FACULTE
D'ARCHITECTURE
DE
L'UNIVERSITE DE ROME

CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDES
POUR LA CONSERVATION
ET LA RESTAURATION
DES BIENS CULTURELS

MAURICE CARBONNELL

QUELQUES ASPECTS DU RELEVE PHOTOGRAMMETRIQUE DES MONUMENTS ET DES CENTRES HISTORIQUES

CENTRE
INTERNATIONAL
POUR LA
CONSERVATION

Dans le même collection:

GIOVANNI MASSARI: L'umidità nei monumenti, 1969.

GIOVANNI MASSARI: Humidity in Monuments, 1971.

PIETRO GAZZOLA: The Past in the Future, 1970.

HANS FORAMITTI: La photogrammétrie au service des conservateurs, 1970.

EDGAR SCHULTZE: Techniques de conservation et de restauration des monuments - Terrains et fondations, 1970.

MARC MAMILLAN: Pathology of Building Materials, 1970.

GUGLIELMO DE ANGELIS D'OSSAT: Guide to the Methodical Study of Monuments and Causes of their Deterioration - Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento.

T. STAMBOLOV - J.R.J. VAN ASPEREN DE BOER: The Deterioration and Conservation of Porous Building Materials in Monuments.

HANS FORAMITTI: Mesures de sécurité et d'urgence pour la protection des biens culturels.

A paraître:

PAOLO MORA: Causes of Deterioration of Mural Paintings.

CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDES POUR LA CONSERVATION
ET LA RESTAURATION DES BIENS CULTURELS
00153 ROME - 13, VIA DI SAN MICHELE

Stampato presso il laboratorio tipo-litografico della
DAPCO s.r.l.
Via Dandolo, 8 - 00153 ROMA

FACULTE
D'ARCHITECTURE
DE
L'UNIVERSITE DE ROME

CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDES
POUR LA CONSERVATION
ET LA RESTAURATION
DES BIENS CULTURELS

MAURICE CARBONNELL

QUELQUES ASPECTS DU RELEVE PHOTOGRAMMETRIQUE DES MONUMENTS ET DES CENTRES HISTORIQUES

Texte bilingue français - anglais

TABLE DES MATIERES / CONTENTS

APPLICATION DE LA PHOTOGRAMMETRIE A L'ETUDE ET A LA CONSERVATION DES CENTRES HISTORIQUES

On sait que, depuis quelque temps, la notion de *centre historique* est venue s'ajouter à celle de *monuments historiques*. Le centre historique peut être constitué, au moins en partie, d'édifices qui, individuellement, sont de qualité médiocre et ne méritent certainement pas d'être classés comme monuments historiques, mais dont l'ensemble forme un « paysage urbain » digne d'intérêt. « On peut appeler centre historique tout groupe de constructions qui, par son homogénéité et son intérêt historique, archéologique, artistique ou pittoresque, présente les caractéristique nécessaires pour justifier sa préservation et sa mise en valeur » (F. Sorlin).

Il s'agit donc d'une ville, d'un village, d'un quartier urbain ancien, d'une forteresse, d'un ensemble monastique, etc. bien délimités, formant un tout cohérent, pour lesquels il est indispensable d'établir des relevés différents de ceux que l'on effectue pour des monuments. En plus de ces derniers, il faut, en effet:

— procéder à l'*analyse globale* du centre et de son environnement, analyse qui doit s'appuyer sur des plans, coupes, élévations, perspectives, etc. documents indispensables à toute étude préalable de *mise en valeur;*

— relever les *ensembles architecturaux* (ensembles des façades, des places et des rues) en vue de leur conservation et de leur restauration, ainsi que les *intérieurs* si l'on projette de réanimer, de « revitaliser » le centre par la modernisation des aménagements internes; autrement dit, procéder à une *analyse détaillée.*

Pour tous ces relevés, l'apport de la photogrammétrie est considérable. Elle permet également, comme nous le verrons dans une troisième partie, d'étudier l'intégration de *constructions nouvelles* parmi les bâtiments anciens, que cette étude se place au niveau de l'analyse globale ou à celui de l'analyse détaillée. Plus généralement, la photogrammétrie peut jouer un rôle important dans les travaux de *protection* des ensembles architecturaux et des centres historiques.

1. - Analyse globale d'un centre historique

a) *Vision aérienne du centre et de son site*

Photographies aériennes verticales. - Ces photographies doivent être *stéréoscopiques* et permettre la vision en relief. La richesse d'in-

---

See English text p. 19.

formation qu'offre l'examen stéréoscopique des photographies aériennes est prodigieuse; une partie très importante de cette information est perdue si l'on se contente d'étudier des photographies isolées, si belles soient-elles. Rappelons que, pour être stéréoscopiques, les photos aériennes doivent être prises à altitude constante, selon un axe de vol sensiblement rectiligne et à une cadence telle que les images obtenues se recouvrent d'environ 60%.

L'échelle de ces photos est un élément important. Des *échelles de l'ordre de 1/10.000 à 1/25.000* seront favorables à l'étude de l'adaptation du centre historique 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.

Des photos à des *échelles comprises entre 1/2.000 et 1/8.000* permettront une étude plus fine et pourront être utilisées directement, par « photo-interpretation » complétée éventuellement par examen au sol, photos en mains, pour l'établissement de documents exprimant la physionomie du centre: forme et structure des toits, nature de leur couverture, périodes de construction, types d'utilisation des édifices, etc. Ces mêmes photos seront aussi fort utiles pour préparer les opérations de relevés des façades.

Par rapport aux plans graphiques — dont la nécessité demeure cependant, comme nous le verrons plus loin — les photographies aériennes présentent l'avantage d'une vision plus complète des moindres détails du centre. Elles en donnent, de plus, une vision en trois dimensions. Sans doute le relief perçu est-il exagéré, « étiré », mais cette exagération permet précisément d'étudier avec une grande finesse toutes les données verticales des constructions formant le centre historique, considérées individuellement et relativement les unes par rapport aux autres.

Attention toutefois aux appréciations concernant les surfaces inclinées: pente des rues, pente des toits, etc. L'étirement vertical du relief perçu, les déformations perspectives des photographies aériennes verticales (d'autant plus importantes que l'on s'éloigne du centre de la photo et que l'angle de champ est grand), la subjectivité de la vision stéréoscopique exigent beaucoup de prudence dans ces appréciations et un grand entraînement pour les formuler.

Signalons enfin l'intérêt de la *photographie en couleur,* particulièrement évident en milieu urbain, où elle accroît encore la finesse d'interprétation par rapport aux photographies en noir et blanc. Les meilleurs résultats sont obtenus, non avec des épreuves sur papier, mais avec des diapositives examinées sous stéréoscope à miroirs, sur une table lumineuse. Il y a là toutefois une sujétion et des conditions de travail qui ne sont pas toujours faciles à respecter.

Exemple de photo-interprétation d'un centre historique. - La figure 1 donne une vue aérienne d'ensemble de la ville d'Auxerre (Bourgogne).

On y voit, entouré d'un boulevard circulaire situé à l'emplacement des anciens remparts du XIIe siècle, le centre historique, autour duquel la ville moderne s'est développée à la fin du XIXe et au XXe siècle. Une analyse approfondie montre le site original, au coeur du centre historique, sur une hauteur dominant l'Yonne (quartier de la cathédrale), près d'un gué permettant le passage de la rivière. Ce noyau central était ceinturé, à l'époque gallo-romaine, d'une enceinte dont on retrouve assez facilement le tracé sur les photographies examinées stéréoscopiquement, par des alignements droits à l'intérieur des îlots bâtis et par des tours dont certaines sont encore visibles. On retrouve aussi sur la photographie la permanence du quadrillage gallo-romain: un axe N N O - S S E, se prolongeant dans la ville moderne par les routes de Paris et de Lyon, marque le « cardo maximus »; l'axe perpendiculaire, le « decumanus », passe par le centre de la cité et vient aboutir au gué sur l'Yonne, à l'emplacement duquel se trouve aujourd'hui la passerelle de la préfecture. De nombreux alignements parallèles aux deux grands axes montrent que le carroyage urbain de la bourgade gallo-romaine, étendue au pied des remparts du noyau central, s'est en partie conservé jusqu'à nos jours. En surimposition, la ville médiévale s'est construite selon un plan sensiblement concentrique autour du noyau dominé par la cathédrale, ce schéma étant toutefois quelque peu perturbé par des artères percées plus récemment.

A plus grande échelle (fig. 2), la photographie aérienne nous conduit à une étude plus fine de la disposition des constructions et de leur structure (nombre d'étages, dimension des maisons, configuration des toits, etc.).

Photographies aériennes obliques - Leur emploi est maintenant habituel et leur intérêt est trop connu pour qu'il soit nécessaire d'insister. Prises à différentes altitudes et sous différents angles, les photographies obliques permettent de saisir soit des ensembles, soit des vues de détail montrant l'articulation des différentes constructions, soit des perspectives caractéristiques. Photographie verticale et photographie oblique se complètent souvent de façon extrêmement intéressante (fig. 3).

b) *Etablissement des plans par photogrammétrie aérienne*

Revenons aux photographies verticales. Prises en couverture stéréoscopique avec des « chambres métriques », elle peuvent être utilisées pour la restitution stéréophotogrammétrique de plans du centre historique. Différents types de documents peuvent être établis.

Levé planimétrique et altimétrique du centre et de son site - Si l'on veut passer de la « vision aérienne » à un « plan » ayant une valeur géométrique et permettant des mesures précises, il faut inévitablement « restituer » les photographies aériennes. Rappelons en effet qu'une photographie est une perspective conique et que toute inclinaison de

l'axe de prise de vue, si légère soit-elle, et surtout tout relief entraînent des déformations. Il suffit pour s'en convaincre d'examiner les images des maisons dans les angles d'une photo aérienne: elles apparaissent toutes « couchées » montrant leur façade, alors qu'au centre du cliché seuls les toits sont visibles (fig. 5). La stéréophotogrammétrie, exploitant chaque « couple » de clichés, permet de transformer ces images perspectives en projection orthogonale sur un plan horizontal, c'est-à-dire d'établir un plan (fig. 4).

Il existe un autre procédé photogrammétrique, dérivé d'ailleurs de la stéréorestitution, qui conduit à un plan non plus graphique, mais photographique: il s'agit de l'*orthophotographie*. La perspective photographique est transformée optiquement ou électroniquement en une autre image photographique corrigée des déformations. Ce procédé très intéressant, qui s'est beaucoup développé depuis quelques années, ne donne cependant des résultats satisfaisants que si la surface du « terrain » n'a pas de discontinuités ni d'angles morts. Tel n'est pas le cas des villes et des centres historiques en particulier, qui présentent le cas le plus défavorable d'application de l'orthophotographie et cela d'autant plus que l'échelle des photos et l'échelle du document à établir sont plus grandes. L'orthophotographie, d'autre part, ne donne aucune indication altimétrique.

Par *stéréorestitution,* on obtiendra un plan très complet et très précis. L'échelle de la prise de vues devra être adaptée à celle du plan: 1/12.500 ou 1/15.000 pour un plan à 1/5.000, 1/7.000 ou 1/8.000 pour un plan au 1/2.000 par exemple. On peut établir un plan général du centre historique, avec son environnement urbain ou rural, mettant en valeur son site si c'est nécessaire: le 1/5.000 paraît une bonne échelle. Pour le centre historique lui-même, il sera généralement bon de restituer un plan à plus grande échelle: 1/2.000, 1/1.000 et parfois 1/500.

Dans tous les cas, le relief devra être exprimé. Pour les parties non bâties, les courbes de niveau donnent une représentation parlante et d'une exploitation facile. Elles n'ont, par contre, pas grande signification et elles sont très difficiles à établir dans les zones construites: on préfèrera alors un réseau de cotes d'altitude le long des artères. Quant à la hauteur des constructions, on peut également la mesurer par stéréorestitution et la porter sur le plan graphique, si toutefois l'échelle de celui-ci le permet. On obtient alors un document dont l'établissement demande beaucoup de temps, mais très complet et pouvant servir à toute étude.

Coupes caractéristiques. Le dessin de ces coupes permet de préciser les « profils » du centre historique: profils d'ensemble intéressants si le centre occupe un site privilégié; profils locaux montrant, par exemple, l'étagement des construction. On peut extraire ces coupes du plan planimétrique et altimétrique par des constructions graphiques longues, délicates et souvent incertaines en ce qui concerne la hauteur des bâtiments. Il est beaucoup plus simple et plus rapide de les établir directement par stéréorestitution (fig. 6). Toutes les variations devien-

nent alors possibles: coupes suivant un mouvement de terrain, ou un itinéraire défini par des rues, ou encore suivant une ligne droite, coupes perpendiculaires à un rempart, à la berge d'un fleuve, etc. Les appareils de restitution modernes permettent de différencier l'échelle altimétrique de l'échelle planimétrique si on le juge utile. La précision d'un tel document peut être très bonne si l'échelle et la qualité des photos aériennes sont favorables; elle est toutefois un peu moindre en milieu bâti qu'en terrain découvert, en raison des ombres portées, des discontinuités du relief des constructions, de l'étroitesse de certaines rues. Avec des photographies au 1/5.000 par exemple, on peut estimer cette précision à quelques décimètres.

c) *Dessin d'élévations d'ensemble par photogrammétrie terrestre ou aérienne*

Si le centre historique a une individualité propre (forteresse ou ville fortifiée, ensemble monastique, « village-piton » etc.), ou s'il occupe un site privilégié à l'intérieur d'une ville, son *aspect d'ensemble extérieur* prend une grande importance: « La beauté d'un paysage urbain comprend tout autant les vues *sur la ville* que celles de ses places, de ses rues et de ses quartiers » (résolution du Symposium sur la régénération des sites historiques urbains, tenu à Prague, sous l'égide de l'ICOMOS, en juin 1966).

Les « vues sur la ville » peuvent être des perspectives photographiques ou graphiques en des points de vue particulièrement choisis. Ces perspectives ont une valeur certaine parce qu'elles expriment la vision que l'homme peut avoir en ces mêmes points de vue. Mais elles ne suffisent pas à représenter le *volume* du centre historique et c'est pourquoi un architecte français, M. de Tourtier, a recherché une méthode permettant d'étendre à l'ensemble du centre la représentation en plan-coupe-élévation traditionnellement adoptée pour les monuments. Cette recherche a abouti à la mise au point, par le Centre de Photogrammétrie Architecturale et Archéologique (CPAA) de l'Institut Géographique National (IGN - France), d'un procédé d'exploitation stéréophotogrammétrique des photographies aériennes conduisant à l'établissement d'élévations de tout le centre, sous forme de véritables géométraux venant compléter les plans et les coupes établis à partir de ces mêmes photographies. Ces géométraux sont des projections horizontales de toutes les constructions sur certains plans verticaux dont les directions ont été choisies en fonction de la configuration du centre.

