utilise en photogrammétrie aérienne pour l'établissement de photoplans cartographiques. Il s'agit principalement des appareils suivants (fig. 21):

- SEG.6 de Carl Zeiss (R.F.A.);
- Rectimat C de Carl Zeiss Jena (R.D.A).

Ces redresseurs ont des limites d'emploi en ce qui concerne l'obliquité de l'axe de prise de vue: au maximum 15 degrés. Pour de plus fortes inclinaisons, Carl Zeiss (R.F.A.) a conçu un appareil simplifié, sans possibilité de mise à l'échelle, destiné à traiter des clichés pris avec une obliquité de 30 grades, une distance principale de 60 mm et un format 9 x 12 cm (cf. fig. 10c).

### 2.3.4 Les orthoprojecteurs

Dans la catégorie des orthoprojecteurs non automatisés, on trouve actuellement (fig. 22).

- le système Topocart D-Orthophot E de Carl Zeiss (R.D.A.);
- l'Orthophotosimplex II-C de Officine Galileo (Italie).

## 2.4 Organisation technique des relevés photogrammétriques d'architecture

Un relevé photogrammétrique comporte deux phases bien distinctes:

- les opérations de *prises de vues* sur l'édifice, accompagnées de certaines mesures nécessaires à l'exploitation des photographies;
- les opérations de *restitution*, c'est-à-dire l'établissement du relevé lui-même, par l'une des méthodes indiquées précédemment (cf. 2.2).

### 2.4.1 La prise de vues

La prise de vues est effectuée en choisissant, dans toute la mesure du possible, un schéma et un appareillage (une ou plusieurs chambres métriques) en accord avec la nature du relevé et la précision recherchée. Elle doit couvrir la totalité de la surface architecturale à relever par un ensemble de couples de clichés disposant chacun des *éléments d'appui* nécessaires (fig. 23). Les travaux sur place comportent donc aussi des opérations topographiques destinées à fournir les données qui permettront d'orienter les clichés dans l'appareil de restitution et de mettre le modèle formé dans cet appareil à l'échelle voulue; ces données assureront, en outre, le contrôle de

l'exactitude métrique de la restitution. Les opérations topographiques peuvent consister simplement en des mesures de longueurs et des références de verticalité ou d'horizontalité. Plus souvent, surtout lorsque la prise de vues comporte un nombre assez élevé de couples de photographies, elles auront pour but de déterminer les coordonnées de points d'appui et de contrôle dans un système d'axes lié au relevé; ces points seront identifiés sur les photographies; il s'agira de repères placés sur le monument ou de détails bien précis de ce monument.

A l'issue des opérations sur l'édifice, un ensemble de documents et d'informations sera donc recueilli:

- clichés originaux, numérotés;
- contre-types de ces clichés qu'il est bon d'établir par mesure de sécurité;
- tirages sur papier "identifiés", c'est-à-dire portant les indications relatives aux éléments d'appui;
- répertoire des éléments d'appui (longueurs, coordonnées, etc.) avec les croquis nécessaires;
- schéma de la prise de vues, généralement établi sur un plan de l'édifice avec une légende des symboles employés (fig. 24);
- fiche donnant les caractéristiques de chaque chambre métrique utilisée: marque, type, numéro, distance principale.

Le tout constitue des *archives photogrammétriques* du monument ou d'une partie du monument. Nous verrons (cf. 3.1) que ces archives représentent une des possibilités essentielles offertes par les méthodes photogrammétriques puisqu'elles contiennent potentiellement le relevé et assurent la "mémorisation" du monument dans l'état où il se trouve au moment de la prise de vues.

#### 2.4.2 La restitution

La restitution, seconde phase du relevé, peut s'effectuer immédiatement après les opérations sur le terrain ou être différée, selon les besoins. Elle conduit à un tracé dont l'échelle, grâce aux transmissions mécaniques ou électriques entre l'appareil restituteur et la table traçante, peut être différente de celle du modèle. Comme nous l'avons vu, on obtiendra directement élévations, coupes verticales et sections horizontales. Cette restitution graphique sera complétée, si nécessaire, par la restitution numérique de certains éléments: mesures précises de dimensions caractéristiques, cotes de hauteur ou de profondeur, inclinaisons, courbures, etc.

### 2.4.3 Quelques notions pratiques

L'unité de travail est le *couple de deux photographies* prises de deux points de vues différents. Si le couple n'est pas réalisé dans le "cas normal", on veillera à rester dans certaines tolérances (convergence des axes principaux n'excédant pas 10 degré) pour que la vision stéréoscopique soit possible et pour que l'on puisse traiter les clichés dans les appareils de restitution courants.

Pour conserver une bonne *précision*, nous avons montré (cf. 2.3.1) qu'il faut veiller à maintenir des valeurs suffisantes aux rapports B/E et c/E. Concrètement, il faut que le rapport entre la base et la distance de prise de vues reste compris entre 1/5 et 1/10 (exceptionnellement 1/15) et que le rapport entre l'échelle moyenne de la photographie et l'échelle du relevé reste supérieur à 1/7 ou 1/8 (exceptionnellement 1/10).

Les dimensions du sujet, surtout sa hauteur, les difficultés dues à l'environnement et au manque de recul obligent parfois à adopter des *dispositions particulières de prises de vues*. Par exemple (**fig. 25**) en s'élevant à différents niveaux à l'aide d'une plate-forme montée sur un support télescopique ou un bras articulé; ou encore en donnant aux axes photographiques des inclinaisons importantes qui peuvent dépasser largement les limites courantes d'utilisation des appareils de restitution. Différentes solutions techniques ont été retenues par les constructeurs dans ce dernier cas; nous les avons indiquées précédemment (cf. 2.3.1 et 2.3.2).

Le relevé doit être *conçu dans son ensemble*. Bien que les deux phases d'opérations puissent être dissociées dans le temps, il est évident qu'elles sont techniquement liées. On se souviendra, en particulier, qu'on ne peut pas tout faire avec une même prise de vues: par exemple, des photographies qui conviennent bien à un relevé général à 1:50 d'une façade ne pourront pas être utilisées pour le relevé d'un détail de cette façade (moulure, chapiteau, ...) à 1:5 ou 1:2; l'échelle des photographies serait beaucoup trop petite.



# APPLICATION DES METHODES PHOTOGRAMMETRIQUES AUX RELEVES D'ARCHITECTURE

En principe, tout édifice, tout élément architectural qui peut être photographié convenablement, selon les normes mentionnées précédemment, est susceptible d'être relevé photographiquement. D'autre part, les photographies ne pouvant qu'enregistrer la surface architecturale dans son état actuel, le relevé photogrammétrique ne peut et ne doit exprimer que la *forme effective* de l'édifice à une date donnée, celle de la prise de vues. Nous devons d'abord examiner comment ces principes s'appliquent concrètement.

### 3.1 Conception, contenu et expression du relevé photogrammétrique

#### 3.1.1 La conception et la programmation du relevé

Le programme d'un relevé photogrammétrique s'établit en tenant compte des mêmes facteurs que ceux qui déterminent l'exécution de tout relevé architectural, quelle que soit la méthode employée: les besoins à satisfaire, l'existence et la qualité des relevés antérieurs, les moyens en équipement, personnel et finances, etc. Mais la conception de ce programme doit aussi considérer deux aspects fondamentaux des opérations photogrammétriques:

a) La notion d'*archive photogrammétrique d'un monument*, présentée à la fin du chapitre 2, a une importance toute particulière puisque cette archive contient en elle-même tout ce qu'il faut pour exécuter, immédiatement ou plus tard, les tracés et les mesures (la "restitution") et qu'elle assure donc une "conservation intellectuelle" du monument dans sa forme effective à un moment précis de son histoire; cela signifie qu'on pourra toujours effectuer le relevé, quels que soient les aléas, voire les destructions partielles ou totales, subis par ce monument. Les opérations de prise de vues devraient, de ce fait, être considérées comme la tâche prioritaire des programmes photogrammétriques.

b) Or cette première phase des relevés photogrammétriques est la *plus rapide et la moins onéreuse*, tant en investissements qu'en frais de fonctionnement, leur coût, pour ces deux postes, étant au moins cinq fois moins élevé que celui de la restitution. A la valeur de "mémorisation" de l'archive photogrammétrique s'ajoute donc l'*intérêt économique*.

Il en résulte que, dans la conception d'une opération de relevé photogrammétrique répondant à un besoin précis, il est bon, lors de la prise de vues, de dépasser la satisfaction de ce besoin immédiat et de profiter de la présence sur place des techniciens pour traiter d'autres parties de l'édifice concerné et pour diversifier la couverture photographique en prenant, par exemple, à plus grande échelle des clichés

des éléments architecturaux les plus intéressants ou les plus sensibles afin de pouvoir en établir ultérieurement, si la nécessité s'en fait sentir, des relevés fouillés et précis.

Il en résulte également que, dans les programmes généraux de relevés photogrammétriques du patrimoine architectural, il est fortement recommandé, et généralement admis, de *considérer avant tout la nécessité d'établir des archives photogrammétriques*. De fait, dans de nombreux services de conservation des monuments historiques, les prises de vues sont programmées et conçues très largement, dans un "champ de documentation générale", une partie d'entre elles seulement faisant l'objet d'une restitution immédiate. Il est évident que de tels programmes accordent une priorité encore plus grande aux monuments en danger ou aux régions menacées par des catastrophes naturelles, notamment par des risques sismiques permanents.

Soulignons ici que les archives photogrammétriques doivent faire l'objet de soins attentifs (certains les considèrent elles-mêmes comme un "bien culturel" à conserver et à protéger): elles doivent être complètes (cf. 2.4.1), bien classées (numérotation, catalogue, fichier informatisé, ...) et stockées dans des conditions de température, d'humidité, de conditionnement, de protection contre l'incendie, ... qui en assurent la meilleure conservation possible.

*Précision des relevés.* Dans la conception d'un relevé photogrammétrique, il convient de considérer la précision que l'on veut atteindre. Celle-ci résulte de la précision des mesures (en stéréophotogrammétrie, celle des mesures sur le modèle dans l'appareil de restitution) et de la précision de leur expression graphique (erreur graphique d'un tracé, soit 0,2 ou 0,3 mm). La précision d'un relevé photogrammétrique graphique est donc liée à l'échelle de ce relevé.

Sur ces bases, on admet généralement des précisions de 1 à 2 cm pour l'ensemble d'un édifice, compatible avec une échelle de 1:50, de 0,5 à 1 cm pour des détails architecturaux, compatible avec une échelle de 1:10 ou 1:20, et de 3 à 5 cm pour des relevés à 1:100.

Il faut bien avoir à l'esprit que la méthode photogrammétrique conduit à une *précision absolue homogène*, tout point, toute ligne du monument étant mis en place sur le relevé avec la même précision. Cette notion d'*homogénéité* du relevé photogrammétrique est très importante.

Elle a pour conséquence que, a contrario, la *précision relative* du relevé, qui s'exprime en pourcentage de la distance séparant deux éléments, sera variable. En d'autres termes, un même relevé pourra être excellent pour l'ensemble des lignes architecturales d'une façade, mais médiocre pour l'expression fine d'un détail, le profil d'une moulure par exemple. Pour un relevé de détail, il faut des photographies à plus grande échelle.

L'homogénéité du relevé photogrammétrique a toutefois des limites. Nous avons vu (cf. 2.3.1) qu'un des facteurs de précision est le rapport B/E de la base à l'éloignement du sujet. Pour une même base, la précision diminuera lorsque E augmentera. L'homogénéité ne sera donc plus assurée lorsque:

- l'élément architectural relevé a une grande profondeur;
- les axes principaux des clichés sont fortement inclinés sur le plan de référence; ceci n'exclut pas l'intérêt que peuvent présenter les inclinaisons systématiques prévues dans certaines séries d'équipements pour effectuer des prises de vues dans des cas difficiles, mais il ne faut pas oublier qu'elles détruisent l'homogénéité du relevé.

Les variations trop brutales d'éclairage du sujet sont aussi une cause d'inégalité de la précision des mesures; les pointés stéréoscopiques seront moins sûrs dans les zones d'ombre dense si l'exposition est satisfaisante pour les parties ensoleillées, et inversement. En photogrammétrie, l'idéal est une image faiblement contrastée et ayant une très bonne définition: ce n'est pas une photographie d'art, mais une photographie technique bien adaptée au processus de la "restitution".

### 3.1.2 Le contenu du relevé

Si l'archive photogrammétrique doit être établie de façon à permettre un relevé aussi complet que possible - sans prétendre toutefois au "relevé intégral" qui est utopique et irréaliste - la *restitution*, elle, peut être *sélective* et *finalisée*, c'est-à-dire faire un choix des éléments restitués et représentés, en fonction des besoins (ceci ne concerne évidemment pas les relevés photographiques obtenus par redressement ou orthophotographie).

Parmi ces éléments, les *lignes architecturales* du monument sont la base même du relevé et les tracés continus de la photogrammétrie les représentent fidèlement, sous réserve toutefois que l'opérateur ait des connaissances suffisantes dans le domaine de l'architecture. Ces connaissances lui permettront, en particulier, de résoudre les difficultés que peuvent présenter l'estimation de la qualité des lignes tracées (avec leurs déviations et brisures réelles et non avec les irrégularités qui pourraient résulter d'un suivi stéréoscopique défaillant), la sélection des lignes qu'il convient d'effectuer soit en raison de la finalité du relevé, soit à cause de leur densité trop grande à l'échelle du dessin, enfin l'appréciation des contours apparents exacts qui doivent cerner, en élévation, les formes rondes (colonnes, par exemple).

Un certain choix peut être fait dans le tracé des lignes architecturales selon le but du relevé. Mais le choix sera beaucoup plus libre pour les autres éléments:

- l'*appareil*, qui est enregistré sur les photographies dans tous ses détails, pourra être éliminé si l'on étudie seulement la conception architecturale de l'édifice, restitué partiellement sous forme d'un échantillonnage s'il joue le rôle d'un décor ou révèle des systèmes particuliers de construction, restitué totalement si le relevé

a pour objet une analyse archéologique ou doit être utilisé comme document de chantier;

- le *décor peint*, sauf cas exceptionnels, ne sera généralement pas restitué sur un relevé graphique; si l'on veut le représenter, sa meilleure expression sera obtenue par redressement ou par orthophotographie;
- le *décor sculpté* doit incontestablement être restitué s'il fait partie intégrante de l'architecture dont le relevé, en son absence, n'aurait plus guère de sens. Cette restitution pose cependant des problèmes difficiles si la sculpture est très fine ou présente un fort relief (échelle, contours apparents, plans de référence, ...). Aussi, "il paraît raisonnable d'estimer que - sauf cas spéciaux justifiant un travail particulier et coûteux - le relevé du décor sculpté et de la statuaire monumentale a surtout pour objet de contribuer à l'analyse et à la compréhension de l'oeuvre architecturale considérée dans sa totalité, sans prétendre à une rigueur géométrique absolue qui, d'ailleurs, aurait généralement peu d'utilité pratique" (Optimisation des relevés photogrammétriques d'architecture, CIPA-Unesco, 1981);
- les éléments accidentels de la "surface architecturale" qui contribuent à l'*auscultation de l'état du monument*, notamment les fissures et les écarts entre les pierres d'appareil disjointes, peuvent être d'un grand intérêt pour l'architecte-conservateur;
- certaines *données chiffrées*: points de cote d'altitude ou de profondeur, complètent utilement la connaissance du monument apportée par le relevé graphique.

Dans tous les cas, une caractéristique essentielle du relevé sera les *plans de référence* sur lesquels seront projetées les différentes parties de l'édifice. Le choix et la détermination pratique des plans de référence ne sont pas spécifiques des relevés photogrammétriques. Mais ils sont très importants dans ces derniers pour deux raisons: d'une part ils interviennent dans l'organisation des prises de vues et dans les opérations de restitution; d'autre part, lorsqu'un plan de référence ne peut être défini que par la direction moyenne d'une surface plus ou moins déformée, il peut être avantageux de ne le déterminer qu'au moment de la restitution par des mesures en éloignement. Cette seconde raison ne se rencontre toutefois qu'exceptionnellement et, pratiquement, le choix des plans de référence, qui entre dans la conception du relevé, se fera sur le monument. C'est par rapport à ces plans que seront établis les canevas d'appui nécessaires à la restitution.

### 3.1.3 L'expression du relevé

Au chapitre 2.2, l'exposé des méthodes d'exploitation des photographies métriques nous a montré que les relevés photogrammétriques peuvent conduire à des tracés graphiques, à des images photographiques corrigées des déformations

perspectives et à des restitutions numériques sous forme de coordonnées tridimensionnelles de chaque point mesuré. Ce sont les *modes d'expression* de ces relevés.

Quant aux *formes d'expression*, elles peuvent être classées de la façon suivante:

a) Les *relevés en élévations* à partir de photographies à axe plus ou moins horizontal ou, ce qui est techniquement semblable, les *relevés en plan des voûtes et des plafonds* à partir de photographies à axe vertical conviennent particulièrement bien à la mise en oeuvre de la technique photogrammétrique qui trouve là son maximum d'efficacité.

b) Les *sections horizontales ou verticales* sont également très facilement établies par restitution stéréophotogrammétrique, en aussi grand nombre qu'il sera nécessaire.

c) Les *plans au sol* sont moins faciles à établir dès que le monument présente une certaine complexité et surtout un compartimentage dû à des murs verticaux de différentes directions, à des colonnes ou piliers, etc. La photogrammétrie ne fournira alors que des éléments partiels du plan qu'il faudra joindre entre eux par des levés directs. Ceux-ci seront encore plus nécessaires si le plan concerne l'extérieur et l'intérieur de l'édifice.

d) Les *relevés des formes* non planes (surfaces verticales courbes, surfaces convexes ou concaves, voûtes, coupoles, ...) peuvent être traités en plan ou en coupes, comme nous l'avons mentionné ci-dessus. L'orthophotographie trouve également ici un domaine favorable d'application. Mais, de plus, la stéréophotogrammétrie offre la possibilité de les exprimer sous forme de *courbes de niveau* si le plan de référence est horizontal, ou de *sections verticales équidistantes* si le plan de référence est vertical.

Pour obtenir ces courbes, l'opérateur place l'articulation mécanique qui décrit le modèle dans l'appareil de restitution à une certaine cote d'éloignement. N'utilisant plus alors que les commandes qui assurent le mouvement latéral de l'articulation et, simultanément, le déplacement latéral du repère de pointé au-dessus de l'image spatiale qu'il observe, l'opérateur amène le repère au contact de la surface courbe et le déplace en maintenant ce contact. L'articulation décrit alors une courbe de niveau ou une section verticale, dont la forme est reproduite par le traceur de la table. Ce procédé est particulièrement intéressant lorsqu'il s'agit d'exprimer la surface des voûtes et des coupoles; leur représentation en courbes de niveau donne un véritable constat de leur état, une mise en évidence parlante de leurs déformations et permet un diagnostic de leur stabilité.

e) Les *points cotés* obtenus par restitution numérique seront marqués sur le dessin, accompagnés d'un nombre indiquant une hauteur ou une profondeur par rapport à un plan de référence déterminé.

Toutes les notions introduites dans cette partie 3.1 vont maintenant s'appliquer à des exemples de relevés de différents types.

## 3.2 Domaines d'application

Sur la base des travaux réellement effectués aujourd'hui, on peut classer les domaines d'application des relevés photogrammétriques d'architecture en six groupes, d'importance inégale.

### 3.2.1 *Les relevés destinés à l'analyse architecturale du monument*

Leur objet est généralement de donner les lignes architecturales nécessaires à la compréhension de l'édifice et à l'illustration de la description littérale qui peut en être faite. L'échelle en est souvent de 1:100 et l'on recherche une bonne précision, compatible avec cette échelle. Leur programme concerne rarement l'ensemble de l'édifice, mais une sélection d'élévations extérieures et intérieures, de coupes horizontales et verticales qui décrivent suffisamment le monument et permettent d'en saisir la structure et la conception d'ensemble. De plus, certains détails de l'architecture, de l'appareil ou du décor peuvent être traités à plus grande échelle pour approfondir des particularités stylistiques ou techniques. Le schéma de prise de vues, l'échelle des photographies et le canevas d'appui sont étudiés en fonction de ces besoins; ce qui n'exclut pas, comme nous l'avons recommandé, d'étendre les opérations sur place pour établir une archive photogrammétrique plus complète.

**Exemples:** figures 26 et 27.

### 3.2.2 *Les relevés destinés à des opérations de conservation et de restauration*

Il s'agit le plus souvent de relevés partiels d'un monument dont le programme, défini par l'architecte conservateur, correspond aux études et à la documentation qui lui sont nécessaires pour préparer et réaliser une opération de conservation, voire de restauration. Traités à l'échelle de 1:50, avec des détails à 1:20 ou 1:10, ces relevés comportent toutes les lignes architecturales et l'appareil de construction. Les fissures et autres indicateurs de désordre sont relevés avec soin. Selon le monument et la nature de l'opération à effectuer, le décor sculpté est relevé intégralement ou seulement "mis en place". Des sections verticales et horizontales complètent ce travail, pour lequel on recherche une précision de l'ordre du centimètre. Ici aussi, l'extension du programme de prise de vues est toujours possible et souhaitable.

**Exemples:** figures 28 et 29.

### 3.2.3 *Les relevés systématiques des monuments majeurs*

Conçus dans un esprit de documentation générale, utilisés pour les chantiers permanents d'entretien et pouvant servir à toute étude et à toute opération de restauration, ils ont des caractéristiques comparables à celles du groupe précédent, mais on s'efforce de les étendre à l'ensemble de chaque monument, extérieur et intérieur. Dans ces programmes, qui représentent un travail considérable, la priorité est évidemment accordée aux archives photogrammétriques, mais les restitutions suivent, aussitôt que possible, selon les moyens disponibles. Certains pays leur accordent la première place, parfois même une place exclusive.

**Exemples:** figures 30, 31 et 32.

### 3.2.4 Les développements de façades

Les *développements de façades*, soit graphiques (**fig. 33**), soit sous forme de photoplans (**fig. 34**), concernent des ensembles d'édifices le long des rues et des places. Ils sont relevés à des échelles de 1:50 ou 1:100. Nous croyons devoir en faire un groupe spécifique parce que, dans certains pays, particulièrement en Europe centrale, ils sont l'une des activités principales des ateliers de photogrammétrie architecturale (**fig. 35**). Ils intéressent, en fait, tous les centres historiques.

Exemples: figures 33, 34 et 35.

### 3.2.5 Les relevés du décor

Comme nous l'avons dit précédemment, le *décor peint* justifie rarement un relevé graphique, sauf dans des cas particuliers justifiés par des analyses, comme celles que présentent les figures 36 et 37. Redressement et orthophotographie lui conviennent beaucoup mieux, surtout pour le relevé des surfaces peintes des voûtes et des coupes (cf. **fig. 14**). Nous verrons au chapitre suivant (cf. 4.3) les possibilités offertes maintenant dans ce domaine par l'orthophotographie à commande numérique.

Le *décor sculpté* a, bien entendu, une importance architecturale beaucoup plus grande mais la photogrammétrie n'est pas toujours en mesure de le traiter dans le détail (cf. 3.1.2). Elle s'applique toutefois particulièrement bien au relevé des plafonds sculptés (**fig. 38**), à celui de la statuaire architecturale qui peut avoir une importance telle qu'elle est en elle-même "le monument" (**fig. 39**), ainsi qu'au relevé du "mobilier" sculpté intégré dans l'architecture à tel point qu'il en est presque indissociable (**fig. 40** et **41**).

Exemples: figures 14, 36, 37, 38, 39, 40 et 41.

### 3.2.6 Les relevés destinés à des études particulières sur les monuments

Les progrès de la technique photogrammétrique, liés à l'informatique et à l'automatisation, ont grandement augmenté les possibilités qu'elle offre à de tels travaux (cf. 4.3). Mais les méthodes plus classiques permettent déjà des études fort intéressantes grâce à leur adaptation aux relevés *d'archéologie monumentale* concernant, en particulier, les appareils de pierre complexes pour lesquels les photoplans sont d'un grand intérêt (**fig. 42**) et les *fouilles dans les édifices* (**fig. 43**).

De même les *études fines de surface* font quelquefois appel à des relevés photogrammétriques de haute précision (0,1 mm), à des échelles de 1:5, 1:2 ou 1:1, à partir de prises de vues à très courtes distances. Des relevés de ce type ont été exécutés, par exemple, dans le cadre de recherches sur les dégradations dues aux "maladies de la pierre" (**fig. 44**) ou lors de la dépose de peintures murales en vue de leur restauration.

Exemples: figures 42, 43 et 44.

### 3.3 Quelques aspects technico-économiques des relevés photogrammétriques

La rapidité des opérations sur place a déjà été signalée (établissement des archives photogrammétriques): elle est une des données très importantes dans la décision d'effectuer des relevés photogrammétriques et dans l'organisation de ces relevés. Exemple: tout l'extérieur de la cathédrale de Strasbourg (flèche exceptée) a été relevé par une équipe de quatre personnes en cinq semaines de travail. Cette rapidité permet, avec le même effectif de personnel, une accélération considérable des opérations de documentation de base des monuments.

La restitution est, certes, beaucoup plus longue; elle est, de toute façon, plus rapide et beaucoup plus sûre qu'un relevé "à main" dès qu'il s'agit d'un monument de quelque importance.

Les équipements coûtent cher, surtout les équipements de restitution. Mais la rationalisation des travaux apportée par la photogrammétrie permet de rentabiliser assez rapidement l'investissement nécessaire. Par exemple, le premier appareillage (chambres métriques et restituteur) acquis par le Département photogrammétrique des monuments historiques d'Autriche a, selon cet organisme, été amorti en deux années.

L'expérience prouve qu'il est préférable, lorsqu'un service des monuments historiques d'un pays ou d'une région décide d'utiliser largement, voire systématiquement, les techniques photogrammétriques de relevés, que ce service se dote de sa propre unité spécialisée. Bien souvent cependant il est fait appel, pour l'exécution des relevés, à des entreprises photogrammétriques, publiques ou privées. Dans les deux cas, il est indispensable qu'un dialogue permanent s'établisse entre les demandeurs-utilisateurs des relevés (architectes-conservateurs, historiens de l'art, archéologues, ...) et les techniciens chargés de l'exécution des opérations photogrammétriques. Ce dialogue est nécessaire pendant toutes les étapes des travaux, notamment pour la définition préalable des relevés à exécuter, le choix des plans de référence et pendant la restitution. Bien veiller également à porter sur le relevé toutes les indications nécessaires à sa compréhension et à son utilisation ... même cent ans après son exécution.

### 3.4 Organisation d'une unité de photogrammétrie architecturale

Nous croyons utile de donner ici quelques indications sur cette question importante, basées sur l'expérience internationale du Comité de photogrammétrie de l'ICOMOS (CIPA). Les *tâches à exécuter* par une unité spécialisée sont les suivantes:

- programmation et conception des relevés, en liaison avec les services utilisateurs;
- exécution des opérations sur les monuments (prises de vues, travaux photographiques en campagne, détermination des mesures ou canevas d'appui); travaux de bureau consécutifs (en particulier, les calculs topographiques, s'il y en a);



- établissement des "archives photogrammétriques": numérotation, classement, codification, stockage; travaux de laboratoire nécessaires: tirages, contre-types, ...;
- travaux de restitution: stéréophotogrammétrie graphique, redressements, éventuellement orthophotographies, ce qui nécessite d'une part un atelier doté d'appareils de restitution stéréophotogrammétrique, d'autre part, un laboratoire photographique (ce laboratoire peut regrouper l'ensemble des opérations photographiques);
- travaux de dessin: certaines mises au net des tracés restitués, "habillage" des planches (titres, échelle, toutes indications nécessaires), dessins sur photoplans (correction des éléments en relief ou même dessin complet, si l'on veut passer du photoplan à un relevé graphique), reproduction des planches graphiques;
- archivage des documents des relevés, classement, codification, conservation.

Pour assurer ces tâches, le *personnel* doit avoir une double qualification, en photogrammétrie et en architecture, l'une ou l'autre pouvant l'emporter, mais les deux étant toujours nécessaires. Ce personnel, d'autre part, peut se situer à deux niveaux: niveau ingénieur et architecte; niveau technicien. Il doit comporter au moins un spécialiste photographe.

Ces agents doivent recevoir la formation nécessaire. Pour les spécialistes de l'architecture devenant photogrammètres, on peut recommander une bonne formation générale en photogrammétrie dans un institut universitaire ou une école supérieure, suivie d'une spécialisation dans les applications architecturales obtenue par un stage dans une entreprise effectuant des relevés photogrammétriques. Pour les photogrammètres devant acquérir de bonnes notions d'architecture, il faut prévoir les cours et stages nécessaires. Ce schéma optimum de formation peut toutefois être allégé si l'on désire entrer rapidement dans la pratique: une "formation sur le tas" n'est pas à exclure a priori, mais il est bon alors de recevoir les conseils de photogrammètres et d'architectes.

L'unité de photogrammétrie architecturale peut se constituer progressivement. Ce sera d'ailleurs généralement le cas, pour des raisons financières évidentes. Nous conseillons alors:

- pour le personnel, une première équipe constituée d'un architecte, d'un ingénieur ou technicien photogrammètre et d'un bon photographe ayant le sens de la mesure précise et de la photographie technique;
- pour le matériel, un premier équipement constitué d'une chambre métrique (stéréométrique ou, de préférence, individuelle), d'un appareil de restitution (plus ou moins performant, selon les moyens) et d'un bon laboratoire photographique.

Puis l'unité peut se développer peu à peu tant en personnel qu'en équipement. C'est ainsi que se sont créées et ont grandi la plupart des unités photogrammétriques fonctionnant au sein des services responsables du patrimoine architectural.

# EVOLUTION ET DEVELOPPEMENT DE LA PHOTOGRAMMETRIE ARCHITECTURALE

### 4.1 Cent trente années de photogrammétrie des monuments (1850-1980): des travaux expérimentaux aux programmes de travaux

Dès que la photographie parvint à quelques résultats pratiques, peu avant 1840 (daguerréotypie), l'idée fut avancée qu'elle devait pouvoir être utilisée pour les relevés architecturaux. Cette idée reposait sur trois considérations complémentaires:

- depuis la Renaissance italienne, les architectes connaissent l'art d'établir des plans et des élévations d'un bâtiment d'après des vues perspectives; or la photographie est une *nouvelle méthode d'enregistrement des perspectives* qui donne une image dont les lois géométriques sont bien précises;
- si deux photographies d'un même sujet ont été prises de deux points de vue différents, à chaque point objet sont associés deux rayons perspectifs dont l'*intersection* donnera la position de ce point;
- la photographie enregistre d'un seul coup la totalité de la *surface* située dans son champ: elle doit donc permettre de faciliter, d'activer et de rendre plus précis l'enregistrement des perspectives.

Dans les années 1850-1860, les promoteurs de ces idées furent le français Aimé Laussedat, officier du génie qui appela son procédé la *métrophotographie*, et l'architecte allemand Albrecht Meydenbauer qui lança les noms de photométrie, puis de *photogrammétrie*, définitivement choisis. Des trois considérations qui précèdent, ils retinrent essentiellement la seconde, c'est-à-dire qu'ils considérèrent la méthode photogrammétrique comme une transposition des méthodes indirectes (cf. 1), la gerbe perspective formée par l'ensemble des rayons perspectifs jouant le rôle d'un "tour d'horizon" fait au théodolite et l'exploitation des photographies consistant à rechercher les intersections des rayons homologues d'un certain nombre de points caractéristiques de l'édifice. Outre les avantages mentionnés ci-dessus (troisième considération), les photographies pouvaient également remplacer avantageusement les croquis qui servent de mémoire au relevé et aider au dessin des lignes de ce relevé. Mais on aboutissait toujours à une *méthode ponctuelle* avec tous les inconvénients qu'elle présente quant à la mesure de la forme réelle.

Ces inconvénients n'étaient pas ressentis à l'époque car ni l'analyse du monument, ni la conception que l'on avait de son éventuelle restauration n'exigeaient la mesure exacte de sa forme réelle, telle qu'elle résulte de la construction initiale, des modifications qu'elle a subies au cours du temps et des détériorations qui l'ont affectée. Les relevés établis selon les méthodes traditionnelles étaient jugés suffisants et la nouvelle méthode n'apportait guère plus. C'est la raison pour laquelle, après avoir soulevé un

intérêt de curiosité, la photogrammétrie architecturale tomba rapidement en désuétude et, pendant longtemps, ne donna lieu qu'à quelques expériences sporadiques et sans continuité. Une seule exception, de grande importance: celle du "Messbildanstalt" que Meydenbauer fonda en Allemagne en 1885 et qui fut chargé d'établir les plans des monuments historiques par photogrammétrie. Jusqu'en 1945, ce service poursuivit inlassablement sa tâche: il nous vaut aujourd'hui de disposer encore de plus de 15.000 clichés concernant des édifices d'Allemagne et d'autres pays (dont beaucoup ont subi de graves dégâts) et auxquels l'Institut für Denkmalpflege de la République démocratique d'Allemagne apporte tous ses soins pour en assurer la conservation et l'utilisation.

Cette première photogrammétrie était très simple. Pour augmenter la précision des intersections des rayons perspectifs homologues, on prenait les deux photographies d'un même élément architectural selon des directions convergentes et avec des appareils de grand format (jusqu'à 40 x 40 cm), équipés d'objectifs de longue focale (20, 35, 50 cm). Ces formats permettaient une mesure plus fine des coordonnées des points-images sur les clichés, faite avec des moyens très simples, et facilitaient les tracés graphiques qui, appliquant une géométrie descriptive élémentaire, permettaient de construire la position de chaque point relevé, en plan et en élévation (le premier relevé exécuté selon ce procédé par Meydenbauer date de 1867).

Dans la première décennie du XX<sup>ème</sup> siècle cependant, la *stéréophotogrammétrie* et le *redressement* étaient apparus et, rapidement, s'étaient trouvées réunies toutes les conditions (méthodes et instruments) qui permettaient d'accroître beaucoup la précision des relevés photogrammétriques d'architecture et d'étendre cette précision accrue non seulement à un certain nombre de points formant l'ossature du relevé mais à l'ensemble des lignes dont le tracé continu donnait le relevé lui-même. Dans les autres domaines d'application de la photogrammétrie, ce progrès considérable fut aussitôt compris et utilisé. Mais il n'en fut pas ainsi pour les relevés des monuments, malgré les efforts de quelques pionniers au premier rang desquels il convient de citer Eduard Dolezal, professeur à l'Ecole technique supérieure de Vienne qui, avec l'autorité que lui conféraient la fondation et la présidence de la Société internationale de photogrammétrie (1910), ne cessa de mener une véritable "croisade" en faveur de la stéréophotogrammétrie architecturale.

Une première cause de ce refus tenait au fait que les méthodes par constructions graphiques pouvaient et même devaient être mises en oeuvre par des architectes, tandis que la stéréophotogrammétrie, procédé plus technique, fut principalement prônée par des ingénieurs géodésiens et photogrammètres. Un manque de compréhension évident entre les uns et les autres ne permit pas qu'ils collaborent vraiment à une oeuvre commune. Il est vrai que les responsables des monuments n'éprouvaient nullement le besoin de cette coopération. Si la plupart d'entre eux n'estimèrent pas utile de mettre en oeuvre les procédés de Laussedat et de Meydenbauer, à plus forte raison jugèrent-ils inutiles et sans rapport avec les exigences pratiques de leurs travaux les nouvelles possibilités que leur offrait la stéréophotogrammétrie. Enregistrer avec précision et dans tous ses détails la forme

effective d'un monument leur paraissait, comme il fut dit au congrès de photogrammétrie de Paris en 1934, moins important qu'"une présentation artistique et un style irréprochable".

Lorsque s'acheva, en 1945, le seconde guerre mondiale, le bilan de la photogrammétrie architecturale était simple. D'une part, hormis l'immense oeuvre accomplie par le Messbildanstalt de Berlin, les méthodes photogrammétriques par constructions graphiques - illustrées essentiellement, entre les deux guerres, par Henri Deneux - avaient produit assez peu de travaux et étaient finalement tombées dans l'oubli. D'autre part, la stéréophotogrammétrie n'était pas entrée dans la pratique courante des relevés architecturaux; en de nombreux pays, ses avantages avaient été mis en évidence par des démonstrations excellentes, mais celles-ci étaient restées individuelles et sans suite. Pourtant, grâce au développement des autres domaines d'application, sa méthodologie et son instrumentation avaient fait de grands progrès et permettaient de l'utiliser dans de bonnes conditions techniques pour les relevés architecturaux. Il ne manquait donc que la demande.

Celle-ci vint bientôt, motivée par la *nouvelle conception de la conservation des monuments* qui s'était progressivement précisée et qui devait se concrétiser un peu plus tard, en 1964, dans la *Charte de Venise*. Désormais, la conservation et, à plus forte raison, la restauration devaient s'appuyer sur une connaissance approfondie de l'oeuvre du passé et sur un constat minutieux de l'état actuel de l'édifice. Il leur fallait disposer de la *forme effective* de cet édifice, "parfaitement objective et totale, avec toutes ses irrégularités, voulues ou non, importantes ou non, d'intérêt esthétique, technique ou historique" (Hans Foramitti). La stéréophotogrammétrie et, pour des cas plus simples, le redressement, permettent le constat et la mesure de cette forme effective présente. Son emploi s'est donc développé progressivement, surtout au cours des vingt-cinq dernières années.

Ce développement, concerne d'une part, l'accroissement considérable des opérations, d'autre part, une importante évolution technologique.

## **4.2 Développement actuel des opérations de relevés photogrammétriques du patrimoine architectural**

### **4.2.1 Programmes et services**

Dans de nombreux pays les opérations de relevés photogrammétriques font l'objet de véritables *programmes*, dont l'exécution est confiée soit à des entreprises photogrammétriques, soit à des départements spécialisés constitués au sein des services des monuments historiques. Au chapitre précédent (cf. 3.3), nous avons recommandé la deuxième solution: de fait, elle est adoptée aujourd'hui dans un nombre croissant de pays. Il existe, bien entendu, des solutions intermédiaires, par exemple lorsqu'une unité photogrammétrique d'un service responsable de la conservation assure elle-même la majeure partie de l'exécution des relevés et s'adresse à une entreprise pour traiter certains cas particuliers demandant, par exemple, des

équipements dont elle ne dispose pas. D'autre part, les accords passés par certains services de conservation avec des laboratoires universitaires très spécialisés en photogrammétrie architecturale équivalent pratiquement, pour ces services, à s'être doté d'une unité photogrammétrique (exemples de la Grande-Bretagne et de la Yougoslavie).

Pour préciser les idées et montrer la diversité des programmes et des modes d'exécution des travaux, nous présentons ici quelques exemples européens.

**Allemagne, République fédérale d'** (Land de Rhénanie) - En République fédérale d'Allemagne, où les responsabilités de la conservation sont régionalisées, deux "Länder" seulement ont constitué leur propre unité photogrammétrique: ceux de Rhénanie-du-Nord (Bonn) et de Bade-Wurtemberg (Stuttgart). A Bonn, la priorité est accordée aux relevés nécessaires aux opérations pratiques de conservation; viennent ensuite des relevés d'études et un programme de documentation générale sur les édifices appartenant aux villes. Il n'y a pas de travaux systématiques pour les grands monuments, ni pour les inventaires.

**Allemande, République démocratique** - Tous les relevés photogrammétriques sont centralisés dans un département de photogrammétrie fonctionnant à Dresde, dans le cadre de l'Administration nationale du patrimoine architectural. Les programmes sont fixés par les architectes de cette administration et exécutés par les 18 agents du département.

**Autriche** - Les relevés photogrammétriques sont presque tous concentrés à la section de photogrammétrie (rattachée maintenant au département d'architecture) du Service fédéral des monuments historiques, créée en 1961 par Hans Foramitti. Les programmes, très importants (environ 4.000 clichés métriques par an) concernent avant tout les développements de façades, puis les intérieurs et le mobilier architectural, enfin - en dernière position - les extérieurs des monuments.

**France** - Deux programmes existent en France.

1) Le programme de l'Inventaire général qui dispose d'un atelier central de photogrammétrie à Paris (11 personnes) et de 21 cellules régionales pour les prises de vues courantes; ce programme concerne avant tout l'établissement d'une archive photogrammétrique très importante, partiellement exploitée pour des relevés graphiques destinés à la connaissance générale des édifices; des travaux d'études (analyse architecturale, typologie, ...) s'ajoutent à ces relevés.

2) Le programme des services des monuments historiques, coordonné par le Centre de recherches sur les monuments historiques et de plus en plus décentralisé, qui est conçu pour répondre aux besoins des architectes et dont l'exécution est confiée à des entreprises spécialisées, principalement à l'Institut géographique national; les relevés pour les opérations de conservation viennent en premier lieu, puis la documentation systématique des grands monuments, enfin des travaux d'études.

**Grande-Bretagne** - La Direction des anciens monuments et des bâtiments historiques est responsable de 400 monuments, surtout médiévaux, dont elle fait faire des relevés complets et détaillés par l'unité photogrammétrique de l'Institut d'études architecturales avancées de l'Université de York. Les autres monuments (appartenant à des particuliers ou aux villes) sont relevés par des entreprises privées ou des laboratoires universitaires, la coordination étant assurée par la Commission des monuments historiques concernée.

**Union soviétique** - Les programmes de relevés photogrammétriques concernent essentiellement les monuments (200 monuments sont traités chaque année, extérieurs et intérieurs). L'exécution est assurée par les laboratoires photogrammétriques des instituts de conservation et de restauration (notamment à Moscou et à Vilnius). Des départements spécialisés dans les relevés d'architecture existent également dans les services photogrammétriques d'entreprises nationales de topographie et de cartographie.

**Yougoslavie, République de Croatie** - Dans ce pays, chaque république est chargée de la conservation de son patrimoine. Dans celle de Croatie, le service de conservation fait exécuter de nombreux relevés photogrammétriques par l'Institut de photogrammétrie de l'Université de Zagreb. En priorité, les monuments (extérieurs et intérieurs), puis les développements de façades.

#### 4.2.2 *Le rôle des organisations internationales*

Le développement des applications de la photogrammétrie aux monuments doit beaucoup à l'influence exercée par les organisations internationales concernées par la conservation du patrimoine culturel, au premier rang desquelles se placent le Conseil international des monuments et des sites (ICOMOS) et l'Unesco.

Trois ans après sa constitution, l'ICOMOS a organisé en 1968 le premier colloque international sur les applications de la photogrammétrie à la documentation des monuments et des sites. Une recommandation de ce colloque a conduit, en 1970, à la création, au sein de l'ICOMOS et en liaison avec la Société internationale de photogrammétrie, d'un Comité international spécialisé, le CIPA. Depuis lors, l'ICOMOS a maintes fois recommandé l'emploi de la photogrammétrie et soutenu les efforts du CIPA pour promouvoir le développement de cette technique au sein des services de conservation des monuments. Le CIPA a agi par ses publications, ses liaisons avec de nombreux correspondants dans le monde, ses symposiums ou réunions d'experts, ses études et actions techniques.

L'Unesco s'est intéressée, depuis plus de vingt-cinq ans, aux relevés photogrammétriques d'architecture et les a recommandés en de nombreuses occasions. Elle a organisé, de différentes façons, des actions de formation dans ce domaine et pris en charge l'équipement d'unités photogrammétriques dans des services d'architecture ou d'archéologie de pays en voie de développement. Toutefois, son action s'est principalement exercée par la décision de faire établir des relevés

photogrammétriques en préalable à toutes les grandes opérations de sauvegarde de monuments ou de sites, pour lesquelles elle a fait appel à la solidarité internationale. Des services spécialisés de quelques pays ont apporté leur concours à l'Unesco pour l'exécution de ces relevés, dont nous citerons simplement quelques exemples très importants: les monuments et sites de la Nubie égyptienne (**fig. 45**), l'Acropole d'Athènes, les monuments de Pétra en Jordanie, le temple de Borobudur en Indonésie (**fig. 46**).

### 4.3 Le développement technologique

Les relevés photogrammétriques d'architecture sont le plus souvent effectués par *stéréophotogrammétrie analogique graphique* et complétés parfois, comme nous l'avons dit, par quelques déterminations numériques. Particulièrement favorable au tracé des élévations, mais donnant facilement aussi coupes et éléments de plans, offrant également des possibilités nouvelles de relever les surfaces non planes, cette méthode peut fournir à l'architecte et à l'historien de l'art les documents d'archive ou de travail dont ils ont besoin, avec la rigueur (à certaines nuances près) qu'ils exigent aujourd'hui.

Mais l'évolution technologique apportée par l'heureuse *alliance de l'informatique et de la photogrammétrie* accroît maintenant le champ d'application de celle-ci, en architecture comme dans les autres domaines où elle est mise en oeuvre. Nous voulons montrer ici les principales orientations de cette évolution.

4.3.1 Tout d'abord il nous faut indiquer que la *stéréophotogrammétrie analogique numérique* (cf. 2.2.2), qui marque un gain de précision sensible sur la restitution graphique, peut satisfaire d'autres besoins que les déterminations complémentaires (points cotés, mesures fines de certains éléments, ...) mentionnées précédemment. Citons en particulier:

- le relevé d'arcs ou de voûtes complexes photographiés très obliquement et restitués d'abord dans un système d'axes inclinés, puis transformés dans le système de référence normal;
- la détermination de points caractéristiques d'un édifice conduisant à la définition géométrique synthétique de sa structure (modélisation) (**fig. 47**);
- la mesure des déformations d'un monument par des relevés périodiques successifs portant sur des détails précis ou des repères placés préalablement à la prise des photographies (**fig. 48**);
- l'expression d'une ligne ou d'une surface architecturale par la restitution numérique d'un nombre élevé de points dont les coordonnées pourront être utilisées pour calculer la ligne ou la surface géométriques qui passent au mieux par l'ensemble de ces points et rechercher ainsi les formes géométriques selon lesquelles ont été conçus et réalisés certains éléments architecturaux (**fig. 49**);



- éventuellement, la recherche des "tracés directeurs".

Dans tous les cas, les coordonnées instrumentales des points mesurés sont enregistrées. Les enregistreurs modernes connectés aux appareils de restitution (fig. 50) mettent en mémoire ces coordonnées sur des bandes magnétiques et peuvent opérer selon deux modes: par points individuels ou par points successifs d'une même ligne, la mesure se faisant alors automatiquement à intervalles réguliers lorsque l'opérateur suit cette ligne avec son repère. Tous ces enregistrements peuvent ensuite être traités sur ordinateur pour obtenir les résultats concernant les dimensions, les formes, les surfaces, les déplacements, etc.

4.3.2 Autre mode de relevé numérique: la *photogrammétrie analytique*. Dans son principe, celle-ci ne diffère pas de la photogrammétrie par intersections, graphiques ou calculées, d'autrefois mais elle utilise des mesures faites sur les clichés avec des *comparateurs* (précision 0,001 mm). Les coordonnées-images sont évidemment enregistrées automatiquement sur bande magnétique. Elles sont traitées ensuite sur ordinateur.

La photogrammétrie analytique a une précision que l'on estime cinq fois supérieure à celle de la photogrammétrie analogique numérique. Cette haute précision et sa souplesse de mise en oeuvre sur les chantiers la rendent particulièrement avantageuse pour les contrôles de stabilité et les mesures de déformation. Mais elle conduit toujours à des déterminations ponctuelles et convient donc assez mal aux relevés graphiques pour lesquels elle ne peut fournir, en fait, qu'un canevas plus ou moins dense.

4.3.3 Cette réserve ne tient plus si l'ordinateur est directement associé au dispositif d'observation et de mesure et si l'on peut ainsi effectuer l'ensemble du processus en des temps très courts (en "temps réel") et retrouver la possibilité du suivi continu des lignes architecturales. Les appareils conçus sur ce principe sont les *restituteurs analytiques* qui offrent, de surcroît, l'avantage d'effectuer immédiatement des calculs. On peut donc, selon les besoins, les utiliser comme des restituteurs analogiques pour des tracés directs et des déterminations numériques ponctuelles - avec l'avantage d'une sûreté, d'une souplesse et d'une efficacité accrues - ou comme un ensemble "comparateur + ordinateur" pour des travaux du type de ceux que nous avons mentionnés précédemment en 4.3.1. Il existe déjà un nombre assez important de restituteurs analytiques, parmi lesquels nous citerons (fig. 51):

- la série des Planicomp C.100, C.120 et C.130 de Carl Zeiss (R.F.A.) et le Stéréocord G.3 de cette même firme (appareil simplifié convenant surtout, en architecture, aux mesures numériques);
- le stéréorestituteur numérique DSR.11 de Kern (Suisse);
- le Digicart de Officine Galileo (Italie);
- le système analytique AP.5 de l'Ottico Meccanica Italiana (Italie);

- les Aviolyt BC.1 et BC.2 de Wild-Heerbrugg (Suisse);
- la série des restituteurs analytiques Traster de Matra (France).

Les restituteurs analytiques sont maintenant les appareils les mieux adaptés à la photogrammétrie architecturale.

4.3.4 Les possibilités de l'“orthophotographie architecturale” se sont beaucoup accrues par l'apparition, il y a quelques années, des *orthoprojecteurs à commande numérique*, dans lesquels l'exécution de l'orthophotographie est pilotée par un ordinateur. Sans entrer dans les principes techniques de ces appareils, nous dirons simplement que cette nouvelle génération d'orthoprojecteurs, représentée en particulier par (fig. 52):

- le Z.2 Orthocomp de Carl Zeiss (R.F.A.);
- l'orthoprojecteur OR.1 de Wild-Heerbrugg (Suisse);
- le Topomat-B de Carl Zeiss Jena (R.D.A.),

produit des documents de meilleure qualité. D'autre part, elle permet, grâce à des programmes de calculs appropriés, d'aller plus loin que le relevé en “géométral” et d'effectuer notamment des relevés de surfaces architecturales courbes (voûtes en berceau, coupoles) par projection sur une surface développable, d'expression mathématique connue (fig. 53). De tels relevés sont plus directement utilisables par l'architecte ou l'historien.

# LA PHOTOGRAMMETRIE APPLIQUEE AUX CENTRES HISTORIQUES

Il n'est pas nécessaire d'introduire ici la notion de *centre historique* qui est venue compléter, plus récemment, celle de monument historique et qui est certainement familière à tous les lecteurs de ce manuel. L'analyse, l'aménagement, la protection d'un centre historique demandent une documentation aussi rigoureuse que celle qui est maintenant de règle pour les monuments. Outre les études historiques, archéologiques, sociologiques, ... outre les instruments d'analyse détaillée que sont les relevés de façades, d'intérieurs et surtout les *développements de façades* (cf. 3.2.4), des documents *d'analyse globale* du centre, dans son état présent, sont indispensables. Pour les établir, on fait largement appel aujourd'hui à la photographie aérienne.

### 5.1 Les prises de vues aériennes et leur exploitation

#### 5.1.1 Notions technologiques sur les couvertures photographiques aériennes stéréoscopiques

Ces couvertures sont exécutées selon une méthode bien établie et universellement adoptée (principalement pour les levés photogrammétriques à but cartographique).

On utilise des *chambres métriques automatiques à film*, dans lesquelles la planéité du film au moment de l'exposition est assurée par dépression, à l'aide d'un dispositif qui l'aspire contre une plaque métallique percée de nombreux petits trous. Les chambres sont montées sur un support anti-vibrations, au-dessus d'une trappe dans un avion (parfois un hélicoptère). Elles ont maintenant un format standard de 24 x 24 cm, les distances principales les plus courantes étant de 88, 152, 210 et 300 mm (**fig. 54**). On maintient au mieux la *verticalité de l'axe*.

Pour assurer la stéréoscopie et la couverture totale de la zone à photographier, le *schéma de prise de vues* (**fig. 55**) est constitué de bandes parallèles se recouvrant de 15 à 20%, les photographies d'une même bande se recouvrant entre elles d'environ 60%; de sorte que chaque portion de terrain se trouve sur au moins deux photographies et que les deux photographies successives d'une bande peuvent être examinées au stéréoscope. Comme en "photogrammétrie terrestre", l'unité de travail est le *couple de photographies* et la partie du sujet (ici le "terrain") commune aux deux images photographiques.

Pour réaliser ces couvertures, la *navigation* doit être très précise: altitude de vol constante, axes rectilignes et parallèles, vitesse uniforme conditionnant la cadence selon laquelle sont prises les photographies successives d'une bande. L'automatisation se développe actuellement dans l'exécution des couvertures aériennes.

L'échelle moyenne des photographies est égale au rapport de la distance principale de la chambre à la hauteur de vol de l'avion au-dessus du sol, plus exactement au-dessus d'un certain plan de référence qui représente une altitude moyenne du terrain survolé.

Les films utilisés, spécialement conçus pour la photographie aérienne, sont généralement des films panchromatiques en noir et blanc. Cependant l'intérêt de la *photographie en couleur* est particulièrement évident en milieu urbain.

### 5.1.2 Analyse qualitative des photographies aériennes - La photo-interprétation

Pour l'étude d'un centre historique, l'examen stéréoscopique des photographies aériennes est d'un très grand intérêt puisqu'il donne, avec beaucoup de détail et de finesse, une vue en relief du centre, de son environnement, de son site. L'exagération du relief perçu accroît cet intérêt en mettant bien en évidence de faibles dénivelées et toutes les données verticales des constructions.

Les échelles de prises de vues convenant à cette *photo-interprétation* des centres historiques vont de 1:25.000 à 1:2.000:

- des échelles de 1:10.000 à 1:25.000 (exceptionnellement 1:30.000) sont favorables à l'étude de l'adaptation au site, des structures anciennes conservées ou apparaissant sous les structures plus récentes, de l'évolution historique, de l'intégration du centre dans les quartiers périphériques nouveaux;
- du 1:5.000 au 1:8.000, on peut analyser avec beaucoup de précision le tissu urbain, la morphologie des îlots, la forme et la structure des toits;
- à des échelles de 1:2.000 ou 1:3.000 (exceptionnellement 1:1.000) on descend au niveau de l'immeuble, du détail des lucarnes, des cheminées, de la couverture des toits, ... (fig. 56).

Dans la photographie aérienne d'un centre historique (d'une zone urbaine, en général), le choix de la distance principale de la chambre est important. Plus l'échelle est grande, plus les courtes distances principales sont à exclure; on adoptera avec avantage celles de 210 ou 300 mm, qui réduisent les "angles morts" dus au relief des bâtiments.

Les *photographies aériennes obliques* n'entrent pas dans le schéma des couvertures verticales stéréoscopiques. Elles n'en sont pas moins intéressantes. Prises à différentes altitudes et sous différents angles, elles permettent de saisir soit des ensembles, soit des vues de détail montrant la disposition des différents éléments du milieu bâti, soit des perspectives caractéristiques. Photographie verticale et photographie oblique se complètent souvent de façon très utile et instructive (fig. 57).

### 5.1.3 Exploitation photogrammétrique des photographies aériennes

Les couvertures aériennes verticales sont traitées par les mêmes méthodes et avec les mêmes instruments que les photographies des monuments prises au sol: stéréophotogrammétrie (appareils de restitution analogiques ou analytiques), redressement, orthophotographie. Par stéréophotogrammétrie on obtient des plans graphiques et des données numériques (cotes d'altitude, en général). Par redressement (terrains peu accidentés) ou orthophotographies, on obtient des images photographiques corrigées des déformations perspectives, que l'on met à une même échelle et que l'on assemble sous forme de *photoplans*.

Mentionnons aussi que, outre les relevés des centres urbains, la photogrammétrie aérienne offre des solutions très intéressantes à la documentation des sites archéologiques.

Les échelles de prise de vues les mieux adaptées à ces modes d'exploitation peuvent être classées de la façon suivante:

- de 1:15.000 à 1:20.000 pour un plan à 1:5.000;
- de 1:8.000 à 1:10.000 pour un plan à 1:2.000;
- de 1:3.000 à 1:5.000 pour un plan à 1:1.000;
- de 1:2.000 pour un plan à 1:500.

On établit ainsi, depuis longtemps, des plans de centres urbains et, en particulier, des centres historiques qui comportent les éléments planimétriques du bâti, des cotes d'altitude placées sur les parties du terrain non construites (spécialement sur la voirie) et quelquefois des courbes de niveau. Ils sont souvent d'excellente qualité et indispensables à l'architecte-urbaniste et autres responsables d'un centre historique. Mais suffisent-ils à la connaissance et à l'analyse de ce centre?

## 5.2 Relevés stéréophotogrammétriques d'ensemble des centres historiques

Aux documents classiques produits par la photogrammétrie en milieu urbain il manque une donnée essentielle: les hauteurs des bâtiments.

Pour les obtenir, on exécute quelquefois, toujours par photogrammétrie aérienne, des "plans cotés des toits" qui donnent l'altitude de tous les points caractéristiques des superstructures du bâti. Ces plans, qui se présentent sous la forme d'un tracé planimétrique des toits portant de nombreuses cotes d'altitude, contiennent tous les éléments nécessaires. Mais ils sont d'une lecture et surtout d'un emploi difficiles lorsque l'architecte veut *analyser le "volume" du centre* sur lequel il travaille.

L'idée est donc venue, vers 1970, d'essayer d'exploiter le modèle de ce centre formé dans l'appareil de restitution, qui contient toutes les données tridimensionnelles du bâti et du sol, pour établir des *documents d'ensemble graphiques*, tels que *coupes*,

*élévations géométrales, axonométries, perspectives*, qui visualisent le volume du centre et qui, par leur rigueur géométrique et leur précision, permettent en plus de relever toutes les mesures nécessaires. Autrement dit, il s'agit d'étendre aux centres urbains les mêmes types de relevés et de représentations que ceux que l'on établit habituellement pour les monuments historiques et avec lesquels les architectes ont l'habitude de travailler.

Les premiers travaux ainsi conçus ont été réalisés, puis développés par l'Institut géographique national français en réponse aux besoins exprimés par quelques architectes, en particulier MM. Bertrand de Tourtier et Bernard Fonquernie. Depuis, des opérations de même nature ont été effectuées par d'autres services, dans d'autres pays. Il faut bien souligner toutefois que l'*expression photogrammétrique tridimensionnelle* des centres historiques n'est pas encore largement répandue, bien qu'elle n'en soit plus au stade expérimental et qu'un nombre suffisamment important de relevés et d'études en ait confirmé l'intérêt. Comme elle le fit pour les monuments historiques, la photogrammétrie des centres anciens connaîtra sans doute un développement progressif dans ses applications et dans ses méthodes: celles-ci ont déjà franchi un pas décisif en passant du processus analogique au processus analytique.

### 5.2.1 La méthode analogique (fig. 58 à 62)

Le "modèle" du centre urbain, formé dans l'appareil de restitution lorsque l'opérateur suit avec son repère toutes les lignes du bâti et de la voirie, peut être projeté sur un plan horizontal. On obtient alors un relevé en *plan* du centre et c'est ce que l'on fait habituellement. Il est important de bien préciser que, pour les bâtiments, ce plan, est, en fait, un *plan des toits*. Si l'on veut un plan au sol de l'implantation des immeubles, il faut corriger le relevé photogrammétrique du surplomb des toits. Mais cela n'a réellement de signification que si les surplombs sont importants et si le plan est à une très grande échelle (de 1:500 à 1:2.000). Généralement, il n'est pas nécessaire de procéder à cette correction, d'autant plus que, pour l'analyse globale des centres historiques, les toitures interviennent de façon essentielle dans la définition du "volume" bâti et dans l'appréciation du "velum" dans lequel s'insère l'ensemble des constructions.

Le plan photogrammétrique du centre historique peut être complété par la restitution numérique, faite sur le même "modèle" stéréophotogrammétrique, des altitudes de tous les points caractéristiques des toits. On obtient alors, comme nous l'avons dit précédemment, un *plan coté des toits*.

On peut également parcourir le "modèle" en maintenant le repère dans un plan vertical et en lui faisant suivre toutes les dénivellations du terrain et des constructions qu'il rencontre. Il en résulte une *coupe* du centre historique. La direction et la position des coupes sont choisies en fonction de la morphologie du centre, dont elles expriment les profils.

Le "modèle" peut aussi être projeté sur un plan vertical en combinant, dans la transmission des mouvements entre l'appareil de restitution et la table traçante, la coordonnée instrumentale Z avec l'une des coordonnées X ou Y. Le relevé issu de cette projection est une *élévation* (un "géométral") d'ensemble du centre. Moyennant quelques adaptations du système de transmission, mécanique ou électrique, entre les mouvements de l'articulation qui créent le "modèle" et les chariots de la table traçante, ce type de relevé peut être obtenu assez aisément. L'opérateur parcourt avec son repère spatial sur l'image en relief qu'il observe toutes les lignes du bâti et le traceur dessine, à l'échelle voulue, l'élévation. On peut choisir plusieurs plans de projection pour obtenir les élévations correspondant aux différentes "faces" du centre historique.

Bien qu'ils offrent une image telle qu'aucun observateur ne peut la voir sur place (pas plus qu'un observateur ne peut voir une façade importante en élévation), ces "géométraux" du centre peuvent répondre, dans une certaine mesure, à la nécessité d'analyser son aspect d'ensemble extérieur (les "vues sur la ville"). Cela est tout particulièrement vrai si le centre a une individualité propre (ville fortifiée, ensemble monastique, village-piton) ou s'il occupe un site privilégié à l'intérieur d'une ville. Mais l'expérience a déjà prouvé que de tels documents sont d'un grand intérêt pour tous les centres historiques, même s'ils ne sont ni "individualisés" ni sur un site privilégié. Notons aussi que, s'il est parfois possible d'établir ces documents par photogrammétrie terrestre à l'aide de couples de photographies prises du sol, hors de la ville, cette possibilité est exceptionnelle: la stéréophotogrammétrie aérienne est, le plus souvent, la seule solution qui puisse être retenue.

Transmettre deux par deux à la table traçante les trois coordonnées qui définissent le système de référence tridimensionnel du "modèle" assure le tracé direct des plans, coupes et élévations du centre. On a, de plus, étudié la possibilité de transmettre simultanément les trois coordonnées à la table qui, elle, n'en comporte naturellement que deux. Cette possibilité a été obtenue à l'aide d'un "différentiel" interposé entre l'appareil et la table. On peut ainsi tracer directement une *vue axonométrique* du centre historique dans une direction donnée, lorsque l'opérateur parcourt son image stéréoscopique avec le repère spatial; dans cette vue, la même échelle est maintenue dans les trois dimensions et le plan au sol est conservé.

Ainsi, le système documentaire dont peut disposer l'architecte-urbaniste se trouve considérablement accru par des représentations qui lui sont familières dans ses travaux sur les édifices. Établies à des échelles variant habituellement de 1:500 à 1:2.000, ces représentations ne sont pas seulement des "images" du centre; elles ont une valeur géométrique et peuvent être utilisées pour prendre des mesures, étudier la morphologie des îlots, insérer des constructions nouvelles pour en analyser l'impact sur le paysage urbain, etc.

### 5.2.2 La méthode analytique

Obtenues de la manière qui vient d'être indiquée, ces représentations sont donc le résultat d'un tracé direct à l'appareil de restitution. Pour chacune d'elles, l'opérateur est obligé de reprendre le long et minutieux travail du "suivi stéréoscopique" de toutes les lignes du bâti et, si l'on veut multiplier le nombre des représentations, les coûts de production augmentent très vite. On a donc cherché à automatiser le processus en "mémorisant" une fois pour toutes les lignes du bâti par une restitution stéréophotogrammétrique numérique; enregistrée, celle-ci peut ensuite être utilisée, de façon beaucoup plus rapide et économique, pour autant de représentations qu'il sera nécessaire.

Dans cette "méthode analytique", les calculs sur ordinateur effectués à l'aide de programmes spécialement établis à cette fin (tel que le programme TRAPU de l'Institut géographique national français) permettent de passer des coordonnées spatiales du modèle photogrammétrique aux coordonnées planes du tracé que l'on veut obtenir et celui-ci est effectué à l'aide d'une table traçante automatique. Pour éviter de traiter un trop grand nombre de données, on fait abstraction des trop petits détails et le tracé obtenu est, de ce fait, un peu plus schématique que dans une restitution directe (fig. 63). Mais la méthode a un triple avantage: celui de la multiplication aisée et plus économique du nombre des représentations, dans tous les types qu'elle offre la méthode analogique; celui de permettre en plus le tracé de *perspectives*, à partir de n'importe quel point de vue et selon l'axe que l'on choisit (fig. 64); enfin celui de pouvoir introduire dans le programme de calcul l'élimination automatique des "lignes cachées", c'est-à-dire masquées par des éléments du bâti situés plus en avant, et d'assurer immédiatement la lisibilité du document établi (dans la méthode analogique, cette élimination doit être faite manuellement).

### 5.3 Applications de la photogrammétrie aux études d'aménagement et de protection des centres anciens

Tous ces relevés d'ensemble (plans, élévations, coupes, axonométries, perspectives) peuvent être utilisés pour l'analyse du centre historique et l'étude des mesures à prendre pour sa conservation ou son aménagement: "épannelage" des constructions, "velum" d'harmonisation et silhouettes, visualisation des projets de voirie ou de bâtiment nouveaux. Citons quelques exemples, en France (fig. 65 et 66):

- à Thiers, étude du tracé d'une rue nouvelle à grande circulation;
- à Moulins, réaménagement d'un quartier: démolition de maisons vétustes et construction d'immeubles nouveaux;
- à Rocamadour, étude d'une déviation routière et d'un parc de stationnement;
- à Cahors, définition de hauteurs maximales des constructions nouvelles dans le quartier ouest pour ne pas perturber le paysage urbain du centre historique, situé à l'est;



- à Orléans et à Paris: réaménagement de places;
- à Amiens: réaménagement du quartier de la cathédrale;
- à Aurillac: modification des bâtiments entourant un noeud de circulation et construction d'un centre administratif nouveau.

Comme le prouvent ces exemples, il convient de bien préciser que les relevés d'ensemble des centres anciens effectués par photogrammétrie aérienne sont avant tout des documents de travail pour l'architecte-urbaniste. Pour la présentation des projets aux "décideurs", d'autres types de représentation sont souvent plus parlants, plus aisés à comprendre. C'est, en particulier, le cas des "photomontages".

*Photomontages photogrammétriques.* Les photomontages sont, en effet, un bon instrument d'étude des modifications que l'on veut faire subir à un paysage, notamment à un paysage urbain, et surtout d'appréciation du projet par les autorités politiques ou administratives. Encore faut-il qu'ils soient établis avec rigueur, ce qui n'est pas toujours le cas, surtout pour des projets touchant non seulement à un édifice, mais à un ensemble urbain. Nous retrouvons, ici encore, une possibilité d'application de la photogrammétrie.

Il s'agit, en effet, de reporter sur une perspective photographique prise d'un certain point de vue, selon un axe déterminé, le dessin d'un projet. C'est donc une opération inverse de celle du processus photogrammétrique habituel. Connaissant, d'après les plans-masses, les coordonnées tridimensionnelles des points caractéristiques des bâtiments ou voiries projetés, celles du point de vue, la direction de l'axe optique de la photographie, la distance principale de la chambre utilisée, on peut aisément calculer les coordonnées des points caractéristiques du projet dans le plan et le système d'axes de la photographie, puis les reporter sur un tirage ou un agrandissement de celle-ci. Il suffit ensuite de joindre convenablement ces points pour obtenir, sur le fond photographique, l'image des constructions nouvelles, telles qu'elles apparaîtront si elles sont réalisées. Si le projet est important, on peut même avoir recours à une table traçante automatique.

De nombreux photomontages photogrammétriques sont exécutés, dans de nombreux pays (**fig. 67**), le plus ancien d'entre eux concernant le projet d'un immense palais de justice dont on envisageait la construction en plein coeur de la ville d'Athènes (Prof. Sokos, 1930). Certains peuvent être examinés en stéréoscopie: il suffit pour cela de faire deux photomontages du même projet sur des clichés pris, à axes parallèles, de deux points de vue différents. On observe alors une vue spatiale de ce projet, dans son environnement.



### QUELQUES CONCLUSIONS

Appliquée aux relevés des monuments et des sites, la photogrammétrie est un *instrument de travail* parmi d'autres: il ne faut pas la considérer comme la solution universelle à tous les problèmes de mesure et de représentation. Il faut, au contraire, apprendre à en discerner les possibilités considérables, mais aussi les limites, et à la manier, soit du point de vue de l'exécution technique, soit du point de vue de la satisfaction des besoins du demandeur-utilisateur de relevés.

En ce qui concerne les *monuments*, il est exact que, souvent aujourd'hui, les relevés détaillés et précis d'édifices importants ne sont exécutés que si l'on fait appel aux méthodes photogrammétriques; sinon ils ne le sont pas. Il est vrai également que l'introduction de la photogrammétrie n'est pas sans influence sur la conception même du relevé, ne serait-ce que par la rigueur qu'elle y apporte et par le fait que, surtout dans ses formes les plus modernes, elle accroît le champ d'utilisation du relevé vers l'analyse architecturale.

Les adversaires de la photogrammétrie architecturale - il y en a encore - prétendent que sa rigueur est obtenue au prix d'une dépersonnalisation du relevé parce que, par son "caractère automatique" (?), elle élimine le contact indispensable avec l'oeuvre architecturale. C'est ignorer que, dans un relevé photogrammétrique, il y a une grande part d'interprétation de l'opérateur, qui doit s'appuyer sur une bonne analyse préalable de l'édifice, et que l'architecte peut toujours travailler sur l'"épure", de qualité géométrique assurée, que lui fournit le relevé photogrammétrique pour compléter ou corriger ce relevé et surtout le mettre en valeur selon sa propre perception du monument traité.

Il faut aussi, dans ces conclusions, insister une fois de plus sur l'intérêt et la valeur inestimable des *archives photogrammétriques des monuments*, ainsi que sur la priorité qu'il convient de leur accorder.

Pour les *centres historiques*, on retiendra que les techniques photogrammétriques offrent maintenant des moyens puissants de mesure, d'analyse et de représentation du milieu urbain existant et ont une place importante parmi les procédés fiables d'études d'aménagement et de protection. On se souviendra aussi de l'intérêt majeur de l'*examen stéréoscopique des photographies aériennes* pour l'analyse très fine d'un centre historique.

Le développement atteint aujourd'hui par les applications architecturales de la photogrammétrie, tant par le volume des travaux exécutés que par la qualité de beaucoup de ces travaux, le rôle que d'éminents architectes ont eu dans ce développement, la caution que lui apportent les spécialistes des organisations internationales compétentes donnent beaucoup de poids à l'"outil photogrammétrique": tous les responsables des monuments et des centres historiques ne peuvent plus l'ignorer.

QUELQUES CONCLUSIONS

Appliquée aux relevés des monuments et des sites, la photogrammétrie est un instrument de travail parmi d'autres : il ne faut pas le considérer comme la solution universelle à tous les problèmes de mesure et de représentation. Il faut au contraire apprendre à en discerner les possibilités. Pour cela, il faut connaître le terrain, soit du point de vue de l'aspect physique, soit du point de vue de la satisfaction des besoins du demandeur.

En ce qui concerne les monuments, il est évident que, devant les progrès des relevés détaillés et précis d'édifices importants ne sont possibles que par les méthodes aux méthodes photogrammétriques; sinon ils ne le sont que à un coût exorbitant. L'introduction de la photogrammétrie n'est pas sans influence sur le développement de la mesure, ne serait-ce que par la rigueur qu'elle y apporte et par la possibilité de dans ses formes les plus modernes, elle occupe le champ d'action de la mesure. L'analyse architecturale.

Les avantages de la photogrammétrie architecturale - il y en a beaucoup - consistent que sa rigueur est obtenue au prix d'une dépersonnalisation du terrain (sans que son "caractère automatique" (?) elle élimine le contact indispensable avec l'œuvre architecturale. C'est ignorer que, dans un relevé photogrammétrique, il y a une interprétation de l'opération, qui doit s'appuyer sur une connaissance préalable de l'édifice, et que l'architecte peut toujours travailler sur l'œuvre, de quelle manière que assurée, que lui fournit le relevé photogrammétrique pour contrôler certains points et surtout le mettre en valeur selon sa propre conception de l'édifice.

Il faut aussi, dans ces conclusions, insister une fois de plus sur l'absence de l'esthétique des archives photogrammétriques des monuments, ainsi que sur la priorité qu'il convient de leur accorder.

Pour les centres historiques, on retiendra que les relevés photogrammétriques offrent maintenant des moyens nouveaux de mesure, à savoir le développement du milieu urbain existant et les zones adjacentes pour les besoins de l'étude d'aménagement et de conservation. On se souvient aussi de l'importance de l'examen stéréoscopique des photographies aériennes pour l'étude des plans d'un centre historique.

Le développement vient d'ailleurs de nos jours les relevés architecturaux de la photogrammétrie, fait qui le volume des travaux effectués par le géomètre dans le cadre de ces travaux. Le rôle des équipes spécialisées est évident dans ce développement. La mesure des monuments est devenue une tâche plus complexe, mais les relevés des monuments et des sites restent la tâche principale.

## POSTFACE (Novembre 1989)

*Ross DALLAS, Chef de la Section de photogrammétrie  
Institut d'études architecturales avancées,  
Université de York, et "English Heritage"*

D'une façon générale, les principes sur lesquels les opérations de photogrammétrie architecturale sont fondées demeurent tels qu'ils ont été exposés dans ce livre, auquel le lecteur peut se référer en toute confiance. Dans les pages qui suivent, ne sont considérés que les sujets pour lesquels des changements significatifs sont intervenus depuis 1984. Pour les sujets qui ne sont pas abordés, le texte du livre reflète toujours la pratique actuelle en photogrammétrie architecturale.

Le changement majeur qui s'est produit pendant les cinq dernières années est l'évolution continue des produits photogrammétriques graphiques vers les produits photogrammétriques numériques. Dans différentes parties du livre, l'influence importante exercée par les ordinateurs sur les méthodologies photogrammétriques a déjà été mentionnée mais, plus récemment, cette influence s'est accélérée et confirmée. La capacité et le prix relativement bas des micro-ordinateurs, particulièrement ceux des modèles de base IBM PC, ont contribué à différents développements de la photogrammétrie architecturale. L'usage des restituteurs analytiques commandés, de plus en plus, par des micro-ordinateurs est notamment devenu courant.

Les systèmes de sortie des produits ont aussi été influencés par les micro-ordinateurs. Par exemple, les systèmes CAO (Conception assistée par ordinateur) sont maintenant largement disponibles à des prix très raisonnables et les données photogrammétriques obtenues numériquement sont un moyen idéal d'entrée dans un tel système. En général le prix des restituteurs analytiques a baissé considérablement au cours des dernières années et, en fait, chaque organisation photogrammétrique de quelque importance utilise au moins un appareil de ce type.

Dans un domaine en évolution rapide, de nouveaux modèles de restituteurs analytiques sont apparus régulièrement. Il ne paraît pas nécessaire d'en donner ici un tableau complet, mais il convient cependant de mentionner les restituteurs analytiques Kern DSR 14, commandé par un micro-ordinateur, Wild-Heerbrugg BC 3 et Carl Zeiss Planicomp P3. De même, le micro-restituteur analytique Adams MPS-2, pouvant traiter des photographies d'un format maximum de 70 mm x 70 mm, entre maintenant en usage pour les applications architecturales de la photogrammétrie.

Un certain nombre de systèmes photogrammétriques "hybrides" ont également leur influence dans ce domaine. Il faut mentionner ici les systèmes "Rolleimetric" de Rollei et "Elcovision" de Leitz. Ils comportent tous les deux une tablette de numérisation couplée à un micro-ordinateur. Au lieu de mettre en oeuvre les méthodes classiques de la stéréophotogrammétrie, des photographies individuelles obliques du sujet sont placées sur la tablette et des points-images homologues sont numérisés sur chaque photographie. Il est hors de question que ces systèmes puissent directe-

ment fournir des relevés d'une qualité égale à celle que l'on obtient avec les restituteurs analogiques ou analytiques classiques, mais leur introduction comme système de saisie des données photogrammétriques influencera certainement les procédés de travail.

Avec le transfert vers les systèmes numériques, des méthodes différentes de relevé et d'expression du relevé deviennent plus courantes. Bien que les techniques classiques de restitution analogique graphique soient toujours en usage, la saisie numérique des données se développe. Beaucoup de restituteurs analogiques ont été convertis, de façon à obtenir une "sortie" - c'est-à-dire un relevé - sous forme numérique. Plutôt que d'être restituée graphiquement, une ligne est relevée comme une chaîne de points dont les coordonnées XYZ définissent la ligne. Ces points peuvent être enregistrés selon différents modes: point par point, à intervalles de temps réguliers, à espacements réguliers. Les chaînes de coordonnées peuvent ensuite subir des traitements mathématiques de lissage et d'ajustement à des courbes géométriques, avant d'aboutir à une représentation graphique de la ligne. Toutefois, si ces méthodes ont des avantages importants, elles soulèvent aussi beaucoup de problèmes. En effet, nous pouvons même ne pas savoir ce qu'il est advenu aux données entre leur saisie par l'instrument photogrammétrique et leur sortie sous la forme d'un relevé graphique ou d'une visualisation sur un écran d'ordinateur.

Les nouvelles possibilités de développement sont très liées à l'utilisation des systèmes CAO qui se répand beaucoup. Un bon nombre d'utilisateurs de la photogrammétrie emploient des logiciels tels que "AutoCAD" ou Intergraph "Microstation", ou bien d'autres logiciels de CAO qui habituellement, par le moyen de fichiers DXF, permettent de transmettre les données d'un système à un autre. Les données photogrammétriques saisies sous forme numérique conviennent de façon idéale aux systèmes CAO puisqu'elles peuvent y être directement transférées. De fait, un large usage de systèmes CAO est susceptible, à la limite, de rendre obsolète une partie des relevés classiques de haute qualité obtenus par restitution graphique directe.

Ces changements intéressent peut-être surtout l'utilisateur des relevés photogrammétriques puisqu'ils ont un grand effet sur le produit qui lui est fourni, mais leur intérêt est encore plus direct pour le photogrammètre. On leur doit, en particulier, le fait que les chambres photographiques utilisées pour les prises de vues photogrammétriques terrestres ont fortement évolué pendant les dernières années. Avant tout, la gamme des chambres disponibles chez les constructeurs s'est réduite, les Sociétés Wild-Heerbrugg (Suisse) et Carl Zeiss (R.F.A.) ayant interrompu leur production dans ce domaine. En revanche, Carl Zeiss Jena (R.D.A.) a étendu sa série de chambres UMK. Le développement le plus nouveau est sans doute celui des chambres semi-métriques Rollei 6006 et 3003 produites par Rollei. La firme Leitz a mis aussi sur le marché une chambre semi-métrique conçue à partir d'un appareil Leica R 5/35 mm. La caractéristique essentielle de ces chambres est qu'il s'agit d'appareils photographiques standards modifiés pour le travail photogrammétrique. Les objectifs, soigneusement sélectionnés selon diverses méthodes, ces distorsions peuvent être corrigées par les systèmes photogrammétriques. Ici aussi, c'est

l'utilisation des restitueteurs analytiques commandés par ordinateur qui rend si simple cette correction.

En raison de la longue durée de vie des chambres photogrammétriques, beaucoup d'organisations continueront, pendant de longues années, à faire usage de chambres qui ne sont plus produites aujourd'hui. Cependant on peut prévoir qu'avec les améliorations de la qualité des objectifs, des films et de la précision des équipements photogrammétriques, la tendance vers des formats plus petits va continuer.

La méthode de l'orthophotographie a été décrite dans ce livre. Bien que cette méthode se soit encore affinée, comme un véritable outil photogrammétrique, et ait fait l'objet de nombreux articles dans la littérature scientifique, décrivant ses applications en architecture, l'orthophotographie n'est toujours pas entrée réellement dans la production courante des relevés. Cela peut être attribué au nombre relativement faible des orthoprojecteurs en service, lesquels sont réservés presque totalement au travail cartographique dans des entreprises publiques ou privées, et au coût encore très élevé de ce procédé.

En ce qui concerne le dialogue entre les utilisateurs et les producteurs de relevés photogrammétriques d'architecture, le changement le plus important se trouve peut-être dans cette opinion que les produits photogrammétriques ne sont pas nécessairement une fin mais sont le point de départ pour la mise en oeuvre d'autres disciplines. Les photogrammètres réalisent mieux aujourd'hui la nécessité d'une meilleure compréhension des besoins de l'utilisateur, de leurs travaux et de la prise en compte de ces besoins dans la conception de la production.

L'adoption des restitueteurs analytiques et, dans une certaine mesure, la disponibilité des nouvelles chambres mentionnées ci-dessus ont apporté plus de possibilités et une meilleure flexibilité dans l'exécution de la première phase du relevé photogrammétrique, celle des opérations sur le terrain. Bien que, en général, il soit toujours préférable de prendre des photographies de manière telle qu'on puisse les examiner en stéréoscopie, aussi bien pour l'interprétation que pour la restitution par le photogrammètre, les capacités de la nouvelle instrumentation permettent une plus grande liberté dans l'organisation des prises de vues. En particulier, l'emploi des élévateurs hydrauliques devient plus aisé puisqu'il n'est plus nécessaire d'aligner aussi exactement les stations de prise de vue. De même, la détermination d'un canevas de points d'appui par intersections au théodolite, nécessaire à l'exploitation des couples de photographies, peut être plus légère qu'auparavant, puisque de nombreux photogrammètres utilisent les méthodes de compensation par faisceaux pour compléter ce canevas.

L'application des techniques photogrammétriques au relevé des centres historiques est un autre domaine où des réalisations nouvelles sont apparues, domaine qui présente cependant encore un grand potentiel de développement. Sur ce sujet, le lecteur peut se reporter à la publication CIPA/Conseil de l'Europe *Applications des techniques de la photogrammétrie aux centres urbains anciens*, dans laquelle des

informations importantes peuvent être trouvées (voir la référence de cet ouvrage dans la bibliographie).

Ainsi, l'utilisation de la photogrammétrie architecturale s'est élargie et affinée pendant la période considérée dans cette postface. Dans bien des pays où cette technique est mise en oeuvre, il apparaît que les travaux effectués ont, en général, augmenté. Architectes, archéologues et conservateurs semblent avoir une meilleure compréhension des méthodologies appliquées. Le développement des micro-ordinateurs puissants, sans changer les principes fondamentaux des méthodes photogrammétriques, a introduit une nouvelle technologie qui, en retour, s'avère bénéfique aussi bien pour le photogrammètre que pour l'utilisateur des relevés.

(Traduction française de M. Carbonnell)



## ORIENTATION BIBLIOGRAPHIQUE

### Principes et technologie de la photogrammétrie:

De gros traités en plusieurs volumes (français, allemand, anglais, ...), très mathématiques, présentent toute la technologie photogramétrique. Pour approfondir les brèves notions données aux chapitres 2 et 4, nous conseillons plutôt:

- MARTIN, R. et CHALLINE, R. *Photogrammétrie*. Paris: Eyrolles, 1973.
- SCHWIDEFSKY, K. et ACKERMANN, F. *Photogrammetrie - Grundlagen, Verfahren, Anwendungen*. Stuttgart: B.G. Teubner, 1976.
- SELVINI, A. *Principi di Fotogrammetria*. Milan: CLUP, 1984.
- WOLF, P. *Elements of Photogrammetry*. 2nd ed. International Student Edition, Tokyo: McGraw-Hill, 1983.

### Applications non cartographiques de la photogrammétrie:

- ATKINSON, K.B. *Developments in Close Range Photogrammetry*. Londres: Applied Science Publishers, 1980 (avec un chapitre sur la photogrammétrie architecturale par R.W.A. DALLAS).
- KARARA, H.M. *Handbook of Non-topographic Photogrammetry*. 2nd ed. Falls Church, Etats-Unis: American Society of Photogrammetry, 1989 (avec un chapitre sur la photogrammétrie architecturale par M. CARBONNELL).

### Publications générales sur la photogrammétrie architecturale:

- CARBONNELL, M. "Introduction à l'application de la photogrammétrie aux édifices et aux ensembles monumentaux anciens". *Monumentum*, vol. IV (1969), pp. 3-35.
- CARBONNELL, M. "Extension des applications de la photogrammétrie à la conservation des monuments et des sites". *Monumentum*, vol. XIV (1976), pp. 21-50.
- CUNDARI, C. *Fotogrammetria Architettonica*. Rome: Kappa, 1983.
- DADDABBO, A. *Il Rilievo Stereofotogrammetrico*. Bari: Levante, 1983.

## **Publications du Comité international de photogrammétrie architecturale (CIPA):**

- *Applications des techniques de la photogrammétrie aux centres urbains anciens* (Patrimoine architectural, Rapports et études N° 10), Strasbourg: Conseil de l'Europe, 1988.
- *Optimisation des relevés photogrammétriques d'architecture* (français, anglais, espagnol), Paris: Unesco, 1981 (disponible au secrétariat de l'ICOMOS, Paris).
- *Photogrammétrie architecturale*. Collection de 48 diapositives avec commentaires (français, anglais). Athènes: Laboratoire de photogrammétrie de l'Université technique nationale, 1976.
- *Photogrammétrie des monuments et des sites* (français, anglais, allemand, espagnol). Paris: ICOMOS, 1972.

## **Evolution de la photogrammétrie architecturale, travaux et recherches:**

Les meilleures sources d'information sont:

a) les rapports périodiques du CIPA de 1968 à 1976, publiés dans le *Bulletin de la Société française de photogrammétrie*, N° 45, 51, 56, 67.

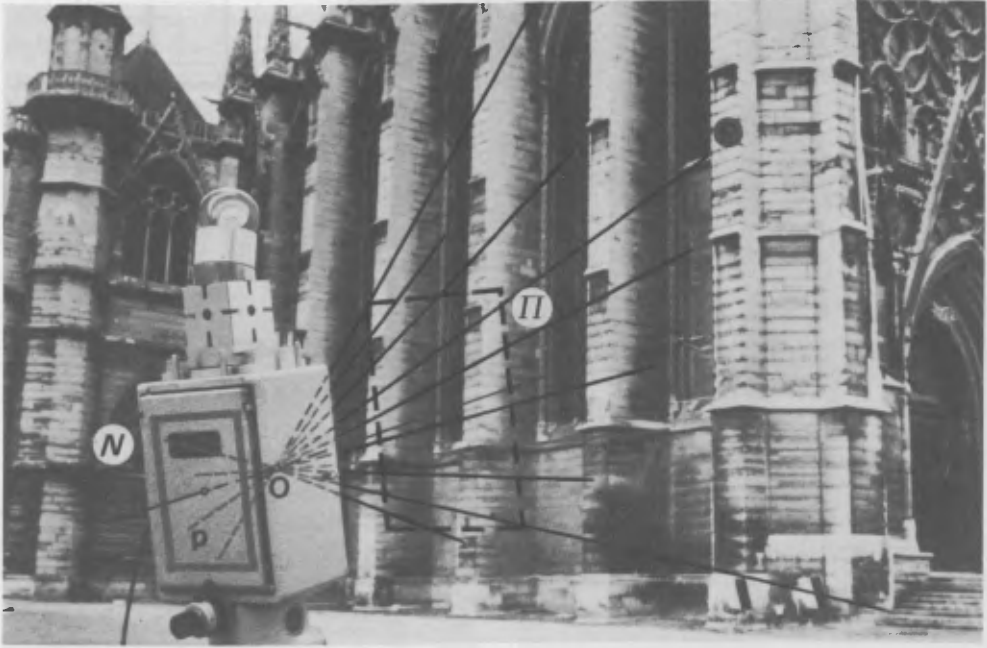
b) les actes des colloques et symposiums internationaux organisés ou patronnés par l'ICOMOS et le CIPA:

- Paris, St Mandé, 1968 - *Etude sur la photogrammétrie appliquée aux monuments historiques* (français et anglais). Paris: ICOMOS, 1969.
- Brno, 1971 - *Symposium international sur le mesurage des monuments historiques* (français). Prague: Institut d'Etat pour la protection des monuments historiques, 1971.
- Lucca, 1973 - *Fotogrammetria dei Monumenti* (italien, français, anglais, allemand). Florence: Libreria Editrice Fiorentina, 1976.
- Athènes, 1974 - *Photogrammetric Surveys of Monuments and Sites*. J. Badekas, éd. (anglais, français, allemand). Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1975.
- Bonn, 1976 - *Architektur Photogrammetrie* (allemand, anglais, français). Bonn: Landeskonservator Rheinland, 1976-77. Arbeitshefte, N° 16, 17, 18.
- Sibenik, 1978 - *Fifth International Symposium for Photogrammetry in Architecture and Conservation of Monuments* (anglais, français, allemand). Belgrade: Union of Geodetic Engineers and Surveyors, 1980.