Remarquons d'abord que, si le centre peut être photographié de l'extérieur, ce qui est parfois le cas des centres ayant une individualité propre, on procèdera avantageusement par photogrammétrie terrestre. Des séries de couples stéréoscopiques à axes plus ou moins horizontaux sont alors pris tout autour du centre (fig. 7). Attention toutefois aux angles morts qui peuvent être créés par les constructions les plus

avancées, en particulier pour les centres entourés de remparts; il sera souvent très difficile d'obtenir ainsi des élévations complètes, avec le dessin de toutes les constructions intérieures qui, en raison de leur hauteur, doivent apparaître sur ces élévations.

La possibilité de procéder par photogrammétrie terrestre est toutefois assez exceptionnelle, tandis que la restitution en élévation des photographies aériennes est toujours possible. Dans l'état actuel de la technique photogrammétrique, cette méthode exige des prises de vues aériennes spéciales dont les axes de vol sont orientés dans la direction des plans de projection choisis. Les commandes de l'appareil de restitution sont modifiées en conséquence (permutation des commandes Y et Z ou X et Z). Les travaux de ce type effectués par le CPAA concernent actuellement (octobre 1971) les villes françaises de Thiers (fig. 8) et de Moulins (fig. 9) ainsi que l'Acropole d'Athènes et son environnement.

Il est évident que cette méthode donne des résultats d'autant plus expressifs que le site du centre historique est accidenté. Mais, même dans le cas de centres présentant un faible relief, l'expérience a prouvé que le géométral obtenu est d'un grand intérêt et donne une image parlante, en même temps que géométriquement exacte, de l'étagement des différents édifices et de la répartition des masses des constructions (fig. 9).

Ces travaux ne constituent toutefois qu'une première étape vers le tracé automatique d'élévations d'ensemble d'un centre historique à partir d'une « banque de données » comportant toutes les coordonnées tridimensionnelles de tous les points caractéristiques des constructions.

d) *Etude tridimensionnelle d'un centre historique*

La banque de données relative à un centre historique peut être établie par *restitution photogrammétrique numérique,* c'est-à-dire à l'aide d'un appareil de restitution équipé d'un enregistreur de coordonnées: les coordonnées enregistrées sont exprimées dans le système d'axes de l'appareil et transformées ensuite par le calcul en « coordonnées-terrain ». Lorsqu'il s'agit d'une banque devant réunir les données relatives à toutes les constructions et nécessaires pour représenter le « volume » de chacune d'elles de façon suffisamment détaillée (point d'angle sur les toits et au sol), la photogrammétrie présente sur toute autre méthode l'avantage de l'homogénéité, de la vision globale grâce à l'examen stéréoscopique et de la précision.

Avec les données numériques ainsi recueillies, on peut effectuer toutes sortes de calculs. Mais surtout, grâce à l'informatique, on peut théoriquement exprimer graphiquement les résultats de ces calculs à l'aide de *tables traçantes* et établir automatiquement des tracés en plan, coupe, élévation ou perspective, les perspectives étant relatives à des points de vue aussi nombreux que l'on veut. Des méthodes de ce type sont maintenant d'un emploi courant en génie civil, notamment

pour les projets d'autoroutes. Leur application est cependant beaucoup plus difficile en milieu bâti en raison des discontinuités de ce milieu, des problèmes très ardus de codage, de sélection, d'élimination automatique des parties cachées et plus encore en raison du très grand nombre de données à traiter. Aussi actuellement ces méthodes n'ont-elles encore été employées que pour des secteurs limités, réduits à leurs grandes masses (fig. 10) et non pour des centres historiques complexes considérés dans leur ensemble. Mais il est certain qu'elles progresseront à l'avenir.

Une possibilité d'étude tridimensionnelle par stéréophotogrammétrie est offerte par les *restituteurs analytiques* (Analytical Plotter AP/C de l'Ottico Meccanica Italiana-Bendix), dans lesquels se trouvent regroupés les trois éléments qui permettent d'automatiser les tracés: un restituteur, un ordinateur et une table traçante. Avec un tel appareil, l'opérateur « suit » les lignes caractéristiques qui définissent le volume construit et la table traçante, commandée par l'ordinateur, en dessine le plan, ou l'élévation, ou une perspective. De tels travaux ont été réalisés à l'Université de l'Etat de Washington (USA) sous la direction du Professeur David L. Bonsteel, pour des édifices relativement simples considérés individuellement (fig. 11). A priori, ils peuvent être étendus à des ensembles monumentaux et à des centres historiques.

Enfin les méthodes de la photogrammétrie numérique peuvent permettre de mieux visualiser encore l'ensemble ou le centre par la construction de *stéréogrammes analytiques* formés de deux perspectives relatives à deux points de vue assez voisins et qui, examinées sous un stéréoscope, donnent une image en relief analogue à celle que l'on peut avoir en observant une maquette.

2. - Analyse détaillée d'un centre historique

Trois types de relevés sont nécessaires en vue de cette analyse détaillée:

— des relevés très complets des principaux monuments,
— des relevés moins poussés des ensembles architecturaux,
— des relevés de certains intérieurs.

a) *Relevés des principaux monuments*

C'est un cas d'application caractéristique de la stéréophotogrammétrie. Sur les principes de base, les équipements, l'organisation des travaux, l'adaptation aux différents types de monuments, tenant compte en particulier des dimensions de ces monuments, on voudra bien se reporter aux autres exposés faits par H. Foramitti (« La photogrammétrie au service des conservateurs ») et par moi-même (« Notes sur la formation d'un service de photogrammétrie architecturale »).

b) *Relevés des ensembles architecturaux*

Il s'agit principalement des *développements de façades* des places et des rues (fig. 12).

Les méthodes préconisées par le Dr. Foramitti sont ici d'un très grand intérêt parce que, dans les centres historiques, les rues sont très souvent étroites et il est indispensable d'incliner fortement les axes de prise de vues. Mais l'exploitation de ces photographies très obliques, prises de préférence avec des chambres de petit format, ne serait-ce que pour avoir la profondeur de champ nécessaire, ne peut se faire de façon pratique et avec un rendement suffisant que si l'on systématise les conditions de prise de vues, c'est-à-dire si l'on réalise le « cas normal » et si l'on donne aux axes des inclinaisons standardisées (par exemple 30 grades, plus exceptionnellement 60 grades).

Pour l'exploitation des photographies, on peut procéder par stéréophotogrammétrie (fig. 13) ou, si le sujet ou certaines parties du sujet sont suffisamment plans, par redressement photographique, le document ainsi obtenu pouvant ensuite être calqué. Dans le cas où il est possible d'opérer uniquement par redressement, il n'est théoriquement pas nécessaire de prendre des photographies stéréoscopiques. Mais il est toujours préférable de le faire. Insistons avec André J. Donzet sur la possibilité et l'intérêt d'une exploitation progressive des archives photogrammétriques établies, dès le début, par couples stéroscopiques pour la totalité du secteur considéré: simple interprétation, assemblages de photographies redressées, restitutions graphiques totales ou partielles.

Pour les développements de façades, surtout pour une première étude, ou pour des séries d'édifices présentant un moindre intérêt — cas fréquent sur de nombreuses rues dans les secteurs sauvegardés — les *relevés photographiques,* obtenus par assemblage de photographies redressées, présentent un intérêt considérable par la rapidité avec laquelle ils sont établis et par leur faible prix de revient (fig. 14). Ces documents sont sans doute relativement imparfaits, principalement parce que les déformations perspectives des éléments saillants ou en retrait par rapport au plan moyen des façades ne sont pas corrigées, mais ils donnent avec une précision largement suffisante une image très expressive des édifices relevés et un véritable constat de l'état de ces édifices au moment de la prise de vues.

Pour ces relevés des ensembles architecturaux, la troisième dimension, c'est-à-dire la profondeur, sera exprimée par des coupes faites aux endroits caractéristiques. Il peut cependant être intéressant d'étudier le volume de ces ensembles, non plus en traitant chaque alignement de façdes le long d'une même rue ou d'un même côté d'une place, mais en considérant, par exemple, un flot ou un groupe des façades sur deux ou trois côtés d'une place ou encore un ou plusieurs monuments voisins et leur environnement immédiat. Pour exprimer ces volumes, il sera préférable de réduire chaque construction à ses lignes architecturales

essentielles et de les représenter sur de multiples documents: plans, élévations, mais aussi vues axonométriques et perspectives. Les méthodes de la photogrammétrie analytique et de l'informatique sont ici d'un intérêt primordial.

Ce sont là des vues d'un très proche avenir. Comme pour l'analyse globale d'un centre historique, ces méthodes nouvelles permettront, au niveau de l'analyse détaillée, d'étudier l'intégration d'un édifice nouveau.

c) *Relevés des intérieurs*

Le relevé des cours et des intérieurs des bâtiments est indispensable si l'on veut revitaliser un quartier en aménageant les intérieurs tout en restaurant les façades.

Les relevés en plans, coupes, élévations, les relevés de plafonds et de voûtes seront souvent traités avantageusement par photogrammétrie. Il faut toutefois savoir doser la part à faire aux techniques photogrammétriques d'une part, aux méthodes topométriques et aux méthodes de mesures directes d'autre part: certains relevés très simples et, très souvent, les relevés en plans peuvent être plus facilement établis par ces dernières méthodes. L'idéal est souvent ici une combinaison des différents procédés dont on dispose.

3. - Protection des centres historiques

La protection d'un centre historique concerne le centre lui-même (constructions nouvelles, transformation des édifices anciens) et son environnement.

a) *Modification du centre historique*

Pour les modifications de détail, les relevés photogrammétriques sous forme de développements de façades sont indispensables: ils permettent d'étudier rapidement les transformations projetées de certains bâtiments, l'intégration de locaux commerciaux, etc. Si les restitutions ne sont pas faites, l'exploitation des archives photogrammétriques des ensembles monumentaux trouve ici une application particulièrement intéressante: sans aucune nouvelle mesure sur place, elles donnent au conservateur la possibilité d'effectuer les tracés ou les relevés numériques indispensables.

Pour les modifications plus importantes, par exemple la transformation d'un îlot, la construction d'immeubles nouveaux, une étude plus globale s'impose: les méthodes exposées dans la première partie en fournissent les moyens. Les relevés photogrammétriques en plans, coupes, élévations vont permettre de « placer » les éléments nouveaux projetés dans l'ensemble ancien avant toute réalisation et d'analyser leur « intégration » dans le paysage. Les procédés d'étude tridimentionnelle élar-

gissent encore cette possibilité: les éléments nouveaux peuvent être exprimés par les coordonnées de leurs points caractéristiques et tracés par conséquent en surimposition sur les perspectives du centre historique à l'aide des tables traçantes ou des restituteurs analytiques. On peut également les faire apparaître sur des photographies du centre prises de différents points de vue, par une opération photogrammétrique inverse de la restitution.

Cette dernière opération est — dans son idée — analogue aux « photomontages » que l'on effectue parfois dans le même but. Mais l'exactitude de ces montages est souvent médiocre parce qu'ils sont réalisés sans respect suffisamment précis des règles géométriques de la perspective et en particulier à l'aide de photographies prises avec des chambres non métriques. Si l'on dispose d'un appareil de restitution adapté aux relevés topographiques par photogrammétrie terrestre (du type autographe von Orel) il est possible de tracer directement sur une photographie métrique prise d'un certain point de vue la perspective du bâtiment projeté. Mais ces appareils sont très rares aujourd'hui et la meilleure solution est offerte par la photogrammétrie analytique. Connaissant les coordonnées XYZ du point de vue, celles des points caractéristiques de la construction étudiée, la direction de l'axe optique et la distance principale de la chambre, on peut aisément calculer les coordonnées-cliché des points caractéristiques et les reporter sur un contre-type de la photographie: le bâtiment projeté se trouve ainsi dessiné sur une perspective photographique du centre historique prise du point de vue considéré tel qu'il apparaîtra s'il est réalisé (fig. 15). Si les constructions envisagées sont importantes on peut même avoir recours à une table traçante.

b) *L'environnement*

On en connaît l'importance, surtout s'il s'agit de protéger le centre contre une transformation trop discordante du « paysage » urbain ou rural dans lequel il est inséré. Cette étude conduit à déterminer, par exemple s'il s'agit d'un cadre naturel, les limites entre les « parties vues » et les « parties cachées » du terrain depuis certains points de vue du centre et à en établir une carte; ou encore à tracer, également sur un fond cartographique ou sur un assemblage de photographies aériennes, des courbes limitant des zones « d'égale hauteur de construction admissible » afin qu'aucun édifice nouveau n'apparaisse dans le paysage observé depuis les points de vue considérés sans que la construction en ait été étudiée et autorisée.

S'il existe une bonne carte topographique de la région, ces travaux peuvent être effectués à l'aide de nombreuses coupes construites graphiquement: cette méthode est longue et difficile d'application lorsque le site est accidenté et lorsque les points de vue sont nombreux. L'établissement de coupes par stéréorestitution photogrammétrique de photographies aériennes est une méthode déjà plus élaborée. Mais l'informa-

tique offre aujourd'hui un procédé beaucoup plus général et précis en traitant par le calcul un *modèle numérique du terrain*. Ce dernier est alors exprimé par un très grand nombre de points définis par leurs trois coordonnées et obtenus par restitution numérique. Les courbes mentionnées ci-dessus sont alors établies à l'aide d'une table traçante automatique. L'IGN a effectué, par exemple, des travaux de ce type pour la protection du site de Vézelay et, plus récemment pour celle du « paysage » entourant Colombey-les-deux-Eglises.

Si l'environnement est urbain, c'est-à-dire si le centre historique est inclus dans une ville plus récente qui s'est développée au cours des siècles, le problème est beaucoup plus complexe parce que le milieu urbain, en raison de ses discontinuités, est — comme nous l'avons déjà dit — beaucoup plus difficile à traiter par l'informatique. La complexité est encore plus grande si — comme c'est le cas des grandes villes (Paris, Rome, etc.) — plusieurs « centres historiques » doivent être protégés au sein d'un complexe urbain qui s'est développé autour d'eux. A notre connaissance, aucune étude globale de ce type n'a encore été effectuée par la photogrammétrie et l'informatique. L'effort a porté dans un premier temps, sur la protection des perspectives majeures.

c) *Protection des perspectives dans les centres historiques*

Premier exemple - Perspective de l'Hôtel des Invalides. - Cette étude a revêtu deux aspects. M. Jean-Pierre Paquet, Architecte en Chef des Monuments Historiques, a d'abord défini, dans toute une partie de Paris et de sa banlieue Sud-Ouest, les hauteurs de construction admissibles afin qu'aucun bâtiment nouveau n'apparaisse au-dessus des toits des Invalides ou sur leurs abords immédiats lorsqu'on les observe en tout point de l'axe Champs-Elysées, pont Alexandre III, esplanade des Invalides. Ce travail a été effectué par des constructions graphiques, sans appel à la photogrammétrie et au calcul automatique: ce n'était possible que parce que le problème était relativement simple et limité à un édifice et à une zone de parcours restreinte.