- Cracovie, 1979 - *Papers for the VI ICAP International Symposium on the Contribution of Photogrammetry and Geodesy to Revalorization of Historic Sites* (anglais). Cracovie: The Stanislaw Staszic University, 1979.
- Vienne, 1981 - *Photogrammetrie in der Architektur und Denkmalpflege* (allemand, français, anglais). Vienne: Bundesdenkmalamt, 1983.
- Siena, 1982 - *Symposium Internazionale sul Contributo della Fotogrammetria alla Documentazione dei Centri Storici e dei Monumenti, Atti* (anglais, français, italien). Firenze: Università degli Studi, Dipartimento di Ingegneria Civile, 1989.
- Tunis, 1984 - *Relevés photogrammétriques d'architecture islamique* (anglais, français). Tunis: Maison tunisienne de l'édition - Comité national tunisien de l'ICOMOS, 1988.
- Granada, 1987 - *X Symposium Internacional: Fotogrametría y Representación de la Arquitectura* (anglais, espagnol, français, italien). Madrid, Granada: Comité Nacional Español del ICOMOS, 1988.
- Sofia, 1988 - (Apports des méthodes modernes de photogrammétrie, télédétection et traitement d'image au patrimoine architectural et urbain). A paraître en 1990.
- Roma, 1989 - (Complémentarité et intégration des différentes techniques de relevé pour la compréhension et la conservation du patrimoine). En préparation.



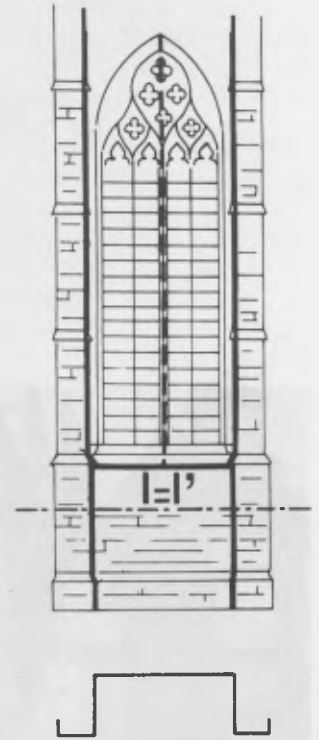
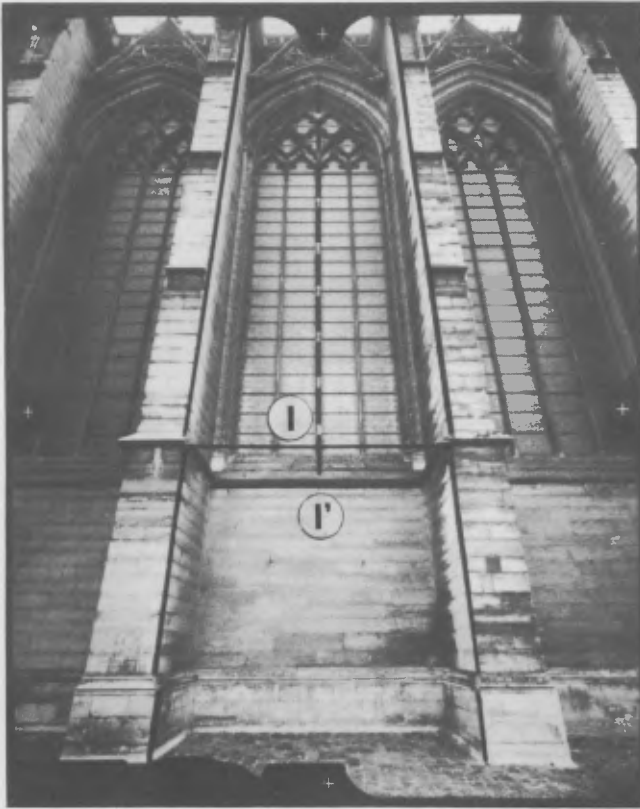
## FIGURES



**Figure 1**

La perspective photographique.  $O$  étant le centre de perspective, à tout point  $P$  de l'objet correspond un point-image  $p$ . Le négatif  $N$  est une section plane de la gerbe perspective dans l'espace-image. Un positif  $\pi$ , obtenu par contact ou par agrandissement, est une section plane de la gerbe perspective dans l'espace-objet.

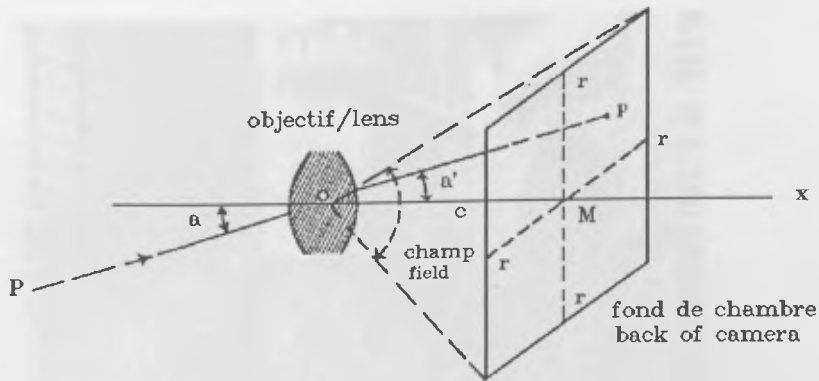
The photographic perspective, with  $O$  the perspective centre, every point  $P$  on the object has a corresponding point  $p$  on the image. The negative  $N$  is a section cutting through the bundle of perspective rays in the image space. A photographic print, obtained by contact or enlargement, is in effect a positive section of the same bundle of perspective rays in the object space,  $\pi$ .



**Figure 2**

Déformations perspectives d'une image photographique, comparée à un relevé en élévation et en coupe. Les déformations sont dues à l'inclinaison de l'axe de prise de vue (convergence de lignes parallèles) et au relief du sujet ( $l \neq l'$ ).

The 'perspective' effect in a photographic image, compared with a survey drawing in elevation and section of the same features. The scale changes are due to the inclined axis of the image which leads to converging parallel lines, and to the 'depth' of the subject itself.



**Figure 3**

Schéma d'une chambre métrique. Ox: axe principal; c: distance principale; M: point principal, r: repères de fond de chambre. Si  $a' \neq a$ , l'objectif présente de la distorsion.

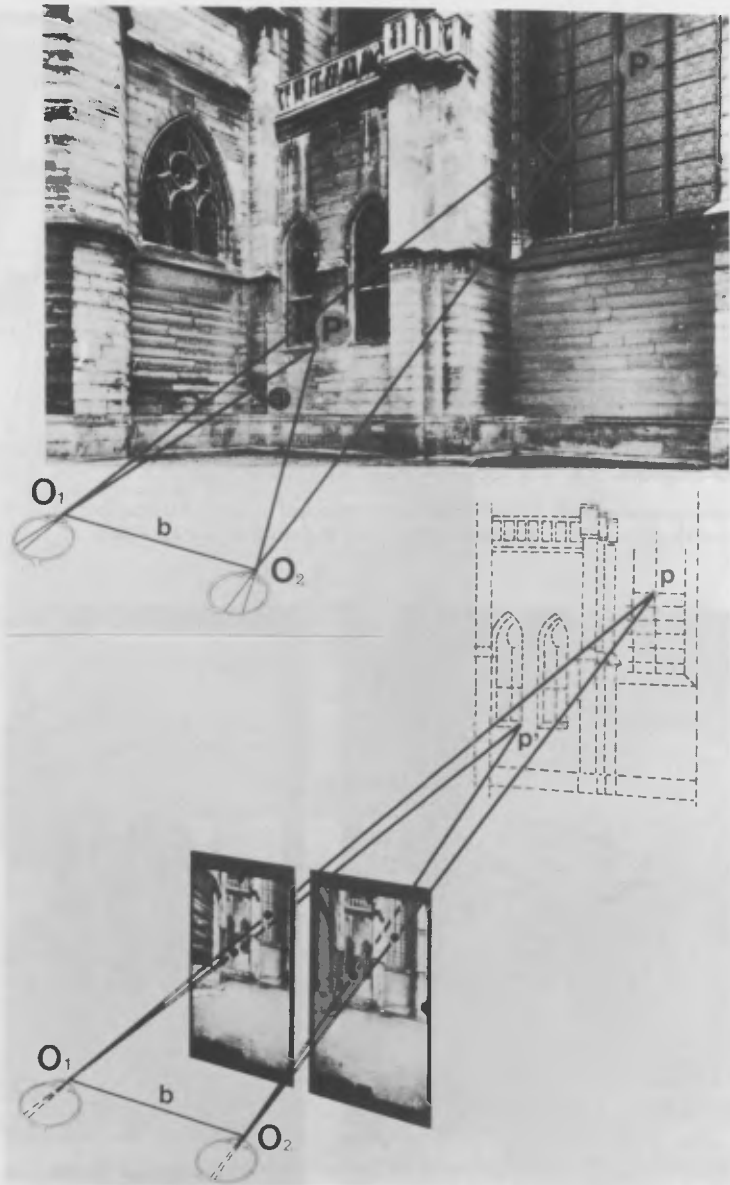
Diagram of a 'metric' camera. Ox: principal axis, c: principal distance. M: principal point. r: fiducial marks. In a 'metric' camera, any ray POp, will be a straight line. If distortion is present then angle a will no longer equal angle a'.



**Figure 4**

Exemple de chambre métrique (Carl Zeiss TMK-6,  $c = 60$  mm, format de plaque  $9 \times 12$  cm). Cliché métrique pris avec cette chambre (les repères de fond de chambre ont été renforcés pour cette reproduction).

Example of a metric camera: Carl Zeiss, Oberkochen (FRG), model TMK-6.  $c = 60$  mm, plate size  $90 \times 120$  mm. On the right, a print from a negative taken with this camera. The fiducial marks have been exaggerated for this reproduction. A positive film copy, often used for the plotting work, is known as a **diapositive**.



**Figure 5**

Principe de la stéréoscopie.

En haut: vision binoculaire spatiale naturelle.

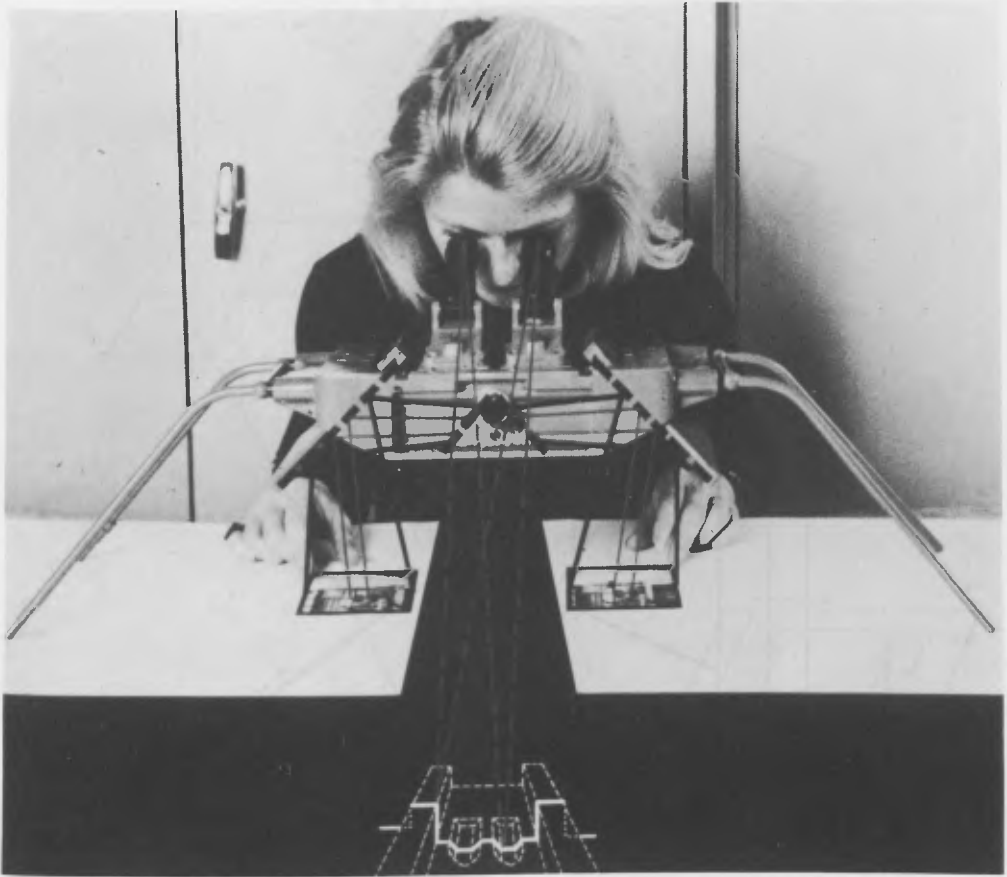
En bas: vision en relief par examen de deux photographies prises de deux points de vue différents selon des axes approximativement parallèles.

Principles of stereoscopy.

Above: natural binocular perception of the building, as seen by the eyes,  $O_1$  and  $O_2$ .

Below: stereo-perception of the same scene by the observer's eyes,  $O_1$  and  $O_2$ , looking at two photographs taken from two viewpoints along approximately parallel axes.



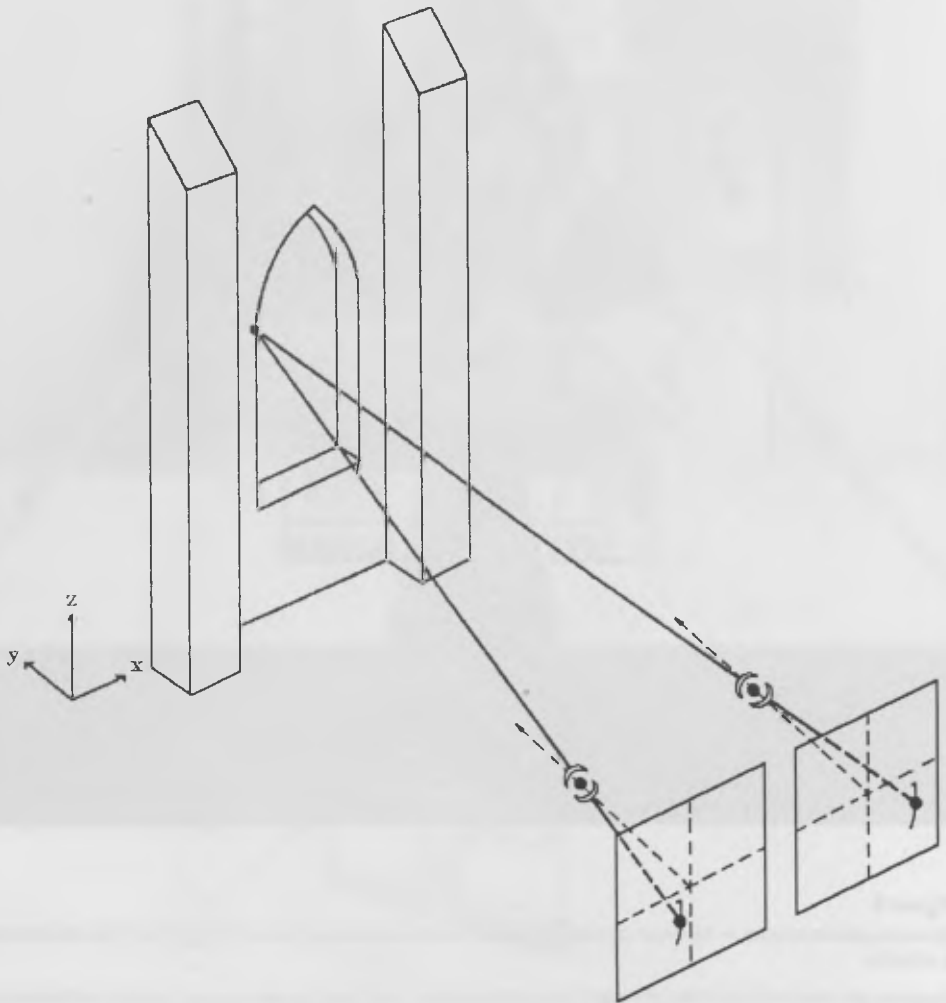


**Figure 6**

Examen stéréoscopique de deux photographies à l'aide d'un stéréoscope (il s'agit ici d'un stéréoscope à miroirs).

Stereoscopic examination of two photographs with the help of a stereoscope (in this case, a mirror-stereoscope).

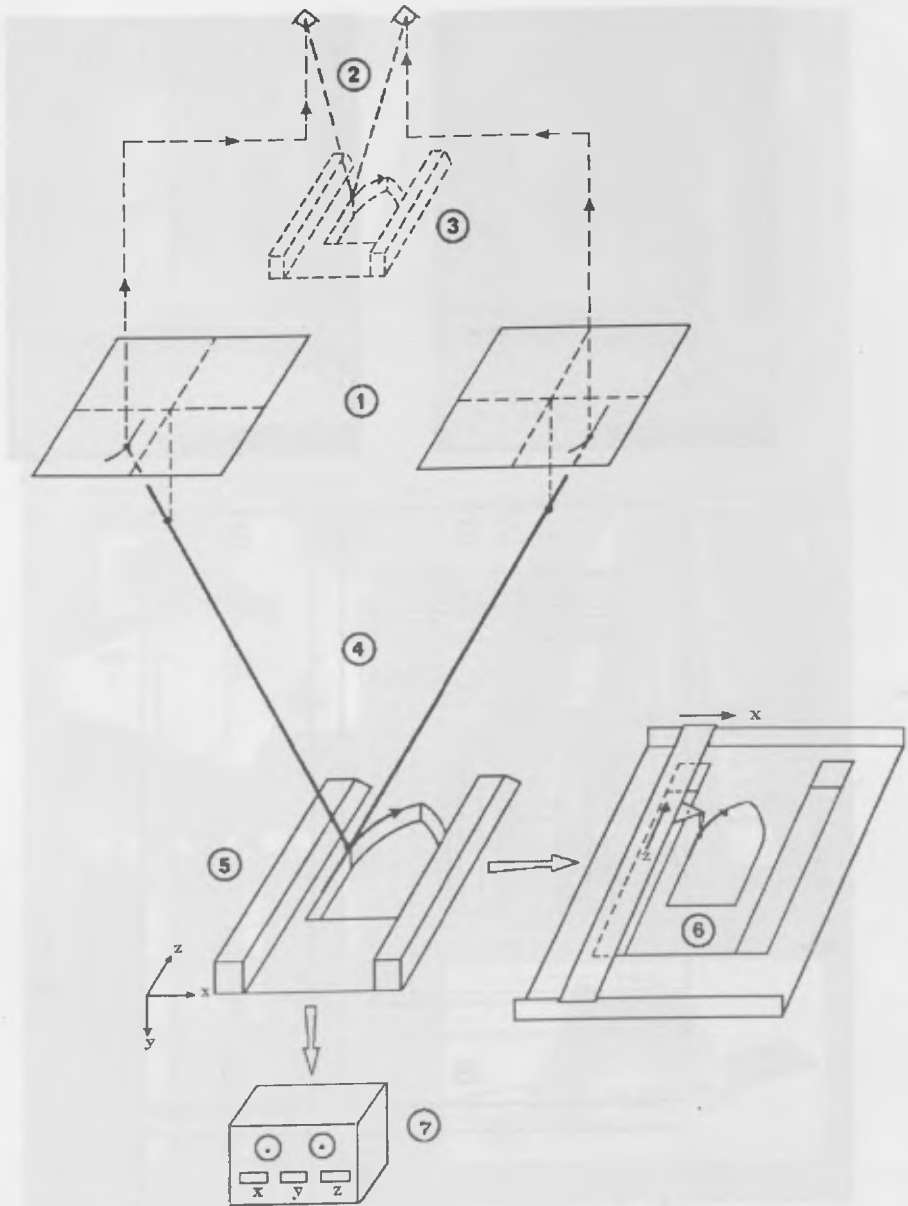
Figure 6  
Examen stéréoscopique de deux photographies à l'aide d'un stéréoscope (il s'agit ici d'un stéréoscope à miroirs).  
Stereoscopic examination of two photographs with the help of a stereoscope (in this case, a mirror-stereoscope).



**Figure 7**

Relevé stéréophotogrammétrique, à l'aide de deux photographies stéréoscopiques. A chaque "point-objet" sont associés deux rayons perspectifs passant par les deux centres de perspective photographique (points de vue) et deux "points-image".

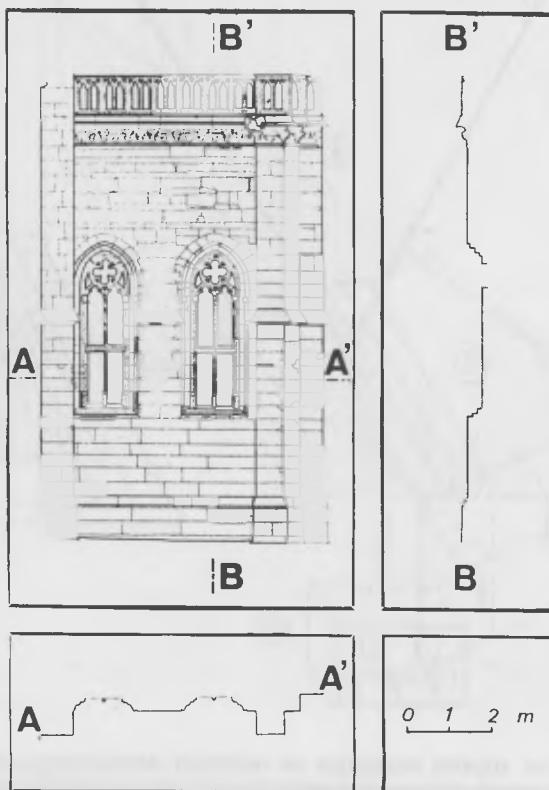
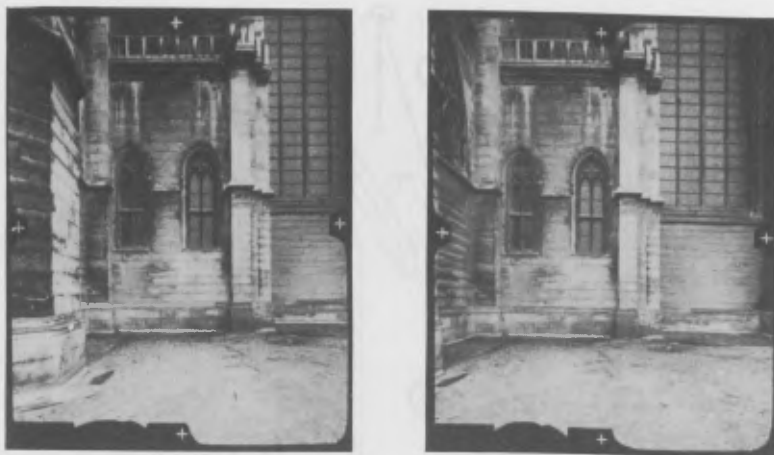
Stereo-photogrammetric survey, using a 'stereopair' of photographs. each point on the object is linked by two perspective rays, which pass through the two camera lenses, or 'perspective' centres to produce two matching 'image-points' on the plane of the negative.



**Figure 8**

Schéma théorique d'un appareil analogue de restitution stéréophotogrammétrique. (1) les deux clichés; (2) système optique; (3) image en relief stéréoscopique et pointé avec le repère spatial; (4) système mécanique de reconstitution des rayons perspectifs; (5) modèle spatial; (6) restitution graphique; (7) restitution numérique.

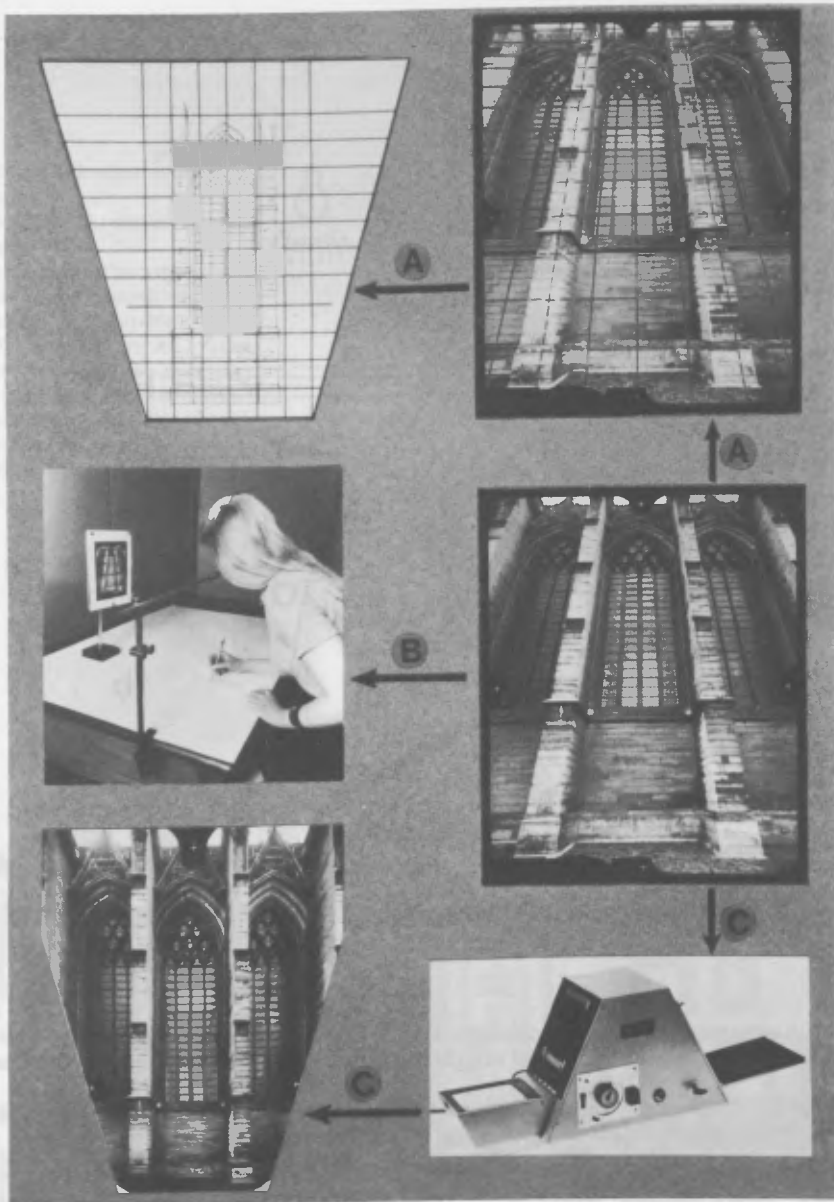
Theoretical diagram of an analogue stereo-photogrammetric plotter. (1) the two transparencies, or 'diapositives'. (2) the optical system. (3) the stereoscopic image, with a 'floating mark' to trace it. (4) the mechanical system for reconstructing the perspective rays. (5) the 'spatial' model or 'stereomodel'. (6) the graphical plotting. (7) the digital output.



**Figure 9**

Exemple de restitution analogique stéréophotogrammétrique graphique: couple de photographies, élévation, section horizontale, section verticale.

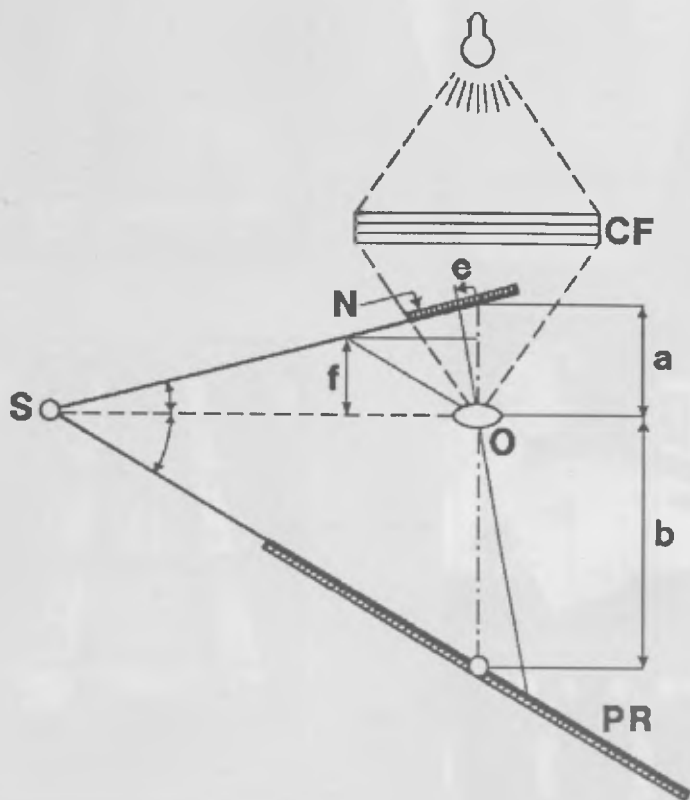
Example of a graphical product from a stereo-plotter: above, the photographic stereo-pair; below, the elevation drawing, with horizontal and vertical sections.



**Figure 10**

Les différentes méthodes de redressement. (A) méthode par constructions graphiques; (B) méthode optique (chambre claire); (C) méthode photographique, à l'aide d'un redresseur (ici, un redresseur Carl Zeiss KEG-30).

Different methods of rectification: (A) by graphical tracing onto a grid, (B) by simple optical means (camera lucida), (C) by photographic means using a rectifier, in this case a Carl Zeiss, Oberkochen (FRG) KEG 30.



**Figure 11**

Schéma d'un redresseur, dans lequel sont réalisées trois conditions géométriques et optiques:

- 1) le plan N du négatif, le plan médian de l'objectif et le plan de projection PR concourent en une même droite S;
- 2) la relation  $(a-f) \cdot (b-f) = f^2$  est constamment respectée ( $f$  étant la focale de l'objectif de projection);
- 3) le point principal du négatif est décentré ( $e$ ) par rapport à l'axe optique du redresseur.

Diagram of a rectifier, showing how the three principal geometrical and optical requirements are met:

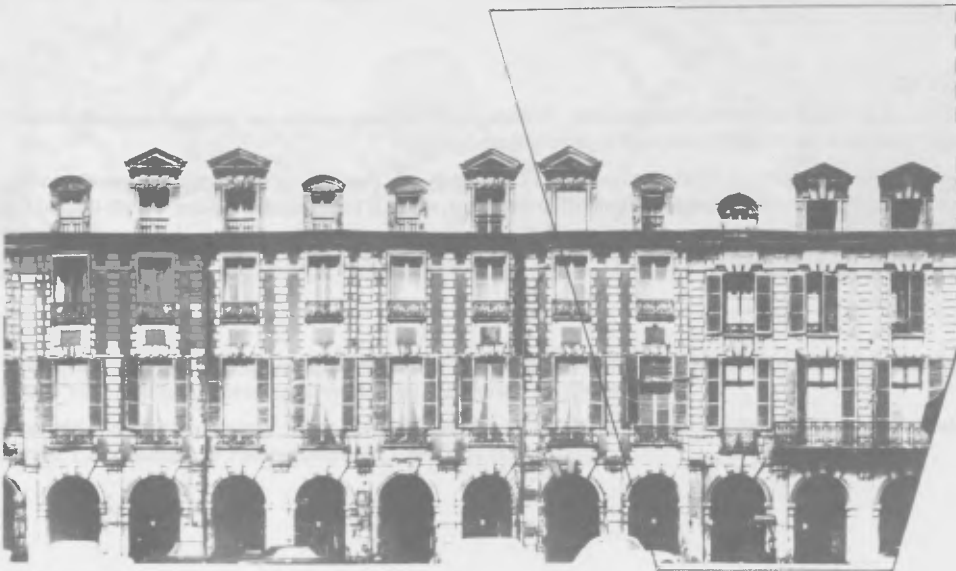
- 1) the negative plane N, the plane of the lens O, and the projection plane PR must all intersect at a single point S.
- 2) the ratio  $(a-f) \times (b-f) = f \times f$  remains constant (' $f$ ' being the focal length of the projector lens).
- 3) the principal point of the negative is off-set to ( $e$ ) in relation to the optical axis of the rectifier.

**Figure 12**

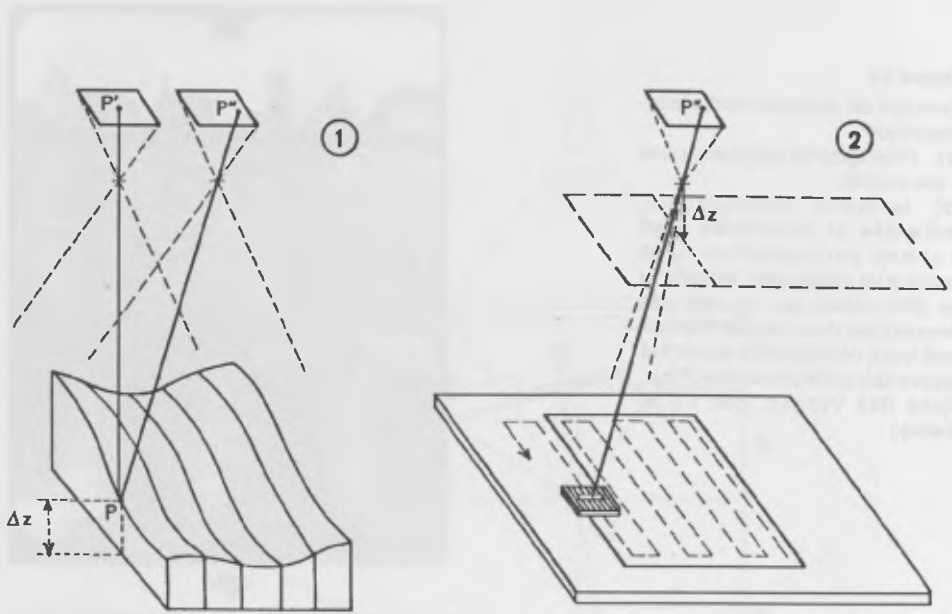
Exemple de redressement photographique:

(a) Photographie originale, prise à axe incliné;

(b) la même photographie, redressée et assemblée avec d'autres photographies sous forme d'un photoplan; les toits et les cheminées, qui ne sont pas dans le plan de la façade, ont été supprimés sur le photoplan.



Example of rectified photography: (a) original photograph, taken with an inclined axis: (b) the same photograph after rectification, and joined to others to make a photoplan. The roofs and chimneys, which are not in the principal plane of the facade, would retain their scale errors and have been suppressed on the photoplan (location: Place des Vosges, Paris: documents by I.G.N. France).

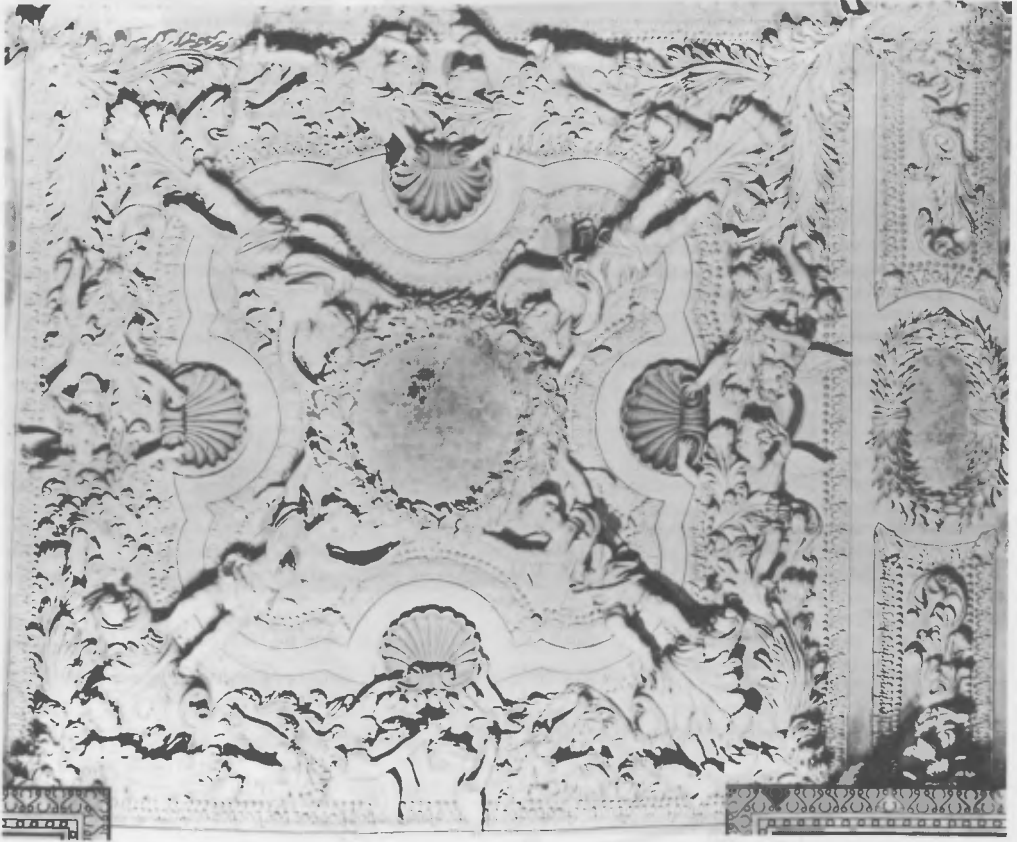


**Figure 13**

Schéma de principe de l'orthophotographie. (1) enregistrement des profils par stéréophotogrammétrie; (2) établissement de l'orthophotographie avec orthoprojecteur.

Diagram of the principles of orthophotography. (1) recording the profiles on the photogrammetric plotter, (2) producing the orthophotograph using an ortho-projector, which is linked either 'on-line' or 'off-line' to the plotter.

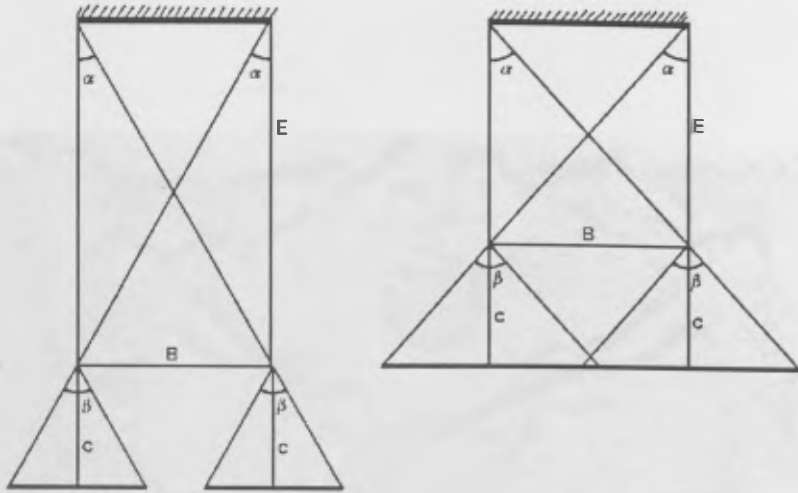




**Figure 14**

Exemple d'orthophotographie. Ellwangen (R.F d'Allemagne), église du monastère, coupole. Echelle du relevé 1:25 (Institut de photogrammétrie de l'Université de Stuttgart).

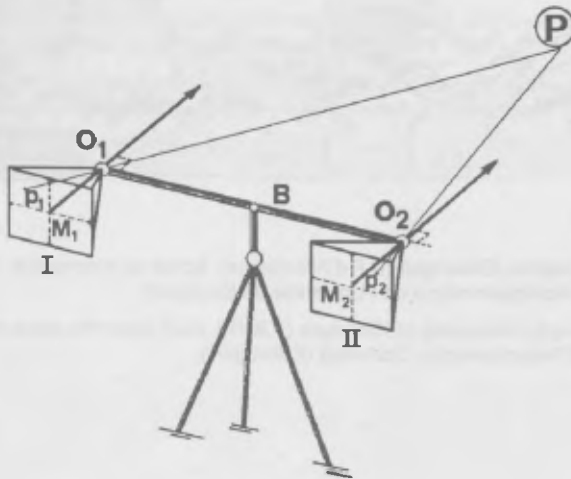
Example of orthophotography. Monastery of Ellwangen (F.R.G.), vault under the dome of the church. Scale of survey, 1:25 (Institute of Photogrammetry, University of Stuttgart).



**Figure 15**

Influence des rapports entre la base, l'éloignement, la distance principale et le champ de la chambre sur la précision du relevé (se reporter au texte).

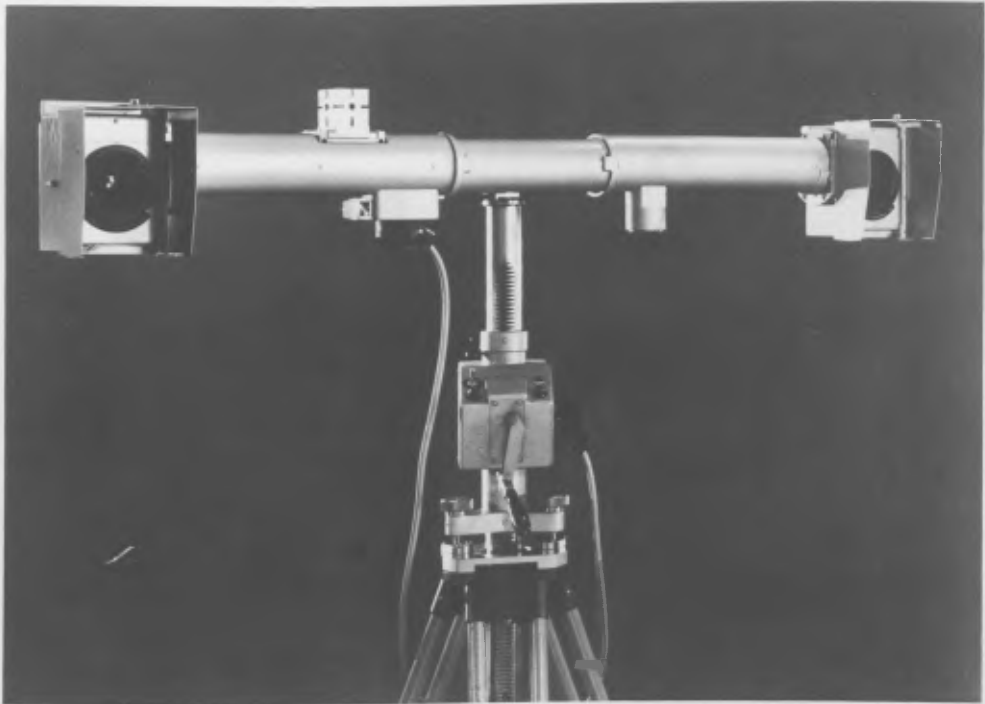
Influence of the relationships between the base, B, the distance from the object, E, the principal distance, c, and the field of view of the camera, b, on the coverage and accuracy of the survey (see text).



**Figure 16**

Schéma du "cas normal" de prise de vues.