Mais deux bâtiments nouveaux en forme de « tours » sont déjà projétés et même, pour l'un d'eux, en construction (Tour Maine-Montparnasse, 200 m.). Afin d'en montrer les effets désastreux sur l'admirable perspective des Invalides, M. Paquet a demandé au CPAA de l'IGN d'établir, en une trentaine de points de vue situés dans la zone de parcours définie ci-dessus, le report, sur des photographies prises en ces points de vue, de la silhouette des deux édifices tels qu'ils apparaîtront après leur construction. Le CPAA a exécuté ce travail par « photogrammétrie analytique inverse » (fig. 16).

Deuxième exemple - Protection des perspectives des berges de la Seine dans le centre de Paris. Cette étude, en cours de réalisation par le CPAA de l'IGN à la demande du Ministère des Affaires Culturelles, a pour objet de définir, en tout point de Paris, l'altitude de

construction maximale afin qu'aucun bâtiment nouveau n'apparaisse au-dessus des édifices qui bordent acuellement les quais de la Seine pour un promeneur se déplaçant sur les quais (de la Concorde à Bercy), sur les ponts et sur certains espaces privilégiés situés au voisinage des quais (terrasse des Tuileries, parvis de Notre-Dame, etc.).

Les principes généraux retenus pour l'étude sont les suivants (fig. 17):

1) Toutes les constructions bordant les quais de la Seine constituent, selon la terminologie de M. J.-P. Paquet, un *masque*. Leurs parties les plus élevées forment la *crête du masque*. Par souci de simplification ces constructions sont divisées en sections relativement homogènes, formant chacune un masque dont la crête est une *ligne horizontale*. Le choix de cette ligne horizontale est fait très soigneusement dans le sens de la contrainte maximale, sans tenir compte toutefois de hiatus trop petits ou momentanés. La végétation n'est pas prise en considération. Chaque masque est donc défini par les coordonnées X Y de ses extrémités A et B et par l'*altitude* Z de sa crête.

2) Dans les surfaces de parcours à protéger (zones de covisibilité de M. Paquet) sont définies des *lignes de vues*, lignes le long desquelles le « paysage » observé ne varie guère et comporte les mêmes masques. Bien entendu, ces lignes forment une suite continue de segments; des points de vue isolés peuvent éventuellement être ajoutés si cela est nécessaire.

Ces lignes sont choisies de façon telle qu'elles imposent les contraintes maximales, c'est-à-dire qu'elles soient les plus éloignées des masques; par exemple, sur le schéma, ces lignes sont situées au pied des immeubles des quais. Par simplification, ce sont des segments de droite, horizontaux ou non, définis par les coordonnées X Y Z de leurs extrémités.

3) A chaque ligne de vues est associé un certain nombre de masques, tous ceux qui sont situés dans le *champ de vision* à protéger. Le nombre de ces masques peut être très variable selon l'étendue et l'ouverture de ce champ de vision. Il est fait abstraction des arbres pouvant exister entre les lignes de vues et les masques.

La ligne de vues définit avec chacun des masques concernés une *surface limitative* qu'aucune construction nouvelle ne devrait dépasser. Cette surface est limitée par les deux plans verticaux passant par les extrémités de la ligne de vues et par les extrémités opposées de la crête du masque.

4) La surface de Paris est divisée en carrés de 100 mètres de côtés par un carroyage orthogonal. Chaque verticale élévée au centre de chacun de ces carrés coupe toutes les surfaces limitatives passant au-dessus du carré en autant de points dont les altitudes peuvent être calculées. La plus faible d'entre elles est retenue comme *altitude maximale de construction* pour le carré considéré.

L'étude conduit donc à la définition d'environ dix mille altitudes maximales régulièrement réparties sur toute la surface de Paris. Ces altitudes sont reportées sur un support transparent reproductible pouvant être superposé à un plan au 1/10.000 de la ville.

Pour la réalisation de cette étude, la photogrammétrie intervient dans la définition des crêtes de masque. Une prise de vues aériennes à l'échelle de 1/6.000 a été exécutée sur l'axe de la Seine. Elle permet une restitution stéréophotogrammétrique, en élévation, des silhouettes des immeubles bordant les quais (y compris les îles), restitution très fine ayant une précision altimétrique de 15 à 20 cm et fournissant pour les 14 kilomètres de quais concernés une représentation graphique très détaillée à l'échelle de 1/1.000.

Le choix des crêtes de masque est ensuite fait sur place, ainsi que la définition des lignes de vues et des champs de vision propres à chaque ligne de vue; les coordonnées X Y Z des extrémités des lignes de masque et des lignes de vue sont alors relevées sur les restitutions. Le reste est affaire d'informatique et de calcul sur ordinateur.

Octobre 1971

MAURICE CARBONNELL
Chef du Service de Protogrammétrie
et du Centre de Photogrammétrie
Architecturale et Archéologique
Institut Géographique National (France)

PHOTOGRAMMETRY APPLIED TO THE STUDY AND CONSERVATION OF HISTORIC CENTRES

The notion of *historic centre* has recently been added to that of *historic monuments.* A historic centre may consist, at least partially, of buildings that taken individually are of a mediocre quality and would never be defined as historic monuments, but considered together, form an interesting townscape. "A historic centre is a group of buildings that, for its homogeneity and its historical, archaeological, artistic or picturesque interest, meets all the requirements justifying its preservation and improvement » (F. Sorlin).

It can be a town, a village, an ancient urban quarter, a fortress, a monastery, etc., well defined and forming a coherent unity, for which it is indispensable to make a different sort of survey than that for an individual monument. It is necessary to:

— make the *overall analysis* of the centre and its environment, based on plans, sections, elevations, perspectives, etc.: these documents are required for any preliminary study of rehabilitation;

— make the survey of *architectural "ensembles"* (façades, squares and streets) in view of their conservation and restoration, as well as *interiors,* if the centre has to be rehabilitated through the improvement of internal spaces; in other words, a detailed *analysis* should be undertaken.

For all these surveys, photogrammetry is a considerable help. As we shall see in the third part of these notes, it allows studies for the integration of new buildings with old ones: these studies can be placed at the same level as the overall analysis or the detailed analysis. In general, photogrammetry plays an important role in the *protection* of architectural "ensembles" and historic centres.

1. - Overall analysis of a historic centre

a) *Aerial view of a centre and its site*

Vertical aerial photos: they should be *stereoscopic* and allow three-dimensional sight. An enormous amount of information is given by stereoscopic examination of aerial photos: but a good deal of this information is lost if only isolated pictures are studied. Let us remind you that, in order to have stereoscopic aerial pictures, they should be taken from a constant height, according to a straight axis, and in a sequence giving a 60% image overlap.

The scale of photographs is an extremely important element. *Scales between 1/10,000 and 1/25,000* favour the studies for the adaptation of a historic centre to a site, for ancient structures appearing from under more recent ones, for the historic evolution, and for the integration of the centre with new peripheral neighbourhoods.

Photos between 1/2,000 and 1/8,000 allow a more detailed study and can be used directly by photographic interpretation, completed, if necessary, by the direct examination of the site compared with photos, so as to obtain documents expressing the physiognomy of the centre: the shape and structure of roofs, the nature of their material, the date of construction, the type and function of buildings, etc. The same photos will be extremely helpful in the subsequent survey of façades.

Compared with graphic plans — nevertheless indispensable, as we shall see — aerial photographs allow a more complete and three-dimensional view of principal details. Of course the relief is to some degree exaggerated, but this helps in examining, with precision, all the vertical data of the buildings forming the historic centre, considered individually and in relation to one another.

However, attention should be drawn to evaluations concerning inclined surfaces: road slope, roof slope, etc. The vertical exaggeration of the relief, the perspective deformation of vertical aerial photos (more noticible the further it is from the centre and if the field angle is wide) and the subjectivity of stereoscopical images require care and experience in making correct evaluations.

Let us now point out the importance of *colour photographs,* particularly in urban areas they improve the interpretation further by making it more detailed than black and white pictures. The best results are not obtained with prints on paper, but with slides examined under a mirror stereoscope on a lighted table. However, ideal working conditions cannot always be easily arranged.

Example of photo-interpretation of a historic centre

Picture 1 shows an aerial view of the town of Auxerre (Bourgogne). Surrounded by a circular avenue which follows the traces of the old 12th century town walls,. the historic centre can be seen, around which the modern town developed in the 19th and 20th centuries. A detailed analysis shows the site of the very first settlement in the heart of the present historic centre, on a hill rising above the Yonne (the area around the Cathedral) near a ford allowing the crossing of the river. In Gallo-Roman times, this settlement was surrounded by walls, of which, we can easily see the traces, on pictures examined stereoscopically, formed by straight alignments at the interior of blocks, and by various towers, some of which are still visible. It is also possible to see the permanency of the Gallo-Roman town plan: a North-North West - South-South East axis, continuing in the roads to Paris and Lyon, forms the "cardo maximus"; the perpendicular axis, "decumanus,"

crosses the city centre and opens into the Yonne ford, just where the Prefecture footbridge is. A number of alignments parallel to the two main axes demonstrate that the urban road network of the Gallo-Roman village, lying at the foot of the walls that surround the centre, has been partly preserved. Moreover, the mediaeval town grew concentrically all around the Cathedral nucleus: but this pattern has been slightly modified by recently constructed arteries.

At a higher scale (fig. 2) aerial photographs allow a more thorough study of the position of buildings and their structure (number of floors, size of houses, roof shape, etc.).

Oblique aerial photographs

We are not going to elaborate on their use and interest, as they are very well known. Taken from different heights and under different angles, oblique photographs may represent general views and details, showing the articulation of the various phases of construction and characteristic perspectives.

Vertical and oblique photographs complete each other in an extremely interesting way (fig. 3).

b) *Establishing plans by aerial photogrammetry*

Speaking again about vertical photographs, taken stereoscopically with "metric cameras," they can be used in the stereophotogrammetric plotting of plans concerning historic centres, in a variety of different ways.

Planimetric and altimetric plans of the centre and its site

If we wish to pass from the "aerial view" to a "plan," having a geometric value and allowing exact measurements, we must necessarily "plot" the aerial photographs. Let us remind you that a photo is a conical perspective, and the slightest inclination of the axis or the slightest topographic variation causes some deformation. As an example, look at the image of a house at the corners of an aerial photograph: it seems to be "stretched out" showing the façade, while only the roofs are visible at the centre of the picture (fig. 5). Exploiting each "stereopair," stereophotogrammetry allows the transformation of perspective images into orthogonal projections on a horizontal plane, that is, it establishes a plan (fig. 4).

Orthophotography is another photogrammetric procedure, derived from stereoplotting, that allows not a graphic plan, but a photographic plan. The photographic perspective is optically or electronically transformed into another photographic image, on which deformations have been corrected. This interesting procedure, that has rapidly developed in the last few years, gives satisfactory results only if the surface or the "ground" is continuous and without blind angles. Towns or historic centres, however, show less favourable conditions for ortho-

photography, especially when documents and photos are large scale. Also, orthophotograph does not provide any altimetric indications.

By *stereoplotting* a complete and precise plan will be obtained. The scale of the photographic survey should be adapted to that of the plan, e.g. 1/12,500 or 1/15,000, for a plan at 1/5,000, 1/7,000 or 1/8,000 for a plan at 1/2,000. It is possible to establish a general plan of the historic centre, with its urban or rural environment, giving evidence of its setting if necessary: 1/5,000 seems to be a good scale. For that which concerns the historic centre itself, it would be a good thing to plot the plan at a larger scale, e.g. 1/2,000, 1/1,000, and sometimes 1/500.

In all cases, the topographical relief must be expressed. In case of open spaces the representation supplied by the contour lines is very clear and can be easily exploited: while they are less important and they are difficult to define in case of built-up areas: we prefer to indicate series of height levels along the main arteries. As to the height of buildings, this can be measured by stereoplotting and indicated on the graphic plan (scale permitting). We thus obtain a complete and useful document, although the drawing of it requires considerable time and attention.

Characteristic sections

The drawing of carefully selected sections allows us to better define the silhouette, or form of a historic centre: especially if the centre is in an unusual site. Local sections are useful for showing, for example, the heights and relationship of buildings. These sections may be drawn from the planimetric and altimetric plan; however the method is long, delicate and often gives uncertain graphic results of monuments. Their direct drawing by stereoplotting is much simpler (fig. 6). Many types of sections are possible: sections following the line of the ground, or a path defined by a road or a straight line, sections perpendicular to the walls, to a river, etc. Modern plotting instruments allow us to differentiate the altimetric scale from the planimetric scale. The precision of such a document can be satisfactory if the scale and the quality of aerial photographs are favourable. But it is less exact in a built-up area, than in the open country, owing to shadows, discontinuity of building heights and narrowness of certain streets. With photos at 1/5,000, for example, we can work to a tolerance of a few decimeters.

c) *Drawing elevations of an entire centre, or groups of related buildings by ground or aerial photogrammetry*

If the historic centre has a particular characteristic such as a fortress or a fortified town, a monastery, or a small rural hamlet, etc., or it stands on an unusual site in the middle of a town, then its

general exterior appearance takes on an especially great importance: "the beauty of a townscape includes both the views of the town as a whole as well as those of its squares, streets and neighbourhoods" (resolution of the Symposium on the regeneration of urban historical sites, held in Prague, in June 1966, under the aegis of ICOMOS).

The "views of the town as a whole" can be photographic or graphic perspectives taken from some selected points. These perspectives have a real value because they express man's vision from the same points of view. But as they cannot represent the *volume* of the historic centre, a French architect, Mr. de Tourtier, studied a method allowing one to extend to the whole centre the plan-section-elevation description, traditionally adopted for monuments. This research led the Centre de Photogrammétrie Architecturale (CPAA) of the Institut Géographique National (IGN-France) to the development of a stereophotogrammetric method using aerial photos to provide the elevations of the whole centre, in the form of geometrical drawings that complete the plan and sections established by the photographs themselves. These drawings are horizontal projections of all the buildings and structures on vertical planes, the directions of which are chosen on the basis of the centre conformation.

First of all, let us point out, that if the entire centre can be photographed as a unit from the exterior (this is often the case of centres within walls, moats, etc.) the best thing is to proceed by land photogrammetry. Series of stereopairs with more or less horizontal axes are then taken all around the centre (fig. 7). Attention should be drawn to dead angles, often created by prominent buildings, particularly in centres encircled by walls; it is often a very hard job to obtain complete elevations, with the reproduction of all the internal structures, which, because of their height, must be represented on them.

The use of land photogrammetry is in most cases rather exceptional, while the plotting of elevations by aerial photos is nearly always possible. In the present state of photogrammetric technique, this method requires special aerial shots, with flight axes oriented towards the direction of chosen projection planes. The controls of the plotting instrument are modified (transposition of controls Y and Z or X and Z). Works of this type, undertaken by CPAA presently concern (October 1971) the French towns of Thiers (fig. 8) and Moulins (fig. 9), as well as the Athens Acropolis and its environment.