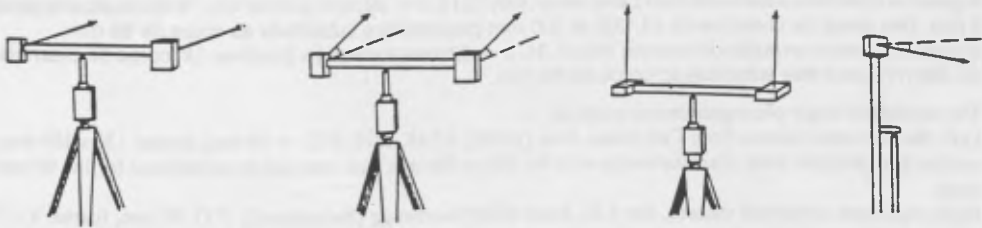
Diagram of the 'normal case' for photographic coverage, as obtained here with a stereometric camera.



**Figure 17**

Une chambre stéréométrique. Chambre Carl Zeiss SMK-120 ( $c = 60$  mm,  $B = 120$  cm, format  $9 \times 12$  cm).

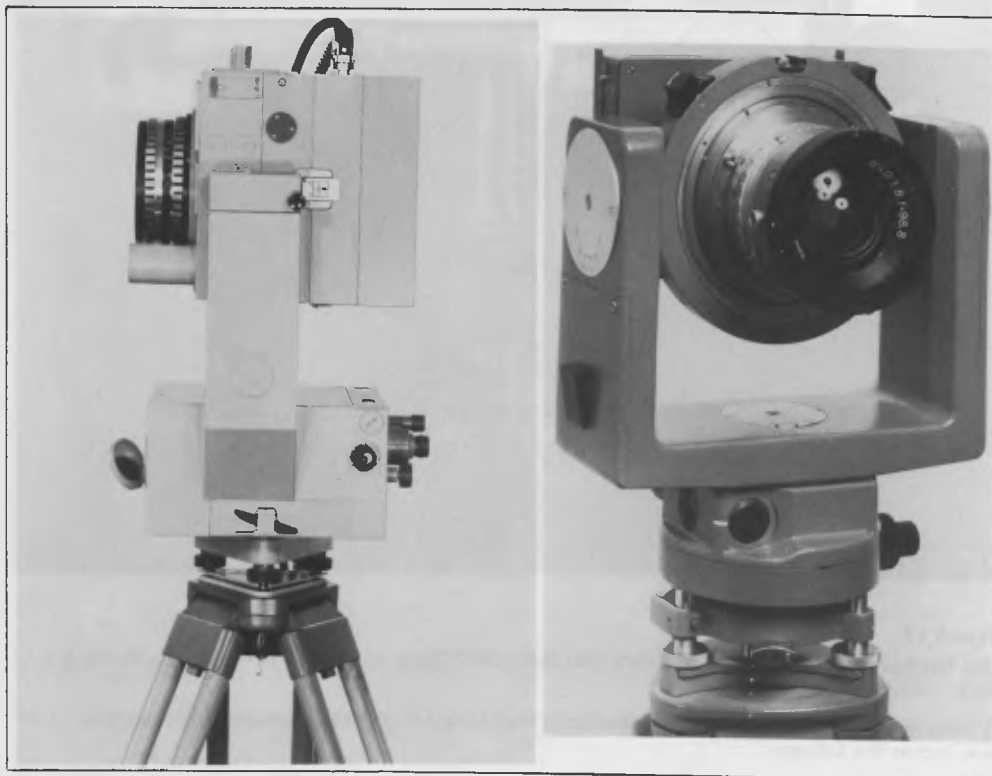
A stereometric camera. Carl Zeiss, Oberkochen (FRG), SMK-120 (Principal Distance = 60 mm, base - 1,200 mm, format  $90 \times 120$  mm).



**Figure 18**

Différents modes d'utilisation d'une chambre stéréométrique: base horizontale et axes horizontaux; base horizontale et axes inclinés; base horizontale et axes verticaux; base verticale et axes horizontaux.

Different ways of using a stereometric camera: from left to right, base horizontal and axes horizontal; base horizontal and axes inclined; base horizontal and axes vertical; base vertical and axes horizontal.



**Figure 19**

Deux chambres photogrammétriques individuelles.

A gauche: chambre universelle Carl Zeiss Jena UMK-1318,  $c = 99$  mm, format 13 x 18 cm, avec chargeur à film. Des corps de chambre de 64, 200 et 300 mm peuvent être substitués au corps de 99 mm.

A droite, chambre terrestre universelle Wild P.31,  $c = 99$  mm, format 4 x 5 inches. Un corps de chambre de 200 mm peut être substitué au corps de 99 mm.

Two models of single photogrammetric camera:

Left, the universal camera from Carl Zeiss, Jena (GDR), UMK-1319. P.D. = 99 mm, format 130 x 180 mm, version with roll-film back. Camera bodies with 64, 200 or 300 mm lens cone can be substituted for the 99 mm body.

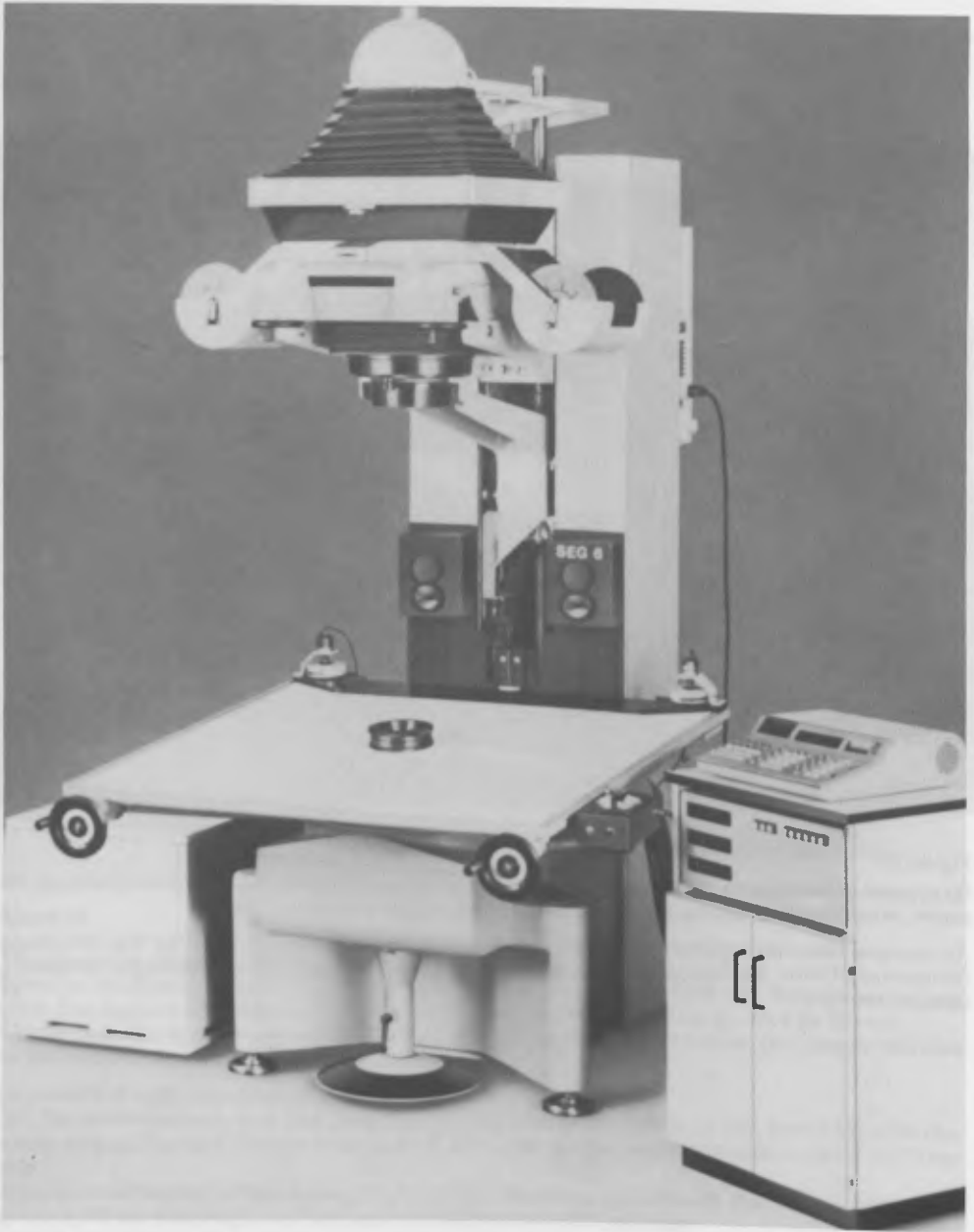
Right, universal terrestrial camera, the p 31, from Wild Heerbrugg (Switzerland). P.D. 99 mm, format 4 x 5 inches. A 200 mm focal length lens body can be substituted for the 99 mm body.



**Figure 20**

Un appareil analogique de restitution stéréophotogrammétrique. Aviomap AM-U de Wild-Heerbrugg. Au centre, le restituteur; à gauche, la calculatrice; à droite, la table à tracer Aviotab TA.

An analogue stereo-photogrammetric plotter, of classical design. The Aviomap AMU by Wild Heerbrugg (Switzerland). Centre, the stereoplottor, left, the computer for digital data acquisition, and right, the drawing table, Aviotab TA.



**Figure 21**

Un redresseur photogrammétrique. Redresseur Carl Zeiss SEG.6, avec un dispositif d'orientation précalculée OCS.1. La version SEG.6.C de cet appareil permet le redressement des photographies en couleur.

A photogrammetric rectifier: the Carl Zeiss, Oberkochen (FRG) SEG 6, with OCS 1 apparatus for pre-calculated orientation. The SEG 6C version allows rectification of colour photographs.



**Figure 22**

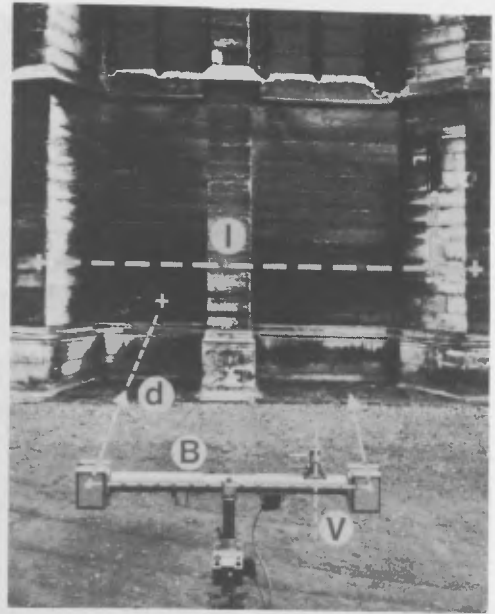
Un orthoprojecteur. Le système Topocart D - Orthophot D.300 (nouveau modèle: Orthophot E) de Carl Zeiss Jena.

An orthoprojector system. The Topocart D photogrammetric plotter, fitted with an Orthophot D 300 projector (or new model: Orthophot E) from Carl Zeiss, Jena (GDR).

**Figure 23**

Deux cas de relevés photogrammétriques. En haut, élément architectural simple et de dimension assez petite: application du "cas normal" avec une chambre stéréométrique, éléments d'appui réduits à des mesures de longueur ( $l, d$ ), référence de verticalité donnée par le niveau de la chambre ( $V$ ).

En bas, ensemble architectural complexe: nombreux couples de photographies prises avec des chambres individuelles (flèches), canevas d'ensemble par triangulation et polygonation (traits et tiretés) aboutissant à la détermination d'un réseau de points d'appui sur les édifices (exemple sur la partie droite de la figure).

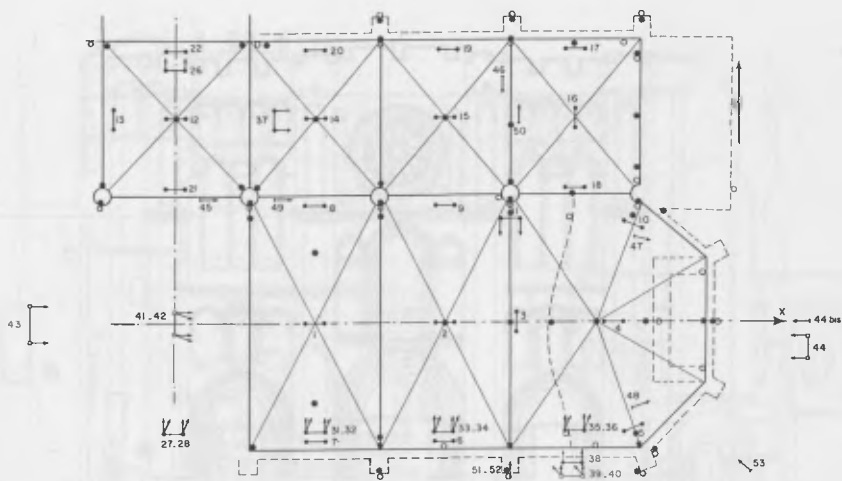


Two examples of obtaining photogrammetric coverage.

Above, photographing a simple architectural element, of relatively small size. An application suited to 'normal case' photography with a stereometric camera. control measurements are reduced to measurements of lengths ( $l$  and  $d$ ), the vertical reference being given by the accurate levelling of the camera ( $V$ ).

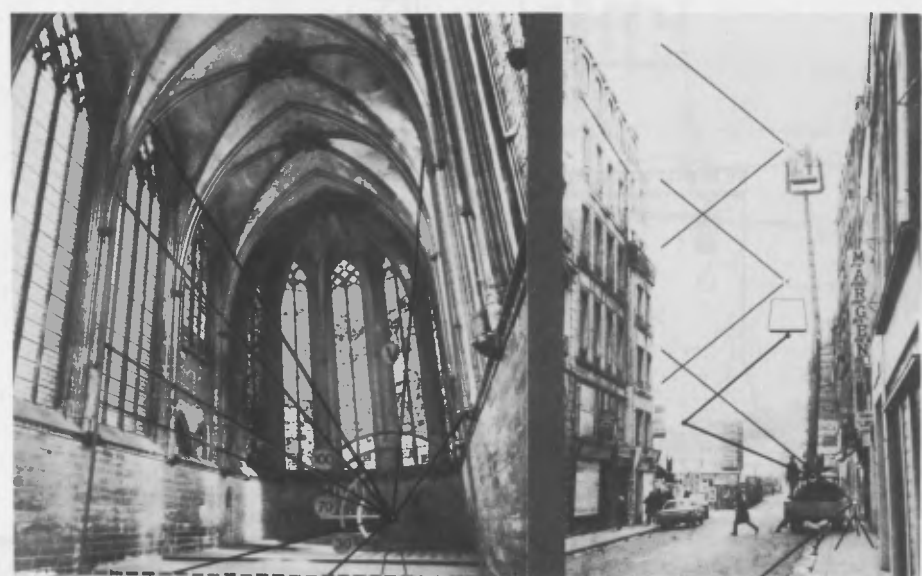
Below, a complex architectural grouping: numerous stereopairs of photographs need to be taken with individual cameras (positions shown with arrows). An overall scheme of control is being established by triangulation to detail points from traverse stations (solid lines and dashes). This results in the production of a network of coordinated points covering the buildings (example on the right of the figure).





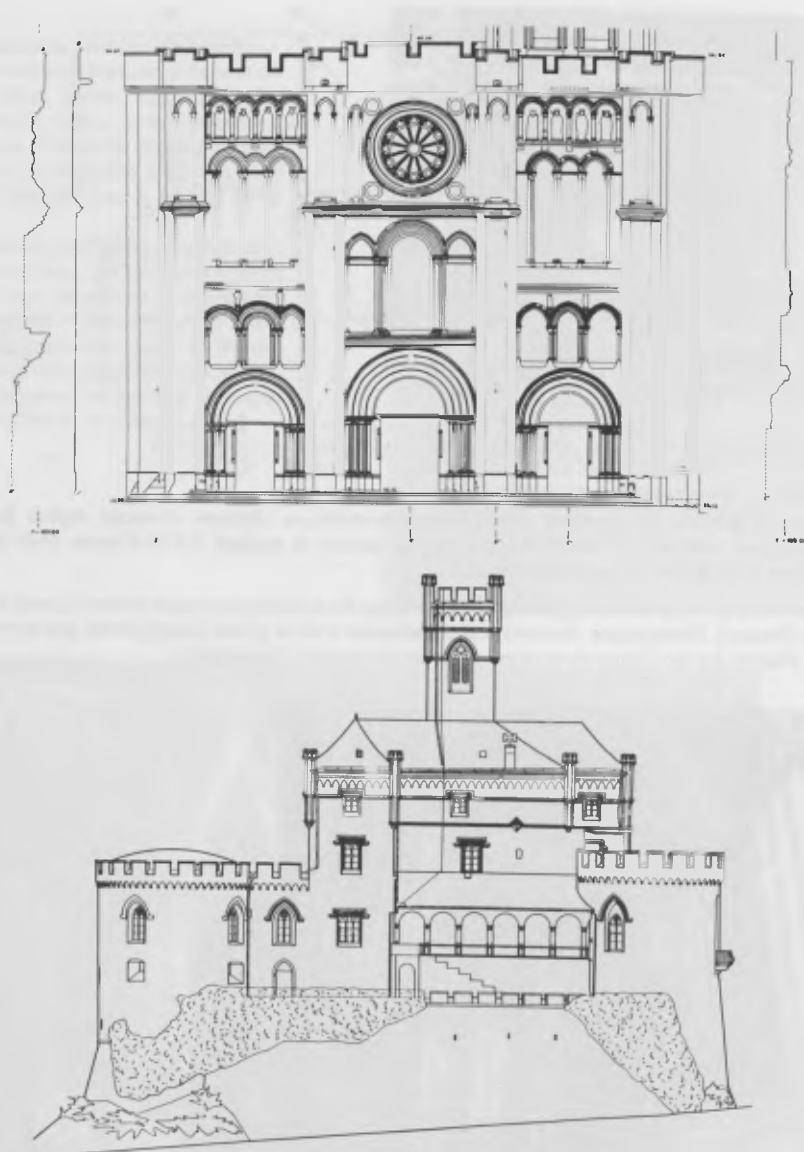
**Figure 24**  
 Exemple de schéma d'un relevé stéréophotogrammétrique. Ecouen (France), église Saint Acheul. Photographies (flèches) et points d'appui (petits cercles et étoiles) (I.G.N.-France pour le Centre de recherches sur les monuments historiques).

Example of the plan for obtaining photographic coverage for a photogrammetric survey: Church of St. Acheul, Ecouen (France). Photographs (arrows) and coordinated control points (small circles and stars) are shown (I.G.N., France, for the Centre de recherches sur les monuments historiques).



**Figure 25**  
 Relevé d'éléments architecturaux élevés sans recul suffisant. A gauche, inclinaisons successives de la chambre (ici, selon des sites de 00, 30, 70 et 100 grades). A droite, utilisation d'une plate-forme élévatrice et prises de vues à différents niveaux.

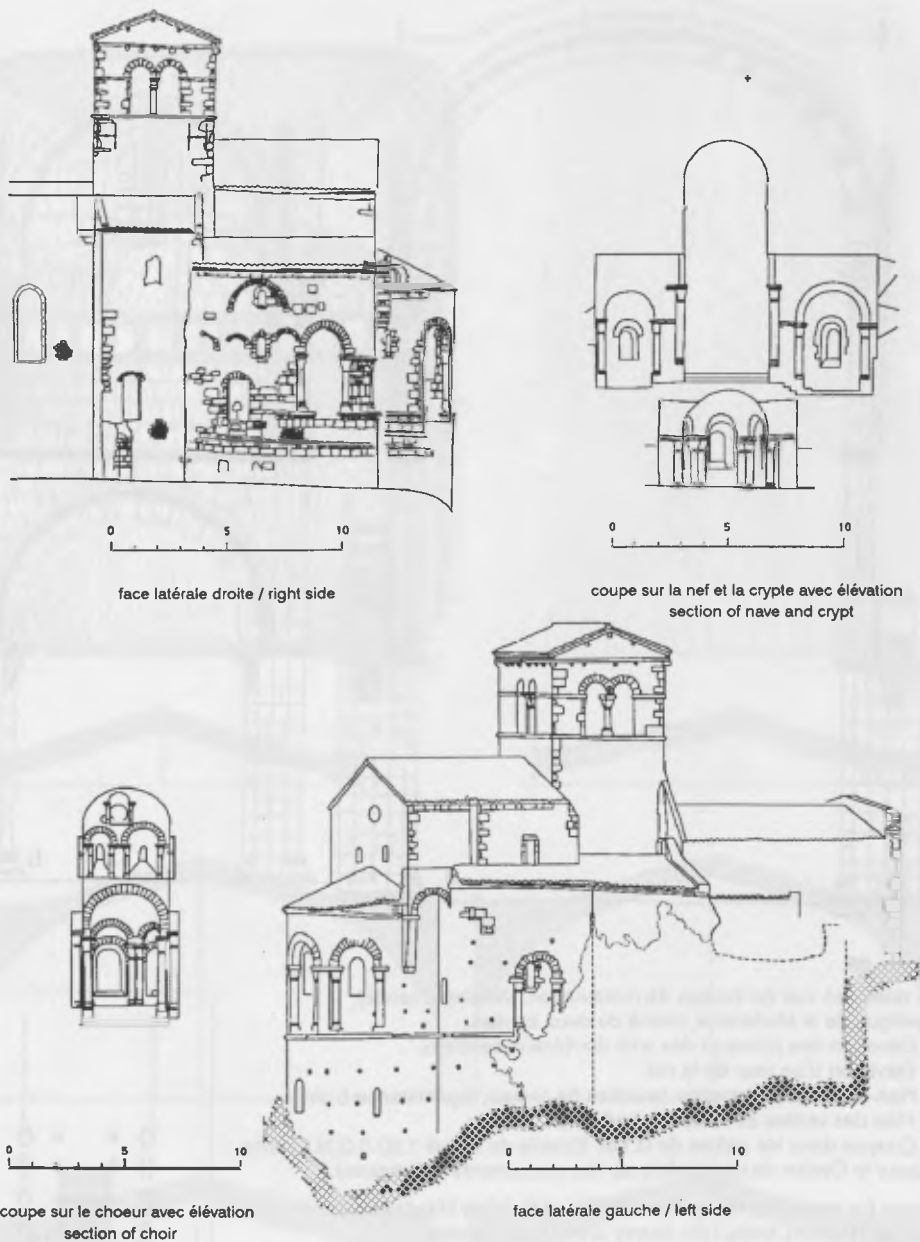
Surveying high-level architectural elements, with insufficient space to move back. Left: a sequence of photographs taken while increasing the tilt of the camera (in this case, at 00, 30, 70 and 100 grads from the horizontal). Right: using an aerial hydraulic platform or 'cherry picker' to take photographs at different levels, while keeping the camera axis approximately horizontal.



**Figure 26**

Deux relevés destinés à l'analyse architecturale d'un monument. En haut: Basilique de Saint-Denis (France), façade; échelle du relevé 1:100 (I.G.N.-France, pour Prof. S. Crosby). En bas: Château de Trakošćan, en Croatie du Nord (Yougoslavie); échelle du relevé 1:100 (Univeristé de Zagreb, Laboratoire de photogrammétrie).

Two survey drawings prepared for purposes of architectural analysis of a monument. Above: part of the basilica of Saint-Denis (France). Scale of survey, 1:100 (I.G.N., France, for Professor S. Crosby). Below: elevation of Trakošćan Castle, Northern Croatia (Yugoslavia). Scale of survey, 1:100 (University of Zagreb, Photogrammetry Laboratory).



face latérale droite / right side

coupe sur la nef et la crypte avec élévation  
section of nave and crypt

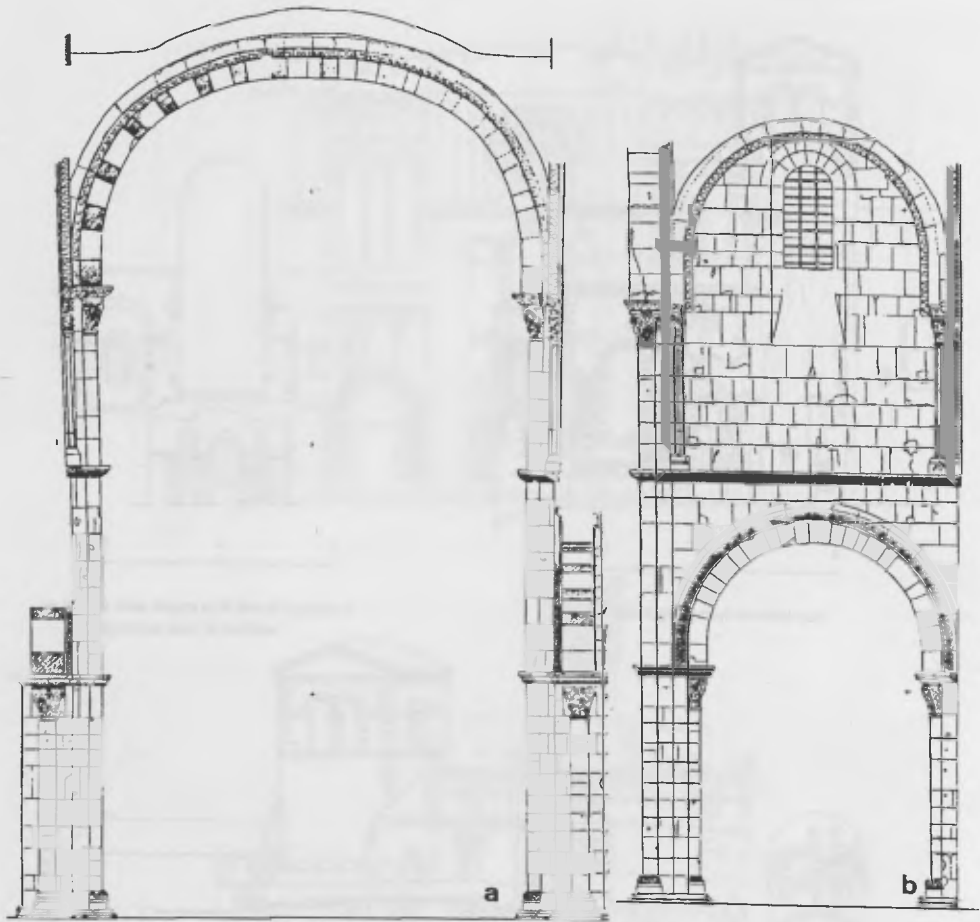
coupe sur le choeur avec élévation  
section of choir

face latérale gauche / left side

**Figure 27**

Eglise de Saint-Romain-le-Puy (France). Un relevé de l'Inventaire général français. Echelle du relevé 1:100.

Church of Saint-Romain-le-Puy (France). A series of drawings, showing both internal and external elevations. Scale of survey, 1:100 (Survey by the Inventaire général, France).



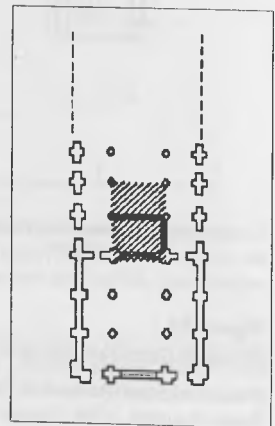
**Figure 28**

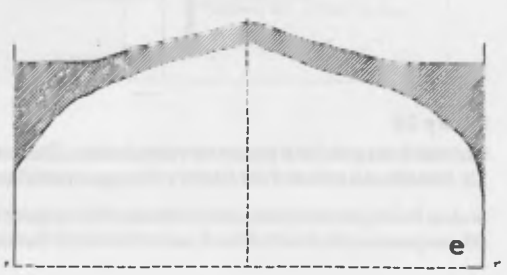
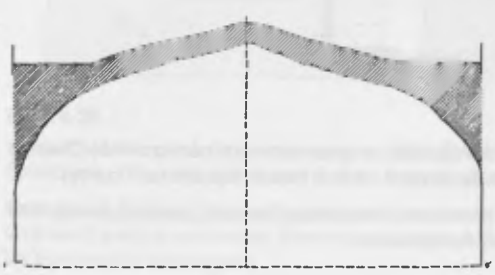
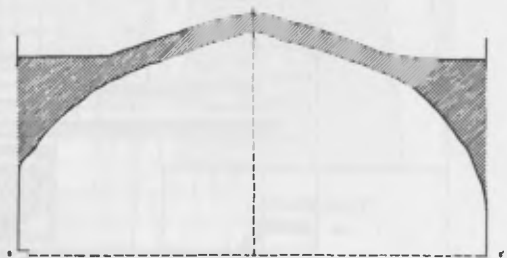
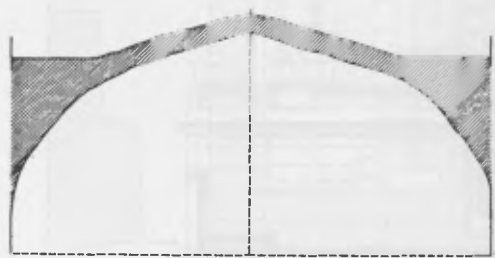
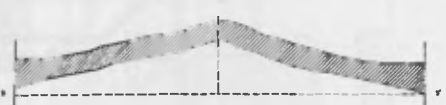
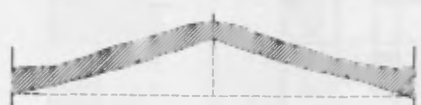
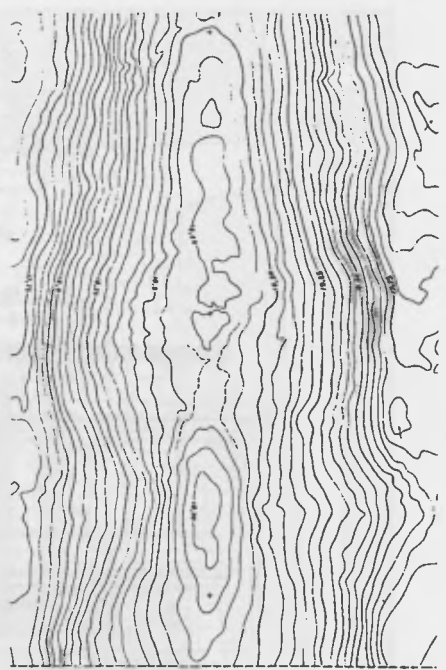
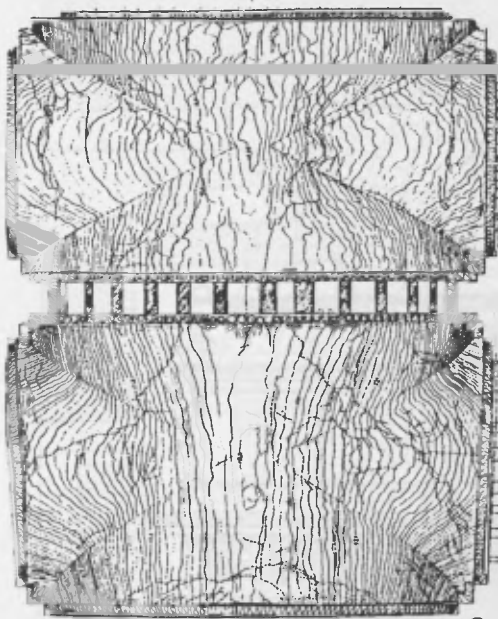
Un relevé en vue de travaux de restauration. Vézelay (France), basilique de la Madeleine, relevé de deux travées.

- a) Elévation des piliers et des arcs doubleaux centraux.
- b) Elévation d'un mur de la nef.
- c) Plan des voûtes, intrados (courbes de niveau, équidistance 5 cm).
- d) Plan des voûtes de la nef, extrados (5 cm).
- e) Coupes dans les voûtes de la nef. Echelle du relevé 1:50 (I.G.N.-France pour le Centre de recherches sur les monuments historiques).

Survey for repair and renovation. Basilica of St. Mary Magdalene, Vézelay (France), scale, 1:50. Survey of two bays, showing:

- a) Elevation of the central pillars and the double central arch.
- b) Elevation of nave wall.
- c) Plan of vaults, intrados (contours at 50 mm intervals).
- d) Plan of nave vaults, extrados (contours at 50 mm intervals).
- e) Sections through the nave vaults (I.G.N., France, for the Centre de recherches sur les monuments historiques).



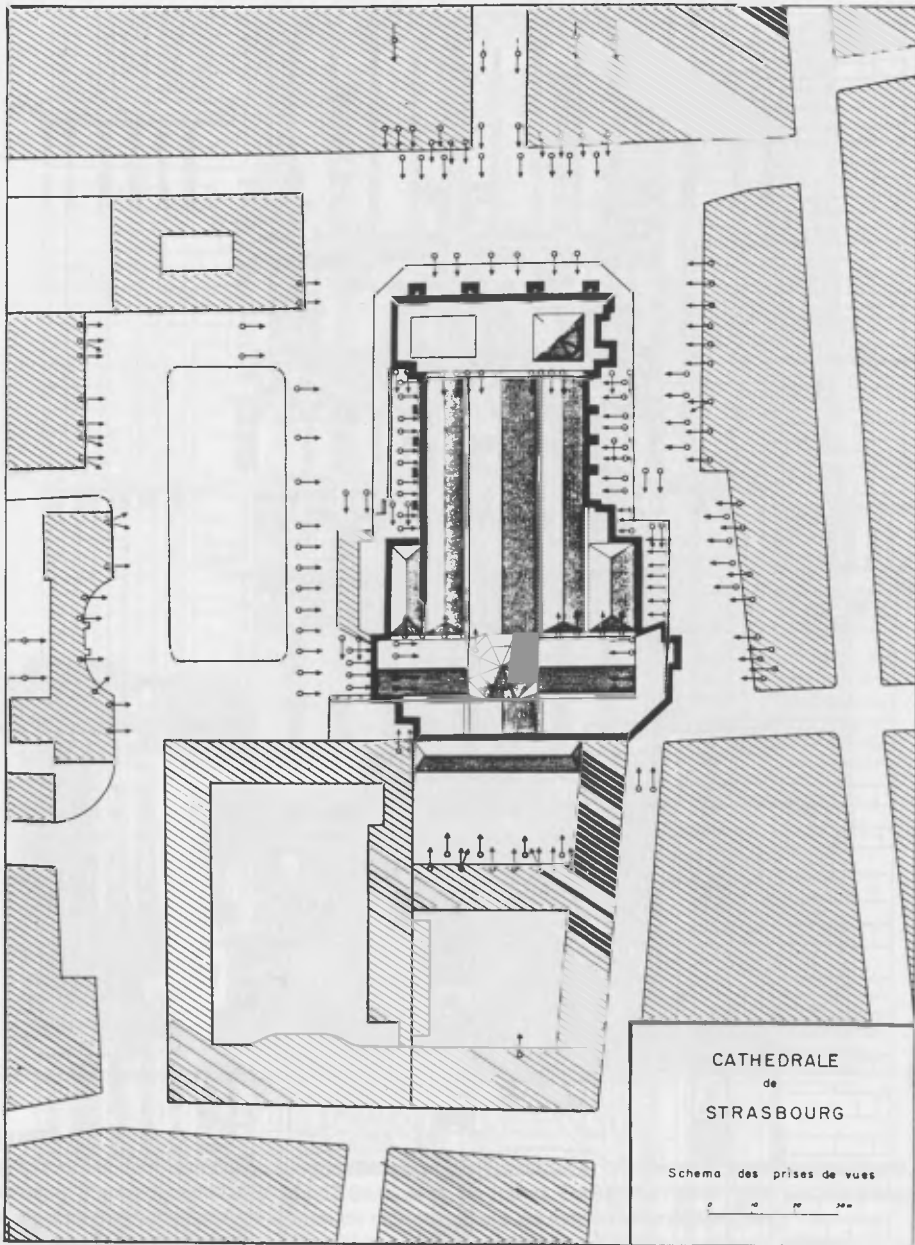




**Figure 29**

Un relevé en vue de travaux de restauration. Stockholm (Suède), monument commémoratif de Charles XII. Echelle du relevé 1:20 (Unité photogrammétrique du Service central des antiquités nationales).

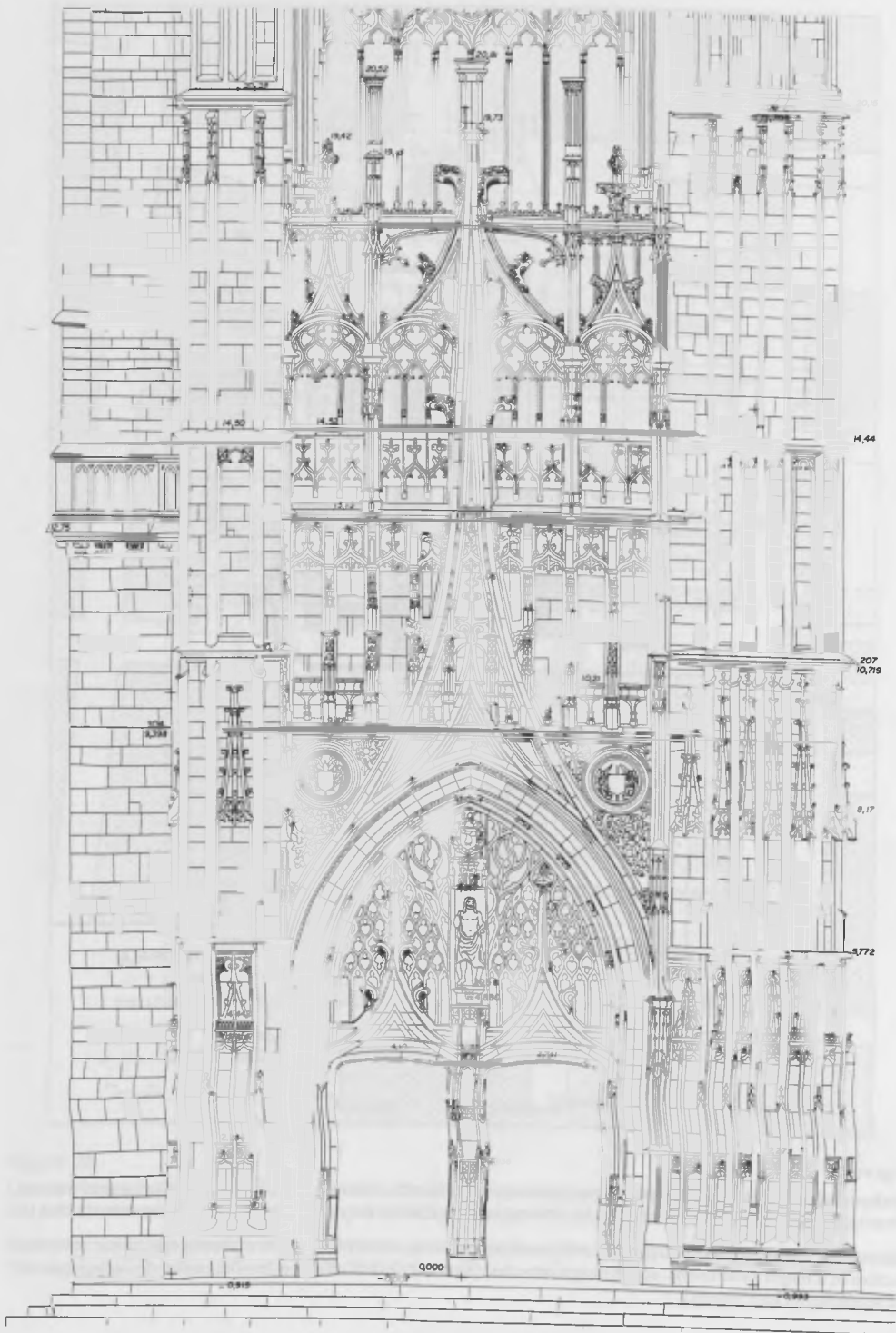
Survey for repair and renovation. Charles XII memorial monument, Stockholm (Sweden). Scale of survey, 1:20 (Photogrammetric Unit of the Central Office of National Antiquities).



**Figure 30**

Un exemple de prise de vues photogrammétriques en vue du relevé extérieur intégral d'un grand édifice. Strasbourg (France), cathédrale (I.G.N.-France pour le Centre de recherches sur les monuments hist.).

Example of planning the photographic stations for producing a complete exterior photogrammetric record or archive of a major monument. Strasbourg Cathedral (France) (I.G.N., France, for the centre de recherches sur les monuments historiques).



**a**





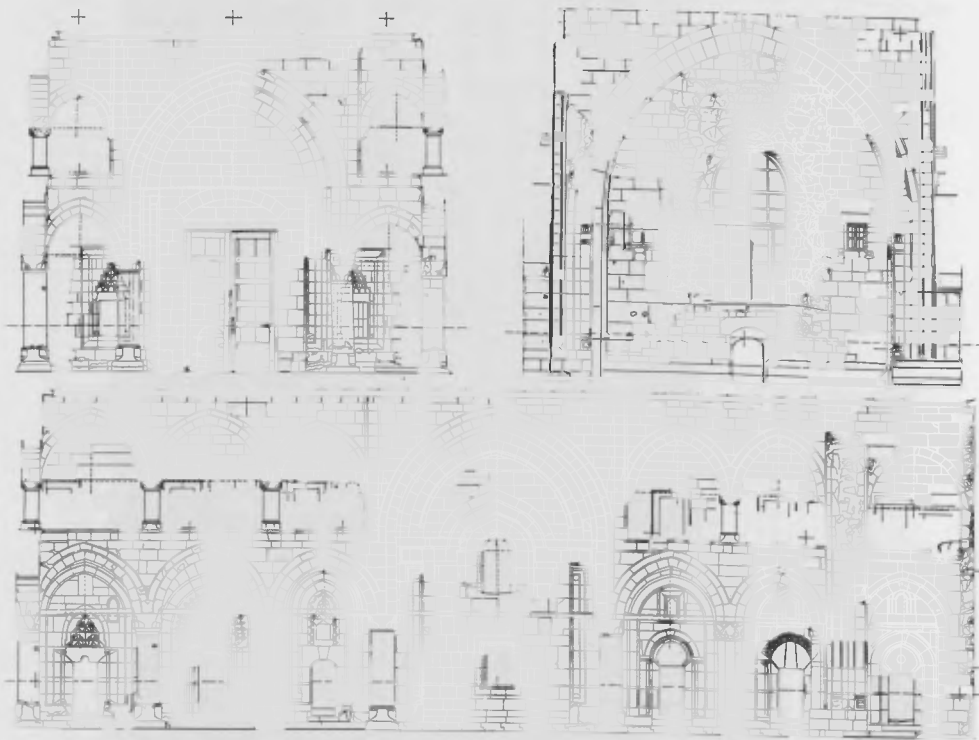
**Figure 31**

*Deux exemples de relevés pour la documentation systématique et précise des grands monuments.*

- a) Limoges (France), cathédrale, portail Saint-Jean, fragment. Echelle du relevé 1:50 (Société française de stéréotopographie, for the Centre de recherches sur les monuments historiques).
- b) Porchester (Grande-Bretagne, Hampshire), château, face Nord. Echelle du relevé: 1:50 (Unité photogrammétrique de l'Institut d'études architecturales avancées, Université de York).

Two examples of surveys for the systematic and accurate documentation of major monuments.

- a) Limoges Cathedral, St. John's doorway (France). Scale of survey 1:50 (Société française de stéréotopographie, for the Centre de recherches sur les monuments historiques).
- b) Porchester Castle, north elevation (Hampshire, U.K.). Scale of survey, 1:50 (Photogrammetric Unit, Institute of Advanced Architectural Studies, University of York, for English Heritage).



**Figure 32**

Relevé détaillé d'un grand édifice. Erzurum (Turquie), Çifte Minare Medresesi, trois façades sur la cour à iwans. Echelle du relevé 1:50 (Centre de photogrammétrie architecturale de l'Université technique du Moyen-Orient, Ankara).

Detailed survey of a major monument. Cifte Minareli Medrese, Erzurum (Turkey). Three facades of the Iwan courtyard. Scale of survey, 1:50 (Centre for Architectural Photogrammetry, Middle East Technical University, Ankara).



**Figure 33**

Développement de façades par stéréophotogrammétrie graphique. Vilnius (R.S.S. de Lithuanie). Echelle du relevé 1:50 (Laboratoire de photogrammétrie de l'Institut de conservation des monuments, Vilnius).