Obviously, this method gives very expressive results, especially when the historic centre site is irregular. But, even in the case of centres with low relief, the geometrical design obtained is extremely interesting and gives an exact and clear image of building patterns and the distribution of their masses (fig. 9).

The work is only the first step towards the automatic drawing of "ensemble" elevations of a historic centre, by means of a "data bank," supplying all the three-dimensional coordinates of any characteristic point of construction.

d) *Three dimensional study of a historic centre*

The bank of data relative to a historic centre can be established by *numerical photogrammetric plotting,* that is by means of a plotting instrument equipped with a recorder of coordinates: the coordinates are expressed in the axis system of the device and transformed by calculation into land coordinates. In the case of a bank, collecting data relative to all constructions and necessary to represent the "volume" of each of them in details (angle point on the roofs and the ground), photogrammetry has, more than other methods, the advantage of homogeneity, of the overall view through stereo examination and of accuracy. With such numerical data any calculation can be made. Moreover, it is possible in theory to express graphically the results of calculations, by means of "*tracing tables*" thus obtaining plans, sections, elevations or perspectives (perspectives relative to as many points of view as we want). Methods of this kind are now frequently applied in civil engineering, e.g. in the construction of highways. Their application is much more difficult in built-up areas, owing to complex changes of ground level, problems of coding, selection and automatic elimination of hidden parts, and also because of the enormous amount of data to be treated. Up to now these methods have only been applied to limited sectors, and used in general (fig. 10), and not for complicated historic centres considered as "ensembles." However, they will certainly be improved in the future.

A possibility of three dimensional study by stereophotogrammetry is offered by the *analytical plotters* (analytical plotter AP/C of Ottico Meccanica Italiana-Bendix), grouping the three elements that allow the automation of tracings: a plotter, a calculator and a tracing table. With this instrument, the operator "follows" the characteristic lines defining the volume, while the tracing table, controlled by the calculator, draws the plan, the elevation or a perspective. Works of this type were carried out at the State University of Washington (USA) under the guidance of Professor David L. Bonsteel, for relatively simple buildings considered individually (fig. 11). *A priori* they can be extended to monumental "ensembles" and historic centres.

Lastly, the methods of numerical photogrammetry allow a better identification of the "ensemble" or the centre by the creation of *analytical photograms,* consisting of two perspectives relative to two points of view, near to each other that, examined under a stereoscope, give a relief image similar to that we have when observing a model.

2. - Detailed analysis of a historic centre

Three kinds of surveys form the necessary basis for this detailed analysis:

— a complete survey of the principal monuments;
— a more general survey of architectural "ensembles";
— some surveys of selected interiors.

a) *Surveys of monuments*

This type of application is typical for stereophotogrammetry. For a guide to basic principles, equipment, work organization, adaptation to different types of monuments — with special consideration to their size — please consult texts by H. Foramitti (La photogrammétrie au service des conservateurs) and myself (Notes sur la formation d'un service de photogrammétrie architecturale).

b) *Surveys of monumental "ensembles"*

They consist mainly of the development of façades of squares and streets (fig. 12). The methods advised by Dr. Foramitti are extremely helpful if applied to historic centres, as streets are often very narrow and it is indispensable to incline the camera axes. But the use of oblique photos, taken preferably with small cameras, can only be satisfactory under carefully controlled shooting conditions, that is by establishing the "normal case", and by giving the axes a standard inclination (e.g. 30 degrees, or in certain cases, 70 degrees).

As to the exploitation of photographs, stereophotogrammetry can be used (fig. 13), or, if the subject or some parts of it are flat enough, it is possible to rectify the photographs. The document thus obtained can then be copied. When it is possible to proceed directly through rectification, stereoscopic photographs are unnecessary, although we always suggest taking them anyhow. Let us emphasize, in agreement with Mr. André J. Donzet, the possibilities and the usefulness of having an on-going photogrammetric archive, established at the beginning of a project by stereopairs of the whole sector concerned; this archive might also include simple interpretation studies, collections of rectified photos, and total or partial graphic plottings.

For the development of façades — especially in a first study — or for series of buildings of minor interest (this case is very frequent in many streets of protected areas), *photographic surveys*, obtained by assembling rectified photos, are of major interest because of the rapidity of the method and the low cost (fig. 14). These documents are undoubtedly imperfect, mainly because the perspective deformations of prominent or incised elements in relation to the plane of the façade have not been corrected. However, they reproduce with sufficient exactness an expressive image of surveyed buildings and of their conditions.

In these surveys of architectural "ensembles," the third dimension, that is depth, is expressed by sections taken at some characteristic points. It might be interesting to study the volumes, no longer by treating each façade alignment along one street or one side of a square, but considering for example a block or a group of façades along two or three sides of a square, or perhaps one or more monuments together and their immediate environment. To express these volumes, it is advisable to limit each building to its essential lines and represent them on multiple documents: plans, elevations, and axionometric and

perspective views. Careful application of the methods of analytical photogrammetry is essential.

As for the overall study of an entire historic centre, in the very near future these new methods will allow the study of the integration of a new building at a high level of detailed analysis.

c) *Surveys of interiors*

The survey of courtyards and interiors of buildings is indispensable if the revitalization of an area consists in the restoration of façades and the improvement of interiors. Plans, sections and elevations, and surveys of ceilings and vaults, are often advantageously accomplished by photogrammetry: it is important, however, to distinguish what has to do with photogrammetric techniques, and what with topometric or direct measuring: some very simple surveys are better established by the latter. Sometimes the ideal solution is the combination of all methods at our disposal.

3. - Protection of historic centres

The protection of a historic centre concerns the centre itself (new buildings, transformation of ancient buildings) and its environment.

a) *Alterations to the historic centre*

Photogrammetric surveys, in the form of studies of façade development, are indispensable in the planning of alterations: they allow the rapid study of changes planned for certain buildings, the introduction of commercial activities, etc. If the plotting has not yet been made, the exploitation of photogrammetric archives of monumental "ensembles" has an interesting application: without any new measurement on the spot, they offer the opportunity of making the necessary tracings of numerical surveys.

For radical changes, for example the transformation of a block, or the construction of a new building, a wider study is required: the means for this are provided by the methods illustrated in the first part of this text. Photogrammetric surveys, plans, sections and elevations, allow us to "place" the proposed new elements graphically in the historic centre, before any irrevocable decisions have been made, and to analyse their "integration" in and impact on the environment.

The three-dimensional methods offer another possibility: the new elements can be expressed by the coordinates of their characteristic points and consequently marked on the historic centre perspectives by means of tracing tables or analytical plotters. With a photogrammetric operation, inverse to the plotting, they can also appear on photographs of the centre taken from different points of view.

In theory, this operation is similar to photomontages and sometimes it has the same purpose. But the exactness of photomontages is often mediocre because they are made without full respect for the geometrical rules of perspective, and especially because the photos are taken with non-metric cameras. With a plotting instrument adapted to topographic surveys through land photogrammetry (type autograph von Orel) it is possible to draw the perspective of the planned building directly upon a metric photo taken from a certain point of view. But these instruments are very rarely available, and the best solution is provided by analytical photogrammetry. Knowing the X Y Z coordinates of the point of view, those of the characteristic points of the proposed building, the direction of the optical axis and the principal distance of the camera, we can easily calculate the cliché-coordinates of characteristic points, and reproduce them on a duplicate photo: the proposed building will appear on a photographic perspective of the historic centre taken from the point of view from which it would appear in reality (fig. 15). If the proposed buildings are sufficiently important, we can also resort to using a tracing table.

b) *The environment*

Everybody knows how important it is, to protect a centre against abrupt changes in the townscape or landscape to which it belongs. For example, in case of the natural environment, photogrammetry can be used to map "visible parts" and "hidden parts" of the landscape as seen from given view points. Also, it is possible to draw, on a cartographic background or a mosaic of aerial photos, a series of curves, defining areas "that allow the same maximum building height" so that no new buildings will be seen from the critical view points, unless their design and construction is previously studied and authorized.

If a good topographic map of the region is available, this work can be carried out on the basis of a series of sections obtained graphically: the application of this method is a long and difficult one when the site is irregular and with many points of view. The establishment of sections by photogrammetric stereoplotting of aerial photos is a more elaborate method. But we have today a far more general and precise method, consisting in the calculation of a *numerical model of land.* This is expressed by a lot of points defined by their three coordinates and obtained by numerical plotting. An automatic tracing table draws the curves mentioned above. This method was chosen by I G N for the protection of Vézelay and, more recently, for the protection of the land surrounding Colombey-les-deux-Eglises.

If we have an urban environment, that is if the historic centre is at the heart of a larger town, that has developed through the centuries, the problem is more complicated because as we have said, an urban environment is much more difficult to treat owing to its complexities. The problem becomes even more involved if, as in Rome, Paris,

etc., not one but many different "historic centres" have to be protected within an urban environment that has developed around them all. As far as we know, studies of this kind have not yet been undertaken by photogrammetry, although, something has already been done with photogrammetry to study the preservation of the most important and critical urban vistas.

c) *Protection of important vistas in historic centres*

We have two examples, both concerning Paris.

First example: vista of the Hôtel des Invalides. This study revealed two aspects. First of all, Mr. Jean Pierre Paquet, Chief Architect of the Historic Monuments Service, established for a whole part of Paris and its South West outskirts, the maximum permissible height for buildings, so that no new building can be seen over the roof of the Invalides or in immediate proximity to it, if observed from any point of the axis from the Champs-Elysées to the Pont Alexandre III and the Esplanade des Invalides. This work was done on the basis of graphic constructions, without the help of photogrammetry or automatic calculation; this was only possible because the problem was rather simple and limited to one building and one area.

However, two new buildings, skyscrapers, have already been planned, and one of them is under construction (Tower Maine-Montparnasse, 200 m). To demonstrate the disastrous effects on the magnificent vista of the "Invalides," Mr Paquet asked CPAA of I G N to make a report based on pictures taken from about 30 points of view throughout the above mentioned zone and showing the outline of the two buildings as they will appear after construction. The work was carried out by CPAA using the "inverse analytical photogrammetry" (fig. 16).

Second example: protection of perspectives along the Seine quays in the centre of Paris. The object of this study, carried out by CPAA of I G N upon request from the Ministry of Cultural Affairs, is to establish, throughout Paris, the maximum permissible building height, so that no new construction can be seen over the buildings presently bordering the Seine, by a person walking along the quays (from Place de la Concorde to Bercy), along the bridges, and from some special places near the quays (Terrasse des Tuileries, Parvis de Notre-Dame, etc.).

The general principles observed in the course of the study are the following (fig. 17):

1. All the buildings along the Seine are, according to Mr. J.P. Paquet's terminology, a *mask.* Their highest parts are the *mask tops.* For reasons of simplicity these buildings are divided in relatively homogeneous sections, each of them forming a mask, the top of which is a *horizontal line.* This line is carefully chosen, to be representative of the actual building heights, without considering, however, very small or temporary gaps. Also vegetation is not considered. Each mask is defined

by X Y coordinates of its horizontal extremities A and B and by Z, the altitude to its top.

2. In the streets to be protected (co-visibility zones) *view lines* have been defined, along which the observed landscape does not vary and keeps the same mask. The lines are formed by a continuous row of segments; isolated points of view can be added if necessary.

The lines are chosen in such a way that they impose the maximum restrictions, that is, they must start as far as possible from the mask; for this study, for example, they are seated at the base of buildings facing the mask. To simplify, they are right segments, whether horizontal or not horizontal, defined by the X Y Z coordinates of their ends.

3. Each view line is associated with a certain number of masks, all those included in the field vision to be protected. The number of masks can vary according to the extent of the field vision, excluding trees that may exist between view lines and masks. With each mask, the view line defines a "ceiling" that should not be exceeded by any new structure. This ceiling is limited by two vertical planes formed at the ends of the view lines which pass through the outer ends of the mask top.

4. An orthogonal network divides Paris into squares of 100 m per side. A vertical line raised in the middle of a square cuts all the ceilings passing over the square, making as many points as there are ceilings established by buildings in that vicinity. The lowest ceiling within that square is considered to be the *maximum building height* for the square in object.

This study has led to the establishment of about ten thousand maximum building heights evenly over the whole surface of Paris. The heights have been transferred to a transparent overlay sheet that can be superimposed upon a 1/10,000 plan of the town.

Photogrammetry had a role in this, defining the mask tops. An aerial photo at a scale of 1/6,000 was taken on the Seine axis, allowing a stereophotogrammetric plotting in elevation of the outline of buildings along the quays (including islands): a detailed plotting with an altimetric precision of 15 to 20 cm and with a detailed graphic reproduction of the quays for a length of 14 km at a scale of 1/1,000.

The mask tops were then established on the site, as well as the definition of view lines and vision fields relative to each view line; the X Y Z coordinates of the mask tops and the view lines were plotted and the rest was a matter of correlation of information and mathematical calculation.