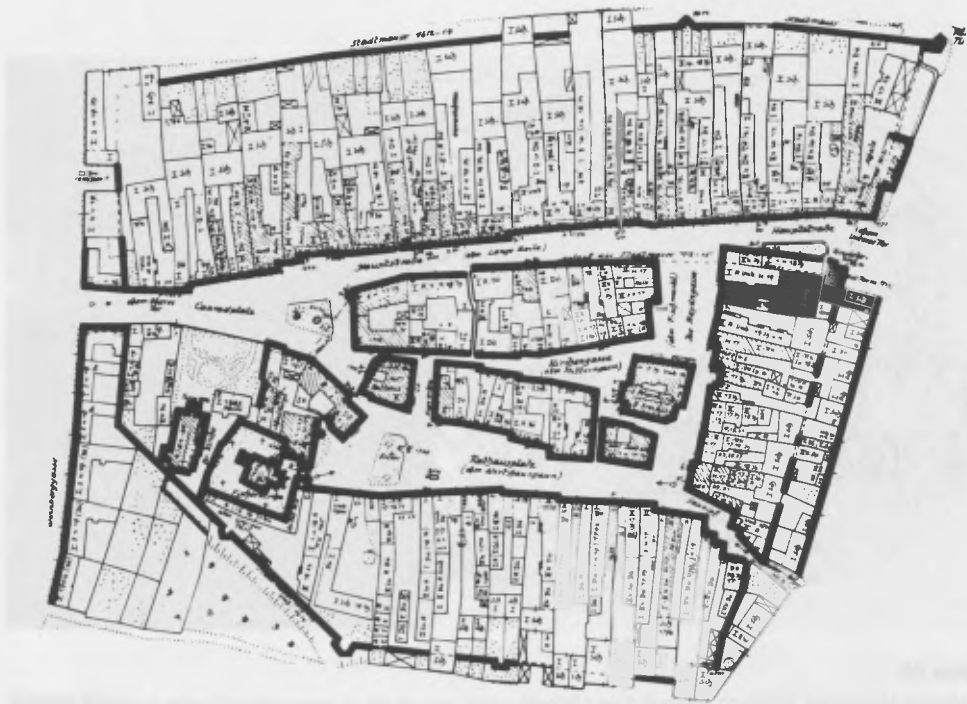
Streetscape recording: photogrammetric line drawings. Part of a street in Vilnius (Lithuania, U.S.S.R.). Scale of survey, 1:50 (Photogrammetric Laboratory of the Institute for the Conservation of Monuments, Vilnius).



**Figure 34**

Développement de façades par redressements assemblés en photoplan. Chalons-sur-Saône (France).  
Echelle du relevé 1:50 (I.G.N.-France pour la ville de Chalons-sur-Saône).

Streetscape recording: rectified photographs, made up into a photoplan. Chalons-sur-Saône (France). Scale of  
survey, 1:50 (I.G.N., France, for the town of Chalons-sur-Saône).



**Figure 35**

Les développements de façades dans un centre historique (en traits noirs épais): Rust (Autriche, Burgenland) (Département de photogrammétrie du Bundesdenkmalamt, Vienne).

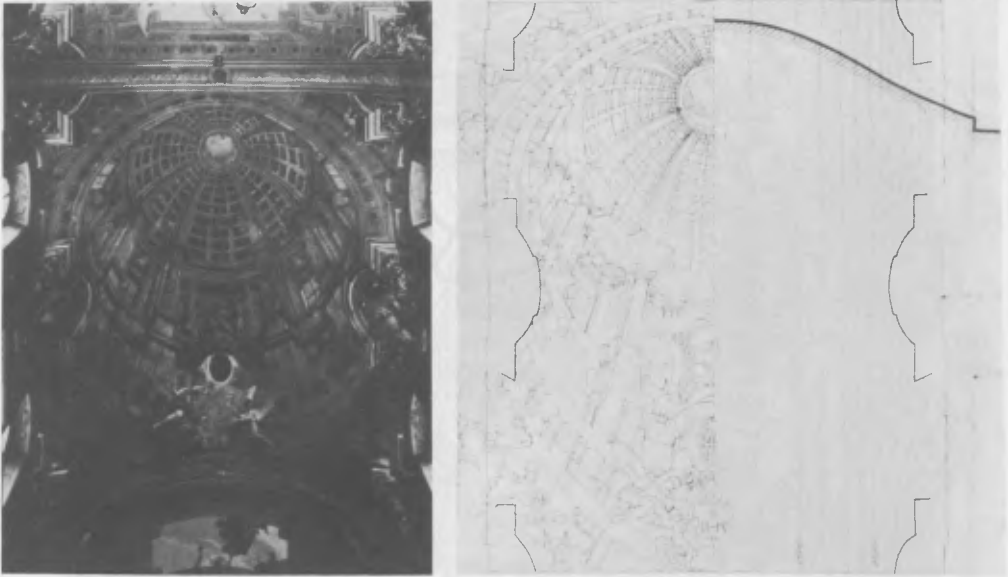
Streetscape recording: programme for a complete historic centre survey, area of survey shown in heavy black lines. Rust Burgenland (Austria) (Photogrammetry Department, Bundesdenkmalamt, Vienna).



**Figure 36**

Innsbruck (Autriche), Hofburg. Relevé d'un plafond peint, en vue de sa restauration après un tremblement de terre. Ce relevé a révélé, d'autre part, les parties traitées journellement par le fresquiste grâce au microrelief des lignes de raccord (zones numérotées et entourées d'un tireté). Echelle du relevé 1:25 (Département de photogrammétrie du Bundesdenkmalamt).

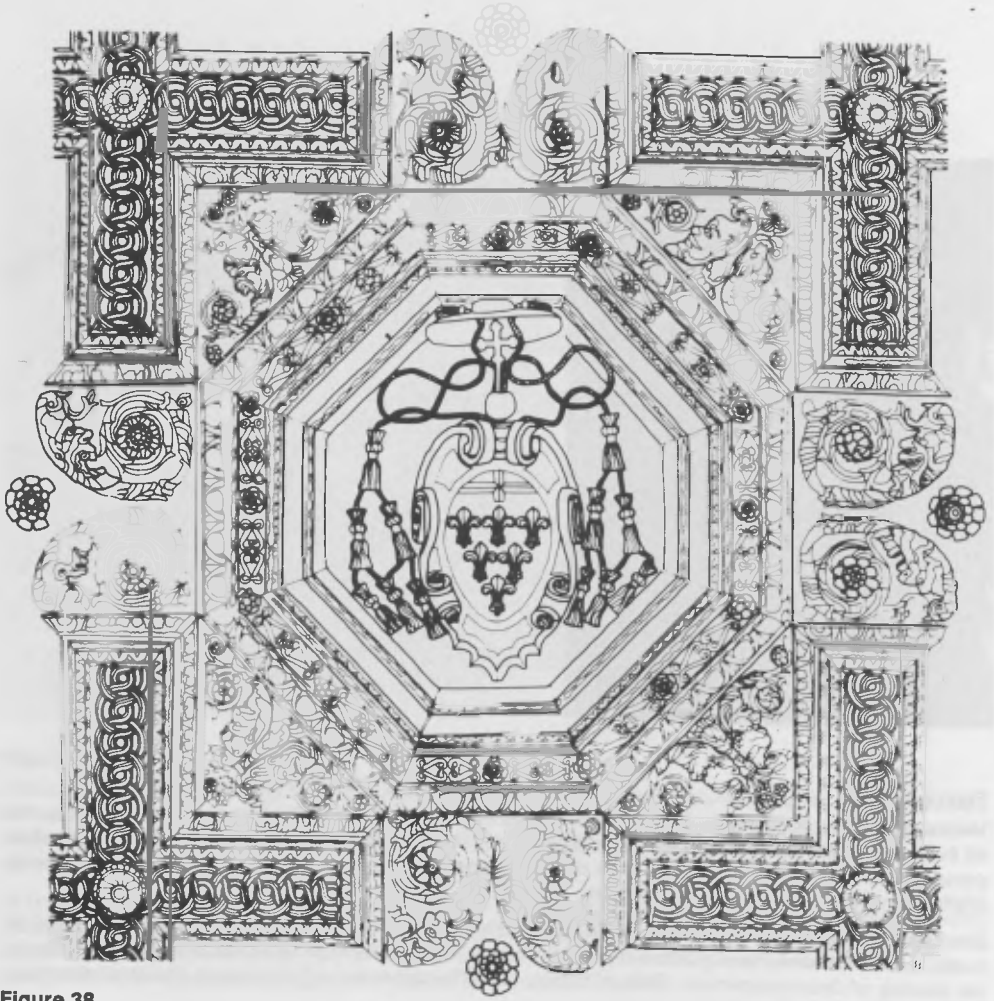
Hofburg, Innsbruck (Austria). Survey of a pointed ceiling for restoration purposes, after damage by earthquake. This survey also revealed the sections of the fresco painted each day by the artist, because of the detection of minute changes of relief along the joins of the sections (areas numbered and outlined by dotted lines). Scale of survey, 1:25 (Photogrammetry Department, Bundesdenkmalamt, Vienna).



**Figure 37**

Vienna (Autriche), église des Jésuites, voûtes de la nef. Le relevé, en plan et en courbes de niveau, met en évidence la forme des voûtes sur lesquelles Andrea Pozzo a peint, au 18ème siècle, de remarquables perspectives et permet d'étudier le tracé de ces perspectives. Echelle du relevé 1:50 (Département de photogrammétrie du Bundesdenkmalamt).

Jesuit church, Vienna (Austria). Nave vaults. The survey, in plan and contour, makes clear the shape of the vaults on which Andrea Pozzo painted in the 18th century his remarkable perspectives, and allows the study of the drawing of these perspectives. Scale of survey, 1:50 (Photogrammetry Department, Bundesdenkmalamt, Vienna).

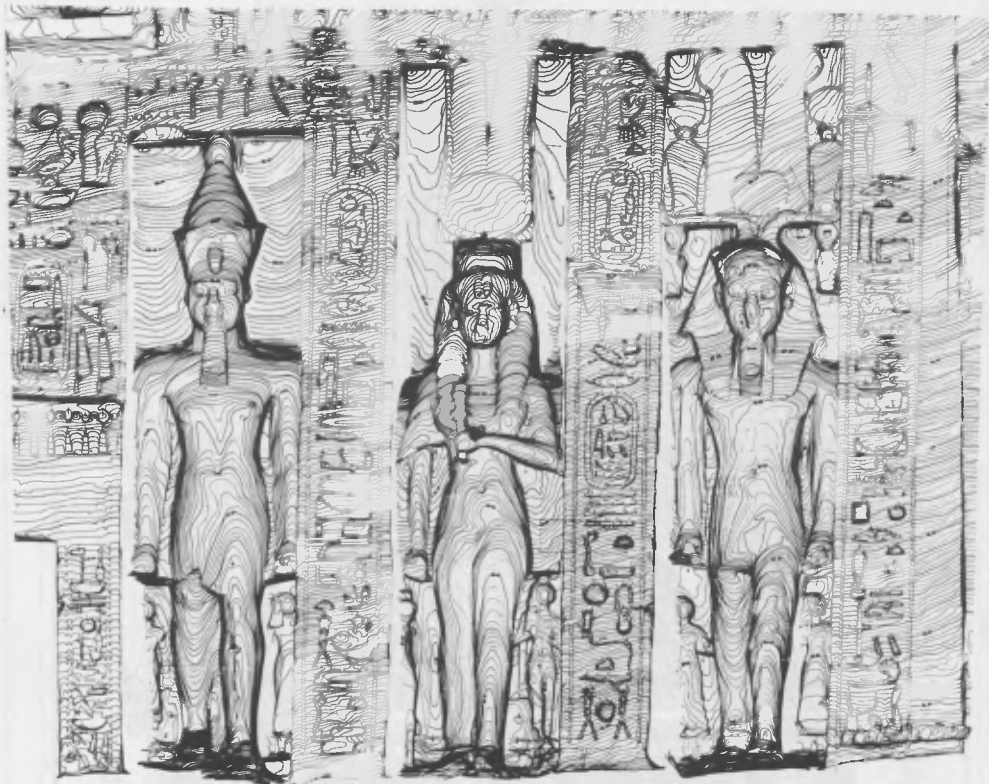


**Figure 38**

Rome (Italie), Palais Farnèse. Relevé, en plan et en coupe, d'un caisson d'un plafond sculpté. Echelle du relevé 1:20 (I.G.N.-France pour l'Ecole française de Rome).

Palazzo Farnese, Rome (Italy). Survey in plan and section of a sculptured ceiling panel. Scale of survey, 1:20 (I.G.N., France, for the Ecole française de Rome).

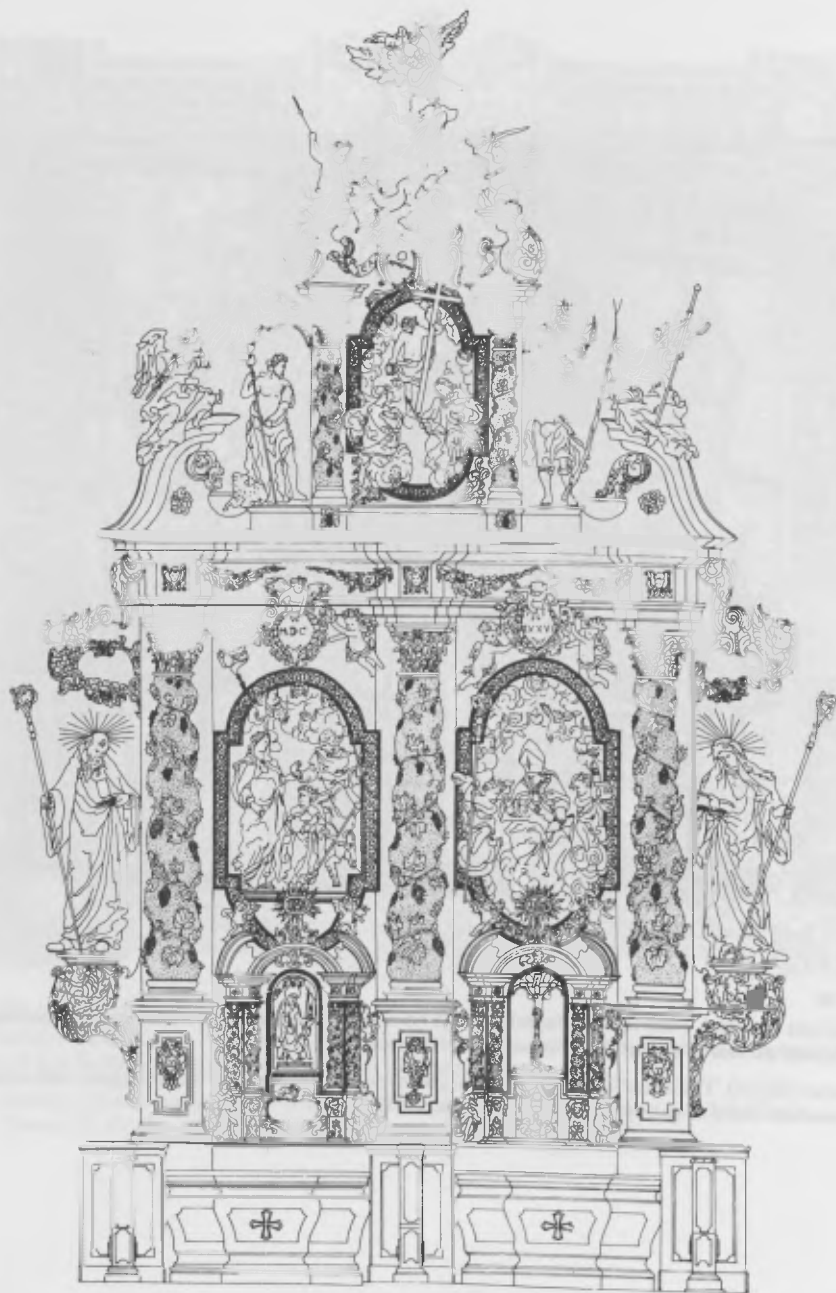




**Figure 39**

Abou Simbel (Egypte). Petit temple, façade, partie nord. Relevé en sections verticales à équidistance de 2 cm. Echelle du relevé 1:25 (I.G.N.-France pour l'Unesco).

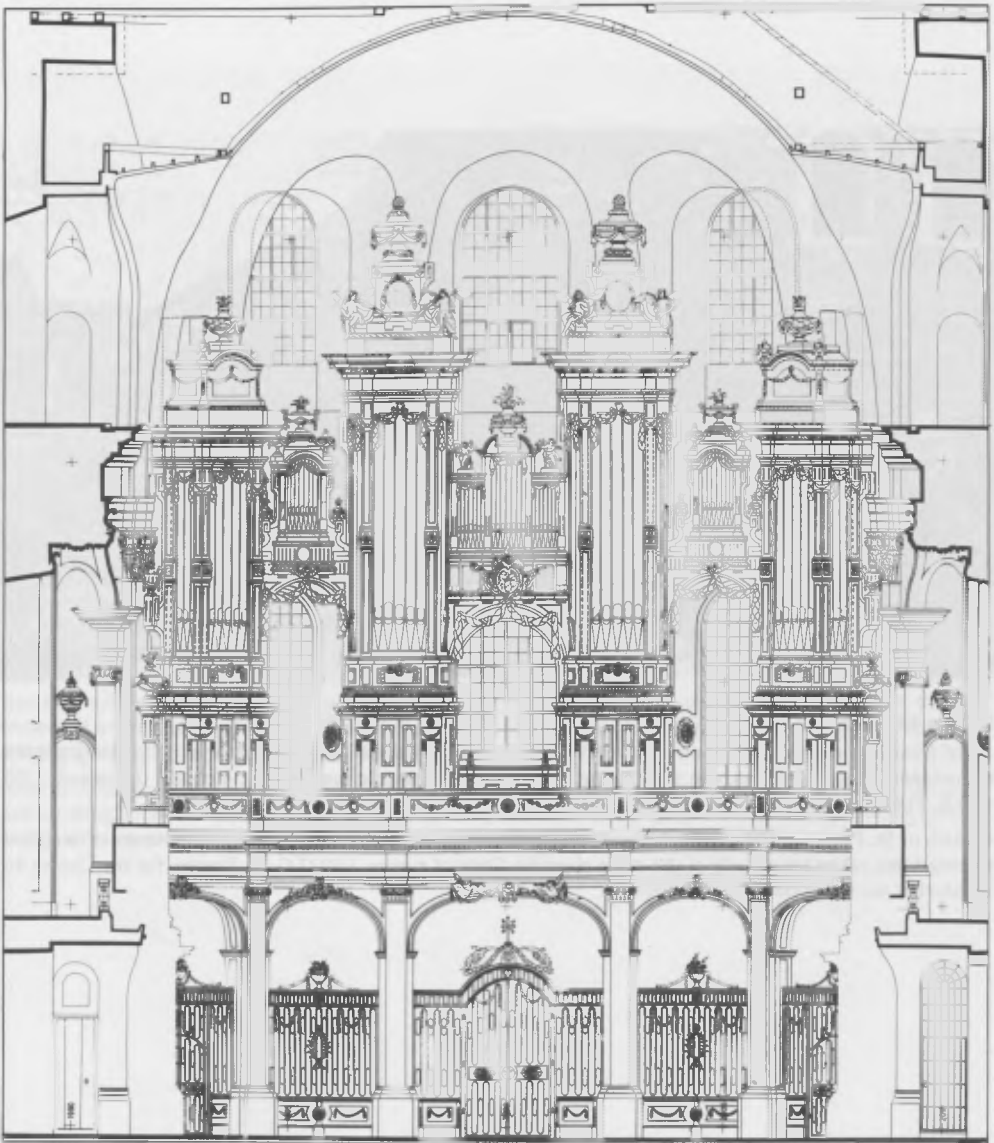
Abu Simbel (Egypt). The Small Temple, facade, northern section. Survey in a vertical plane, with contours at 20 mm intervals. Scale of survey, 1:25 (I.G.N., France, for Unesco).



**Figure 40**

St. Wolfgang (Autriche), église, autel de Thomas Schwanthaler. Echelle du relevé 1:20 (Département de photogrammétrie du Bundesdenkmalamt).

Church of St. Wolfgang (Austria). Altar by Thomas Schwanthaler. Scale of survey 1:20 (Photogrammetry Department, Bundesdenkmalamt, Vienna).



**Figure 41**

Neresheim (R.F.A.), monastère. Buffet d'orgue. Coupe-élévation. Echelle du relevé 1:25 (Institut für Baugeschichte und Bauaufnahme de l'Université de Stuttgart).

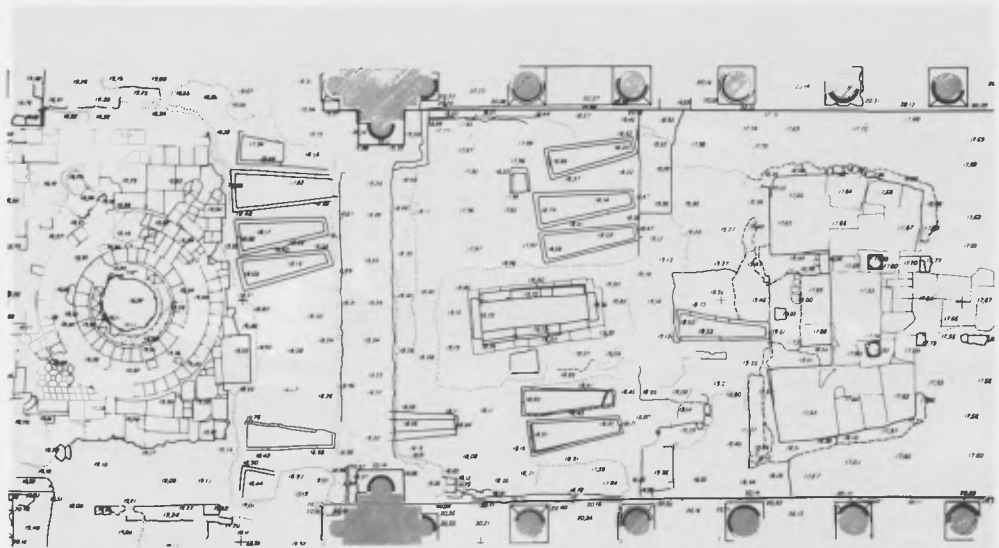
Monastery of Neresheim (FRG). Organ-case. Section and elevation. Scale of survey, 1:25 (Institut für Baugeschichte und Bauaufnahme, Stuttgart University).



**Figure 42**

Metz (France), église Saint-Pierre-aux-nonnains, face est. Relevé par assemblage de photographies redressées (photoplan) en vue de l'analyse de l'appareil de pierres (détail). Echelle du relevé 1:50 (I.G.N.-France pour le Centre de recherches sur les monuments historiques).

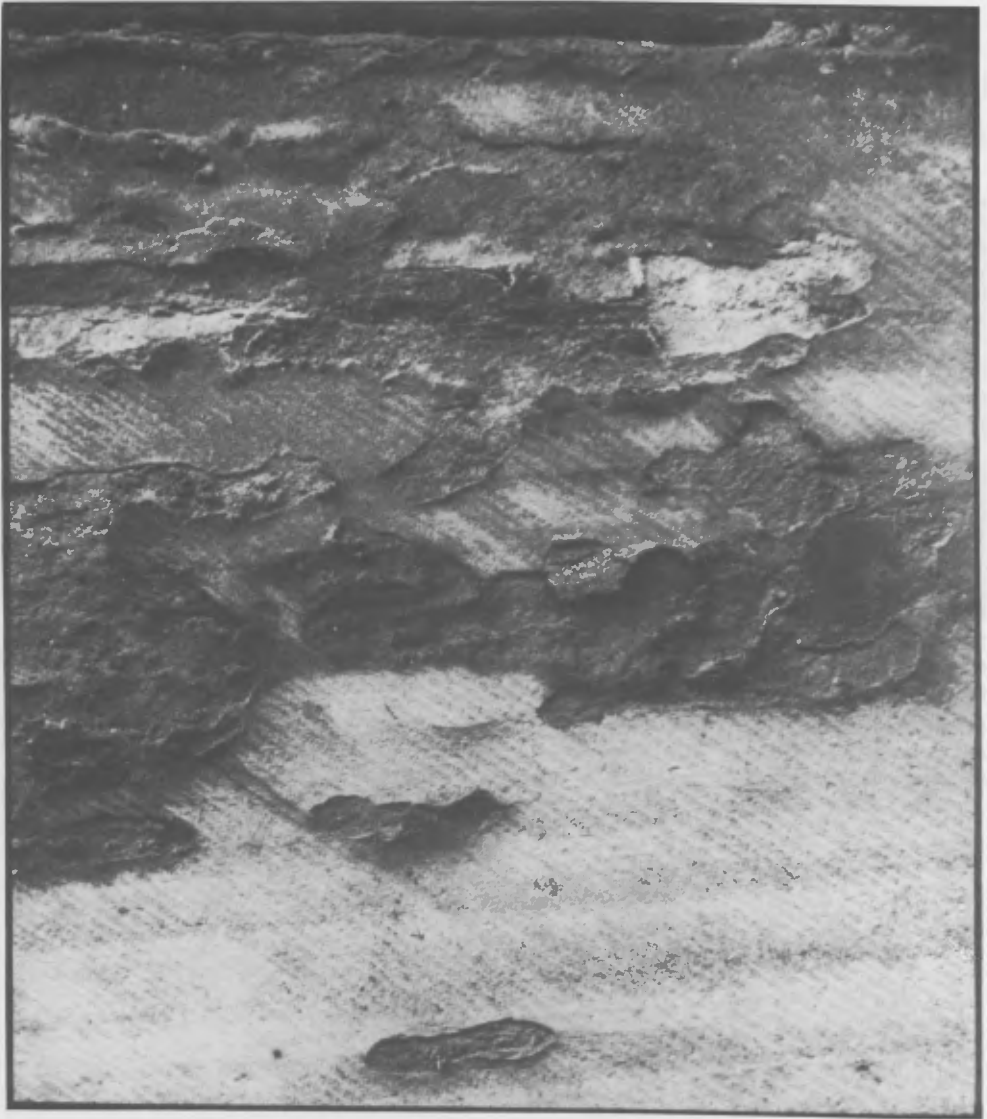
Church of St. Pierre-aux-nonnains, Metz (France). East face. Photoplan assembled from a series of rectified photographs, taken for a study of the stone coursing. Scale of survey, 1:50 (I.G.N., France, for the Centre de recherches sur les monuments historiques).



**Figure 43**

Saint-Benoît-sur-Loire (France), basilique. Relevé photogrammétrique des fouilles effectuées dans le choeur et à la croisée du transept en 1958. Echelle du relevé 1:100 (Société française de stéréotopographie pour le Centre de recherches sur les monuments historiques).

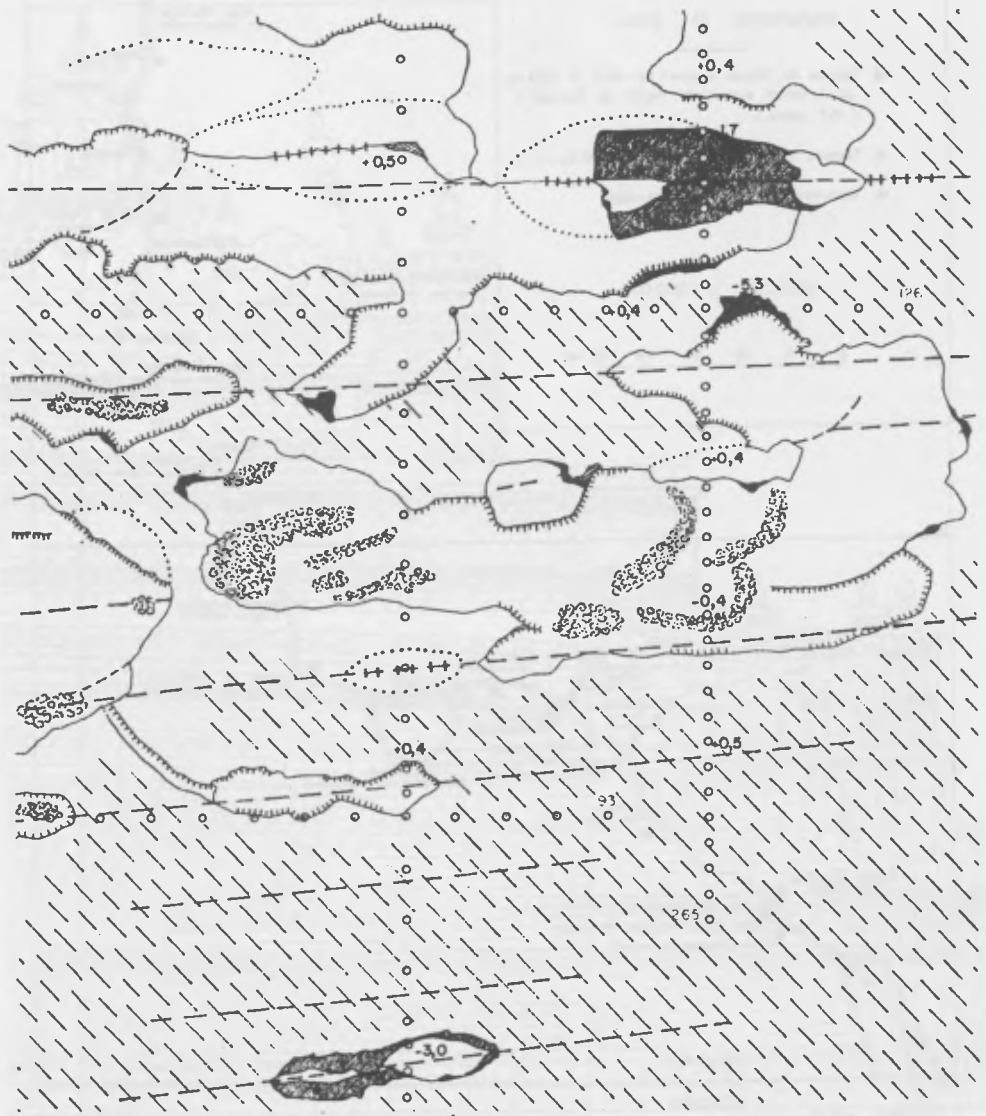
Saint-Benoît-sur-Loire (France). Basilica. Photogrammetric survey of the excavations carried out in the choir and crossing, 1958. Scale of survey, 1:100 (Société française de stéréotopographie, for the Centre de recherches sur les monuments historiques).











**Figure 44**

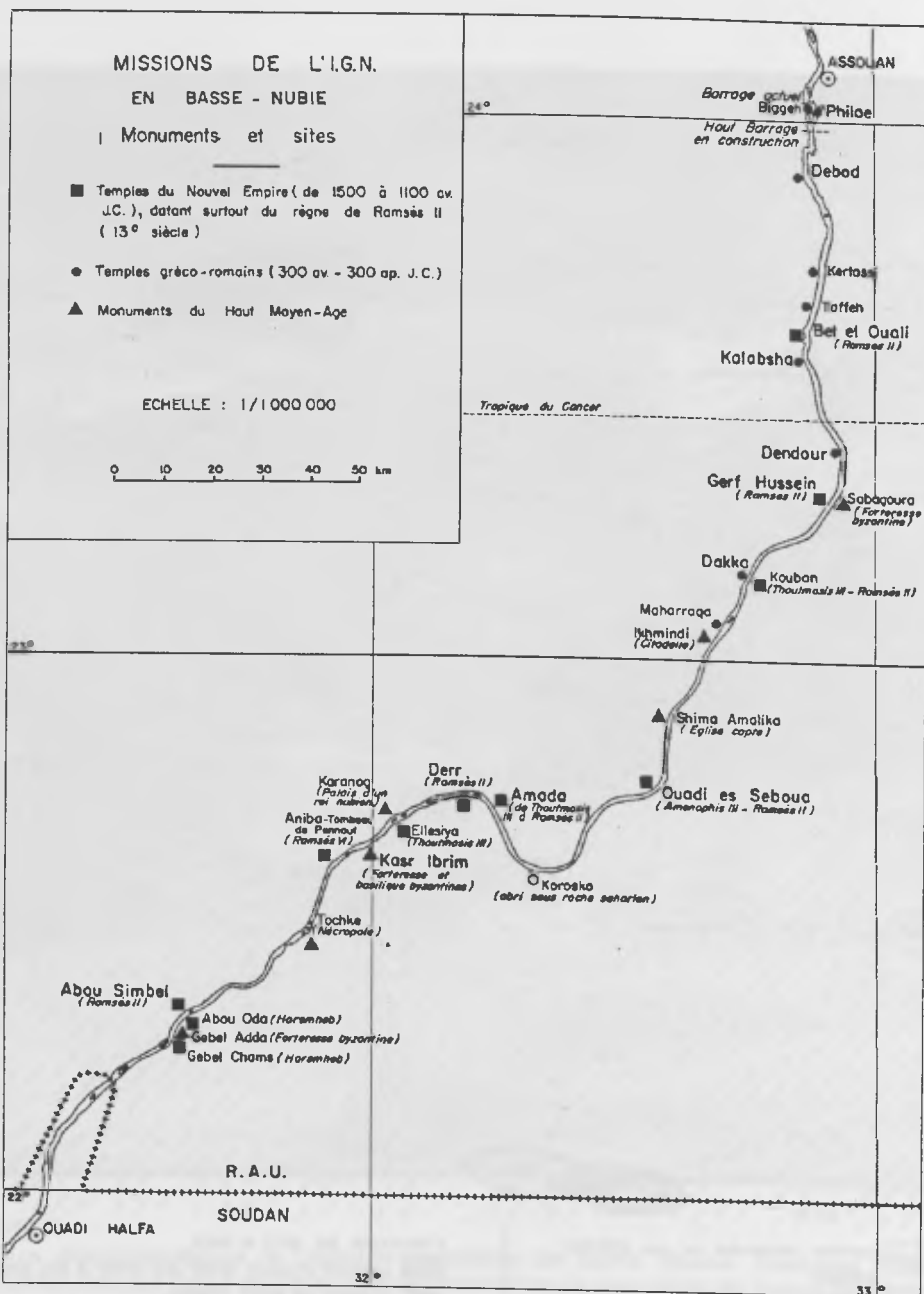
Mesure photogrammétrique de l'altération superficielle des pierres malades. Strasbourg (France), cathédrale, face sud. Relevé planimétrique d'une petite surface de pierre dégradée, mesure de l'évolution de la surface entre 1973 et 1975, interprétation par observation stéréoscopique. Echelle du relevé 1:1 (I.G.N.-France pour le Centre de recherches sur les monuments historiques).

Photogrammetric measurement of the surface decay of spalling stone. Strasbourg Cathedral (France), south side. Planimetric survey of a small area of eroded stone, the measurement of the change in the surface between 1973 and 1975 being interpreted by stereoscopic examination. NOTE the large scale of survey, 1:1 (I.G.N., France, for the Centre de recherches sur les monuments historiques).



 parties inaltérées ou peu altérées.  
 cloques.  
 stratification du grès.  
 crêtes des cloques  
 limite des zones de délitage avec relèvement des bords  
 zones de "bourgeoisement"

**EVOLUTION DE 1973 A 1975**  
 grosses cloques ayant fait place à une cavité  
 briaures de bords relevés.  
 variations en épaisseur (en mm):  
 - creusement  
 + gonflement

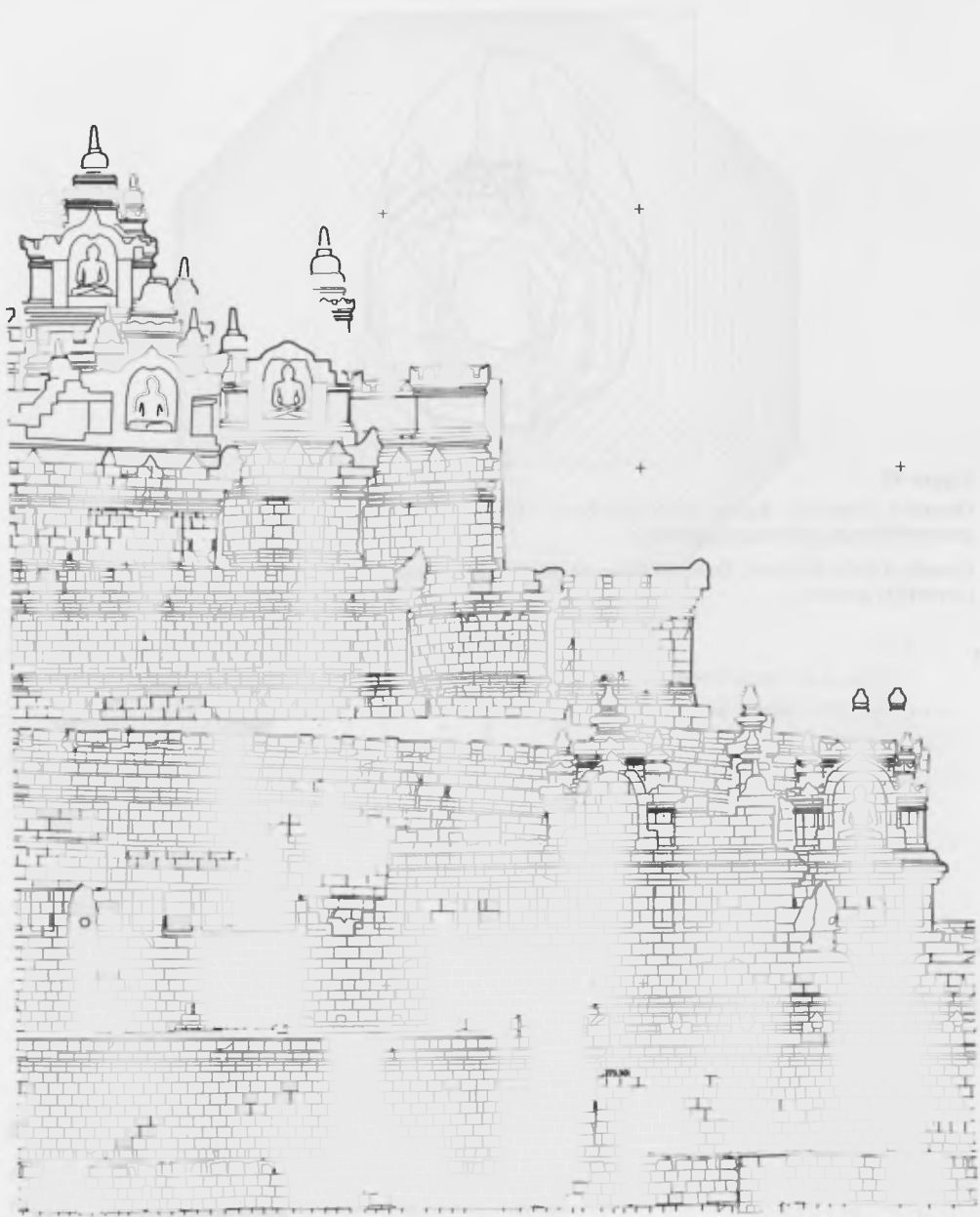


**Figure 45**

Monuments et sites de Basse-Nubie (Egypte) relevés par photogrammètrie pour la campagne internationale de sauvegarde organisée par l'Unesco (I.G.N.-France).

Monuments and sites in Lower Nubia (Egypt), which were surveyed by photogrammetric techniques for the international rescue campaign organized by Unesco (I.G.N., France, for Unesco).

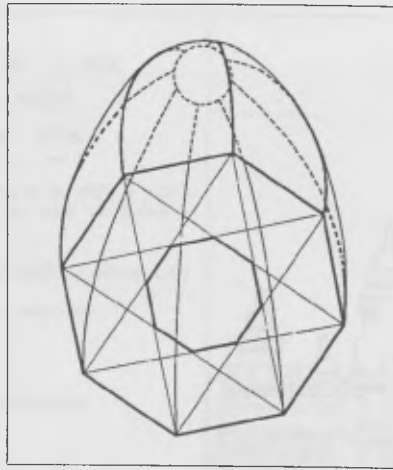




**Figure 46**

Temple de Borobudur (Indonésie). Face nord, détail. Echelle du relevé 1:50 (I.G.N.-France pour l'Unesco).

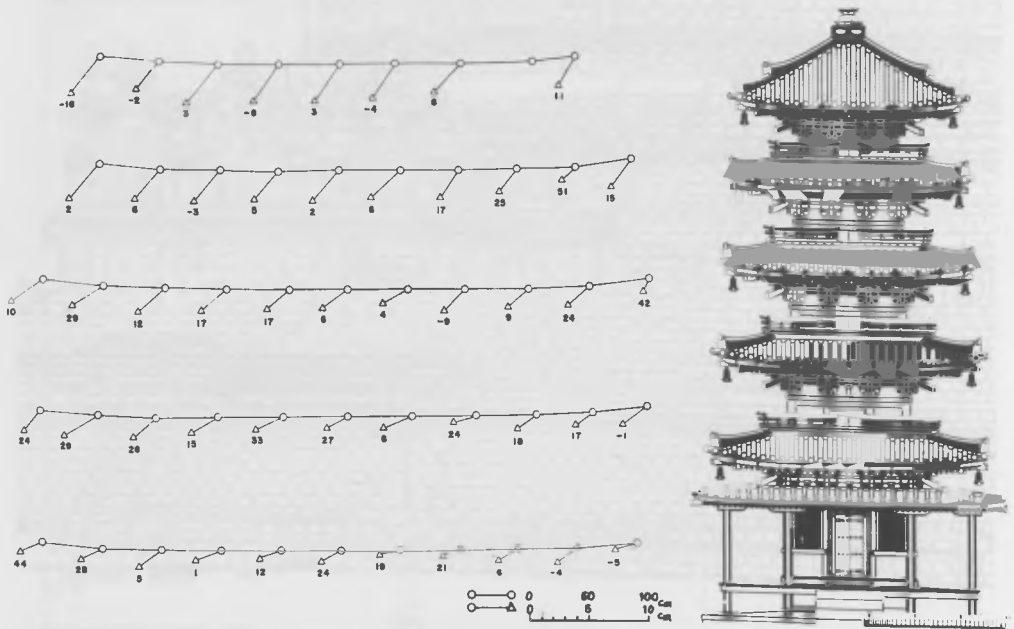
Temple of Borobudur (Indonesia), north side, detail. Scale of survey, 1:50 (I.G.N., France, for Unesco).



**Figure 47**

Donzère (France), église Saint-Philibert. Modèle mathématique représenté par un schéma axonométrique (Inventaire général).

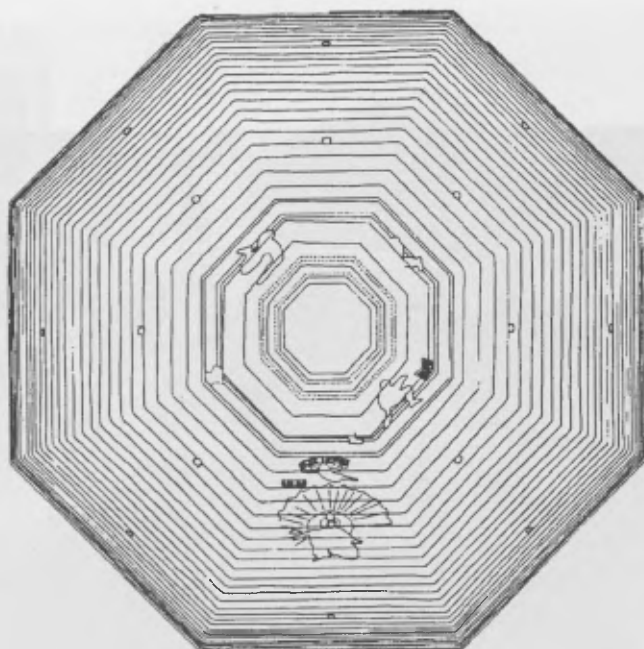
Church of Saint-Philibert, Donzere (France). Mathematical model represented by an axonometric drawing (Inventaire général).



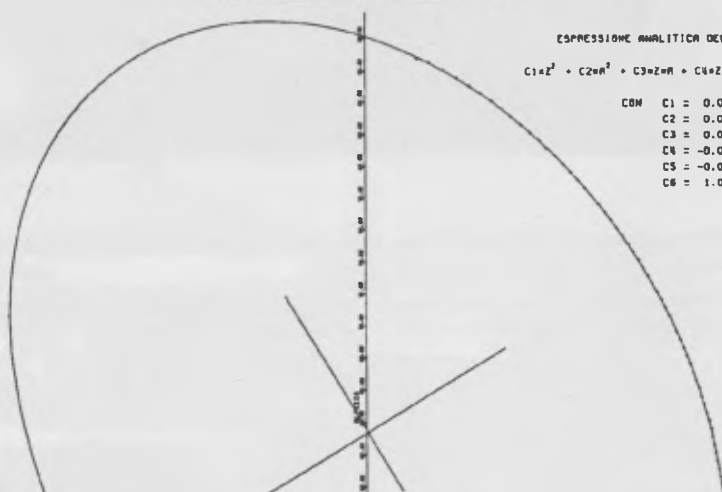
**Figure 48**

Kaijusanji (Japon), pagode. Mesure photogrammétrique des déformations de la pagode d'octobre 1963 à octobre 1968 (Nara National Research Institute of Cultural Properties).

Kaijusanji (Japan), pagoda. Photogrammetric measurement of deformations in the pagoda: comparison between October 1968 and October 1983 (Nara National Research Institute of Cultural Properties).



1



2

ESPRESSIONE ANALITICA DEL PROFILO

$$C1 \cdot Z^2 + C2 \cdot R^2 + C3 \cdot Z \cdot R + C4 \cdot Z + C5 \cdot R + C6 = 0$$

CON	C1 = 0.000293
	C2 = 0.000398
	C3 = 0.000194
	C4 = -0.037200
	C5 = -0.012354
	C6 = 1.000000

**Figure 49**

Florence (Italie). Coupole de Santa Maria del Fiore, intérieur.

- 1) Relevé en courbes de niveau à équidistance de 1 m.
- 2) Profil d'une nervure, calculée à partir d'une restitution numérique (points reportés sur le graphique) (Université de Florence, Institut de photogrammétrie).

Cathedral of Santa Maria del Fiore, Florence (Italy), interior of Dome.

- 1) Contour survey at one-metre intervals.
- 2) Profile of a rib, calculated from a numerical reconstruction (measured points marked on the graph) (University of Florence, Institute of Photogrammetry).



**Figure 50**

Un dispositif d'enregistrement des coordonnées instrumentales. Ecomat 12 Carl Zeiss connecté à un restituteur Planimat.

Apparatus for digital recording of coordinates from an analogue plotter. The Carl Zeiss, Oberkochen (FRG) 'Ecomat 12' connected to a 'Planimat' stereo-plotter, from the same manufacturer.



**Figure 51**  
Un restituteur analytique. Aviolyt BC.1 Wild-Heerbrugg.  
An analytical plotter. Aviolyt BC.1 from Wild Heerbrugg, Switzerland.



**Figure 52**  
Un orthoprojecteur à commande numérique. Avioplan OR.1 Wild-Heerbrugg.  
A numerically-controlled orthoprojector. Avioplan OR.1 from Wild Heerbrugg, Switzerland.

**Figure 53**

Saint-Aignan sur Cher (France), crypte de l'église. Photographie métrique du cul-de-four de la chapelle sud. Transformation orthophotographique par projection sur un cylindre tangent au méridien central (I.G.N.-France).

Saint-Aignan sur Cher (France), crypte of the church. Upper photograph shows a 'metric' photograph of the half-dome of the south chapel. Lower photograph shows an orthophotographic transformation by projection onto a cylinder, tangential to the central meridian (I.G.N., France).

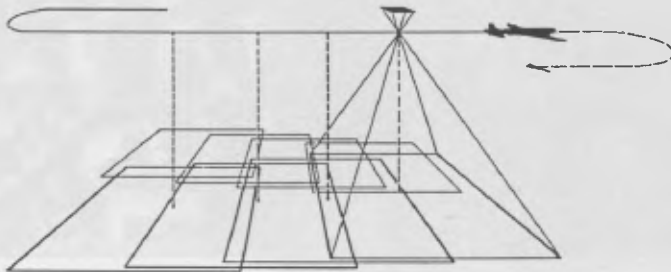




**Figure 54**

Une chambre photogrammétrique aérienne. Aviophot RC.10 Wild-Heerbrugg, à bord d'un avion.

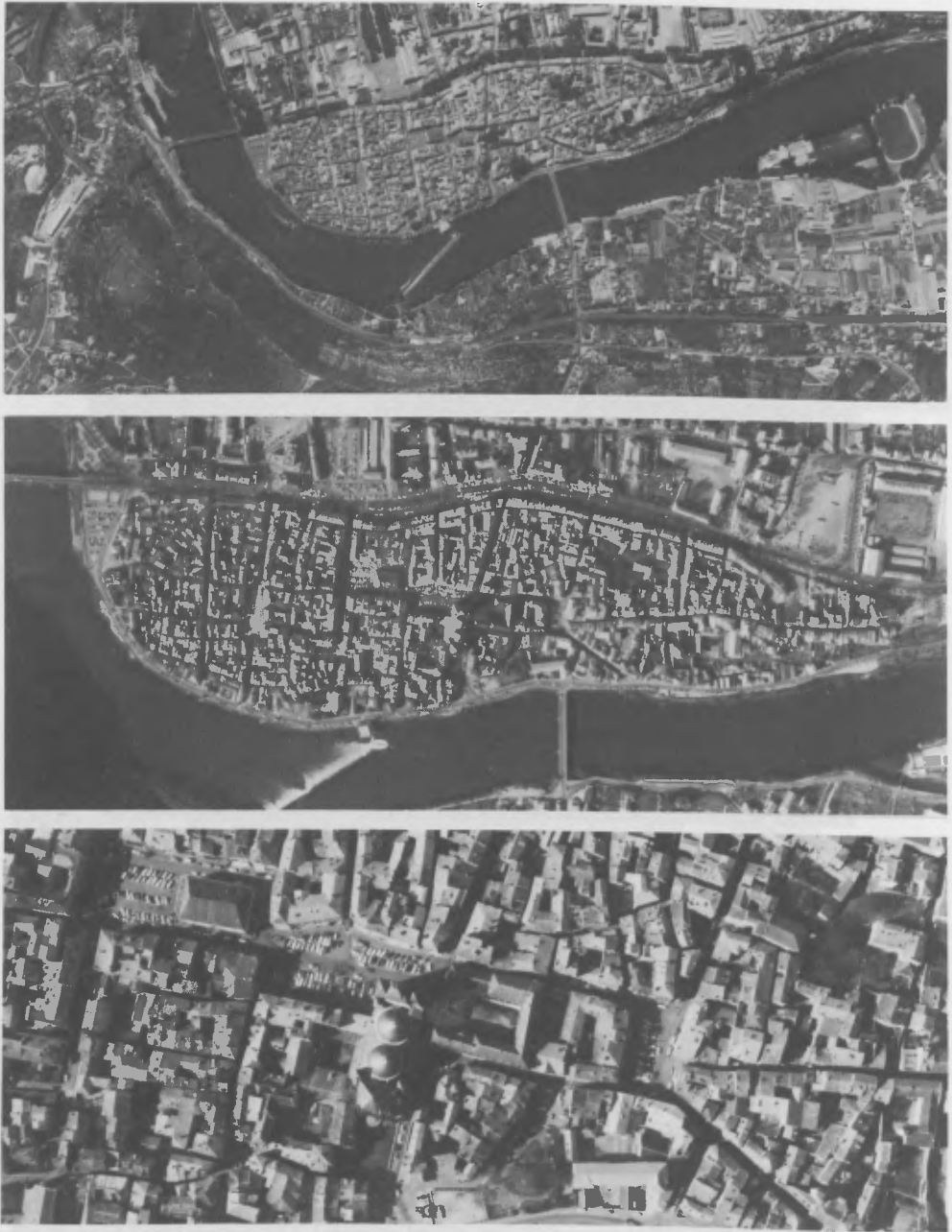
An aerial camera for photogrammetric work, mounted in an aircraft. Aviophot RC.10, from Wild Heerbrugg,



**Figure 55**

Schéma d'une couverture photographique aérienne verticale.

Diagram of the method of coverage of a vertical aerial photograph survey.



**Figure 56**

Cahors (France). Photographies aériennes du centre historique à trois échelles différentes. En haut, 1:15.000. Au centre, 1:8.000. En bas, 1:3.000 (I.G.N.-France).

Cahors (France). Parts of aerial photographs of the historic centre at three different scales. Top, 1:15,000. Middle, 1:8,000. Bottom, 1:3,000 (I.G.N., France).





**Figure 57**

Carcassonne (France), la Cité.  
En haut, photographie aérienne  
oblique.

A droite, photographie aérienne  
verticale (échelle 1:5.000)  
(I.G.N.-France).

Carcassonne (France), the walled  
town.  
Above, an oblique aerial photograph.  
On right, a vertical aerial photograph  
at 1:5,000 scale (I.G.N., France).





Figure 58

Auxerre (France). Plan stéréophotogrammétrique d'un quartier de la ville (détail). Echelle du relevé 1:1.000 (I.G.N.-France).

Auxerre (France). Photogrammetrically derived plan of a part of the town. Scale of survey, 1:1,000 (I.G.N., France).

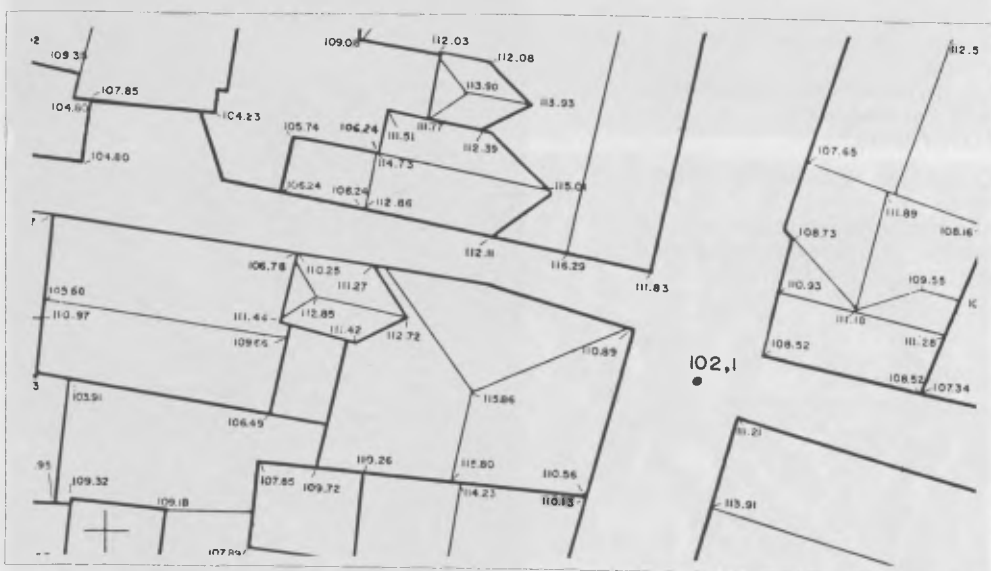
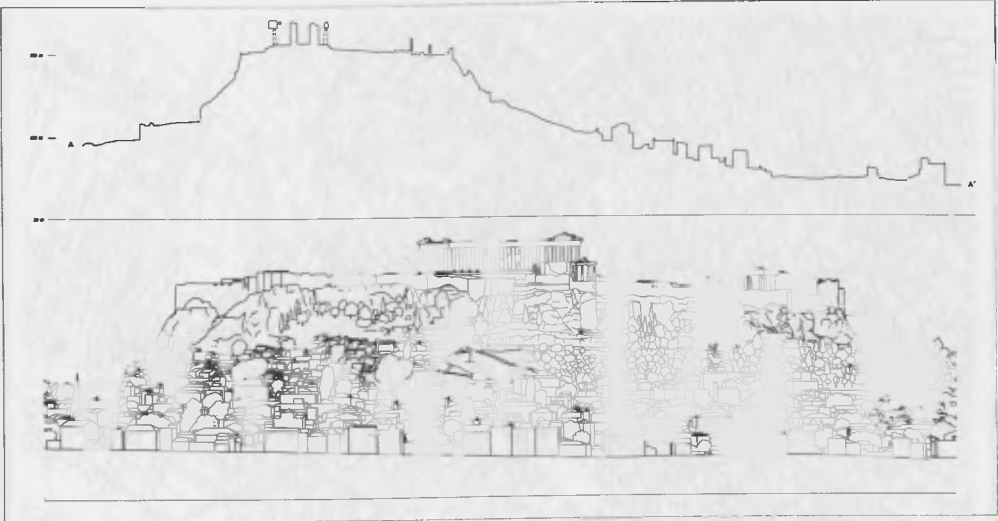


Figure 59

Auxerre (France). Plan coté des toits du même quartier de la ville (détail). Echelle du relevé 1:200 (I.G.N.-France).

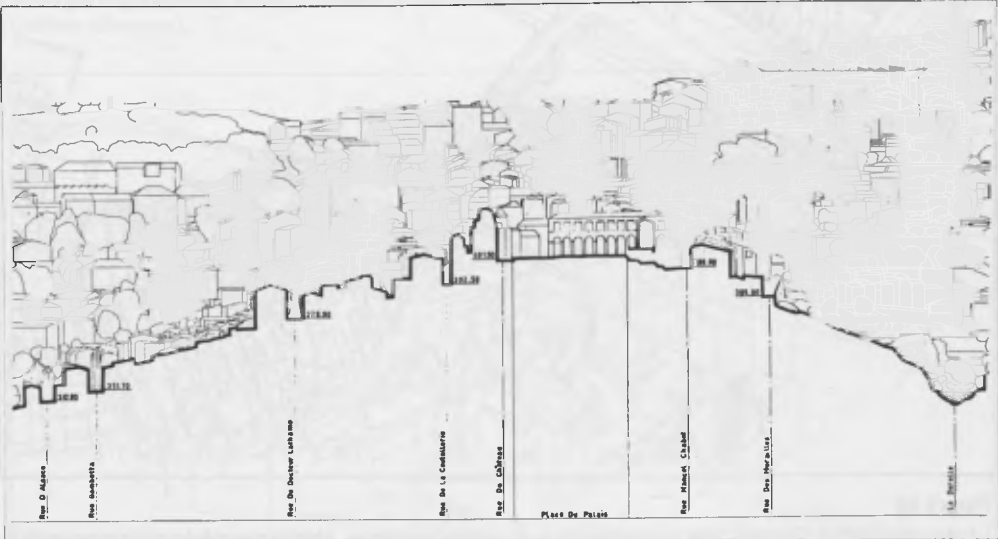
Auxerre (France). 'Roof plan' with height marking of key points, from the same district as shown in Fig.58 (detail). Scale of survey, 1:200 (I.G.N. France).



**Figure 60**

Athènes (Grèce). Acropole et quartier de Plaka. Coupe nord-sud et élévation d'ensemble vue du nord, établies par stéréophotogrammétrie aérienne. Echelle du relevé 1:1.000 (I.G.N.-France pour l'Unesco).

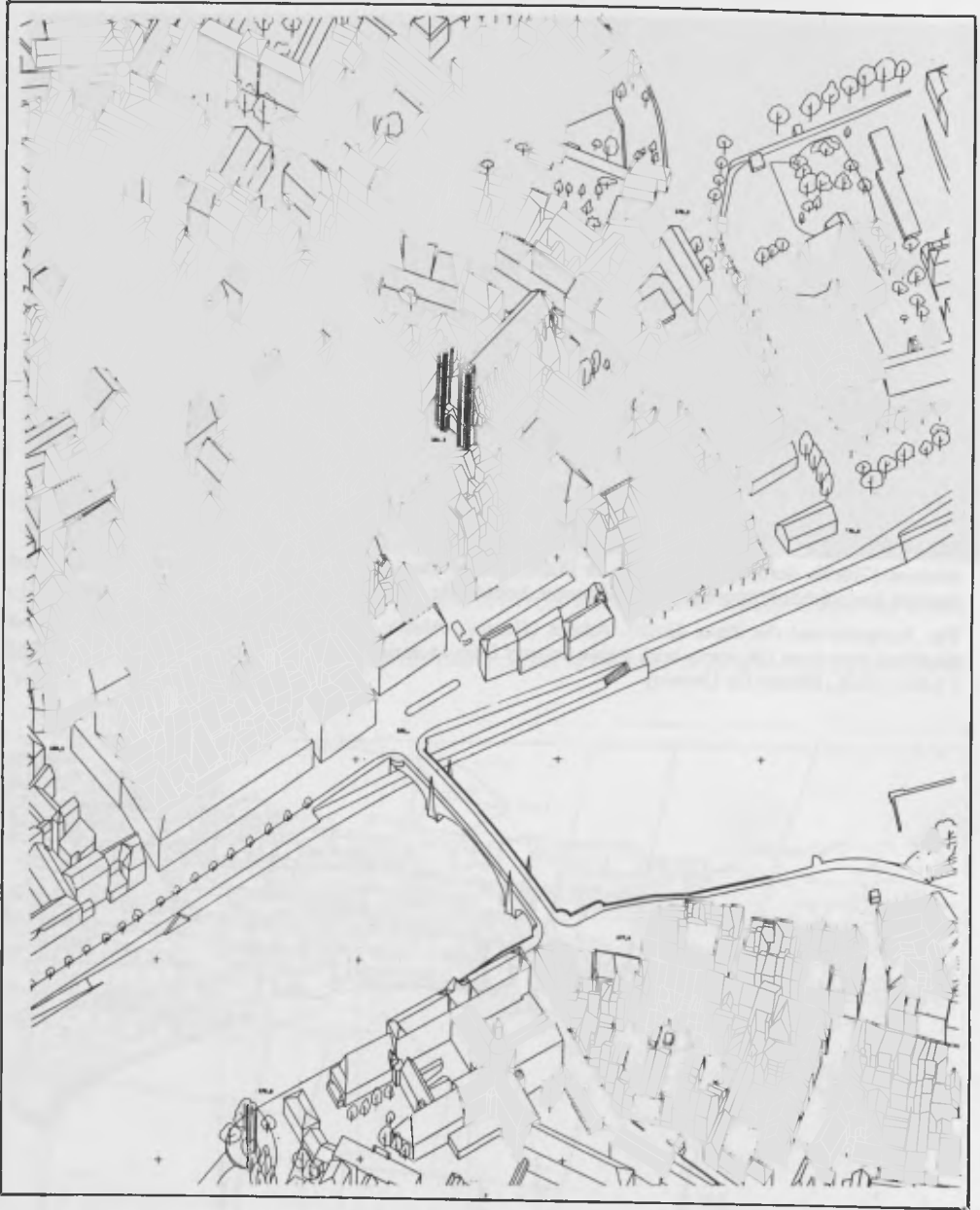
The Acropolis and the Plaka district, Athens (Greece). Above, north/south section, and below 'sectional elevation' seen from the north, both drawn entirely from an aerial photogrammetric survey. Scale of survey, 1:1,000 (I.G.N., France, for Unesco).



**Figure 61**

Thiers (France). Coupe - élévation ouest-est à travers le centre de la ville, établie par stéréophotogrammétrie aérienne. Echelle du relevé 1:1.000 (I.G.N.-France, Bertrand de Tourtier).

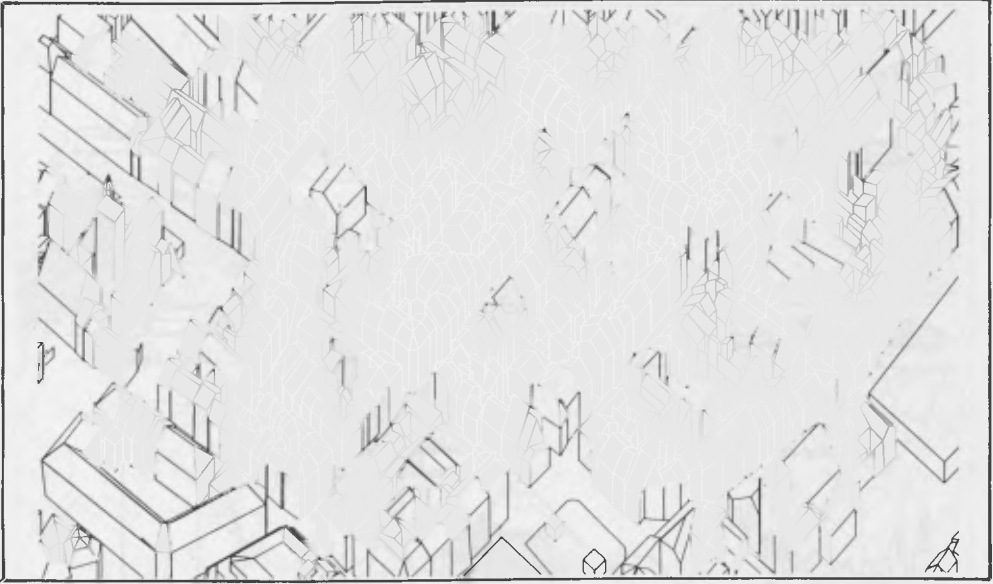
Thiers (France). Combined east/west section and 'sectional elevation' across the centre of the town, drawn from an aerial photogrammetric survey. Scale of survey, 1:1,000 (I.G.N., France, for architect Bertrand de Tourtier).



**Figure 62**

Chalon-sur-Saône (France). Vue axonométrique du centre historique, établie par stéréophotogrammétrie aérienne. Echelle du relevé 1:1,000 (I.G.N.-France pour la ville de Chalon-sur-Saône).

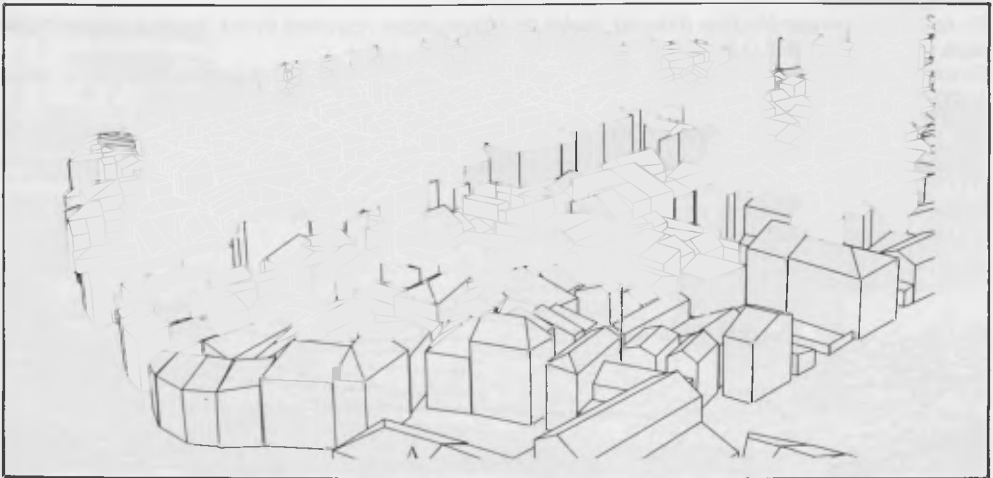
Chalon-sur-Saône (France). Axonometric view of the historic centre, drawn from an aerial photogrammetric survey. Scale of survey, 1:1,000 (I.G.N., France, for the town of Chalon-sur-Saône).



**Figure 63**

Orléans (France). Vue axonométrique d'un quartier du centre historique, obtenue par stéréophotogrammétrie aérienne numérique et tracé automatique (méthode analytique). Echelle du relevé 1:1.000 (I.G.N.-France et Cabinet Albenque)

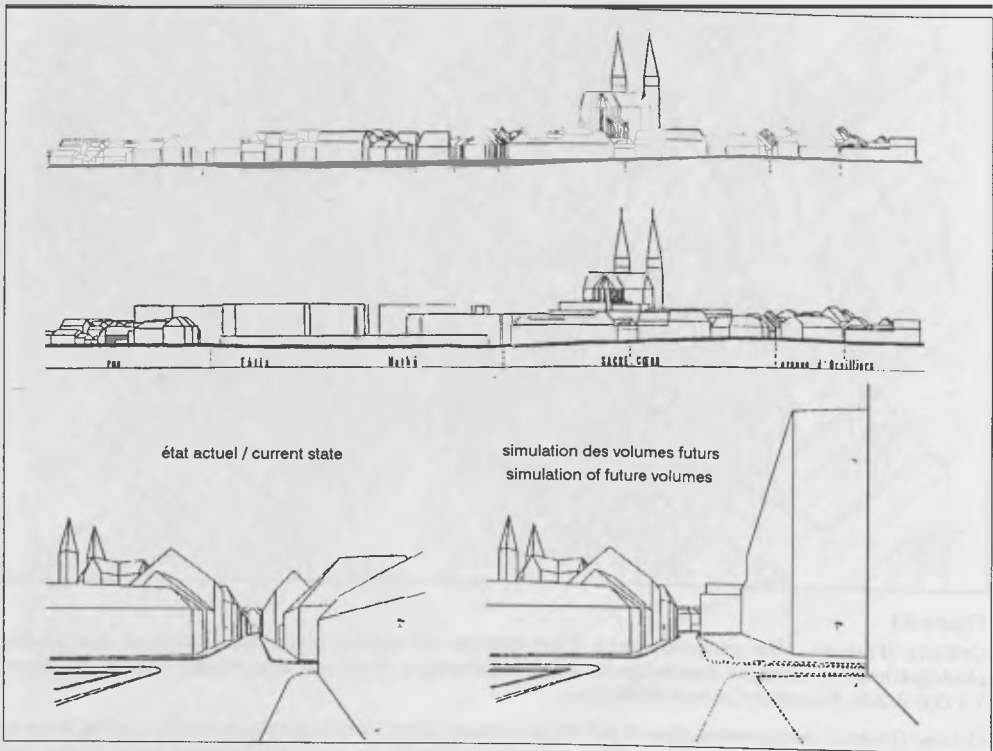
Orleans (France). Axonometric view of part of the historic centre, obtained by numerical recording from an aerial photogrammetric survey, followed by automatic drafting. Scale of survey, 1:1,000 (I.G.N., France, and Cabinet Albenque).



**Figure 64**

Cahors (France). Vue perspective d'une partie du centre historique, obtenue par stéréophotogrammétrie analytique (I.G.N.-France).

Cahors (France). Perspective view of part of the historic centre, obtained by analytical stereo-photogrammetry (I.G.N., France).



**Figure 65**

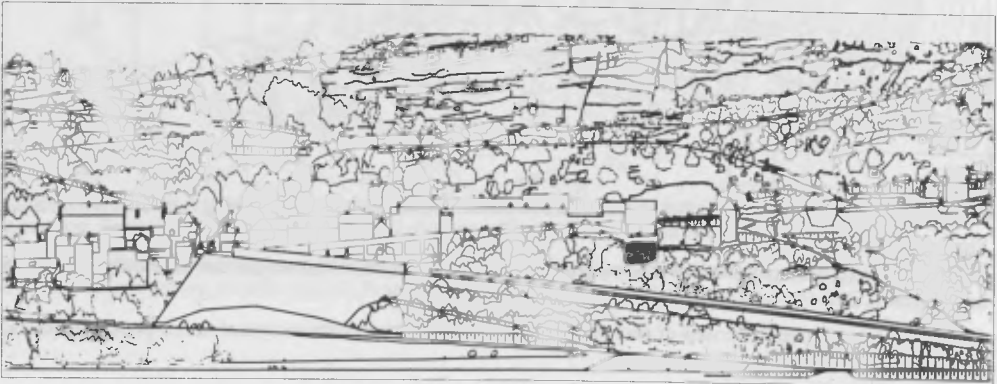
Deux exemples de visualisation de projets par insertion dans des documents établis par photogrammétrie.

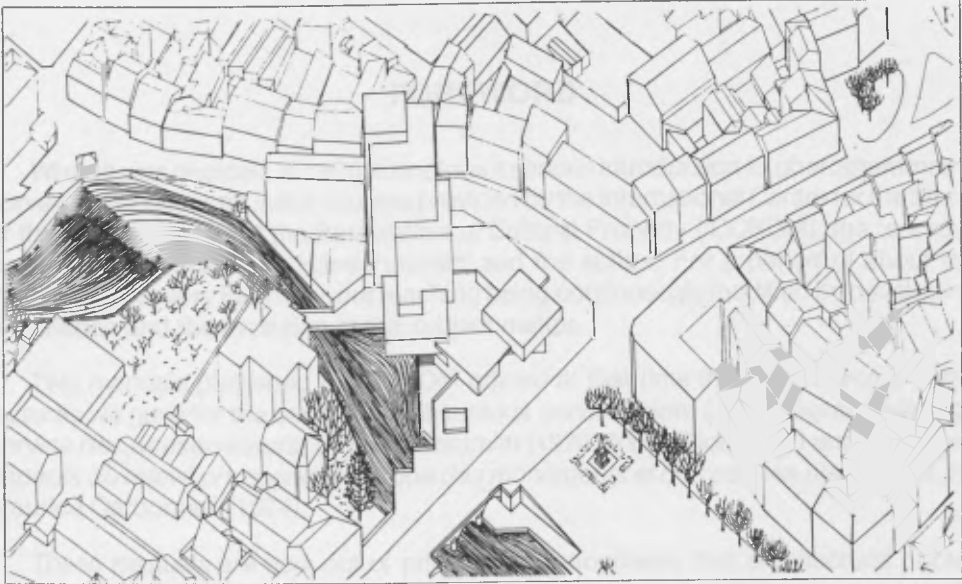
En haut et au centre: Moulins (France), projet de constructions nouvelles inséré dans un géométral et dans une perspective (I.G.N.-France, Bertrand de Tourtier).

En bas: Rocamadour (France), projet de déviation routière inséré dans un géométral. Echelle du relevé 1:500 (I.G.N.-France pour la Direction d'architecture).

Two examples of visualization of new building projects by additions to documents obtained by photogrammetry. Top and middle: Moulins (France), proposed new buildings inserted into a sectional elevation and a perspective (I.G.N., France, for architect Bertrand de Tourtier).

Below: Rocamadour (France), proposed road changes inserted into a sectional elevation. Scale of survey, 1:500 (I.G.N., France, for the Directorate of Architecture).

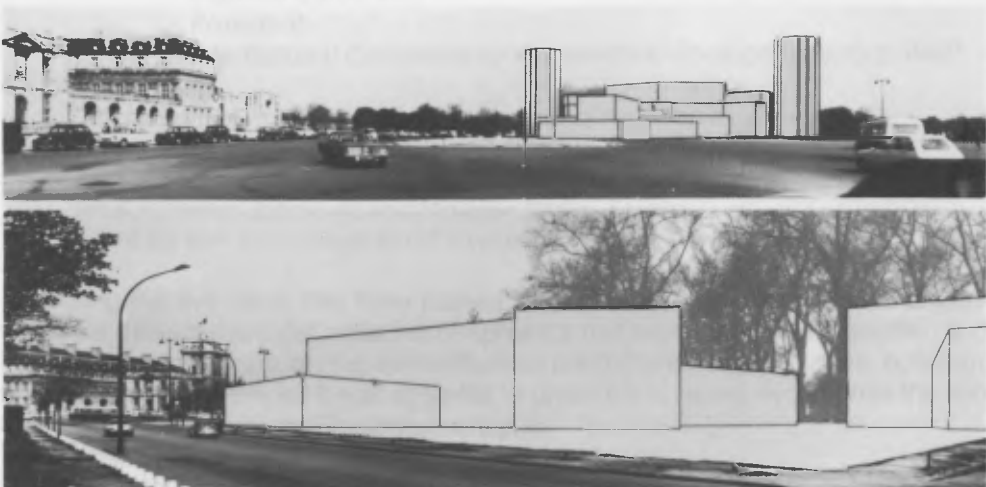




**Figure 66**

Aurillac (France), projet de centre administratif. Exemple de visualisation d'un projet de constructions nouvelles par insertion dans une axonométrie établie par photogrammétrie. Echelle du relevé 1:1.000 (I.G.N.-France, J.P. Duthoit).

Aurillac (France), proposed administrative centre. Example of visualizing proposed new buildings by insertion into an axonometric drawing produced by photogrammetry. Scale of survey, 1:1,000 (I.G.N., France, for architect J.P. Duthoit).



**Figure 67**

Simulation, par photomontage photogrammétrique, d'un édifice en projet près d'un monument historique (projet fictif) (I.G.N.-France).

Simulation, using a photogrammetric photomontage, of a proposed building near a historic monument (fictitious project) I.G.N., France).





## FOREWORD

When it was decided, in 1970, to include a serious introduction to photogrammetric surveys in architecture in the courses provided by the International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property (ICCROM), the teaching content was entrusted to Hans Foramitti and the author. For a period of about ten years, we met every February, our teaching being continuously modified by developing experience and the evolution of the subject matter.

Two manuals published by ICCROM offered at that time the basic content of the lectures we gave for the course in architectural conservation: *La photogrammétrie au service des conservateurs*, by Hans Foramitti (1970, 2nd edition 1973) and *Quelques aspects du relevé photogrammétrique des monuments et des centres historiques*, by Maurice Carbonnell (1974).

These manuals are now out of print. The developments that architectural photogrammetry has undergone, as regards both techniques and applications, have led to the decision not to re-issue them but to produce a new work, this present publication.

Hans Foramitti died in June 1982. The message that our friend left us is written large in this new manual, which we dedicate to his memory.

*December 1984*  
*Maurice Carbonnell*  
*President*  
*International Committee for Architectural Photogrammetry (CIPA)\**

*The author would like to thank his colleagues of the Institute of Advanced Architectural Studies of the University of York -  
Mr Ross Dallas, Head of the photogrammetry section,  
Mr K.V. Parker, Librarian, and Mrs Jean Darley, Secretary -  
for all the care they brought to the translation of this work.*

During the five years that have passed since this manual was written, the technological development discussed in Chapter 4.3 has accelerated considerably, and has had a major impact on the applications of photogrammetry to historic buildings and urban centres. We felt it was essential to present this recent evolution at the end of the book in a short, complementary chapter.

*November 1989*  
*M.C.*

\*CIPA is one of the international specialized committees of the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), set up jointly with the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS).



## Chapter 1

# PHOTOGRAMMETRY: A METHOD FOR ARCHITECTURAL SURVEY

The use of *photogrammetry* in documenting monuments and historic centres is linked with the demands of contemporary attitudes to conservation and restoration. "No practical step should be taken with regard to a monument without an intimate knowledge of that monument" (Hans Foramitti). Such a knowledge is acquired by scientific and historical research, and by having for that research accurate surveys, which express precisely and completely the forms and dimensions of the monument in its present condition. How can such surveys be obtained?

The traditional *direct methods* of hand-measured surveys consist essentially in determining alignments and orthogonal directions, in establishing datum points for horizontality and verticality, and in measuring distances. These methods have the advantage of bringing the surveyor into very close contact with the structure. They can provide satisfactory precision in surveys of elements of small dimensions. These methods have drawbacks, however. Overall coherence is poor because of the cumulative effect of any errors, and drawings are produced at one remove from the monument from annotated sketches and very often nowadays photographs. Finally, and above all, they produce a 'point-by-point' survey, in essence a sheet covered with points which need to be joined by drawing lines. With these methods the continuous line which should delineate a feature, such as the crest of a roof or a string course, is represented by its two extremities (and perhaps by some other intermediate points if the survey is particularly thorough). On the final drawing, the line joining the measured points will of necessity represent an abstraction, and will inevitably disregard the deformations and irregularities in between these points to some extent.

Direct hand measurement also has the serious disadvantage that it requires scaffolding to reach the higher parts of a monument. This disadvantage can to a certain extent be avoided by employing *indirect methods*. With these methods one proceeds by intersecting points, usually from two 'stations' which make up a base, using a topographic survey instrument such as a theodolite. From each station, horizontal and vertical angles are measured, and the coordinates of points can then be computed. These 'topographic surveys' (or 'geodetic' surveys, in German terminology) are not very effective for the survey of details. They do, on the other hand, assure a good overall accuracy and therefore a good framework is established, which can be more or less densely filled depending on the number of points intersected. The length of time devoted to the topographic measurements and the calculations which must follow from them can therefore be considerable if many points are involved. Between the points established by intersection, one must again draw the architectural lines. We find ourselves once again, therefore, with the disadvantage of 'point-by-point' surveys.

The advantage of a method which involved photography, not just as an aid to the survey, *but as its very basis*, had been foreseen from the very beginnings of photography. This advantage resides above all in the fact that each image records the entire architectural surface, without any break or any imposed hierarchy of recorded elements. Thus, one is able to obtain the continuous representation of the lines and the total representation of surfaces in their actual forms. From the photograph we are also able to acquire all the data necessary for measuring any given part of the structure even if it is inaccessible. But how does one pass from the photograph to the survey? That will be shown in the following chapter, which is devoted to the basic ideas behind photogrammetric technology.

The technique, or rather the group of techniques, which allows us to measure and survey the shape and dimensions of an object on the basis of photographs of that object is known as *photogrammetry*. It allows us, furthermore, to fix the position of that object within a given reference system. Photogrammetry has many fields of application. The most important field is the production of topographic maps and ground plans by use of aerial photographs of the area to be surveyed. This application, now widespread, represents the vast majority of photogrammetric activities throughout the world, and has incidentally allowed the growth of a thriving modern industry to supply specialized apparatus. Other areas of photogrammetric work usually have a dual character, both practical and scientific: the examination of works of art, construction and civil engineering projects, industrial checking and measuring, hydraulics, trajectory, studies of deformation and movement, medicine and human morphology, and so forth.

The application of photogrammetry to the recording of monuments and sites is therefore just one field among many. Yet this field benefits from the progress and development resulting from theoretical studies and operational research in the other areas.

# PRINCIPLES OF THE PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUE

Photogrammetric technology is highly scientific in character, involving mathematics, optics, photography, and nowadays also digital computers and electronics. Yet it can be presented in a simple, non-technical manner, which should be understandable to anyone seeking to go beyond an elementary introduction. To apply photogrammetry effectively, it is necessary to have a reasonable working knowledge of the principles of photogrammetric survey methods in order to appreciate both the possibilities and limits of its use in documenting and studying our architectural heritage.

## 2.1 Two fundamental concepts: perspective and stereoscopy

### 2.1.1 Perspective

In the first place, we must remember that a photographic image is a *perspective*, i.e., a plane section cut through a perspective cone formed by a multitude of light rays coming from the 'object' photographed, and which converge and pass through the perspective centre of the lens (**Fig 1**). The perspective image recorded on the photographic emulsion obeys simple and well-known laws of geometry. In particular, the image shows *displacements* of parts of the object being photographed from its true form due to two principal causes: 'depth' in the object itself, and the inclination of the photographic axis with respect to the reference plane of the object surveyed (**Fig 2**). From this, it follows that (with the exception of an object entirely in one plane and photographed on an axis precisely perpendicular to that plane) the single photographic image cannot directly provide a survey.

In order to make use of the photographic image with strict accuracy, it is first necessary that the negative be truly flat, hence the common use of glass *photographic plates* rather than films. The use of film requires more complex equipment to ensure that it is kept totally flat at the moment of exposure. Also, the *geometric characteristics* of the camera must be known in a very precise manner. This is why the cameras used in photogrammetry are not the ordinary, current models, even of the highest quality, but are specially produced metric cameras of high optical and mechanical technology. They are calibrated in the laboratory with an accuracy expressed in hundreds or even thousands of a millimetre.

A 'metric' camera is an instrument designed so as to guarantee the total stability of the camera. Rigid construction between the lens and the camera back against which the sensitized surface is placed at the moment of exposure ensures this. The characteristics of a typical metric camera are as follows (**Fig 3**):

- The optical axis of the lens,  $Ox$ , or *principal axis*, is absolutely perpendicular to the plane of the back of the camera and cuts this plane at a point  $M$ , called the *principal point*. This point is placed at the intersection of two orthogonal lines, each

of which joins two reference or 'fiducial' marks,  $r$ , on the back of the camera, and which are reproduced on the sensitized surface at the same time as the image of the subject (Fig 4).

- The distance  $OM$  between the perspective centre of the lens  $O$  and the point  $M$  is the *principal distance*  $C$  of the camera. This may be different from the known focal length of the lens related to a subject at 'infinity', and corresponds to a chosen optimal average distance from the subject photographed. Usually a metric camera is primarily described in terms of its principal distance (rounded up, in mm).
- Another characteristic is the *film format* of the camera, and this of course defines the size of the plates used. The format and the principal distance determine the *field of view* of the camera.
- Finally, a metric camera is characterized by the nature of the *distortion characteristics* of its lens. In theory, a ray of light coming from the object  $P$ , passing through the lens centre  $O$ , and meeting the negative plane at  $p$ , should be a perfect straight line, i.e. angle ' $a$ ' equals angle ' $a$ '. In practice, this ray of light is 'bent' slightly in most cameras, such that ' $a$ ' does not equal ' $a$ '. However, all modern photogrammetric lenses are *orthoscopic*, i.e. the distortion is so slight that it can in practice be disregarded, as it is only a few thousandths of a millimetre in the plane of the image.

### 2.1.2 Stereoscopy

This is the creation of an artificial image in three dimensions of the object photographed. In natural binocular vision, the brain fuses into one three-dimensional image the two different images received by the retinas in the eyes of the observer. In order to see photography in 'stereo', we utilize the same natural process, by the examination of two photographs of the same object taken from two different points of view (Fig 5). All that is necessary is that the two photographs be of approximately the same scale, taken along axes that are approximately parallel, and that each be seen separately by each eye, the left eye looking only at the photograph on the left, the right eye only at that on the right. To do this more easily we can use an optical apparatus known as a *stereoscope* (Fig 6) which ensures the separation of the two images to be observed, while enlarging them slightly. We might add that the impression of the three-dimensional image will be increased by increasing the length of the base-line of the stereopair, that is, the distance separating the two photographic viewpoints.

The *stereo-image* seen in stereoscopy always presents certain perspective deformations, linked to the position of the observer and the relief of the object. In particular, 'depths' are exaggerated. This, however, is generally considered an advantage, as it allows slight variations in relief often undetectable in direct observation to be seen clearly. This stereo-image offers a very valuable way of studying the object.

An important improvement is introduced when the optical observation system is adapted to include a 'floating' or 'measuring' mark which can, by an appropriate mechanism, be displaced within the perceived stereo-image. The operator thus sees simultaneously a three-dimensional image of the object and the measuring mark. By moving the latter, and bringing it into contact with any part of the stereo-image, he can trace all the (architectural) lines that interest him. Thus by utilizing an apparatus that allows stereoscopic viewing and tracing, we introduce the possibility of making a continuous and not a point-by-point survey of these lines, so more accurately defining their real form.

## 2.2 Methods of measuring from metric photographs

### 2.2.1 Simplified methods

We mention these simply for the record, as they are not now generally in use:

- For simple or very quick surveys, we can use certain simplified techniques which basically involve orientating the camera axis so that it is perpendicular to the reference plane. Then, a scaling up of the photograph is carried out, either an overall one if the object of the survey is plane or shows little depth, or part-by-part if its depth is too great. The detail is then traced directly off the image with a pencil. In these methods it is usual to work on each photograph separately, that is without any use of stereoscopy.
- The *intersection method* was used for a considerable period in the early days of photogrammetry. This method makes simultaneous use of two photographs of the object taken from two viewpoints, although they will not normally be viewable as a stereo-image. The technique consists of measuring on the pair of photographs the image coordinates for a chosen number of matching points. Starting from these measurements, the projections on both vertical and horizontal planes of the corresponding perspective rays are constructed graphically, according to the principles of perspective geometry. It is thus possible to calculate three-dimensional object coordinates of each point, and so create a drawing of the facade. Still, photogrammetry of this sort must be considered another kind of point-by-point survey, just like the direct and geodetic methods.

In modern terminology, we would consider this method to be a branch of analytical photogrammetry, to which we shall return later (see Chapter 4.3).