Octobre 1971

MAURICE CARBONNELL
Head of the Photogrammetry Service
and of the "Centre de Photogrammétrie
Architecturale et Archéologique,
Institut Géographique National" (France)

Fig. 1 - Photo-interprétation d'ensemble d'un centre historique: Auxerre (Bourgogne). Se reporter au texte. *(Photo IGN-France)*

Fig. 1 - Aerial photo-interpretation of entire complex of the historic centre: Auxerre (Burgundy). See text. *(Photo IGN-France)*

Fig. 2 - Photo-interprétation détaillée d'un centre historique: Auxerre, quartier Sud-Est de la ville ancienne autour de l'église Saint-Pierre (15e - 17e siècles). *(Photo Ministère de l'Equipement, France).*

Fig. 2 - Aerial photo-interpretation (detail) of historic centre: Auxerre, southeast quarter of the old city around the church of St. Peter (15th to 17th centuries). *(Photo Ministère de l'Equipement, France)*

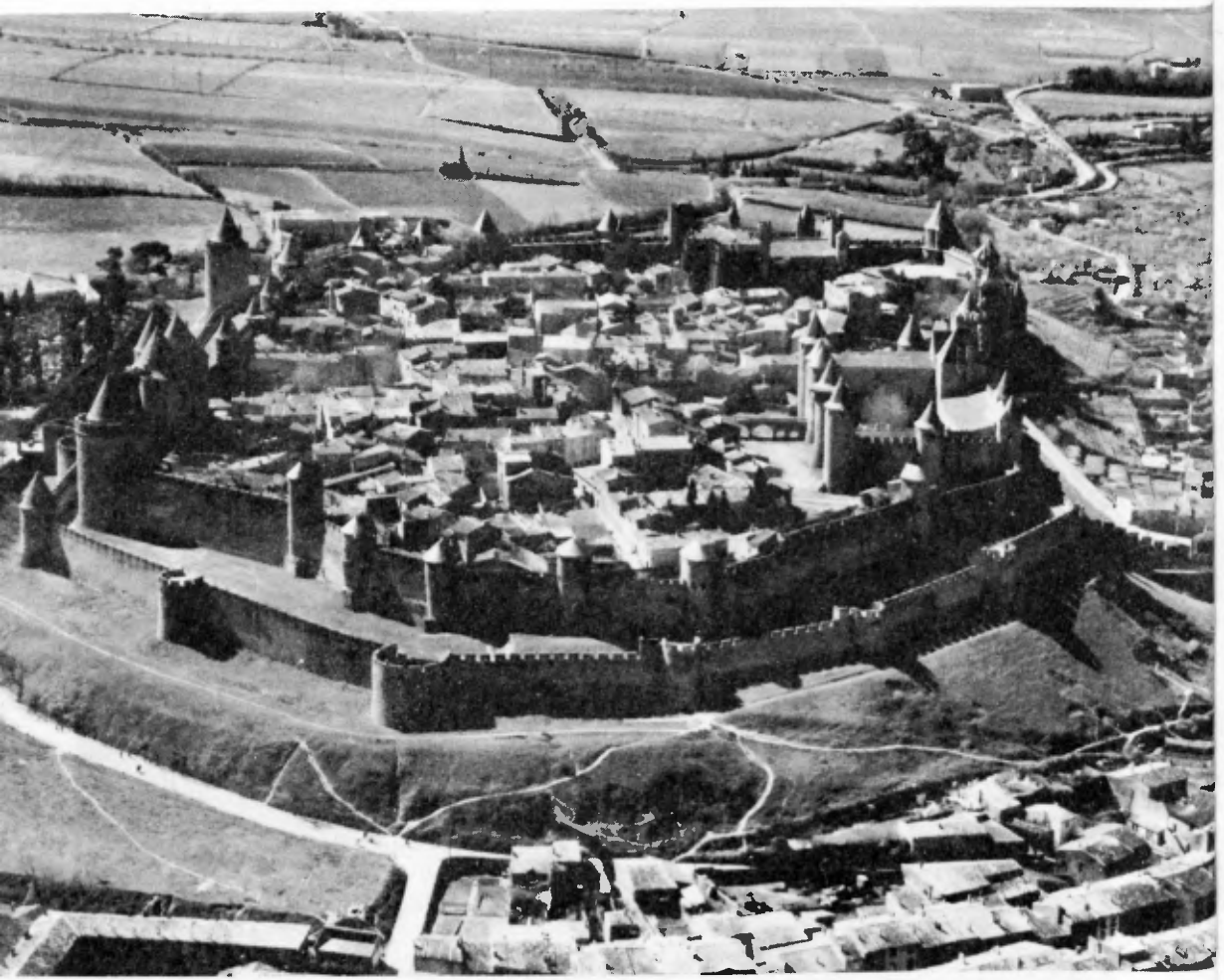


Fig. 3 a - Photographie oblique

Fig. 3 a - Oblique photograph

Fig. 3 - Photographies aériennes oblique et verticale d'un centre historique: la Cité de Carcassonne. *(Photos IGN-France)*

Fig. 3 - Oblique and vertical aerial photographs of an historic centre: Carcassonne. *(Photo IGN-France)*

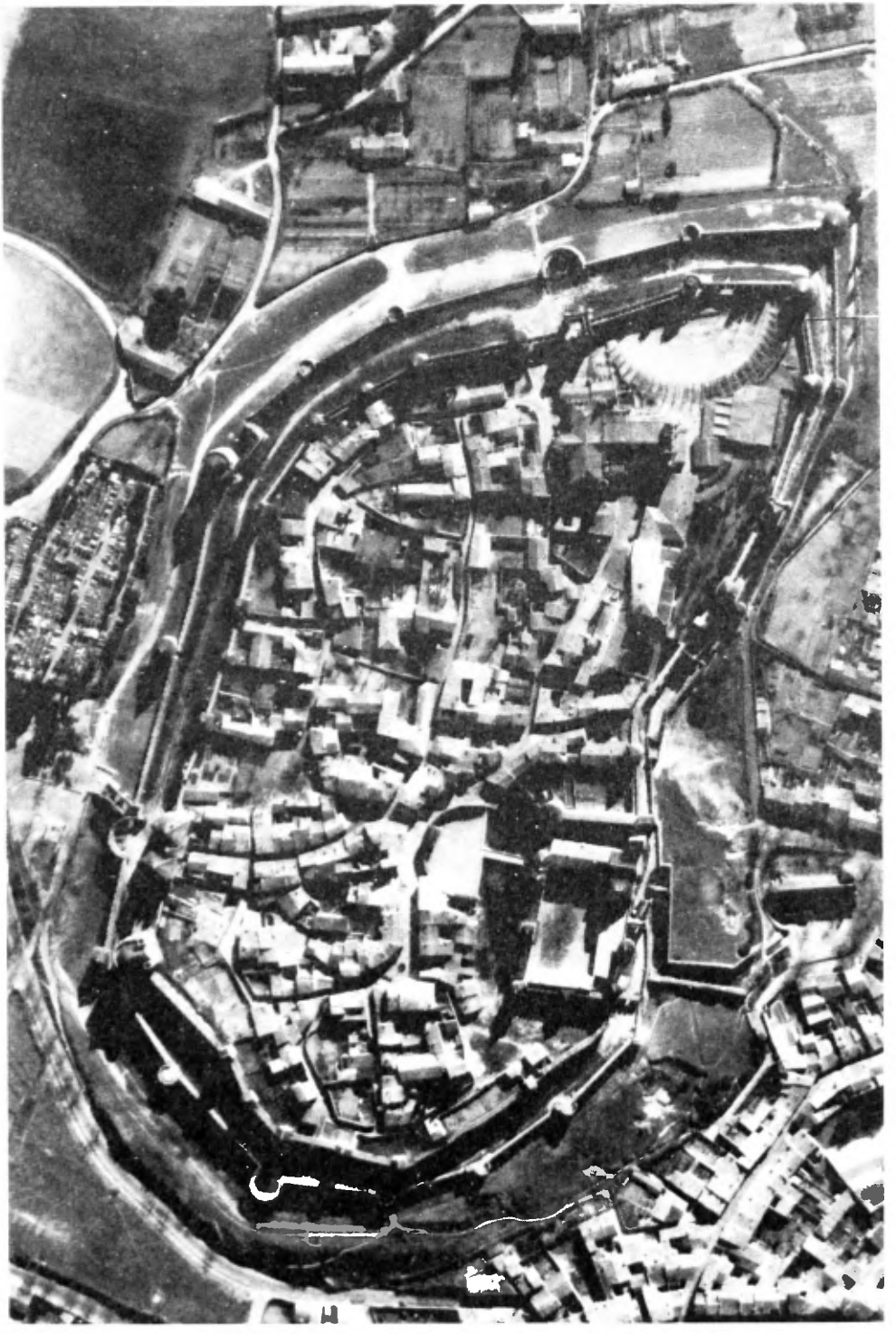


Fig. 3 b - Photographie verticale (échelle 1:3.000)

Fig. 3 b - Vertical photograph (Scale 1:3000)

Fig. 4 a

Fig. 4 - Photographie aérienne verticale et plan d'un centre historique: ville de Thiers, dans le centre de la France (Auvergne). On observera que la photographie est plus récente que le plan *(Photo IGN-France, plan du Ministère de l'Equipement)*

Fig. 4 b

Fig. 4 - Vertical aerial photograph and plan of historic centre: city of Thiers in central France (Auvergne). It may be observed that the photograph is more recent than the plan. *(Photo IGN-France, plan Ministère de l'Equipement)*

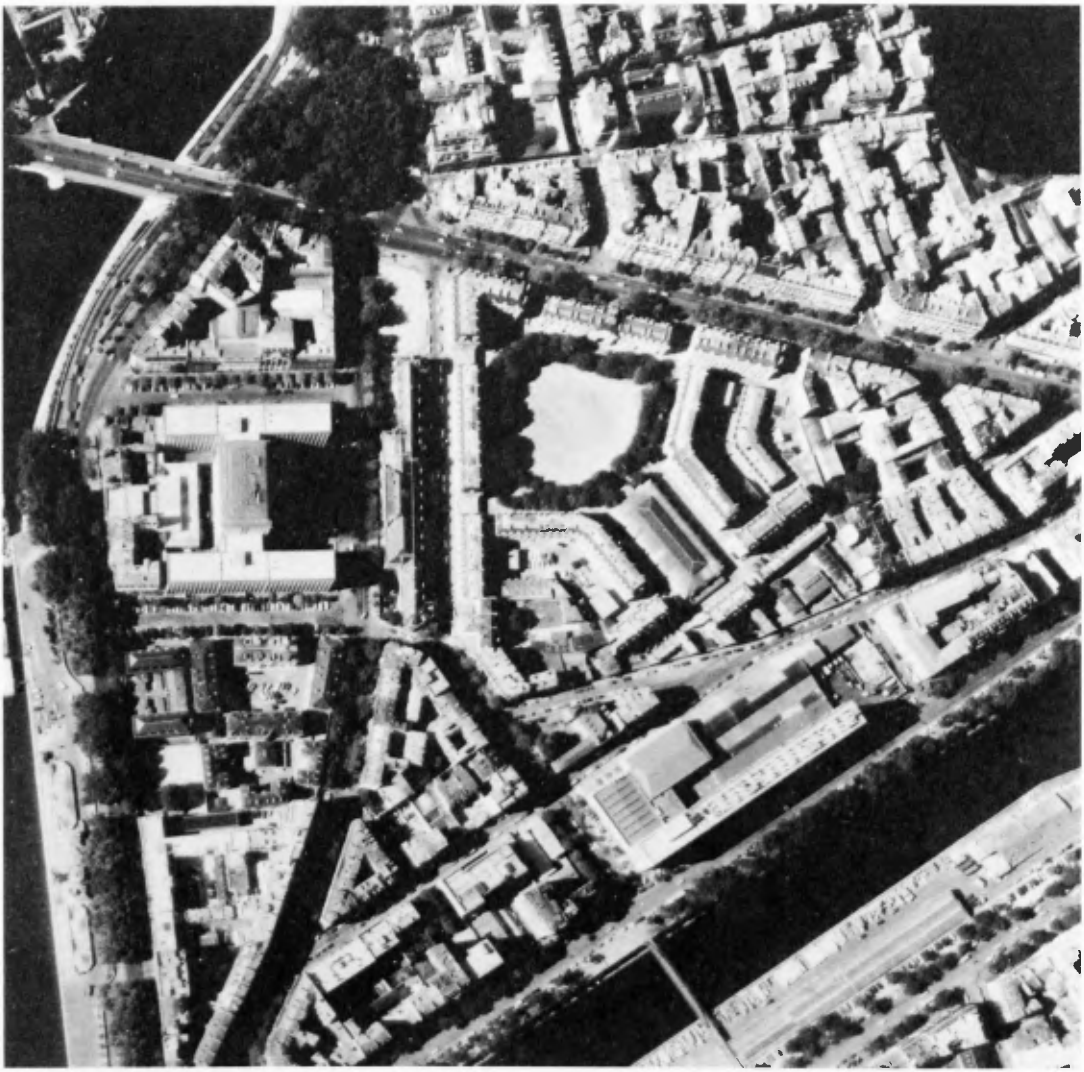


Fig. 5 - Déformations perspectives d'une photographie aérienne verticale en milieu urbain. Ce document est le quart d'une photographie aérienne dont le centre est en bas et à gauche. La déformation croît avec la distance au centre. Paris, quartier de la Bastille. Echelle 1:3.000. *(Photo IGN-France)*

Fig. 5 - Perspective deformation of vertical aerial photograph of urban centre. This document is the quarter section of an aerial photograph whose centre is below left. Distortion increases with distance to the centre. Paris, Bastille quarter. Scale 1:3000. *(Photo IGN-France)*

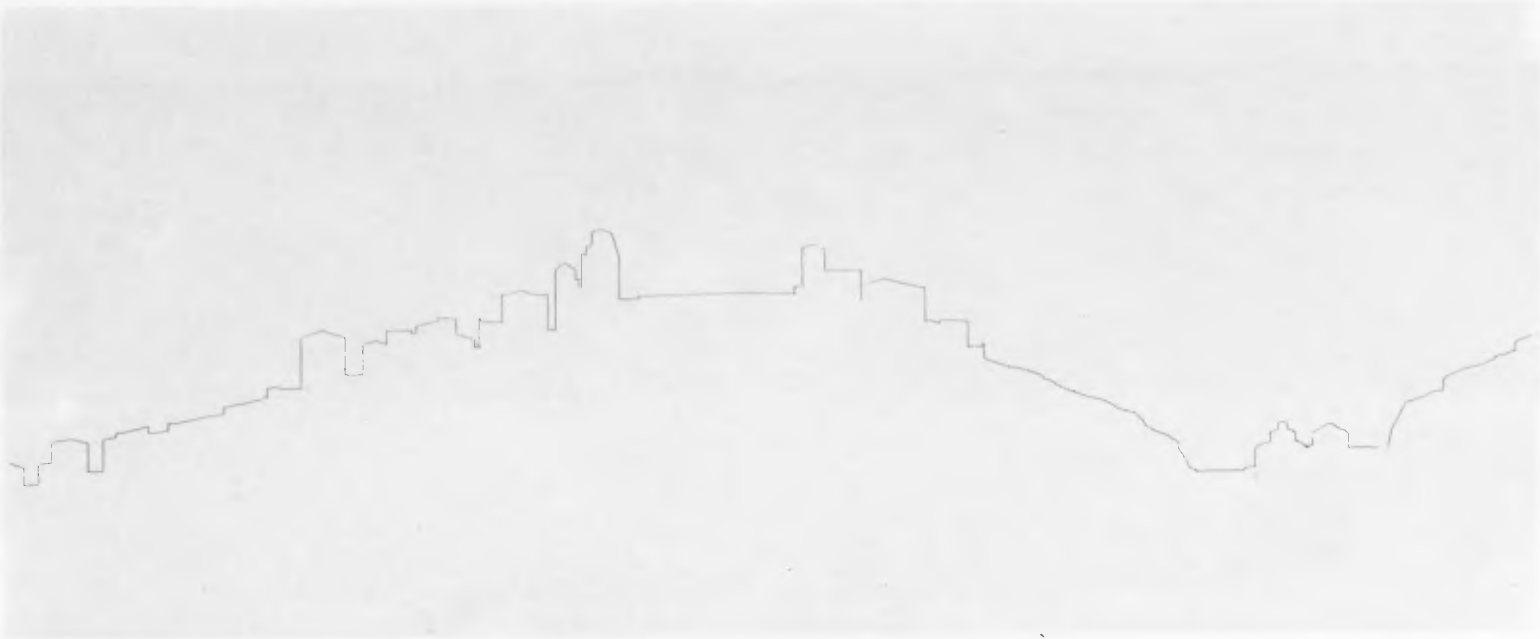


Fig. 6 - Coupe Ouest-Est du quartier Sud de la ville de Thiers, établie par restitution stéréophotogrammétrique. La trace de cette coupe est indiquée sur le plan de la figure 4 b. *(Document IGN-France)*