### 2.2.2 Stereo-photogrammetry

Today, the principal method employed in architectural photogrammetry is *stereo-photogrammetry*. Using pairs of stereoscopic photographs, this method combines stereoscopic viewing of the *stereo-image* of the subject, with the accurate continuous contact of the *floating mark* with this stereo-image. Simultaneously, a precise reconstruction of the geometrical elements leads to the forming of the *stereomodel*, from which the accurate measurement can be made. Thus the views of the two images

are brought together in such a way that the operator of the instrument can simultaneously study the object in stereo and derive accurate measurements (Fig 7).

The reconstruction can be achieved in different ways. One of the most common consists of actually representing the perspective rays mechanically by employing two metal 'space' rods, which can move about two fixed points which represent the two centres of perspective. This causes the axis of each rod, at every moment and in every position, to trace the two homologous images of each 'point' on the subject under survey (Fig 8). At their other ends the rods meet in a base carriage which as the rods are moved will describe the *stereomodel* of the subject. By simple geometry, the *scale* of this model can be varied by making the distance between the perspective centres larger or smaller. This scale is a function of the ratio of this distance to the length of the original base line.

It now remains to link the movement of the mechanical apparatus with that of the 'floating' or 'measuring' mark, and we have thereby produced a *stereo-photogrammetric plotter* (Fig 8). In this apparatus, the operator first places the two transparencies to be examined (original negatives or positive copies known as 'diapositives') on two carrier plates. The plates each have a grid of extremely fine crosses etched onto them, which correspond to the 'fiducial' marks of the 'metric' camera. Using these marks, the operator is able to centre the principal point of the diapositive. Then he introduces the exact principal distance of the camera that took the photographs (to the nearest 0.01 mm) by operating a control that varies the distance between the centre of perspective and the plate carrier holding the transparency. Once this is done, the precise reconstruction of the geometry of the taking camera is guaranteed. Next, processes known as *Relative and Absolute Orientation* are carried out. These settings are needed to ensure that the two photographs have exactly the correct relationship as existing at the moment of exposure, and that the correct scale and datum are established. However, a knowledge of how these processes are carried out is not needed by the user of photogrammetric products, and will therefore not be further explored in this manual.

After this preliminary setting up, the *plotting - that is, the production of the measurements and drawings* - can begin. By means of controls - most usually two hand wheels and one footdisc - the operator controls the movement of the floating mark of the optical system. The mark can be moved to any part of the stereo-image under examination, and can be continuously followed along any line or feature to be recorded. Simultaneously, and by the operation of the same controls, the two 'space' rods which define the homologous rays move the base carriage of the machine in the X, Y and Z dimensions within the stereomodel. The movements of the base carriage can be physically measured, such that the *coordinates* of all points can be measured and recorded at each instant. The movements in addition can be transmitted to a plotting table. Thus, coordinates in the X, Y and Z dimensions defining all points are available at all times. Depending on which two are chosen, each line traced out by the operator will produce on the plotting table an orthogonal projection, which can be either the elevation or a vertical or horizontal section (Fig 9). This reconstruction, called an



*analogue plotting*, may be either *numerical* or *graphical* depending on the method chosen for keeping the record.

### 2.2.3 Photogrammetric rectification

This method is also very widely employed. It produces surveys in the form of fairly simple line drawings or photographic images, either of these products being obtained by transformation from original metric photographs.

As we saw previously, the photographic image contains certain displacements (see Chapter 2.1) as a result of the 'depth' of the subject and the inclination of the axis of the sighting of the photograph relative to the reference plane. If the subject has a flat surface (or can be considered to be such within certain tolerances), the second cause of distortion no longer applies, and it is possible to correct the inclination of the axis by a *photogrammetric rectification*. Various methods can be used for this (**Fig 10**):

- Graphical reconstruction, relying principally on a system of perspective grids. The drawing is carried out square by square by relating the architectural detail in each area of the photograph to the grid.
- A *camera lucida* is a simple piece of apparatus consisting of a semi-transparent prism through which may be seen simultaneously the photograph, which is fixed to a vertical plate facing the prism, and a sheet of paper placed on the table underneath the prism. The image of the photograph appears projected onto the sheet of paper and the operator can trace the photograph with a pencil. Before this tracing is done, four points on the photograph will have had their correct survey coordinates marked on the sheet of drawing paper. These points in the image are then superimposed on their correct positions on the drawing by changing the inclination of the plate, the position of the prism, and the distances from the plate to the prism and from the prism to the table.

We cite these first two methods mainly as a matter of record, for they are hardly ever used nowadays, even though the camera lucida can still render useful service for drawing small plane surfaces framed by lines drawn by other methods.

- The third method of rectification is the most commonly used. Here, a photographic transformation of the original inclined photograph is made by means of an optical apparatus called a *rectifier*. This is a special kind of enlarger in which the frame holding the original negative, the lens and the projection table can be given the appropriate tips and lateral shifts which will ensure that the correct shape, scale, and focus to the object are all obtained (**Fig 11**). In this way we can obtain a photograph similar to that of the viewpoint, as if the camera axis had been perpendicular to the plane of the subject in the first place (**Fig 12**).

The operation of photographic rectification can then go forward in one of two ways. One option is to make a tracing from the photograph, so producing a line drawing. In addition at this stage one can make extra corrections of the residual displacements of

the architectural features, by simple procedures relying on the laws of perspective. For example, the true heights of a receding roof line could be graphically drawn. The second option is to assemble a series of rectified photographs of the same facade to produce a mosaic or *photoplan*. This is the most sophisticated product to which the rectified photography process can lead. We shall see examples of the application of this type of survey in a later chapter (see Chapter 3.2).

#### 2.2.4 Orthophotography

A truly accurate photographic representation of a facade requires that we correct both those displacements of the image caused by the inclination of the principal axis, and those caused by the 'depth' of the subject. As discussed, these latter show themselves as a change of scale and position in the photograph. *Orthophotography*, or 'differential rectification', ensures that corrections for both conditions are made. The rectification is carried out in essence by subdividing the area of the photograph into a very large number of tiny squares, generally known as 'pixels', and rescaling and repositioning every one.

There are several orthophotographic systems. For the sake of simplicity, we shall consider the type of *orthoprojector* made up of two elements (**Fig 13**). The first is a conventional photogrammetric plotter, but one that is modified so that the stereomodel is scanned in the form of equal-width parallel profiles. The second is a projector which in effect duplicates the geometry and movements of one of the photographs in the plotter. This projector is given a variable vertical correction, determined by the height of each profile, while the longitudinal component of the movement is provided by displacing on the projection table a small rectangular slit. The long side of this slit is of equal size to the width of the profile (usually a few millimetres).

As it moves, the slit uncovers beneath it a sensitized layer (usually a sheet of photographic film) which is thus exposed to the corresponding small part of the diapositive placed in the projector. The slit travels progressively across the entire film in successive continuous bands, and we thus obtain in the end a single unique photographic image derived from the original negative. In this image, the displacements due to the inclination of the principal axis are corrected by the orientation of the projection beam. Those due to the relief of the subject are corrected by the continual variation of scale produced by the vertical movement of the projector. The photographic document we obtain is therefore a true orthogonal projection of the subject on the reference plane (**Fig 14**).

In comparison with its usefulness in topography, orthophotography has not so far been found to be well suited to deal with the abrupt discontinuities of surface found on a typical architectural facade. It is, on the other hand, very well suited to rendering the unbroken shape of domes and vaults or of carved decoration in fairly shallow relief.

## 2.3 Equipment used for architectural photogrammetry

### 2.3.1 Metric Cameras

Metric cameras have a number of common characteristics. To begin with, we should remember that metric cameras traditionally employ *glass photographic plates*, but some can use film in sheet or roll form, and the trend towards this is increasing. Fittings to ensure that the film is kept perfectly flat must be provided in this case.

The cameras are usually set at a fixed focusing distance, corresponding to the most appropriate coverage permitted by their format and the focal length of the lens. The *principal distance* will relate to this focusing value. The iris diaphragm ensures a certain *depth of field* within which the object to be surveyed must fit. Certain cameras, designed for more general use, need to be employed at distances that vary too much to be covered solely by the depth of field. Devices that can vary the focus and, therefore, the principal distance are then used. Due to the precise geometry required of these cameras, these designs have to be of a very high technical standard. Three types are found: moving the lens along the principal axis, inserting rings of differing thickness between the lens and the body of the camera, or adding additional lenses but without introducing any distortion. The changes in the principal distance are marked, in these cases, on the edge of the negative.

We must also consider the close relationship between the base length, the principal distance, the format and the field of view of the camera. Indeed, since stereo-photogrammetry operates by the intersection of homologous perspective rays, precision will be the greater as (1) the angle at which the rays intersect approaches a right angle; (2) the average scale of the photographs is greater (Fig 15). The angle of intersection ( $\alpha$ ) is connected with the ratio of base to distance (B/E). The average scale of the negative is determined by the ratio of the principal distance to the distance from the object (c/E). Finally, with the same principal distance and the same base, the same object can be photographed at a lesser distance if the angular field of view of the camera (B) is greater. Precision will in this case be increased since the two ratios B/E and c/E will be greater. Now, the field of view of the camera is determined by the principal distance and the negative format. All these elements are therefore closely linked together.

It may be, however, that a large field of view is not advantageous to good coverage, if the building photographed is strongly varied in the depth of its facade and shows many discontinuities of surface. There will be too many 'dead' areas, that is parts that are hidden by other, closer elements. It is then necessary to compromise, bearing in mind also the immediate surroundings: the possibility of standing further back, vegetation, access to higher viewpoints, etc.

For reasons connected with viewing the stereo-image and the construction of the plotters, stereo-photogrammetry requires that for each stereopair the principal axes should be roughly parallel. If photography can be taken to ensure that the axes are strictly parallel, and also at right angles to the base line of the exposures, this can result

in a simplification in the design of the plotting machines. We call photography taken in this rigorous way *normal case photography* (Fig 16). This simplification can be increased still more if one ensures that the base for the photography is precisely parallel to the reference plane of the survey. Then, there is no need for the equipment to incorporate corrections for a lack of parallelism.

The foregoing considerations explain why there exists a whole range of metric cameras, which can be divided into two broad groups:

*Stereometric cameras.* These cameras produce 'normal case' photography directly. They consist of two identical cameras mounted at either end of a rigid tube which forms a base whose length is exactly known (to the nearest 0.01 mm). The base length is inevitably limited, and usually it is either 400 or 1,200 mm (Fig 17). Among the widely-used cameras of this type we may cite:

- SMK-40 and SMK-120 from Carl Zeiss, Oberkochen (FRG). Principal distance = 60 mm, format 90 x 120 mm (80 x 100 mm usable area in practice).
- SMK-5.5/0808/40 and SMK-5.5/0808/120 from Carl Zeiss, Jena (GDR). Principal distance = 56 mm, format 90 x 120 mm (80 x 80 mm usable area).
- C40 and C120 from Wild Heerbrugg (Switzerland). Principal distance = 64 mm, format 65 x 90 mm.

All these cameras have a device that allows the operator to tilt the axes of the exposures by a series of well-defined angles, for example  $\pm 10$ ,  $\pm 30$ ,  $\pm 60$ ,  $\pm 80$ ,  $\pm 90$  degrees for the Wild cameras (one degree is one ninetieth part of a right angle). Certain cameras also make it possible to give the base a vertical position (Fig 18).

*Individual cameras.* Sometimes, because of the size of the architectural feature being surveyed or because of some hindrance caused by its surroundings, it will not be possible to photograph close to the building. In this case, the camera needs to be further away; the distance from the object is thereby increased, and one must work from a larger base and with a greater principal distance. Therefore a larger format is needed if we are to maintain the same precision. It is then no longer possible to use a stereometric camera of limited base, and we must employ an individual metric camera (Fig 19), placing it successively at stations along the chosen base line. The two individual cameras most widely used at the moment are:

- The P 31 universal terrestrial camera from Wild Heerbrugg (Switzerland), with two camera bodies of 100 and 200 mm principal distance, and a 4 x 5 inch format (102 x 127 mm). Variations in principal distance are obtained by inserting calibrated rings between the lens and the camera body.
- The UMK '1318' series of universal metric cameras from Carl Zeiss, Jena (GDR), with four camera bodies giving 64, 99, 200 and 300 mm principal distance and an image of 130 x 180 mm format. This camera can use sheet or roll film, with a

vacuum system to ensure that the film is completely flat. The 99 and 200 mm cameras vary the principal distance by moving the lens.

The use of these cameras does not rule out obtaining 'normal case' photography, since they incorporate an optical device which allows the operator, by sighting on the second station, to align the principal axis precisely perpendicular to the base. But that is not always possible, and in addition, with this kind of apparatus it is less easy to accurately set out the base parallel to the reference plane of the facade.

Finally, we should note that in considering photography taken with stereometric cameras as against single cameras, like the P 31 and the UMK, there is a compromise which maintains the ratio B/E but which sacrifices the ratio c/E. This involves using individual cameras which are identical to the cameras which make up stereometric cameras. This is the solution adopted by:

- Carl Zeiss, Oberkochen (FRG) for its TMK-6. Principal distance = 60 mm, format 90 x 120 mm, angles of tilt identical to those of the SMK, i.e.  $\pm 30$ ,  $\pm 70$ ,  $\pm 100$  grads (one grad is one hundredth part of a right angle). There is also a TMK-12 of the same format, but with a principal distance of 120 mm.
- Wild Heerbrugg (Switzerland) for its P32 camera. Principal distance = 64 mm, format 65 x 90 mm, mounted on a T2 theodolite on a tilting base giving inclined axis up to  $\pm 40$  grads.

### 2.3.2 *Analogue stereo-photogrammetric plotters*

The potential for simplification of the equipment brought about by the use of 'normal case' photography and by keeping the base of the exposures parallel with the reference plane of the survey, has led different firms to devise simplified photogrammetric instruments. These were still very accurate, but were restricted to operating under certain conditions. Thus:

- To the series of TMK and SMK cameras from Carl Zeiss, Oberkochen (FRG), the 'Terragraph' stereoplotter was added (but is no longer in production)
- To the series of cameras from Wild Heerbrugg (Switzerland) - P32, C-40, C-120 - the 'Autograph A-40' stereoplotter was added (also no longer in production).

Quite a number of both these instruments are, however, still to be found in use in architectural photogrammetry laboratories. When plotting from photographs taken with an inclined axis, with both instruments a tilt calculator can be interposed between the plotter and the drawing table.

Today, companies concentrate their efforts on more widely applicable machines which can accept any of the photography produced by the full range of available metric cameras. These plotters are largely the same as those used in aerial stereo-photogrammetry, with some modifications or additional equipment when necessary. Among the

*universal analogue plotters* which at present best suit the requirements of architectural surveys, we may cite (**Fig 20**):

- The Planimat D3 of Carl Zeiss, Oberkochen (FRG), with an additional fitting for the plotting of metric photography with a principal distance of 60 mm (accepts photography from cameras with a principal distance range from 55 to 308 mm). This apparatus can be used with a tilt calculator.
- The Aviomap AMU of Wild Heerbrugg (Switzerland), which includes a calculator that interfaces with the drawing table (principal distance range: 54 to 311 mm).
- The Topocart D of Carl Zeiss, Jena (GDR), which can handle photographs with principal distances ranging from 45 to 310 mm.
- The Stereosimplex II/C of Officine Galileo (Italy), (principal distance range from 85 to 220 mm).

With all these machines, it is only possible to introduce directly quite a small tilt on the order of  $\pm 5$  degrees, between the stereomodel and the desired reference plane. Therefore, the alignment of the camera axes must be made quite carefully with respect to the facade.

### 2.3.3 *Photogrammetric rectifiers*

Rectifiers for use in architectural photogrammetry are the same as those used in aerial photogrammetry for the production of cartographic rectified photographs, primarily the following two machines (**Fig 21**):

- SEG 6 Rectifier from Carl Zeiss, Oberkochen (FRG)
- Rectimat C Rectifier from Carl Zeiss, Jena (GDR)

There is a limit to the use of these machines, in that they are only able to cope with an obliquity of the axis of exposure of up to 15 degrees maximum. For steeper angles, Carl Zeiss, Oberkochen (FRG) has designed a simplified apparatus which does not offer the possibility of correcting the scale. This is designed to handle transparencies taken at an angle of 30 grads, with principal distance of 60 mm and a format of 90 x 120 mm (**Fig 10c**). Some practitioners also carry out a simplified form of rectified photography, using professional-quality conventional photographic enlargers, which are very much cheaper.

### 2.3.4 *Orthoprojectors*

Among non-automated orthoprojectors we can currently find (**Fig 22**):

- The Topocart D-Orthophot E of Carl Zeiss, Jena (GDR)
- The Orthophotosimplex II-C of Officine Galileo (Italy)

## 2.4 Technical organization of the survey

There are two quite distinct phases in a photogrammetric survey:

- The *fieldwork* on site, leading to the taking of the photography together with the land survey measurements needed to obtain scale and datum measurements.
- The restitution or *plotting* activities, that is, the production of the survey drawing itself, by one of the methods previously indicated (see Chapter 2.2).

### 2.4.1 Fieldwork

Taking of photography is carried out after deciding on the most appropriate camera, the layout of camera stations best suited for the kind of survey and the degree of accuracy required. The facade of the building being recorded must be completely 'covered' by the overlapping stereopairs of photographs, each with the necessary *control survey* (Fig 23). Work on site therefore must include this land survey work which will provide the control points. These will allow the operator to position the diapositives in the plotting machine and so reproduce the stereomodel in the machine at the desired scale. The control points also provide a check on the metric accuracy of the stereomodel as it is formed in the plotter. The land survey work might consist simply in measuring distances and establishing vertical and horizontal references. More often, especially when the photographic operation produces a fairly large number of stereomodels, the aim will be to establish *coordinates* of control points in a system of three-dimensional axes which are linked to the survey. These points will be identified on the photographs. They may be pre-attached location marks or selected, very precise natural details on the monument, which can be clearly identified on the photographs.

The fieldwork will therefore provide a collection of documents and information:

- Original negatives, numbered.
- Copies of the original negatives, usually referred to as 'diapositives' produced as a desirable safety precaution or for use in the plotting process.
- Annotated bromide prints of the negatives, on which the control points are identified.
- A list of the control-point values (e.g. distances, coordinates, etc.) with any necessary sketches.
- A scheme of the photography, generally marked on a plan of the structure with a table of symbols used (Fig 24).
- A record giving the characteristics of each metric camera used, i.e. model, type, number, principal distance.

Taken together, this material constitutes what we might call the *photogrammetric archive* of the monument or part of the monument. We shall see later (Chapter 3.1) that these photogrammetric archives represent one of the most valuable features offered by photogrammetry. This is because they incorporate the potential of preparing the survey drawings quite independently of the monument, and so ensure that a record is available of the monument's condition at that moment in time.

#### 2.4.2 Plotting

The plotting, which is the second phase of the survey, can be carried out immediately after the work on site or it can be left until later, as necessary. The scale of the drawing, thanks to the mechanical or electrical links between the plotter and the drawing table, can be different from that of the stereomodel, and in practice will usually be several times the photo-scale. As has been shown, it is possible to obtain directly drawings of the elevations, and either vertical or horizontal sections. This graphical form of output can be complemented, if necessary, by obtaining numerical values of certain elements which will give more accurate measurements of critical dimensions, e.g. notes of height or depth, slopes, curvatures, etc.

#### 2.4.3 A few practical ideas

The basic working unit is the *stereopair of photographs*, taken from two different viewpoints. If the photographs have not been taken in the 'normal case' situation, care is needed to remain within certain tolerances. The convergence of the principal axis must not exceed 10 degrees, so that stereoscopic viewing is possible and so that the transparencies can be handled by current designs of plotters.

In order to maintain a good degree of *accuracy*, we have shown (see Chapter 2.3.1) that attention must be paid to keeping the correct values for the ratios B/E and c/E when photographing. The ratio between the base and the distance usually must stay between 1/5 and 1/10 (in exceptional cases, 1/15) and the enlargement between the average scale of the photography and the scale of the drawing should not be greater than x7 or x8 (in exceptional cases, x10).

The size of the subject (especially its height), and problems caused by the surroundings (usually the inability to stand back far enough) sometimes make it necessary to take unusual steps to obtain satisfactory photographic coverage. For example (Fig 25), it may be necessary to climb to different heights, or to use an aerial hydraulic platform or a telescopic arm. Alternatively, it may be necessary to incline the axis of the photographs to an extent that goes far outside the normal limits for use in plotting machines. In these cases, manufacturers have adopted various technical solutions, which were considered previously (see Chapter 2.3.1 and 2.3.2).

The survey must be *planned as a whole*. Although the two operational phases can be separated in time, it is quite clear that they are technically linked. It should be remembered, in particular, that it is not possible to do everything from one and the same set of photographic coverage. For example, photographs that are well suited to



a general survey of a facade at 1:50 cannot be used for a survey of the details of a facade (a moulding, or a capital, etc.) at 1:5 or 1:2. The scale of the photographs needed for the 1:50 survey would be much too small to allow satisfactory accuracy to be maintained and detail to be plotted at the larger scales.

## 3.1. Fixing, drawing and final form of the photographic survey

### 3.1.1. Fixing and drawing the survey

The main aim of a photographic survey is to provide a permanent record of the scene before it is altered or destroyed. It is not a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene, but a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene. The main aim of a photographic survey is to provide a permanent record of the scene before it is altered or destroyed. It is not a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene, but a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene.

The main aim of a photographic survey is to provide a permanent record of the scene before it is altered or destroyed. It is not a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene, but a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene. The main aim of a photographic survey is to provide a permanent record of the scene before it is altered or destroyed. It is not a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene, but a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene.

The main aim of a photographic survey is to provide a permanent record of the scene before it is altered or destroyed. It is not a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene, but a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene. The main aim of a photographic survey is to provide a permanent record of the scene before it is altered or destroyed. It is not a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene, but a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene.

The main aim of a photographic survey is to provide a permanent record of the scene before it is altered or destroyed. It is not a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene, but a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene. The main aim of a photographic survey is to provide a permanent record of the scene before it is altered or destroyed. It is not a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene, but a means of recording the scene for the purpose of a study of the scene.



# APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRIC METHODS TO ARCHITECTURAL SURVEYS

In principle, any architectural element that can be photographed adequately in accordance with the standards mentioned above can be the subject of a photogrammetric survey. Additionally, we should note that photographs can only record the architectural surface in its present state. Therefore, the photogrammetric survey will not, and indeed cannot, express anything other than the actual form on a given day: the day when the exposures were made. We must now examine how these principles apply in reality.

### 3.1 Planning, content and final form of the photogrammetric survey

#### 3.1.1 *Planning and programming the survey*

The programme for a photogrammetric survey is drawn up after considering the same factors as would govern the making of any architectural survey, whatever the method employed. One must consider the purpose of the survey, the existence of any previous surveys and their quality, available means in terms of equipment, personnel, finance, etc. But the approach to a photogrammetric survey must also consider two fundamental aspects unique to photogrammetric activities.

a) The idea of the *photogrammetric archive* of the monument, brought forward at the end of Chapter 2, is of particular importance because this archive contains in itself all that is needed, either now or later, to produce drawings and measurements quite independently of the object itself. This record therefore ensures the 'intellectual conservation' of the monument in that precise form at a precise moment in its history. It will always be possible to produce the survey, whatever the chance occurrences such as partial or even total destruction of the monument. For this reason, obtaining a complete fieldwork package, which could be plotted independently, ought to be considered the priority task of photogrammetric programmes.

b) Now this first phase of the photogrammetric surveying is the *quickest and least expensive*, in both investment and operating costs. The cost of fieldwork is generally considered to be at least five times less than that of the production of the drawing on the plotter. Economic interests, therefore, are added to the 'archival' value of the photogrammetric record.

The result of this is that in planning a photogrammetric survey operation, even for a very limited and specific purpose, it is a good idea during fieldwork to go beyond what is needed to satisfy the immediate purposes. Whenever possible, one should take advantage of the technician's presence on site to deal with other parts of the structure under survey, by extending the photographic coverage. For example, this could be done by taking larger-scale photographs of the most interesting or the most

sensitive architectural elements, thus making it possible, should the need arise later, to produce thorough and accurate surveys of these also. A second suggestion is that in the general programme of photogrammetric surveys of the architectural heritage, it is strongly recommended, and usually accepted, that the *need to set up photogrammetric archives is paramount*. Indeed, in many historic monument conservation services the taking of photographs is planned and programmed on a very large scale within a general documentation scheme, with only some of the photographs being used for the immediate production of a survey drawing. It goes without saying that such programmes should give even greater priority to monuments at risk, or to regions threatened by natural disasters, especially those under permanent threat of earthquake.

We should emphasize here that photogrammetric archives should themselves be carefully looked after. Indeed, some people consider them to be 'cultural property' in their own right to be conserved and protected. They should be complete (see Chapter 2.4.1), well classified and catalogued (possibly in a computerized retrieval system), and kept in appropriate conditions of temperature, relative humidity, air conditioning, fire protection, etc., which will ensure their best possible conservation.

In planning a photogrammetric survey it is necessary to consider the degree of accuracy desired. The accuracy may be considered as relating to two factors. First, the accuracy inherent in the actual plotting process, i.e. how accurately we can measure from the stereomodel. Second, the accuracy in graphic terms, i.e. whether error on the drawing can be measured: error on the drawing should not be greater than 0.2 mm to 0.3 mm. Normally, there should be no measurable error on the drawing. Modern photogrammetric equipment allows enlargement from negative scale to plot scale by a factor of x7 to x8 before measurable error occurs on the plot.

On this basis, tolerances of 10 to 20 mm are generally thought acceptable for the entire building, compatible with a survey scale at 1:50. For architectural details, plotted at survey scales of 1:10 to 1:20, accuracy of 5 to 10 mm is expected. Accuracies of 30 to 50 mm for surveys at smaller scales are acceptable, i.e. 1:100 to 1:200.

It should be understood that the photogrammetric method produces an *absolute homogeneous accuracy*. Each point, each line of the monument is set down on the survey drawing *with the same accuracy*. This idea of the homogeneity of the photogrammetric survey is very important. The consequence of this is that on the other hand the *relative accuracy* of the survey, expressed as a percentage of the distance separating two elements, will be variable. In other words, we could say that while the survey might be excellent for the overall architectural delineation of a facade, it might be rather poor for the expression of the fine detail, such as recording a moulding or a profile. For the survey of details, larger scale photographs are therefore necessary.

Nevertheless, there are limits to this homogeneity, or overall accuracy, of the photogrammetric survey. We have seen (Chapter 2.3.1) that one of the factors influencing its accuracy is the ratio B/E, i.e. the ratio of the base length to the distance

from the subject. For any given base, accuracy will therefore no longer be guaranteed when:

- The architectural element under survey has great 'depth' within one stereomodel.
- The principal axis of the stereomodel is strongly tilted relative to the reference plane. This is not to rule out the advantages offered by using the type of apparatus that allows for a systematic tilting to enable photography to proceed even in difficult surroundings, but such use may adversely affect the homogeneity of the accuracy of the survey.

Excessive contrasts in the *lighting* of the subject are another source of inconsistency in the accuracy of measurement. If the exposure is satisfactory for the sunlit parts of the building, the ability to obtain stereoscopic acuity will be less certain in areas of dense shadow, and vice versa. For photogrammetric purposes, the ideal is a negative with weak contrast and very good definition: this is not 'art' photography, but technical photography where apparently poor, 'flat' photographs become transformed when viewed in stereo.

### 3.1.2 *The content of the survey*

The fieldwork stage of the photogrammetric recording should therefore be set up to allow as complete a survey as possible (although clearly the aim of a 'total' record must be tempered with realism). The plotting, by contrast, can be selective and finalized, i.e. suited to a given purpose, where a choice is made of which elements are to be plotted based on the needs of the particular survey. (This does not, obviously, concern photographic surveys obtained by rectified photography or orthophotography.)

Among these elements, *the architectural lines* of the monument are the very basis of the survey. The unbroken lines produced by photogrammetry represent them faithfully, provided always that the operator has sufficient knowledge in the domain of architecture. This architectural knowledge will allow the operator to solve particular problems which may arise in judging the quality of the plotted lines, in respect of those which show real deviations and breaks, as opposed to the irregularities which can result from an inaccurate stereoscopic tracing. The operator's knowledge will also help in choosing which lines to select for drawing, and finally in appreciating the exact visible contours which must delimit rounded shapes when drawn in elevation, e.g. columns.

It is possible to make some choices in the drawing of the architectural lines of the monument, depending on the aims of the survey. But the choice is much greater regarding the other elements:

- The *bonding or jointing* of the courses of stone or brick, which the photographs record in full detail, can be omitted if the aim is merely to study the building's architectural design. Alternatively, samples can be drawn if the jointing plays some decorative role or reveals some particular detail of the construction. Finally, every

single joint can be drawn, but this would usually only be the case if the survey is intended as an archaeological analysis or a working site document.

- *Painted decoration*, except in unusual cases, will not normally be shown on a photogrammetric line drawing. If it is desirable to represent it, better results would be obtained by rectified photography or orthophotography.
- *Carved decoration* must undoubtedly be represented if it is an integral part of the architectural form, the survey of which in the absence of the carvings would lose much value. Drawing detail of a sculptural nature can, however, raise difficult problems for photogrammetry if the carving is very delicate or is in high relief, due to problems of scale, apparent contours and choice of reference planes. So, "It would appear reasonable to consider, except in special cases where out-of-the-ordinary and costly work is justifiable, that the primary purpose of surveys of carved decoration and statues which are part of buildings is to facilitate the analysis and understanding of the architectural works as a whole, with no claim to achieve an absolute geometrical accuracy which in any case would be of no practical use." (Optimum Practice in Architectural Photogrammetry Surveys, Chapter 3.4 *Decoration*. C.I.P.A. Unesco, 1981 - English ed., University of York, 1982).
- The '*accidental*' features of the architectural surface which help towards the examination of the state of health of the monument, e.g. the cracks and gaps between separated stones, areas of erosion, etc., can be of great interest to the architect-conservator, and these can usually be plotted out without problem.
- Certain *numerical data*, usually coordinate values of certain points, which can be a valuable complement to the knowledge of the monument provided by the drawn survey.

In every case, an essential characteristic of the survey will be the definition of the *reference plane* onto which will be projected the various parts of the facades. The choice and practical determination of reference planes are not specific to photogrammetric surveys, but are of great importance in our case for two reasons. First, they influence the organization of the taking of the photography and the setting-up in the plotter of the stereomodels. Second, sometimes a reference plane cannot be settled other than as the average value of a surface, due to its being distorted to a greater or lesser extent. Then, it can be advantageous to determine the reference plane only at the time of the plotting process, by measurements taken from the stereomodels. This second consideration arises only in exceptional circumstances, however, and in practice the choice of reference planes mainly enters into the planning phase of the survey and can be made on site. The definition of the reference planes provides the basis for the operator to decide on the precise orientation of the ground control measurements.

### 3.1.3 Methods of displaying the survey

In Chapter 2.2, the discussion of methods of using metric photographs showed that photogrammetric surveys could produce line drawings, or photographic images in which perspective distortions have been corrected, or could provide numerical data in the form of three-dimensional coordinates of each point measured. These are the principal techniques for the depiction of the survey.

As for the *forms of representation*, these can be classified as follows:

a) *Surveys of elevations* from photographs whose axis is approximately horizontal, and - which are similar from a technical point of view - surveys of vaults and ceilings from photographs with a vertical axis. Both these survey requirements are particularly suited to the use of photogrammetric methods, which are at their most efficient in this mode.

b) Horizontal or vertical sections are equally easy to produce during photogrammetric plotting, in as large a number as may be desired. It should be noted that precise positioning of sections need only be decided at the plotting stage.

c) *Ground plans* are less easy to produce photogrammetrically, if the monument offers any degree of complexity of form. This may happen if, for example, there are a number of compartments, resulting from vertical walls in different directions, columns or pillars, etc. In such cases, photogrammetry can only provide partial elements of the plan. It will be necessary to link them together by directly measured hand survey. This work will be all the more necessary if the plan covers both the interior and exterior of the structure.

d) Surveys of non-plane forms such as curved vertical surfaces, convex or concave surfaces, vaults, domes, etc., can be dealt with in plan or in section as previously mentioned. This is also a suitable field of application for orthophotography. However, straightforward photogrammetric plotting offers an additional advantage in that it can express these forms by the technique of *contours*, or *equidistant sections* in a manner analogous to contouring of topography. The contouring can be related to any reference plane, although it will usually be a horizontal or vertical plane.

To obtain these contours, the operator places the floating mark on the surface of the stereo-image seen in the plotting machine. Then, using only the controls for lateral movement of the base carriage, that is in the 'X,Y' plane of the machine only, the operator keeps the measuring mark in contact with the curved surface while moving it across it. The machine will then trace a contour or a vertical section, the form of which is reproduced on the drawing table. This method is particularly advantageous when the surface of a vault or cupola is to be set out. Representing their surface as a series of contours gives a true indication of their condition, setting out clearly the evidence of any deformations and allowing their stability to be diagnosed.

e) *Coordinate values of points* obtained by reading the X,Y,Z values from the machine can also be marked on the drawing. The values will indicate the height above, or depth beyond, a given reference plane.

## **3.2 Fields of application**

We shall now look at the application of all the ideas introduced in Chapter 3.1 to examples of various kinds of surveys. On the basis of the wide range of photogrammetric work being carried out at present, we can divide the field of application of architectural photogrammetric surveys into six groups of varying importance.

### *3.2.1 Surveys intended for the architectural analysis of the monument*

The aim of these surveys is generally to show the principal architectural lines necessary to the understanding of the structure, and to illustrate the written description which would also be made. Their scale is often 1:100, and a reasonable degree of accuracy is sought, compatible with this scale. The survey programme rarely concerns the entirety of the building, but will illustrate a selection of external and internal elevations (often with horizontal and vertical sections) which will give an adequate description of the monument and allow the structure and overall design to be grasped. In addition, certain architectural details, such as the jointing, bonding or decorations, can be shown in larger scale to bring out stylistic or technical peculiarities. Planning the photography, deciding its scale and designing the supporting framework of control, are all fixed with these requirements in mind. This does not, of course, rule out that work on site should wherever possible be extended to allow the production of a more complete photogrammetric archive.

**Examples: Figures 26 and 27**

### *3.2.2 Surveys for purposes of conservation or restoration*

These are in most instances partial surveys of a monument, where the programme and choice of photography will be decided by the architect-conservator responsible for the building, and will correspond to the studies and documentation required to prepare and carry out the work of conservation. Usually carried out to a scale of 1:50, with details at 1:20 or 1:10, these surveys include all architectural lines, and frequently also show details of the bonding or masonry coursing. Cracks and other indications of distress are surveyed with care. Depending on the monument and the type of repair envisaged, carved or sculptural decoration is either subjected to a complete survey or may simply be drawn in outline. The recording of vertical and horizontal sections completes the work. Accuracies within 10 mm would be expected. In this category too, wherever possible it is highly desirable to obtain a wider-ranging photographic coverage than the minimum requirement for future use.

**Examples: Figures 28 and 29**



### 3.2.3 Systematic surveys of major monuments

Surveys of this kind are planned with the aim of furnishing general documentation, to be used for permanent programmes of maintenance, but also able to serve the purposes of any study or repair work on the structure. These surveys generally have characteristics comparable with the surveys discussed in the previous section. A concerted effort is made, however, to extend the survey to cover the *whole* of the monument, inside and out. Programmes such as these represent a considerable amount of work, and involve substantial expense in the long term. Priority is usually given to producing the photogrammetric archive in the first place, while the production of drawings follows as soon as means permit. In some countries, government agencies give this type of survey first place, sometimes even an exclusive place.

**Examples:** Figures 30, 31 and 32

### 3.2.4 Streetscape recording

Streetscape recording, either by graphic means (**Fig 33**) or by means of photoplans (**Fig 34**), concerns groups of buildings along the street fronts or around squares of towns or villages. These surveys are usually made to a scale of 1:50 or 1:100. They are mentioned as a specific group because in certain countries, particularly in Central Europe, their preparation is one of the principal activities of architectural photogrammetry units (**Fig 35**). In fact, they are of interest for all historic centres, and we recommend that they be used more widely.

**Examples:** Figures 33, 34 and 35

### 3.2.5 Surveys of decorative work

As was said previously, *painted decoration* rarely justifies a line-drawn survey, except in special cases where analyses such as those represented in Figures 36 and 37 justify it. Rectified photography and orthophotography are generally much better suited to the task, especially for the surveying of painted vaults and domes (**Fig 14**). The next chapter (4.3) will show what possibilities can be offered in this field by automated orthophotography procedures.

*Carved or sculptural decoration* has, of course, a much greater architectural importance, but photogrammetry may not always be able to treat it in a wholly satisfactory manner (see Chapter 3.1.2). Nevertheless, photogrammetry is particularly well suited for the survey of some forms, such as carved plasterwork ceilings (**Fig 38**), statuary of 'architectural' form which can be of such importance as to be in itself the monument (**Fig 39**), and wood carving which is so much integrated into the architecture as to be an inseparable part of it (**Figs 40 and 41**).

**Examples:** Figures 14, 36, 37, 38, 39, 40 and 41

### 3.2.6 Surveys required for special studies of monuments

The progress made in photogrammetric techniques, due largely to computerization and automation, has greatly increased the opportunities it can offer to unusual survey problems (see Chapter 4.3). Yet the more traditional methods have already

often provided valuable results. For example, they have been adapted to archaeological surveys of standing remains, concerned especially with complex stone coursing, for which photoplans have much to contribute (Fig 42), and also for archaeological excavations inside buildings (Fig 43). Similarly, fine detail surface studies sometimes call for high-precision photogrammetric surveys, giving accuracies as high as 0.1 mm, at scales of 1:5, 1:2 or even 1:1, based on close-up photography. Surveys of this kind have been made, for instance, in connection with research on damage caused by 'stone disease' (Fig 44), or when mural paintings have been taken down for restoration.

Examples: Figures 42, 43 and 44

### 3.3 Some practical and economic aspects of photogrammetric surveys

We have already seen how rapid the 'fieldwork' operations on site can be in providing the photogrammetric archive. This is one of the very important factors in the decision to carry out photogrammetric surveys and in the organization of the surveys. For example, the entire exterior of Strasbourg Cathedral (except the spire) was surveyed by a team of four people in five working weeks. Speeds such as this allow a considerable acceleration of the work of basic recording and documentation of monuments, with no increase in staff.

The plotting process is, of course, a much longer business, but even so it is quicker and much more reliable than a survey done by hand, if we are faced with a monument of any size or complexity. The equipment is expensive, especially the plotting machines. But the rationalization of work brought about by photogrammetry allows the necessary investment costs to be recouped quite quickly. For example, the first equipment (metric cameras and plotter) acquired by the photogrammetric department of the Austrian historic monuments service (Bundesdenkmalamt) paid for itself, according to that department, in two years.

Experience has shown that when the historic monuments service of a country or a region decides to make widespread or systematic use of photogrammetric survey techniques, it is preferable if it can acquire its own specialized unit. Very often, however, for various reasons, private photogrammetric companies or other state or public institutions may be called in to carry out the surveys. In both situations, it is indispensable to ensure that a permanent dialogue takes place between those who commission and use the surveys (architect-conservators, art historians, archaeologists, etc.) and the technical staff responsible for carrying out the photogrammetric work. This dialogue is necessary at every stage of the proceedings, but especially for the prior definition of which areas to survey, for the choice of reference planes, and during the plotting. Care must be taken also to record with the survey all the information necessary for its understanding, so that it can be utilized even 100 years after it was carried out.

### 3.4 Organization of an architectural photogrammetry unit

We feel it would be useful to provide at this point some suggestions on this important topic, based on the international experience of the International Committee for Architectural Photogrammetry (CIPA).

Tasks to be carried out by a specialized unit are as follows:

- Scheduling and planning of surveys, in liaison with the services using the surveys.
- Carrying out the work on the monuments: photographic work in the field, establishing the topographic control framework, subsequent work in the office, especially computations if any.
- Setting up the photogrammetric archive: numbering, classifying, codifying, storing, any laboratory work required, e.g. making prints, copies.
- Plotting work: photogrammetric plotting, rectified photography, or possibly orthophotography. This will require on the one hand a bureau equipped with machines for photogrammetric plotting, and on the other hand, a photographic laboratory (this laboratory would normally be organized so as to include all of the photographic activities).
- Drawing work: a certain amount of tidying up of the photogrammetric drawings, 'finishing off' (tilting, indicating the scale, all other necessary information), annotating photoplans (correction of elements in relief or even a complete corrected tracing if one wishes to go from a photoplan to a drawn survey), reproducing the sheets of drawings.
- Archiving the survey documents: classifying, codifying, conservation.

To carry out these duties properly, the *personnel* should have two qualifications, in both photogrammetry and architecture. The one or the other may be more advanced, but knowledge of both is necessary. The personnel may, moreover, be on two levels or grades: that of the engineer or architect, and that of the technician. The staff should also include at least one specialist photographer.

These staff members should be given proper training. For architects who are becoming photogrammetrists, a good general training in photogrammetry in a university institute or technical college can be recommended, followed by specialization in architectural applications obtained by spending a period in an office carrying out photogrammetric surveys. For photogrammetrists who need to acquire a good grounding in architecture, the necessary courses and study periods need to be prepared. This ideal training scheme can be eased, however, if it is desirable to begin practising quickly. 'Learning on the job' may realistically have to be accepted, but in this case one should be advised by experienced photogrammetrists and architects.

A photogrammetric unit can be set up progressively. Indeed, this will generally be the case, for obvious financial reasons. We therefore suggest:

- For the personnel, a minimum original team of one architect, one photogrammetric engineer or technician, and a photographer with a leaning towards scientific or technical photography.

- For the equipment, an initial set-up consisting of a metric camera (stereometric or, preferably, individual), a stereoplotter (more or less sophisticated depending on available resources) and a photographic laboratory.

Then, the unit can ideally develop gradually in both personnel and equipment. Most of the photogrammetric units that are now working in preservation agencies were set up and have grown in this way.

# EVOLUTION AND DEVELOPMENT OF ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY

### 4.1 One hundred and thirty years of photogrammetry of monuments (1850-1980): from early experiment to production programmes

As soon as photography had produced some practical results, shortly before 1840 with the invention of Daguerreotypes, the suggestion was made that it ought to be possible to use photography to produce architectural surveys. This idea was based on three complementary considerations:

- Ever since the Italian Renaissance, architects have known how to set out a building's plan and elevation by using perspective views. Now photography was simply a new method of recording perspectives, which gave an image obeying quite precise geometric laws.
- If two photographs of the same subject have been taken from two different viewpoints, then two perspective rays will be associated with each point on the object, and the *intersection* of these rays will give the location of that point.
- A photograph registers in an instant the entirety of the surface within its field of vision. It therefore makes it possible, and much easier, to record a perspective with greater precision.

In 1850-1860, the two men promoting these ideas were the Frenchman, Aimé Laussedat, an officer in the Corps of Engineers who called his method metrophotography, and the German architect, Albrecht Maydenbauer. The latter proposed the terms photometrography and then *photogrammetry*, this expression finally becoming accepted. Of the three considerations mentioned above, they concentrated essentially on the second. That is, they looked upon the photogrammetric method as being a transposition of the indirect methods previously used (see Chapter 1), where the bundle of perspective rays could be considered as playing the part of a multiplicity of sightings made by a theodolite. The measurement from the photographs then consisted in matching the intersections of homologous rays from a limited number of commonly identified points on the building. Apart from these geometrical considerations, the photographs had the simple value of replacing with advantage the sketches that act as a memorandum for the survey and also helped with the drawing of the detail lines of the survey. Nevertheless, what was produced was still a point-by-point method, with all the drawbacks that this entails with regard to measuring the real shape of the structure.

These drawbacks were not considered significant at the time, because neither the analysis of the monument nor the ideas people had for its possible restoration required exact measurements. The significance of its real shape - as it had evolved as a result

of its initial construction, of modifications undergone in the course of time, and of the deterioration that had affected it - were not appreciated. The surveys produced by the traditional hand methods were considered adequate, and in truth the new method offered little more. That is why, having once aroused interest as a curiosity, architectural photogrammetry rapidly fell into disuse and for a long time gave rise to only a few sporadic experiments.