Fig. 6 - West-East section of Southern quarter of city of Thiers, established through stereophotographic plotting. The line of this section is indicated on the plan of fig. 4 b. *(Document IGN-France)*

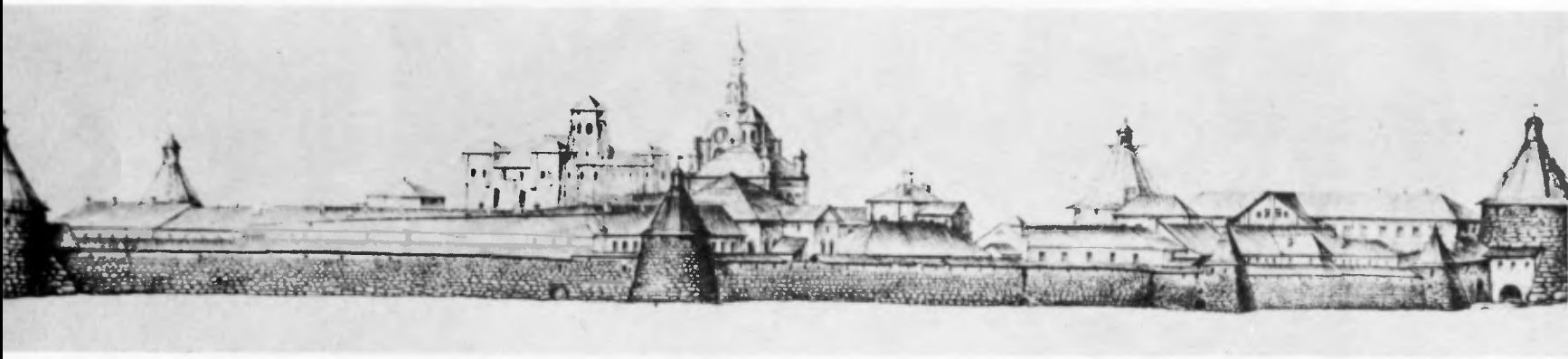


Fig. 7 - Elévations d'ensemble (géométraux) de centres historiques établies par stéréophotogrammétrie terrestre. *En haut*, face Sud des ruines de la forteresse seldjoukide de Qalaat Djabar, en Syrie *(Photo IGN-UNESCO)*. *En bas*, face Sud-Est du monastère de Solovetske, dans les îles de la Mer Blanche, en URSS *(Photo Institut central de restauration, Moscou)*.

Fig. 7 - Elevations (geometric) of historic centres established by terrestrial stereophotogrammetry. *Above*, south face of ruins of the Seldjoukide fortress of Qalaat Djabar, in Syria *(Photo IGN-UNESCO)*. *Below*, Southeast face of Solovetske monastery on the islands of the White Sea, USSR *(Photograph Central Institute of Restoration, Moscow)*.

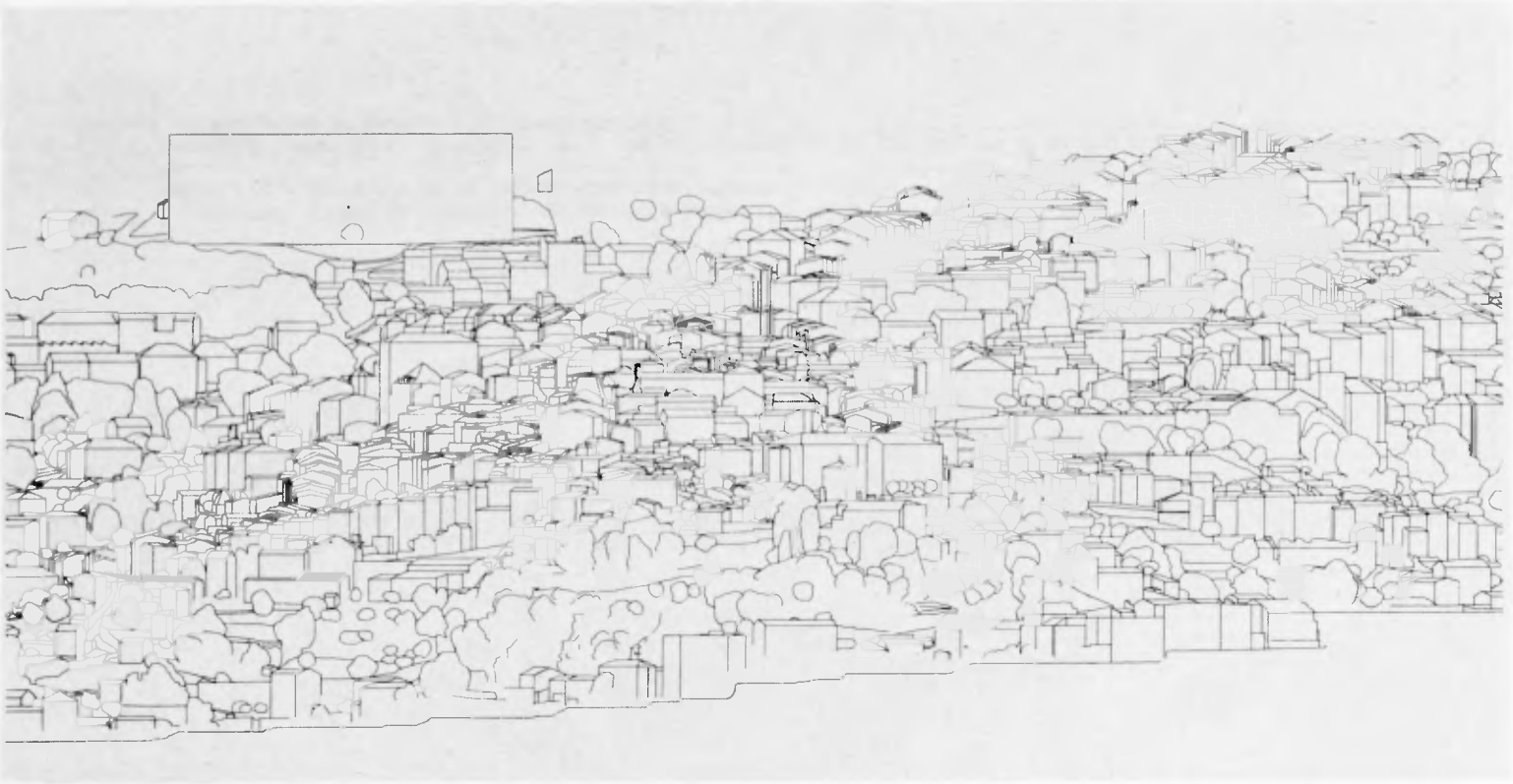


Fig. 8 - Géométral d'un centre historique établi par stéréophotogrammétrie aérienne: Thiers, face Sud. La direction du plan de projection est indiquée sur le plan de la figure 4 b. On remarquera la note discordante apportée dans ce paysage urbain ancien par l'immense édifice moderne de l'arrière plan; cet édifice est parfaitement visible sur la photographie aérienne de la figure 4 a. *(Document IGN-de Tourtier)*

Fig. 8 - Survey in elevation of an historic centre established by aerial stereophotogrammetry: Thiers, south face. The direction of the projection plane is indicated on the plan of fig. 4 b. One can observe the discordant note introduced into this ancient urban landscape by the large modern building in the background; this building is perfectly visible on the aerial photograph of fig. 4a. *(Document IGN-de Tourtier)*

Fig. 9 - Géométral, établi par stéréophotogrammétrie aérienne, de la partie centrale d'un centre historique de faible relief: Moulins, dans le centre de la France. *(Document IGN-de Tourtier)*

Fig. 9 - Survey in elevation, established by aerial photogrammetry, of the central part of an historic centre with slight relief: Moulins, in the centre of France. *(Document IGN-de Tourtier)*

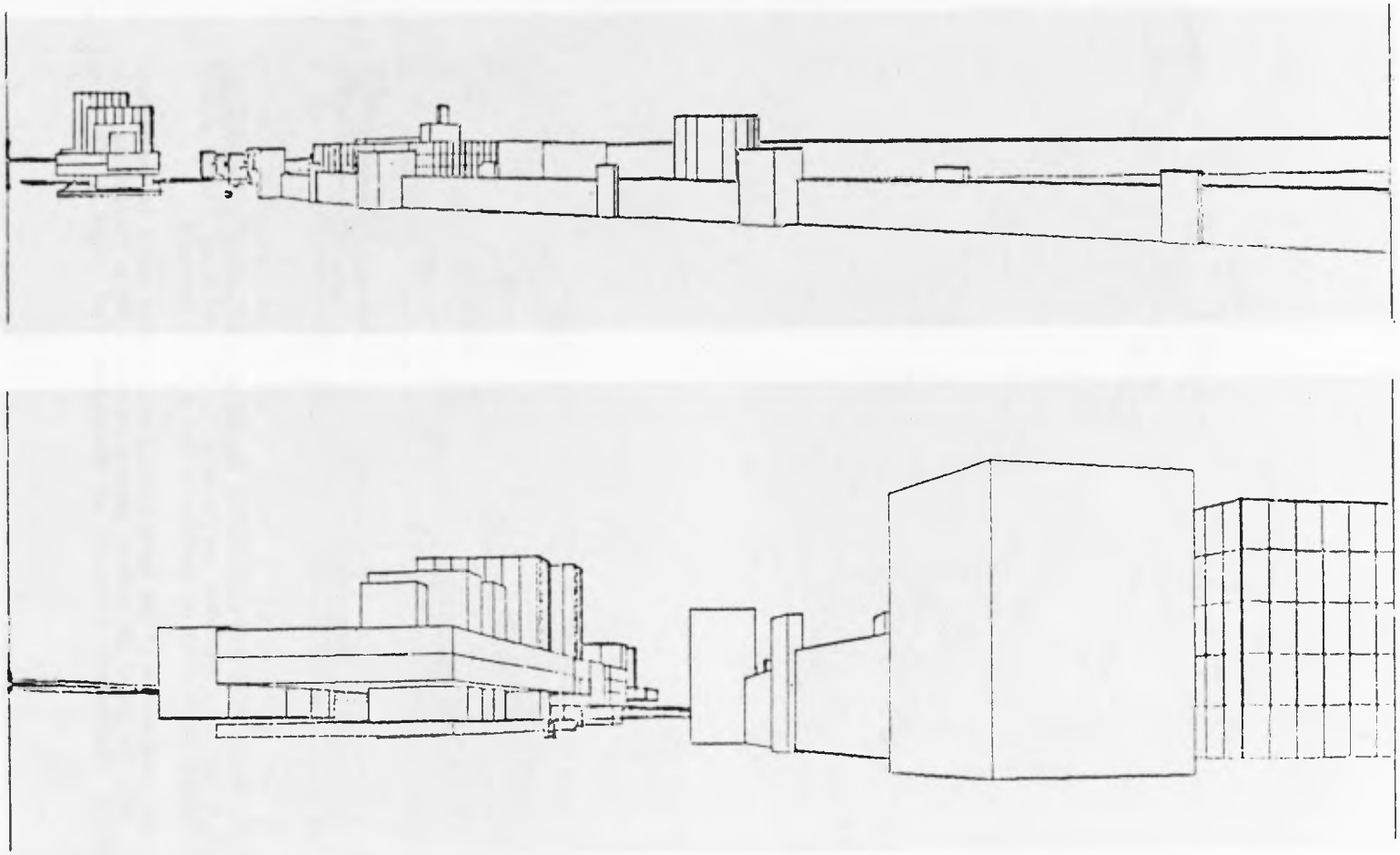
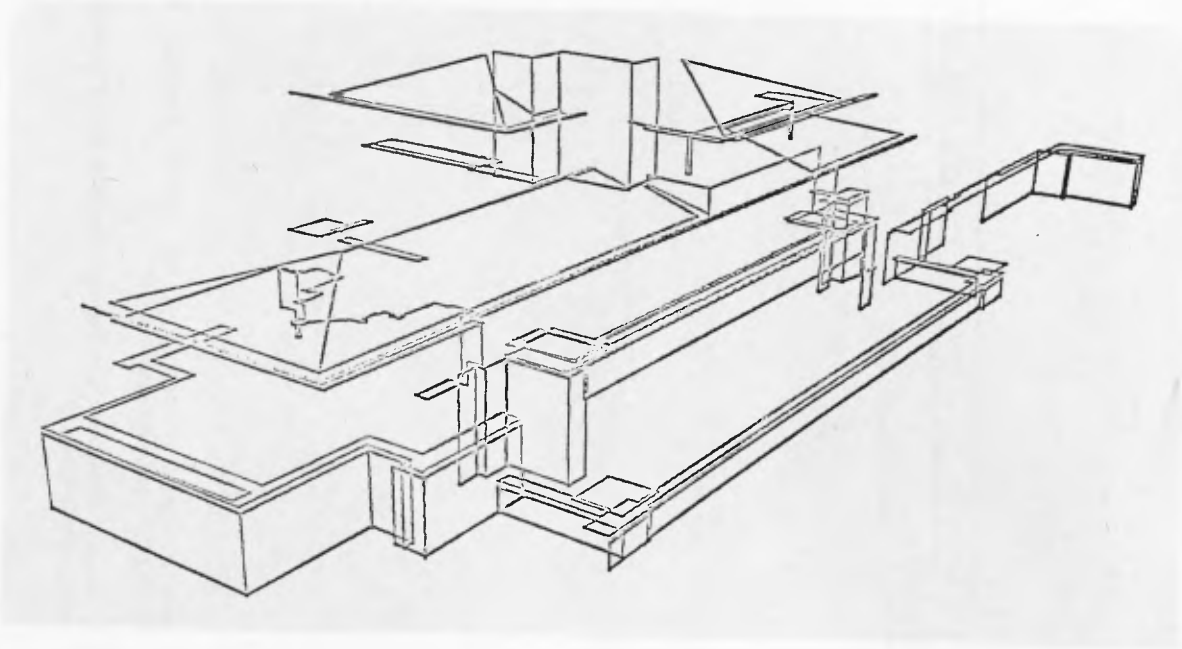


Fig. 10 - Deux perspectives tracées automatiquement: les remparts d'Avignon (Provence) et les édifices nouveaux qui les environnent. *(Documents du Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement, Aix-en-Provence)*

Fig. 10 - Two automatically traced perspectives: the ramparts of Avignon (Provence) and the new buildings which surround them. *(Documents of the Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement, Aix-en-Provence)*