There was only one exception, but of great importance. That was the "Messbil-danstalt" which Meydenbauer founded in Germany in 1885, and which was made responsible for drawing up the plans and elevations of historic monuments by photogrammetric methods. This service pursued its task indefatigably up to 1945. Its legacy even today is a collection of over 15,000 photographic plates concerning the buildings of Germany and other countries, many of them being photographs of buildings that have suffered severe damage. The 'Institut für Denkmalpflege' of the German Democratic Republic is now looking after this collection with the utmost care to ensure its conservation and utilization.

This first 'photogrammetry' was very simple. To increase the accuracy of the intersections of the homologous perspective rays, two photographs of each architectural surface or facade were taken in converging directions with large format cameras of up to 400 x 400 mm, and with lenses of long focal length (200, 350, 500 mm). These formats allowed fine measurements of the coordinates of the image points to be made on the photographs, even with very simple means, and facilitated the making of the drawings. This was done by applying an elementary perspective geometry method, which allowed the position of each point surveyed to be set up in plan and elevation. The first known survey carried out by this method by Meydenbauer dates from 1867.

In the first decade of the twentieth century, however, *stereophotogrammetry* and *rectified photography* made their appearance. Very rapidly, all the necessary technology came together to allow a great increase in the efficiency and accuracy of the photogrammetric survey method. For architectural surveys specifically, this increased accuracy not only allowed improved accuracy of the point-by-point survey method, but gave the possibility of plotting all lines continuously, thus producing the complete survey directly in one process. In the other fields in which photogrammetry was being applied, this considerable advance was immediately understood and exploited. But this was not the case in the surveying of monuments, despite the efforts of some pioneers, particularly Edward Dolezal, a professor at the Technical University of Vienna. He led a ceaseless crusade to promote the use of photogrammetry for recording in architecture, using all the authority bestowed upon him by his founding and presiding over the International Society for Photogrammetry (1910).

One reason for this rejection stemmed from the fact that the survey method relying on graphic techniques could be, and indeed really needed to be, set up by the architect. The use of stereo-photogrammetry was, however, a more technical procedure, which needed to be primarily executed by land surveyors and photogrammetric technicians. An evident lack of understanding on both sides did not allow any real collaboration in

a common undertaking. It is unfortunate that those who were responsible for the care of monuments did not feel the need for any such cooperation. If the majority of them saw no point in putting the techniques of Laussedat and Meydenbauer to work, even fewer were convinced of the use or relevance to their work of the new possibilities offered by stereo-photogrammetry. To record the actual form of a monument with precision and in every detail seemed to them, as was stated at the Congress of Photogrammetry held in Paris in 1934, less important than "an artistic presentation and a faultless style".

When the Second World War ended in 1945, the achievements of architectural photogrammetry were limited. With the exception of the enormous work produced by the Messbildanstalt in Berlin, photogrammetric methods using graphic construction techniques (as displayed primarily by Henri Deneux in the inter-war years) had produced relatively few results and had in the end been forgotten. On the other hand, stereo-photogrammetry had not gained an entry into current practice in the making of architectural surveys. In many countries its advantages had been demonstrated by excellent examples, but these demonstrations remained ignored and bore no fruit. Thanks, however, to the development of applications in other fields, the methodology and instrumentation of photogrammetry had made great strides forward. These advances made it possible when favourable to produce architectural surveys. All that was missing, then, was the demand.

It was not long before this too was forthcoming, inspired by the new attitude towards the conservation of monuments which was gradually evolving, and which was to be more precisely defined a little later in the *Venice Charter* (1964). Henceforth, conservation and, *a fortiori*, restoration were to depend upon a deeper knowledge of the work of the past and on a minutely-observed record of the current state of the monument. Now it would be necessary to have access to the actual form of the building, "perfectly objective and complete, with all its irregularities, whether intentional or not, whether important or not, of aesthetic, technical or historic interest" (Hans Foramitti). Stereo-photogrammetry, and in simpler cases rectified photography, allowed the production of such a record and the measuring and presentation of the precise shape. Their use has therefore developed increasingly, especially during the last 25 years.

## **4.2 Current developments in the application of photogrammetric surveys to the architectural heritage**

This development is a matter, first, of a great increase in the volume of applications, and second, of important technological evolution.

### **4.2.1 Programmes and services**

In many countries, photogrammetric survey operations have attained the dimensions of true programmes, whose execution is entrusted either to photogrammetric enterprises or to specialist departments set up within the historic monuments services. In the previous chapter (3.3), we recommended the second of these alternatives. This

is the solution adopted today in an increasing number of countries. There are of course other intermediate solutions, as for example when the photogrammetric office of an historic monuments services looks after the majority of the survey work, but approaches a private company to carry out the work in certain special cases. An example could be the requirement for equipment which the unit itself does not possess. Or again, some conservation services make agreements with university laboratories that are highly specialized in architectural photogrammetry. For such conservation services (as for example in England and Yugoslavia), this has the same net effect as acquiring their own photogrammetric unit.

To clarify our ideas and to show the diversity of programmes, and of the ways employed to carry them out, we provide here some European examples.

**Austria** - Photogrammetric surveys are almost all in the hands of the photogrammetric section (now attached to the Department of Architecture) of the 'Bundesdenkmalamt' or Federal Service for Historic Monuments. This section was created in 1961 by Dr Hans Foramitti. The work programmes are very large (about 4,000 metric photographs a year) and are concerned primarily with the recording of streetscapes, then interiors and architectural furniture, and finally the exteriors of major monuments.

**France** - Two programmes exist in France:

1. The programme of the 'Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France' of the Ministry of Culture, which has a central photogrammetry office in Paris with 11 staff and a capability within each of its 21 regional centres for the taking of metric photography. This programme is concerned above all with setting up a substantial nation-wide photogrammetric archive. Only a small amount is plotted, mostly for the architectural analysis of the buildings. Other studies on architectural analysis and typology of buildings are related to these surveys.

2. The programme of the Historic Monuments Services, originally coordinated by the 'Centre de recherches sur les monuments historiques' but becoming more and more decentralized. This is intended to meet the needs of the architects involved in the conservation of historic buildings, and its execution is entrusted to specialist enterprises, principally the Institut géographique national, which is the French state mapping institution. Surveys for use in conservation operations come first, then systematic documentation of major monuments, and finally work for architectural history studies.

**German Democratic Republic** - All photogrammetric surveys are centralized in a photogrammetry department working in Dresden, within the Department for the National Administration of the Architectural Heritage. The architects in the administration determine the programmes, which are carried out by the department's staff of 18 people.



**Germany, Federal Republic of (State of North Rhineland)** - Here, conservation is the responsibility of the regional authorities. Two 'Länder' have so far set up their own photogrammetric units. These are North Rhineland (Bonn) and Baden-Wurtemberg (Stuttgart). Priority is given to those surveys needed for practical conservation work. Next, come surveys for historical analysis, then a programme of general documentation of all buildings in municipal ownership. There are no systematic work programmes for the major monuments, or for inventories, in the FRG.

**Soviet Union** - The programmes of photogrammetric surveys are concerned essentially with individual monuments, 200 of which are covered each year, including exteriors and interiors. They are carried out by the photogrammetric laboratories of conservation and restoration institutes, notably in Moscow and Vilnius. Departments specializing in architectural surveys also exist in the photogrammetric services of national topographic and cartographic services.

**United Kingdom** - In England, 'English Heritage' (the Historic Buildings and Monuments Commission) is responsible for some 400 monuments, the majority of them medieval. Photogrammetry is used extensively to provide complete and detailed surveys of many of the structures, and these are produced by the Photogrammetric Unit of the Institute of Advanced Architectural Studies of the University of York. Other monuments and buildings in England, Scotland and Wales in private hands or in public ownership are surveyed largely by private undertakings.

**Yugoslavia (Republic of Croatia)** - In this country each republic is responsible for the conservation of its own heritage. In Croatia, the conservation service commissions many photogrammetric surveys from the Institute of Photogrammetry of the University of Zagreb. Priority is given to individual monuments (exterior and interior views), and then to the recording of street facades.

#### *4.2.2 The role of international organizations*

Developments in the use of photogrammetry for surveying and recording monuments owe a great deal to the influence exerted by international organizations concerned with the conservation of the cultural heritage. The International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) and Unesco should be first mentioned amongst these.

Three years after it was constituted, ICOMOS organized in 1968 the first international colloquium on the applications of photogrammetry to the documentation of monuments and sites. One of the recommendations of the colloquium led in 1970 to the setting up within ICOMOS - in collaboration with the International Society for Photogrammetry - of an international specialized committee on photogrammetry, CIPA. Since then, ICOMOS has repeatedly recommended the use of photogrammetry and upheld efforts by CIPA to promote the development of this technique within monument conservation services. CIPA's activities include the production of publications, the maintenance of links with numerous correspondents worldwide, the holding

of symposia and the convening of meetings of experts, and the carrying out of practical studies and other technical activities.

Unesco has taken an interest in photogrammetric surveys in architecture for more than 25 years, and has recommended their use on many occasions. It has organized training activities in this field in a variety of ways, and has been responsible for equipping photogrammetric units for architectural or archaeological services in some developing countries. However, the principal activity that has helped promote photogrammetry has been Unesco's decision to have photogrammetric surveys carried out for all of its major rescue operations on monuments or sites. The specialized photogrammetric services of some countries have contributed their help with the execution of these surveys for Unesco, and here we shall cite only some of the very important projects. These are the recording of the monuments and sites of Egyptian Nubia (Fig 45), the Acropolis of Athens, the monuments of Petra in Jordan, and the temple of Borobudur in Indonesia (Fig 46).

### 4.3 Technical developments

Photogrammetric surveys of architecture, as previously described, are usually carried out by stereo-photogrammetric plotting on analogue plotters to provide a graphical product. This is sometimes complemented by additional numerical calculations. This procedure is particularly suitable for drawing elevations, but will also easily provide sections and partial plans while also offering new possibilities for surveying non-plane surfaces. It can offer the architect or the art historian the archival product or the everyday working documents they need, with the rigorous accuracy they demand today. But the technological evolution brought about by the happy conjunction of digital electronic computers and photogrammetry is now broadening the fields in which the latter can be applied, in architecture as well as in other areas. The main directions in which this evolution is progressing will now be considered.

4.3.1 First of all, we must point out how *digital acquisition of coordinate values* from analogue photogrammetric plotting equipment (see chapter 2.2.2) can give results noticeably more accurate than graphical plotting. As a result, this technique can meet more complex requirements than the simple addition of some extra numerical values as discussed earlier. In particular the following should be mentioned:

- Surveys of arches or complex vaults, photographed very obliquely and computed first in a coordinate system related to the inclined axes, then transformed into the normal reference system.
- The fixing of a limited number of points on a structure leading to a simplified geometrical modelling of its form (Fig 47).
- The measuring of deformations in a monument by means of periodically repeated surveys of the same precisely identified details or pre-marked points, set up prior to the taking of photographs (Fig 48).

- The expression of a line or an architectural form by the numerical plotting of a large number of points, whose coordinates can then be used to calculate the optimum theoretical line or surface passing through all of these points. In this way the precise geometrical form can be sought according to which the architectural element has been originally designed and built (Fig 49).
- If the need arises, looking for the system of geometrically-related proportions which may have been used by the architect in the design of the structure.

In all these cases, the instrument coordinates of the points measured are recorded. Modern digital encoders connected to the plotting machines transfer the coordinates to magnetic tape (Fig 50). They can work in two modes, either by recording individual points or by recording successive points on the same line, the measurement being carried out automatically at regular intervals as the operator follows the line with the measuring mark. All these records can then be manipulated in the digital computer to obtain results concerning the dimensions, shapes, surfaces, movements, etc.

4.3.2 The 'numerical' approach to photogrammetry is often referred to as *analytical photogrammetry*. In principle, it could be said that this method does not differ very much from the former practice of photogrammetry by intersections, whether graphic or calculated. However, the measurements are nowadays obtained on instruments known as mono- or stereo-comparators which can measure to a precision of 0.001 mm. In these instruments, only 'X' and 'Y' values on the plates are recorded. It is then possible to *compute* the necessary three-dimensional coordinates, rather than measure these points from the stereomodel as with the analogue plotter. This 'analytical' approach provides an accuracy estimated to be five times better than the precision of digital results from an analogue plotter. This high degree of accuracy, and the flexibility of application on site, make it particularly advantageous when it comes to checking stability or measuring deformation of a structure. But it always results in point-by-point calculations and therefore is relatively ill-suited to producing graphical surveys, for which it can only offer as before a framework of points of greater or lesser density.

4.3.3 This criticism no longer holds if the digital computer can be directly integrated with the plotting device. This is achieved by taking a stereo-comparator instrument and fitting electrical motors to its photo-carriages, so that they can be driven in the 'X' and 'Y' directions. A real-time computer loop provides instantaneous corrections to maintain the stereo-image, and in this way we regain the possibility of the continuous tracing of the architectural form.

The machines designed along these lines are called *analytical plotters*. It is therefore possible to use them - depending on one's requirements - to replace analogue plotters for direct drawing and for numerical point fixing, but with the advantage of increases in accuracy, flexibility and efficiency. Alternatively, they can be used as a combined 'comparator and computer' for work of the kind discussed earlier in Chapter 4.3.1. There are already quite large numbers of analytical plotters in

existence, among which the following are known to have been used in architectural applications (Fig 51):

- The Planicomp series C100, C120 and C130 from Carl Zeiss, Oberkochen, (FRG), and the same firm's Stereocord G3 (a simplified machine suited in architectural applications to limited point-by-point measures)
- The DSR 1 and 11 analytical plotter series of Kern (Switzerland)
- The Digicart from Officine Galileo (Italy)
- The system AP 5 from Ottico Meccanica Italiana (Italy)
- The Aviolyt BC.1 and BC.2 from Wild Heerbrugg (Switzerland)
- The Traster series of analytical plotters from Matra (France).

Analytical plotters are now the machines best adapted to the requirements of architectural photogrammetry, but are still expensive in comparison with analogue plotters although capable of a much wider range of application.

4.3.4 The possibilities of architectural applications of *orthophotography* were greatly increased by the appearance a few years ago of numerically controlled orthoprojectors. In these machines, the production of the orthophotograph is carried out under the control of a digital computer. The technical principle behind these machines is complex, but does not need to be explored here. This new generation of orthoprojectors is represented by: (Fig 52)

- The Z2 Orthocomp of Carl Zeiss, Oberkochen (FRG)
- The OR1 orthoprojector from Wild Heerbrugg (Switzerland)
- The Topomat B of Carl Zeiss, Jena (GDR).

These newer instruments produce documents of better quality than formerly. In addition these machines make it possible, thanks to the appropriate controlling computer programs, to go beyond surveys of relatively flat facades. Surveys can be carried out of curved architectural surfaces, such as barrel vaults, domes, etc., by projection on a graticule of known mathematical formula (Fig 53). Such surveys are thus more directly usable by the architect or the historian.

# PHOTOGRAMMETRY APPLIED TO HISTORIC CENTRES

It is not necessary to expand here upon the idea of the *historic centre* which has fairly recently been developed as a complement to that of the historic monument. This concept should certainly be familiar to all the readers of this manual. The analysis, enhancement and protection of an historic centre requires the same type of thorough documentation as is now the norm for monuments: historical, archaeological, sociological studies, etc., will all be needed. Detailed analysis offered by conventional photogrammetric surveys, principally of streetscapes, can be invaluable (see Chapter 3.2.4). In addition, an *overall analysis* of the centre in its present state is indispensable. To draw up such a study we can nowadays make large demands on *aerial photography*.

## 5.1 Aerial photographs and their utilization

### 5.1.1 Technical aspects of stereoscopic aerial photographic coverage

A 'block' of aerial photographic coverage must first be obtained. This is done according to a well-established method which is universally accepted, principally for photogrammetric surveys intended for mapping or cartographic purposes.

*Automatic metric film cameras* are used. These incorporate a device to hold the film by vacuum pressure, thus ensuring that it is completely flat at the moment of exposure. The cameras are mounted on a vibration-free support over an aperture in the aeroplane floor (or sometimes helicopter). A standard format of 230 x 230 mm is now used, and the most common principal distances for the lens are 88, 152, 210 and 300 mm (Fig 54). The camera axis is kept *vertical* as far as possible.

To ensure the complete, stereoscopic coverage of the area to be photographed, the *photographic flight plan* (Fig 55) is made up of parallel strips which overlap by 15 to 20%, the photographs in each strip overlapping each other by about 60%. In this way each area of land is to be seen on at least two photographs, and any two successive photographs in a strip can be examined stereoscopically. As in 'close-range' photogrammetry, the working unit is the *stereopair of photographs*, and more specifically the area of the subject that is common to both photographs, in this case an area of ground surface.

To carry out these aerial photographic surveys, *navigation* has to be very accurate. The aircraft must fly at a constant altitude on straight and parallel tracks, and at a uniform flight speed linked to an equal-exposure interval at which successive photographs are taken. Automation of the navigational process is currently being developed in the execution of the aerial photographic sortie. The *average-scale* of the photographs is a function of the ratio of the principal distance of the camera to the height of the aeroplane above the average height of the ground. The *films* used have

been specially developed for aerial photography and are generally panchromatic black-and-white films. The advantages of using colour photography, however, are particularly clear in an urban situation.

### 5.1.2 *Qualitative analysis of aerial photographs - Photo-interpretation*

In the study of an historic centre, the *stereoscopic examination* of aerial photographs is of very great value, because it provides with great detail and sharpness a picture in relief of the centre and of its surroundings and site. The exaggeration of the relief which will be noted on studying stereopairs increases this value, since it brings out clearly any slight changes in ground levels and emphasizes any changes in roof heights, etc., of the buildings.

The scales best suited for this photo-interpretation of historic centres range from 1:25,000 to 1:2,000:

- Scales of from 1:10,000 to 1:25,000 (in exceptional cases 1:30,000) are advantageous for studies of the adaptation of the site, for showing older structures preserved or appearing under more recent ones, for studies of the site's historical development or of the way the centre fits into the newer areas around it.
- Between 1:5,000 and 1:8,000 it is possible to analyse the urban fabric with a great deal of precision, because the morphology of each block of buildings and the form and structure of roofs show clearly.
- At scales between 1:2,000 and 1:3,000 (in exceptional cases 1:1,000) we reach the level of the individual building, where it is possible to analyse details of the dormers, the chimneys, the roof coverings, etc. (Fig 56).

For the aerial photography of an historic centre, particularly an urban zone with generally taller buildings, the choice of the principal distance for the camera is an important one. The larger the scale of the photograph, the more advisable it is to exclude the shorter principal distances. It will be advantageous to choose instead a principal distance of 210 or 300 mm, which will reduce the 'dead areas' caused by the height of the buildings.

*Oblique aerial photographs* are not normally used for photogrammetric plotting processes. This does not mean, however, that they are of no interest. Taken at different altitudes and at different angles, they allow the viewer to appreciate either overall groupings, or detailed views showing the relationships of different elements of the built environment, or characteristic perspectives. Vertical and oblique photography often complement each other in a very useful and instructive manner (Fig 57).

### 5.1.3 *Photogrammetric measurement from aerial photographs*

Vertical aerial photography is utilized in the same way and using the same instruments as are photographs of monuments taken on the ground. The processes of stereo-photogrammetry with analogue or analytical plotters, rectified photography

and orthophotography can all be carried out from vertical aerial photography. Through stereo-photogrammetry, we obtain graphical plans and numerical data, generally ground heights of key points. Through rectified photography (for sites with little change in level), or orthophotography, we obtain photographic images where perspective 'errors' have been corrected and which - reduced to the same scale - can be combined to produce *photoplans*. It should also be mentioned that besides its uses for surveying urban centres, aerial photogrammetry offers valuable solutions in documenting archaeological sites.

For these varying uses, we can group the most suitable scales for photography as follows:

- From 1:15,000 to 1:20,000 for a plan at 1:5,000
- From 1:8,000 to 1:10,000 for a plan at 1:2,000
- From 1:3,000 to 1:5,000 for a plan at 1:1,000
- From 1:2,000 to 1:3,000 for a plan at 1:500

For a long time now plans of urban centres, and more specifically of historic centres, have been drawn up in this way to include all the planimetric elements of built-up areas, height values on unbuilt areas (especially the road network) and sometimes contours. They are usually of excellent quality, and are indispensable for the architect, town-planner and others who are responsible for the historic centre. But are they sufficient for an in-depth knowledge and analysis of the centre?

## **5.2 Adapting aerial photogrammetric survey procedures to recording historic centres**

In the traditional document produced by photogrammetry in the urban area, one essential piece of information is lacking: the heights of the buildings. To obtain these, we sometimes produce through the photogrammetric process 'numbered rooftop plans', which give the height of all the key points of the structures in the built-up area. These plans, produced in the form of a planimetric drawing of the roofs on which numerous heights are spot-marked, contain all the necessary information for analysis. However, they are difficult to read and even more difficult to use when the architect wishes to analyse the 'volume' of the historic centre on which he is working.

Consequently, around 1970, the idea emerged of trying to exploit in a different way the information that could be derived from the 'stereomodel' of the historic centre. The stereomodel of course contained all the precise three-dimensional data referring to both ground and buildings. To enable one to draw up all the survey documents that might be required by the architect, new methods of measuring and displaying from the stereomodel were developed. These products can include plans as before, but also 'sectional elevations' (or 'geometrals' in French terminology), axonometric projections, and perspectives, all of which more readily 'visualize' the volume of the centre.

In many ways, it becomes a question of applying to historic centres the same kinds of surveys and representations as were being produced as a matter of course for historic buildings. Additionally, they were tools with which architects were already familiar.

The first efforts in this direction were produced and refined by the Institut géographique national, France, as a response to the expression of their needs by various architects, in particular Messrs Bertrand de Tourtier and Bernard Fonquernie. Since that time, similar work has been carried out in other bureaux in other countries. Nevertheless, it must be stressed that this form of three-dimensional expression of the historic centre derived from photogrammetry is still not widespread, even though the technique is now past the experimental stage and a sufficiently large number of surveys and studies have confirmed the benefits it offers. As happened in the case of monuments, the photogrammetric recording of historic centres will no doubt undergo a progressive development in both its applications and methodology. The techniques have already taken a decisive step forward in passing from the analogue process to the analytical.

### 5.2.1 Analogue methods (Figs 58-62)

The stereomodel of the urban centre which is formed in the plotting apparatus will normally be projected onto a horizontal plane. By doing this, we obtain a plan of the centre and this is the normal procedure. It is important to make it quite clear that, as far as the buildings are concerned, this is in fact a *roofplan*. If we wish to have a *ground-plan* of the site of the buildings we must correct the photogrammetric survey by allowing for the overhang of the roofs. Yet this is only of any real significance if the overhangs are considerable, and if the plan is to a very large scale (between 1:500 and 1:2,000). Generally, such a correction is not necessary, especially since in the overall analysis of urban centres the roofs play an essential part in the definition of the built volume and in the appreciation of the fabric under which the ensemble of buildings stands.

The photogrammetric plan of the historic centre can be completed by adding numerical values, measured from the same stereomodel, of the heights of all the key points on the roofs. We then have a product which we have described as a *numbered roof-top plan*.

It is also possible to traverse across the stereomodel while keeping the floating mark in a vertical plane. The floating mark, therefore, follows and records all the changes in level of the ground and buildings that it touches. This produces a *vertical section* or *profile* through the historic centre. The direction and position of such sections are chosen in accordance with the morphology of the centre under analysis.

This stereomodel can also be projected in a *vertical* plane. This is done by combining the instrumental coordinate 'Z', i.e. the height, with one or other of the coordinates 'X' or 'Y', and transmitting these movements from the plotter to the drawing table. The survey obtained by this projection we have called a '*sectional elevation*' of the entire centre. Given certain adaptations of the transmission system between the



movements of the plotter carriage and of the drawing table, it is relatively easy to obtain this type of survey.

The operator uses the measuring mark to follow on the stereomodel all the lines of the buildings, and the machine traces out the elevation at whatever scale is desired. It is possible to choose several different projection planes, in order to obtain elevations corresponding to different aspects of the historic centre. Although they produce an image such as no observer would ever see on site (any more than an observer could see an extensive facade in elevation), these sectional elevations of the centre can, to a certain extent, answer the need to analyse its overall external appearance. This is particularly valuable if the area has a pronounced personality of its own, e.g. a fortified town, monastic community, or mountain-top village, or if it occupies a site of particular character within a city. Yet, experience has already shown that such documents are of great value for all historic centres, even if they are neither unique in character nor on a site of particular value. It is sometimes possible to produce such records by terrestrial photogrammetry, using pairs of photographs taken on the ground from outside the urban area, but this possibility is a rare one. Aerial photogrammetry is most often the only available solution.

As described, the stereomodel is defined by a three-dimensional reference system of coordinates. Transmitting the three coordinates two at a time to the drawing table ensures the direct drawing of the plans, sections and elevations of the centre. Studies have also been made into developing a method of transmitting *all three simultaneously*, even though the plotting table, of course, can only reproduce in two dimensions. This possibility has been achieved by means of a mechanical perspective device placed between the stereo-plotter and the plotting table. Thus it is possible to draw directly *an axonometric projection* of the historic centre in a given direction. In this projection, the same scale is kept in all three dimensions, so the ground plan is preserved.

In this way, the documentation available to the architect or town planner has been considerably increased by the addition of forms of presentation which are familiar to him in his work with buildings. Drawn to scales which usually range from 1:500 to 1:2,000, these three-dimensional views are not simply 'pictures' of the centre. They are geometrically accurate and can be used for taking measurements, for example, in studying the morphology of the urban forms or for inserting drawings of new buildings to analyse their impact on the urban scene, etc.

### 5.2.2 *The analytical method*

The three-dimensional views obtained in the way we have just discussed are the result of direct drawing from the stereo-plotter. Therefore, to produce a new view from a different aspect, the operator is obliged to repeat again the long and painstaking work of tracing from the stereomodel all the lines of the buildings. If any sizeable number of representations is wanted, production costs rise very quickly. Efforts have therefore been made to automate the process by *digitally* recording the building lines

once and for all, and storing them in the computer. Once recorded, this data can afterwards be utilized in a much quicker and more economical manner to produce as many representations as may be needed.

Into this 'analytical method', computer calculations carried out with specially-produced software programs (such as the TRAPU program of the Institut géographique national, France), make it possible to pass from the spatial coordinates of the photogrammetric model to the plane coordinates of the drawing. To avoid having to process too great a quantity of data, the smallest details are omitted, and because of this the resulting drawing is somewhat more schematic than a direct graphical reconstruction (**Fig 63**). Nevertheless, the method does have three advantages: first, the number of different views or aspects can be increased easily and more economically in comparison with the analogue method; second, it makes it possible to obtain *perspectives* from any point of view and along any chosen axis, which is not possible with the analogue method (**Fig 64**); finally, the program can also incorporate calculations that automatically eliminate the 'hidden lines', i.e. the lines obscured by the presence of other building elements. This makes the drawing immediately usable, while with the analogue method the removal of these lines has to be done manually.

### **5.3 Applications of photogrammetry in studies to enhance and protect historic centres**

Every one of these overall surveys (plans, sectional elevations, axonometrics, perspectives) can be used in the analysis of an historic centre, and in the studies to determine which measures should be taken for its conservation or improvement. Visualizing the building shapes, considering the harmony of different fabrics, or examining projects for roadways or new buildings would be typical uses.

Some examples (**Figs 65 and 66**) from work carried out in France are as follows:

- Theirs: a study of the route for a new high-capacity road
- Moulins: revitalization of an area of the town, which included the demolition of outworn buildings and the construction of new ones
- Rocamadour: the study for re-routing a road and for a car park
- Cahors: setting maximum height limits for new buildings in the western quarter, so as not to distort the urban landscape of the historic centre to the east
- Orleans and Paris: the refurbishment of public squares
- Amiens: the rehabilitation of the cathedral quarter
- Aurillac: the modification of buildings around a traffic node, and the construction of a new administrative centre.

As these examples show, surveys of historic centres by means of aerial photography are clearly very specialized working documents for architects and town planners. For presenting the projects to the decision-makers, or the public, other kinds of representations often speak louder and are more easily understood. A particularly valuable product is the photomontage.

*Photogrammetrically derived photomontages.* Photomontages are a most useful tool in the study of the modifications that one might wish to impose on the landscape, particularly the urban landscape. They are especially good in helping political or administrative authorities to appreciate a project. Even so, they need to be set up with strict accuracy, especially when the project concerns not just one building or structure but a whole urban group. Unfortunately, this is often not the case. Here again, we find a possible application for photogrammetry.

The essential requirement is to set out the representation of the project on a *photographic perspective*, taken from a particular viewpoint and along a predetermined axis. This operation is thus the *reverse* of the normal photogrammetric process. The following information is needed:

- From the general plans, the three-dimensional coordinates of the key points of the new buildings or roadworks
- The coordinates of the camera viewpoint
- The direction of the axis of the photograph
- The principal distance of the camera used.

Then, it is easy to calculate the coordinates of important points of the new work, as projected in the photograph, and to mark them on a print or an enlargement of it. This done, one need only join up these points to bring out against the photographic background the image of the new construction as it would appear once built. If the project is a substantial one, the work could be speeded up by the use of an automatic drafting table.

Many photogrammetric photomontages have been produced, and in many countries (Fig 67). The oldest known important example concerned the plan to build an immense Palace of Justice in the very heart of Athens (Prof. Sokos, 1930). Some examples can be examined stereoscopically. For this, all that is necessary is to make photomontages of the same project on photographs taken from two different points of view, but along parallel axes. It is then possible to enjoy a three-dimensional view of the project, set in its surroundings.



### SOME CONCLUSIONS

As applied to surveys of monuments and sites, photogrammetry is one *working tool* among others. It should not be seen as the universal solution to all the problems of measurement and representation of buildings, monuments or historic centres. On the contrary, we must all learn to discern its considerable possibilities, but also its limitations. We must appreciate its attributes, both from the point of view of technical execution and from that of satisfying the requirements of the persons commissioning or using the surveys.

As far as *monuments* are concerned, it is often the case nowadays that detailed and accurate surveys of important facades or whole structures can only be carried out if photogrammetry is involved. Otherwise, they are not carried out at all. It is also true that the introduction of photogrammetry is not without influence upon the very idea of what constitutes a survey of a monument, even if it is only because of the rigorous accuracy it introduces and by the fact that, especially in its most modern forms, it increases the scope for utilizing surveys as regards architectural analysis.

Opponents of architectural photogrammetry - for they still exist - maintain that its precision is obtained at the cost of depersonalizing the survey. It is said that by its 'mechanical' nature it eliminates the necessary personal contact with the work of architecture. This argument disregards the fact that in a photogrammetric survey there is a large element of interpretation on the part of the operator, who has to base his work on a sound prior analysis of the form. It also disregards the fact that the architect can always set to work on the plot provided by the photogrammetric survey, knowing that he can rely totally on its geometrical accuracy. He can then complete or correct that survey, and in particular enhance it according to his own perception of the monument in question, while leaving for others the pure, objective and scientific photogrammetric plot.

We must also in our conclusions stress once more the advantages and the incalculable value of creating *photogrammetric archives* for a monument, and also stress the priority that should be accorded them.

As for *historic centres*, it should be remembered that photogrammetric techniques can now offer powerful tools for the measurement, analysis and representation of the existing urban fabric, and should occupy an important place among the reliable procedures for use in rehabilitation or conservation studies. We must also remember the major advantages offered by the stereoscopic study of aerial photographs for the very detailed analysis of an historic centre.

A very significant stage of development has now been reached in the architectural applications of photogrammetry, both in the volume of work carried out and in the quality of much of that work. Many eminent architects have played a role in this development, and it has the recommendation of being supported by specialists in the relevant international organizations. Photogrammetric techniques are now well established and their value well proven. All those responsible for monuments or historic centres now have at their disposal an invaluable range of scientifically proven techniques, the use of which can only enhance the study and preservation of man's inheritance.

## POSTSCRIPT (November 1989)

*Ross DALLAS, Head, Photogrammetric Survey Unit  
Institute of Advanced Architectural Studies  
University of York, and "English Heritage"*

In general, the principles on which the work of architectural photogrammetry are founded still stand as described in the original text. The reader may take all that is written with confidence. In the following notes, reference is only made to a topic where it is felt that some significant changes have taken place since 1984. If no reference is made to a topic, then it may be taken that the existing text still reflects current practice in architectural photogrammetry.

The major change that has affected the use of architectural photogrammetry during the period 1984-1989 is the steady move from the graphic to the digital product. References are already made in several places in the text to the importance of the digital computer in influencing the methodologies of photogrammetry and, in general, that process has been accelerated and consolidated during the period. The power and relative cheapness of the microcomputer, particularly the IBM PC-based models, have influenced developments in several areas of architectural photogrammetry. In particular, the use of analytical plotters driven increasingly by microcomputers has become prevalent.

Output systems have also been influenced by the availability of such microcomputers. In particular, CAD or Computer Aided Drafting Systems are now widely available at very reasonable prices, and digitally captured photogrammetric data is an ideal medium for input to the CAD system. In general, the price of analytical plotters has come down considerably in real terms during this period, and virtually every photogrammetric organization of any size is now making use of at least one analytical plotter.

In a fast-moving field, new models are being regularly introduced, and it does not seem particularly necessary to tabulate all the different variations. However, mention might be made of the Kern DSR 14 analytical plotter, driven by microcomputer, the Wild BC 3 and the Zeiss (Oberkochen) Planicomp P3. Also, the Adams MPS-2 microanalytical plotter, taking a maximum 70 mm x 70 mm format photography, is coming into use in architectural applications.

There are also a number of interesting 'hybrid' photogrammetric instrumentation systems which are influencing work in this field as well. Mention may be made of the Rollei 'Rolleimetric' system and the Leitz 'Elcovision' system. Both of these systems use a digitizing tablet coupled to a microcomputer. Instead of using the classic methods of stereophotogrammetry, individual photographs taken at oblique angles to the subject are placed on the digitizing tablet and matching points digitized from each photograph. It is unlikely that these systems can directly replace the quality of drawing

that is obtained from the classic topographic plotters, or analytical plotters for that matter, but nevertheless their introduction as systems for photogrammetric data capture will undoubtedly influence the ways in which we work.

With the moves to digital systems, different methods of recording and output are becoming more common. While the classic graphical techniques as used with analogue plotters are still in use, digital capture of data is becoming far more common. Many analogue plotters have been converted in this way, such that their output as well can be obtained in digital form. Instead of a line's being recorded graphically, it is recorded as a string of coordinates, giving X, Y, Z values that define the line. Such points can be recorded either in a point-by-point mode, a time mode or a distance mode. The strings of coordinates can then be put through various smoothing and curve-fitting routines before being translated into a graphical product. While these methods bring considerable benefits, they also bring considerable problems. Indeed, we may not even know what has been done to data in its stage between capture on the photogrammetric instrument and output as a drawing or computer display.

These possibilities link very much to the use of CAD systems which are becoming much more prevalent. Many photogrammetric users are making use of programs such as 'AutoCAD' or Intergraph 'Microstation', or one of a host of other CAD programs, which usually use the medium of DXF files to enable transmission of data from one system to another. The output of photogrammetric data is ideally suited to such CAD systems, since of course it is captured in digital form and therefore translates directly into the CAD program. Indeed, the widespread use of CAD systems may make much production of the classic high-quality in graphical plots obsolete.

While these changes are perhaps of most interest to the user of photogrammetric surveys, because they influence the product that is supplied to him, there have also been changes of more direct interest to the photogrammetrist. The cameras used for photogrammetric cover have also changed in recent years. First of all, the range of cameras available for this work has been reduced, due to the discontinuation by the companies Wild Heerbrugg Ltd and Zeiss (Oberkochen) Ltd of their ranges of metric cameras. The company of Zeiss (Jena), however, has in fact extended the range of the UMK series since 1984. Perhaps the most interesting development has been the development of the Rolleiflex 6006 and 3003 partial metric cameras from the Rollei company. The Leitz company have also introduced a partial metric camera based on a Leica R5 35 mm camera. The essential characteristic of these cameras in that standard production cameras are taken and modified for photogrammetric work. The lens, while selected, still has the distortion levels typical of conventional cameras, but the cameras are calibrated in the photogrammetric systems for these distortions.

Again, it is the use of analytical plotting systems driven by computers which makes the introduction of such error corrections so simple. Due to the long life of photogrammetric cameras, many organizations will continue for a good number of years to use makes of cameras that are now out of production. Still, it is anticipated that with the



improvements in lens quality, film types and the accuracy of the photogrammetric equipment, the trend towards smaller negative sizes will continue.

The method of orthophotography is referred to in the main text. While this method has continued to be refined as a photogrammetric tool and there have been a number of papers in the scientific literature describing applications on architecture, it would still seem to be the case that orthophotography has not yet come into production use in the field of architectural photogrammetry. This may be attributed to the relatively few orthophotography machines in existence, their use being almost totally confined to mapping work within either commercial companies or government departments, and the considerable expense still associated with the process.

With regard to the dialogue between the users and providers of photogrammetric surveys, perhaps the most important change we have seen taking place is the appreciation that photogrammetric products are not necessarily an end in themselves, but represent the starting point for use of other disciplines. There is more realization on the part of photogrammetrists of the need to integrate and understand better the requirements of the user.

The adoption of analytical plotters, and to a certain extent the availability of the new cameras referred to above, has led to more possibilities of flexibility in carrying out the fieldwork phase of the photogrammetric survey. While in general it will still be valuable to have the photography aligned in such a manner that it can be studied comfortably in stereo, both for the interpretation by the user and for plotting by the photogrammetrist, the capabilities of the new instrumentation allow for considerably more flexibility in the field. In particular, the use of aerial hydraulic platforms is made much easier, since it is no longer quite so necessary to line up camera positions so exactly. Also, the methods of control, of observing points by theodolite section, do not need to be carried out so rigorously as before, as many organizations now make use of bundle adjustment methods to provide supplementary control for the stereomodels.

The application of photogrammetric techniques for the recording of historic centres is another area where new applications have been seen, but this still remains a field with great potential for development. In particular, the reader is referred to a CIPA/Council of Europe publication, *Applications of the Techniques of Photogrammetry to Old Urban Centres*, wherein much valuable information on this range of techniques will be obtained. A full reference is given in the bibliography.

The use of photogrammetry has become more widespread and better established during the period under review. In most countries where the technique is in use, it appears that the amount of work carried out has in general increased. Architects, archaeologists and conservators seem to have a more widespread understanding of the methodologies. The development of powerful microcomputers, while not changing the underlying principles of the photogrammetric methods, has introduced new technology which in turn brings benefits to the photogrammetrist and the user of the surveys.



## BIBLIOGRAPHY

### General principles and technology of photogrammetry:

Many substantial volumes set out very completely the theory and technology of photogrammetry. These are available in all major languages, e.g. French, German, English, etc. They are, however, in general all very mathematical in character. To expand on the brief technical discussions of Chapters Two and Four we would therefore recommend the following shorter books:

- MARTIN, R. and R. CHALLINE. *La photogrammétrie*. Paris: Eyrolles, 1973.
- SCHWIDEFSKY, K. and F. ACKERMANN. *Photogrammetrie - Grundlagen, Verfahren, Anwendungen*. Stuttgart: B.G. Teubner, 1976.
- SELVINI, A. *Principi di Fotogrammetria*. Milan: CLUP, 1984.
- WOLF, P. *Elements of Photogrammetry*. 2nd ed. Tokyo: McGraw-Hill, 1983.

### Close-range Application of Photogrammetry:

- ATKINSON, K.B. *Developments in Close Range Photogrammetry*. London: Applied Science Publishers, 1980 (with a chapter on architectural photogrammetry by R.W.A. DALLAS).
- KARARA, H.M. *Handbook of Non-topographic Photogrammetry*. Falls Church, U.S.A.: American Society of Photogrammetry, 1979 (with a chapter on architectural photogrammetry by M. CARBONNELL). 2nd ed., 1989.

### General publications on architectural photogrammetry:

- CARBONNELL, M. "Extension des applications de la photogrammétrie à la conservation des monuments et des sites". *Monumentum*, Vol. XIV (1976), pp. 21-50.
- CARBONNELL, M. "Introduction à l'application de la photogrammétrie aux édifices et aux ensembles monumentaux anciens". *Monumentum*, Vol. IV (1969), pp. 3-35.
- CUNDARI, C. *Fotogrammetria Architettonica*. Rome: Kappa, 1983.
- DADDABBO, A. *Il Rilievo Stereofotogrammetrico*. Bari: Levante, 1983.

## **Publications of the International Committee for Architectural Photogrammetry (CIPA):**

- *Applications of the Techniques of Photogrammetry to Old Urban Centres.* (Architectural Heritage, Reports and Studies, No. 10.) Strasbourg: Council of Europe, 1988.
- *Architectural Photogrammetry.* A collection of 48 transparencies with commentary (in French or English). Athens: National Technical University of Greece, Photogrammetric Laboratory, 1976.
- *Optimum Practice in Architectural Photogrammetry Surveys* (in French, English and Spanish), Paris: Unesco, 1981 (available from ICOMOS International Secretariat, Paris).
- *Photogrammetry of Monuments and Sites* (in French, English, German and Spanish). Paris: ICOMOS, 1972.

## **Development of architectural photogrammetry, applications and research:**

The best sources of information are:

a) the reports published from time to time by CIPA between 1968 and 1976, in the *Bulletin de la société française de photogrammétrie*, Nos. 45, 51, 56, 67.

b) the proceedings of the international colloquia and symposia organized or sponsored by ICOMOS and CIPA, as follows:

- Paris, St Mandé, 1968 - *Application of Photogrammetry to Historic Monuments* (papers in French and English). Paris: ICOMOS, 1969.
- Brno, 1971 - *Symposium international sur le mesurage des monuments historiques* (in French). Prague: Institut d'état pour la protection des monuments historiques, 1971.
- Lucca, 1973 - *Fotogrammetria dei Monumenti* (in Italian, French, English and German). Florence: Libreria Editrice Fiorentina, 1976.
- Athens, 1974 - *Photogrammetric Surveys of Monuments and Sites*. J. Badekas, ed. (in English, French and German). Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1975.
- Bonn, 1976 - *Architektur Photogrammetrie* (in German, English and French). Bonn: Landeskonservator Rheinland, 1976-77. Arbeitshefte, Nos. 16, 17, 18.
- Sibenik, 1978 - *Fifth International Symposium for Photogrammetry in Architecture and Conservation of Monuments* (in English, French and German). Belgrade: Union of Geodetic Engineers and Surveyors, 1980.

- Cracow, 1979 - *Papers for the VI ICAP International Symposium on the Contribution of Photogrammetry and Geodesy to Revalorization of Historic Sites* (in English). Cracow: The Stanislaw Staszic University, 1979.
- Vienna, 1981 - *Photogrammetrie in der Architektur und Denkmalpflege* (in German, French and English). Vienna: Bundesdenkmalamt, 1983.
- Siena, 1982 - *Symposium Internazionale sul Contributo della Fotogrammetria alla Documentazione dei Centri Storici e dei Monumenti, Atti* (in English, French and Italian). Florence: Università degli Studi, Dipartimento di Ingegneria Civile, 1989.
- Tunis, 1984 - *Photogrammetric Surveys of Islamic Architecture* (in English and French). Tunis: Maison tunisienne de l'édition, Comité national tunisien de l'ICOMOS, 1988.
- Granada, 1987 - *X Symposium Internacional: Fotogrametría y Representación de la Arquitectura* (in English, French, Italian, and Spanish). Madrid - Granada: Comité Nacional Español del ICOMOS, 1988.
- Sofia, 1988 - (Apports des méthodes modernes de photogrammétrie, télé-détection et traitement d'image au patrimoine architectural et urbain). To be published in 1990.
- Rome, 1989 - (Complémentarité et intégration des différentes techniques de relevé pour la compréhension et la conservation du patrimoine). In preparation.