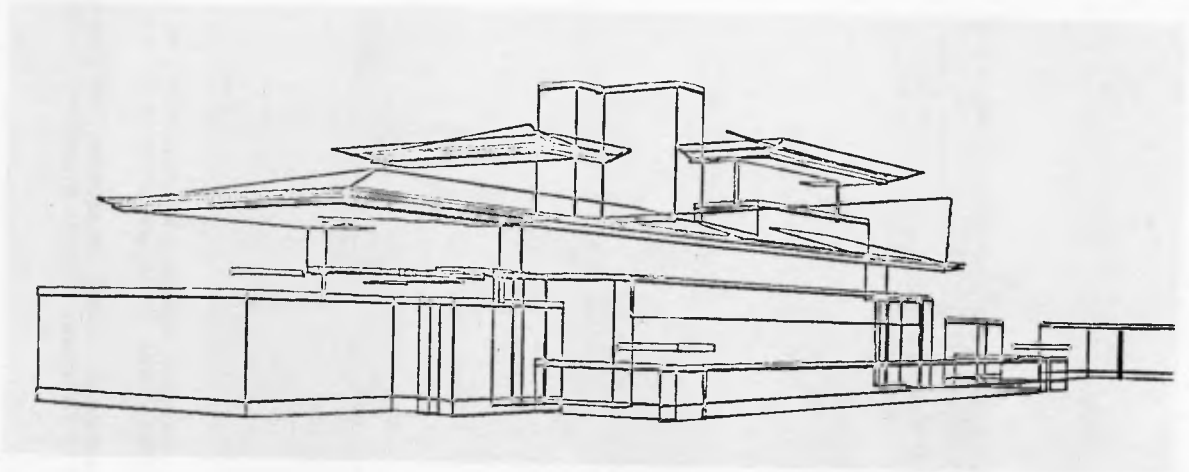


Fig. 11 - Deux perspectives d'un même édifice tracées automatiquement par stéréophotogrammétrie, à l'aide d'un restituteur analytique AP/C. *(Documents de l'Institut d'Architecture de l'Université de l'Etat de Washington, Prof. David L. Bonsteel)*

Fig. 11 - Two perspectives of the same building automatically traced by stereophotogrammetry, with the aid of the analytic plotting instrument AP/C. *(Documents of the Department of Architecture, University of Washington, Prof. David L. Bonsteel)*

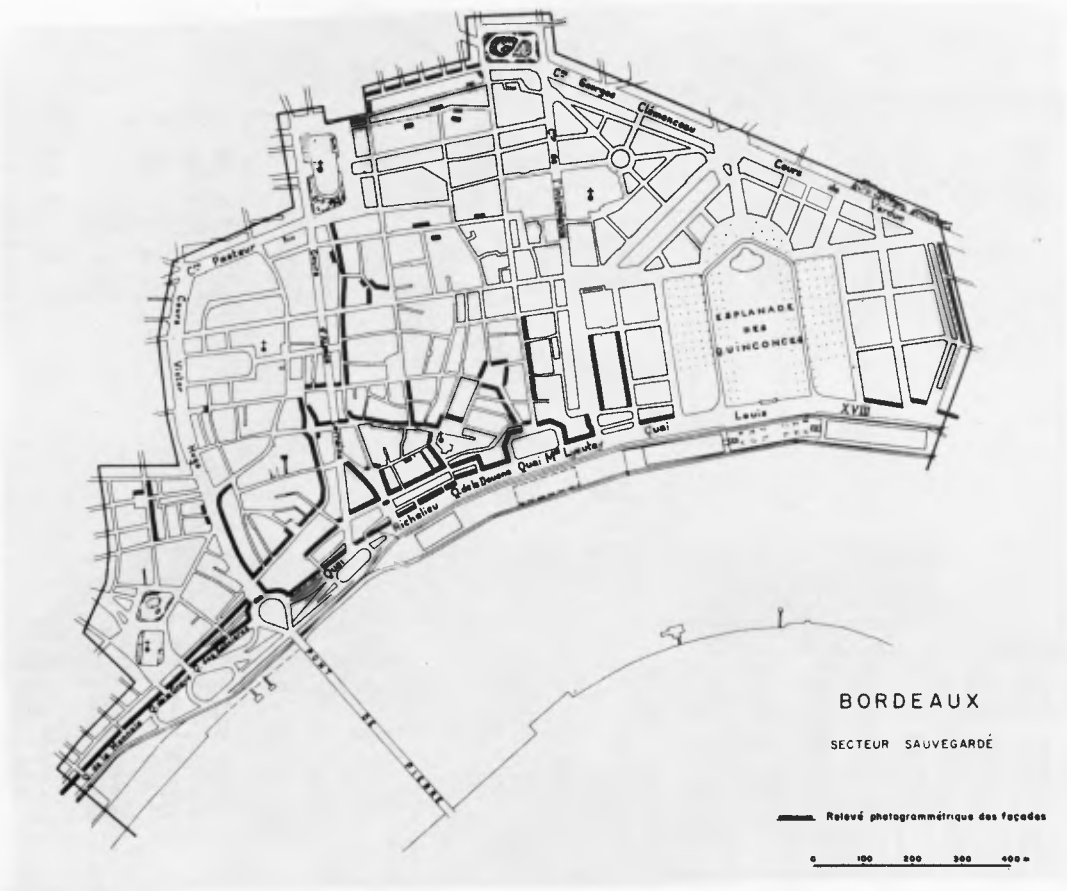


Fig. 12 - Relevé photogrammétrique de façades dans le secteur sauvegardé de Bordeaux (Sud-Ouest de la France) en vue d'établir des développements de façades des places et des rues. *(Document IGN)*

Fig. 12 - Photogrammetric survey of façades in the conserved area of Bordeaux (southwest of France) with the aim of development of façades of the squares and streets. *(Document IGN)*

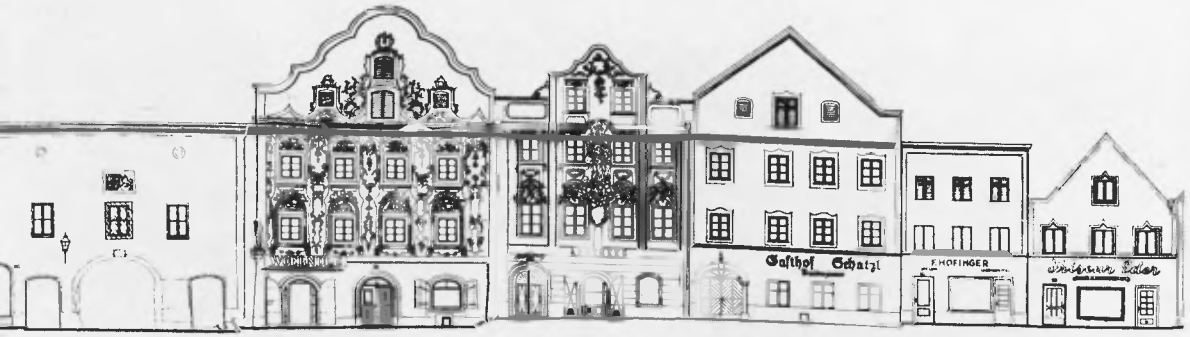


Fig. 13 - Développements de façades relevés par restitution stéréophotogrammétrique. *En haut,* Obernberg am Inn, Marktplatz. *En bas,* Klagenfurt, Alter Platz. *(Relevés du Bundesdenkmalamt, Vienne, Autriche)*

Fig. 13 - Development of façades surveyed by photogrammetric plotting. *Above,* Obernberg am Inn, Marktplatz. *Below,* Klagenfurt, Alter Platz. *(Surveys of Bundesdenkmalamt, Vienna, Austria)*

Fig. 14 - Développement de façades établi par assemblage de photographies redressées: une rue du secteur sauvegardé de Bordeaux. *(Photo IGN-France)*

Fig. 14 - Development of façades established by assembly of rectified photographs: a street in the conserved sector of Bordeaux. *(Photo IGN-France)*

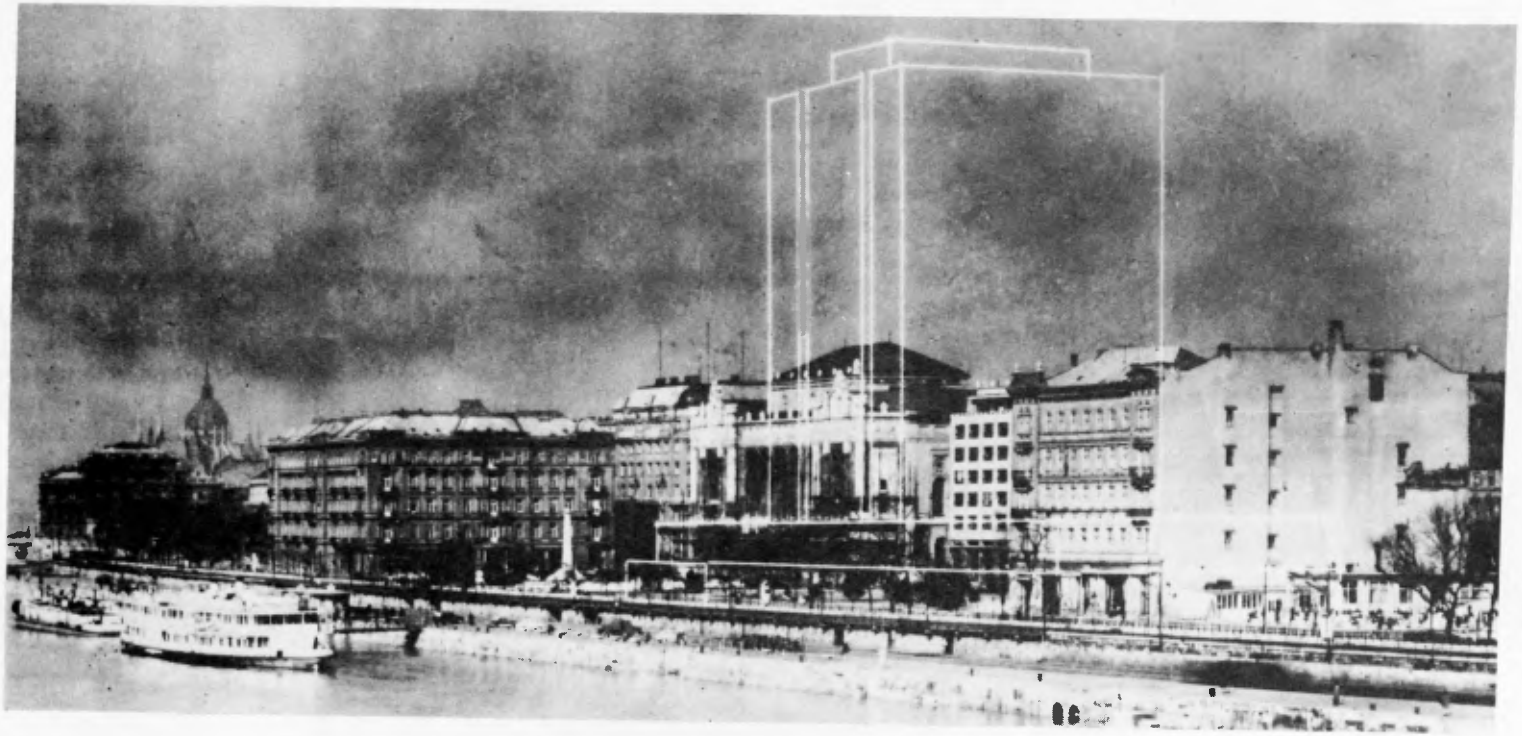


Fig. 15 - Etude photogrammétrique de l'intégration d'un édifice nouveau dans un paysage urbain ancien. Tracé de l'image perspective de cet édifice sur une photographie. Projet de l'hôtel Intercontinental sur le quai du Danube, à Budapest. *(Document Entreprise de Géodésie et de Géotechnique, F.T.I. Budapest)*

Fig. 15 - Photogrammetric study of the integration of a new building within an ancient urban landscape. Tracing of the perspective image of this building on a photograph. Project for the Intercontinental Hotel on the banks of the Danube at Budapest. *(Document Geodesic and Geotechnic Enterprise, F.T.I. Budapest)*

Fig. 16 - Tracé d'édifices projetés sur une perspective photographique par « photogrammétrie analytique inverse »: Esplanade des Invalides, Paris. *(Cliché IGN-J.P. Paquet)*

Fig. 16 - Tracing of projected buildings on a perspective photograph by "inverse analytic photogrammetry": Esplanade of the Invalides. *(Cliché IGN-J.P. Paquet)*

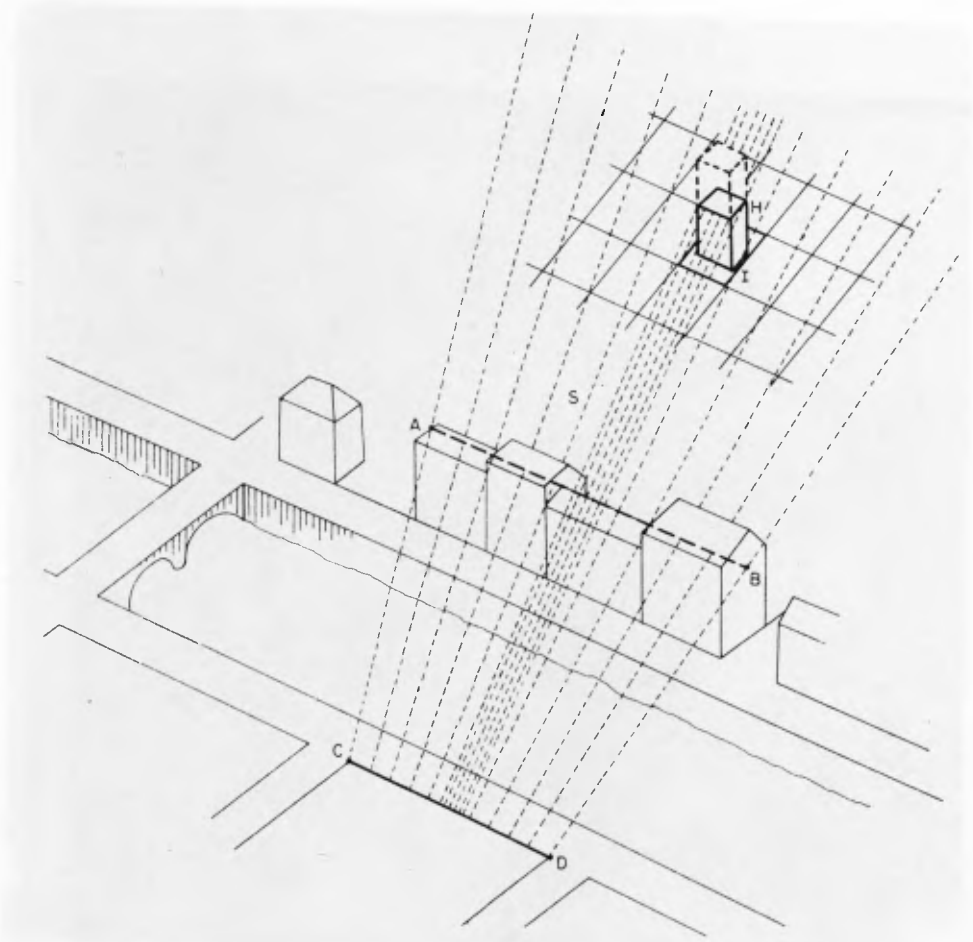


Fig. 17 - Etude de protection des perspectives des berges de la Seine.

Schéma de principe.

AB = crête de masque

CD = ligne de vue

S = surface limitative

H = altitude de construction maximale dans le carré I, relative à la ligne de vue C D et au masque A B.

Fig. 17 - Study of protection of perspectives of the banks of the Seine.

Scheme:

AB = crest of base

CD = line of sight

S = limiting surface

H = altitude of maximum construction within the square I, relative to line of sight C D and base A B.

NOTES SUR LA FORMATION D'UN SERVICE DE PHOTOGRAMMETRIE ARCHITECTURALE DANS UN PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

I - Pourquoi un service de photogrammétrie architecturale?

L'intérêt et les possibilités de la photogrammétrie appliquée aux relevés des monuments historiques ne sont plus à démontrer. De nombreuses publications et le Colloque organisé sur ce sujet par l'ICOMOS (St-Mandé, France, 4-6 juillet 1968) ont suffisamment souligné que:

— l'étude scientifique des monuments et l'histoire technique de l'architecture doivent être considérées maintenant comme une partie essentielle de la connaissance artistique;

— qu'elles exigent des relevés exacts et objectifs, garantissant la mesure rigoureuse de toutes les parties de l'édifice (la forme effective, selon H. Foramitti, par opposition à la forme théorique et à la forme apparente);

— que de tels relevés ne peuvent être obtenus que par les méthodes photogrammétriques.

Le champ d'application de ces méthodes s'étend à tous les domaines d'action de l'architecte des monuments historiques. Lors du Colloque de l'ICOMOS, A. Donzet en a dressé un tableau très complet comportant trois parties principales:

— étude, restauration et mise en valeur des monuments (y compris les études et les fouilles archéologiques);

— analyse et traitement des villes anciennes, exigeant une approche globale et des relevés détaillés, notammnt des « développements de façades » des places et des rues;

— protection et aménagement des sites urbains et des sites naturels, en particulier lorsqu'il s'agit d'intégrer dans ces sites des édifices et des ouvrages nouveaux.

Or, mondialement parlant, tout ou presque tout reste à faire. Pour la plupart des grands édifices qui appartiennent au patrimoine artistique international, il n'existe aucun plan satisfaisant aux exigences modernes d'un relevé scientifique. Partout ces édifices sont menacés par la nature, le temps et les travaux de l'homme. Cette menace est peut-être encore plus importante et immédiate dans les pays en voie de développement qui connaissent parfois des transformations rapides et considérables et dans lesquels de nombreux monuments sont condamnés par la construction d'ouvrages d'art, notamment de barrages.

See English text p. 71.

Il est d'une *extrême* urgence d'entreprendre, particulièrement dans ces pays, des relevés scientifiques des monuments et des sites, en vue de leur étude et, si possible, de leur conservation. Cette urgence est une raison supplémentaire de faire appel aux techniques photogrammétriques qui rendent rapides et peu onéreuses les opérations sur le monument. Les photographies prises lors de ces opérations avec un équipement spécial et selon des normes déterminées, accompagnées de quelques mesures généralement simples, constituent les *archives photogrammétriques du monument*. Ces archives pourront n'être exploitées qu'ultérieurement: cette dissociation totale entre l'établissement des archives techniques et leur exploitation est un des avantages les plus importants des méthodes photogrammétriques. Reflétant impartialement l'état exact du monument à la date de prise de vues, les archives seront disponibles à tout moment pour établir des relevés graphiques, déterminer des éléments métriques, mesurer des déformations, et cela même si le monument a été endommagé ou détruit. L'établissement des archives photogrammétriques représente la tâche fondamentale et primordiale que tout pays soucieux de son patrimoine artistique et culturel se doit d'entreprendre et de mener à bonne fin.

Comment organiser les relevés photogrammétriques?

On peut envisager d'en confier l'exécution à des services topographiques ou à des instituts universitaires. La collaboration de ces services et de ces instituts pour la mise au point des appareils et des méthodes, ou à l'occasion de travaux particulièrement difficiles concernant de très grands monuments ou ensembles architecturaux, est indispensable et l'on pourra toujours y faire appel. On peut concevoir aussi qu'un service topographique spécialise une de ses sections dans ce type d'activité, comme l'a fait l'Institut Géographique National français. On peut également prévoir une organisation laissant aux techniciens des monuments historiques le soin d'établir les archives photogrammétriques et au service topographique celui de les exploiter: cette formule de coopération est adoptée, en France, entre, l'Inventaire National des Monuments et des Richesses Artistiques et l'Institut Géographique National.

Mais, dans les pays en voie de développement, on peut craindre que la tâche écrasante qui incombe aux services topographiques et l'insuffisance de leurs moyens ne leur fasse accorder aux travaux architecturaux qu'un second ordre de priorité. Les relevés de monuments et de sites qui doivent être exécutés d'urgence représentent un volume de travail tel qu'il ne peut être efficacement effectué que par un *organisme spécialisé*.

Il convient avant tout de bien insister sur la nécessité d'un tel organisme. Cette nécessité étant admise, il importe ensuite d'étudier les équipements qu'il aura à choisir, de définir les catégories de personnel qui devront y travailler, enfin d'en présenter un schéma d'organisation.

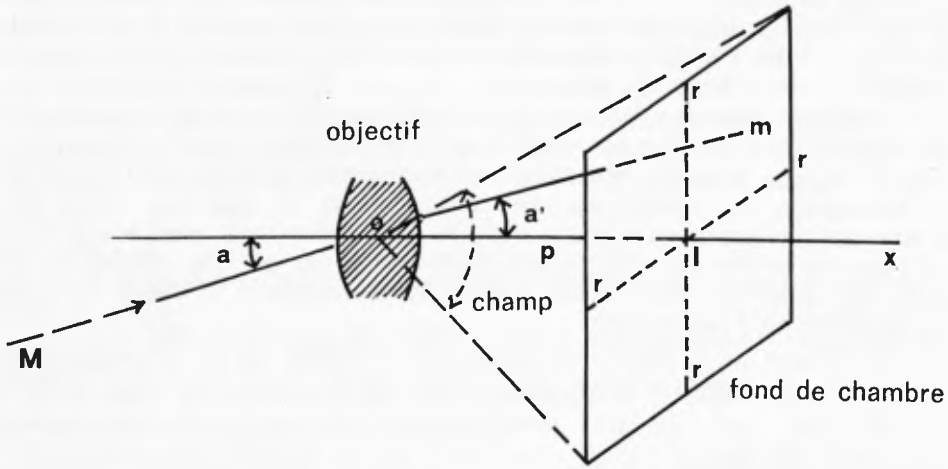
II - Les équipements de photogrammétrie architecturale

a) *Différents types d'équipements*

Le tableau I présente les principaux appareils actuellement disponibles sur le marché international des équipements photogrammétriques et convenant aux relevés architecturaux.

a.1 - *Chambres de prise de vues photogrammétriques.* Rappelons d'abord qu'il s'agit de chambres *métriques,* c'est-à-dire d'appareils photographiques spéciaux, monoblocs, reliant rigidement l'objectif au fond de chambre sur lequel s'applique la surface sensible au moment de l'exposition. Les caractéristiques de ces chambres sont étalonnées avec une grande précision en laboratoire (étalonnage qui s'exprime en centièmes de millimètres ou en microns). Il est indispensable que ces caractéristiques restent invariables au cours des manipulations de l'appareil.

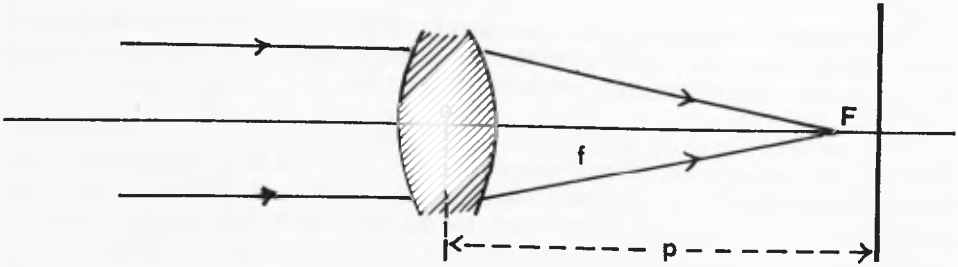
En représentant schématiquement une chambre métrique, on voit que les caractéristiques sont les suivantes:



— L'axe optique de l'objectif, Ox, doit être rigoureusement perpendiculaire au plan du fond de chambre; il coupe ce plan en un point I, dit *point principal.* Ce point se trouve à l'intersection de deux lignes orthogonales qui joignent deux à deux des repères placés sur le fond de chambre et qui sont reproduits sur la surface sensible en même temps que l'image du sujet (fig. 1).

— La distance O I qui sépare le centre de perspective de l'objectif O du point I est la *distance principale* p de la chambre. Cette distance peut être différente de la distance focale de l'objectif f, c'est-à-dire de la distance O F à laquelle viennent converger, après avoir traversé

l'objectif, des rayons parallèles à l'axe optique (sujet à l'« infini »); la distance principale correspond à un éloignement optimal du sujet photographié.



Cette distance principale p doit être connue avec une grande précision (0,01 mm). Dans la pratique cependant, on caractérise un *type* de chambre métrique par une valeur approchée de f (f = 60 mm, f = 155 mm, etc.). Les chambres photogrammétriques convenant aux relevés d'architecture ont, en effet, une distance principale peu différente de la focale (elles ne permettent de prendre des photographies nettes que si le sujet est situé au moins à quelques mètres de l'objectif). Pour la plupart d'entre elles cette distance principale est fixe (pas de possibilité de « mise au point »).

— Une autre caractéristique est le *format* du fond de chambre et, par conséquent, le format des plaques photographiques qui conviennent à chaque type de chambre. En photogrammétrie architecturale ou archéologique, on utilise toujours des *plaques* et non des films, car il est indispensable que la planéité de l'émulsion soit assurée (il n'en est pas de même en photogrammétrie aérienne, car les chambres de prise de vues ont alors des dispositifs assurant la planéité du film au moment de l'exposition).

Le format et la focale déterminent le *champ* de la chambre (60°, 90°, etc.). Les grands champs sont très utiles et de plus en plus utilisés.

— Enfin une chambre photogrammétrique se caractérise par la *distorsion* de son objectif, aberration selon laquelle un rayon M O venant d'un point M du sujet et faisant un angle a avec l'axe optique sort de l'objectif selon une direction O m qui fait avec l'axe optique un angle a' différent de a. Tous les objectifs photogrammétriques modernes sont *orthoscopiques,* c'est-à-dire que leur distorsion est si faible qu'elle peut être négligée (quelques microns dans le plan de l'image).

Ces données fondamentales étant rappelées, il convient de classer les chambres photogrammétriques en deux catégories: les chambres simples et les chambres stéréométriques.

Les *chambres simples* sont formées d'un seul appareil photographique pouvant tourner autour d'un axe vertical (fig. 2). Généralement aussi ces chambres peuvent recevoir certaines inclinaisons, l'axe optique

faisant alors un angle de site S avec l'horizontale. Si S = 100 grades, l'axe est vertical.

Les *chambres stéréométriques* sont constituées de *deux chambres métriques identiques* montées de façon fixe sur un tube rigide formant une *base* constante entre les deux chambres. Dans tous les équipements stéréométriques actuellement disponibles pour les relevés d'architecture, les axes optiques des deux chambres sont parallèles entre eux et perpendiculaires à la base, réalisant ainsi ce que les photogrammètres appellent le *cas normal* de prise de vues, disposition sur laquelle nous reviendrons plus loin (fig. 3).

Certaines chambres simples ont des dispositifs qui permettent de réaliser le cas normal en deux positions successives de l'appareil. Leur emploi est prévu surtout dans ces cas, mais non exclusivement. D'autres chambres ont des possibilités plus étendues qui les rendent plus ou moins « universelles » (fig. 4). Mais il convient le plus souvent de considérer ces possibilités en fonction des appareils avec lesquels seront exploités les clichés.

a.2 - *Equipements de restitution et de redressement.* Nous ne pouvons pas entrer ici dans la description de ces équipements et nous renvoyons aux manuels et aux cours spécialisés. L'essentiel, dans le cadre de cette étude, est de noter que leur choix — ainsi que celui des chambres de prise de vues — n'est pas totalement arbitraire. Outre des considérations évidentes de prix et de performances, ce choix est assez étroitement lié, d'une part aux différentes *méthodes* photogrammétriques, d'autre part aux *types de relevés* à effectuer.

b) *Equipements et méthodes*

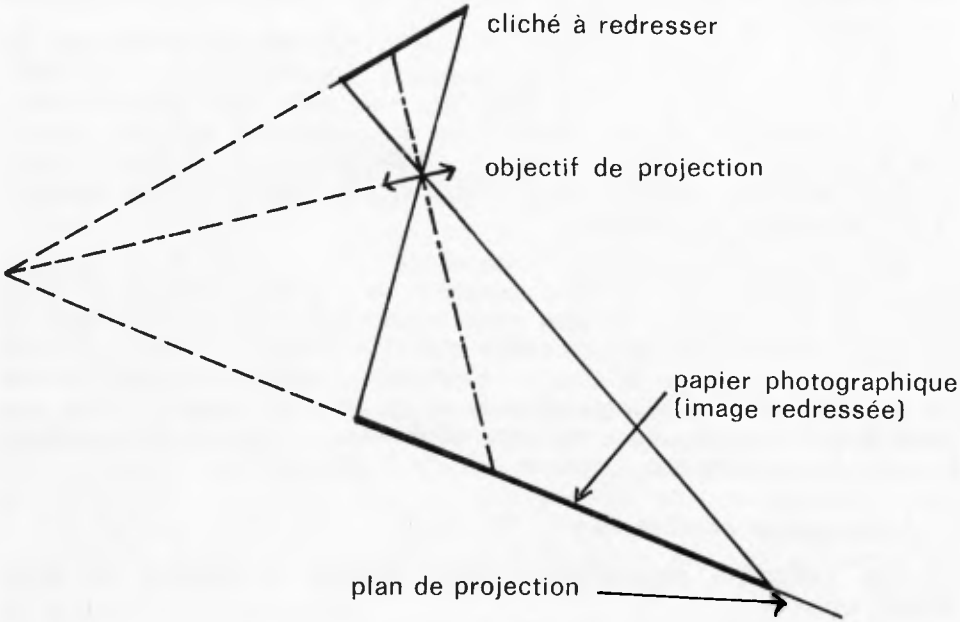
Les méthodes photogrammétriques peuvent se classer en deux grands groupes:

— les méthodes traitant chaque cliché individuellement par *redressement;*

— les méthodes traitant des couples de clichés par *restitution stéréophotogrammétrique.*

b.1 - Les premières reposent sur l'hypothèse d'une planéité rigoureuse du sujet, ou tout au moins d'un faible relief de l'élément architectural relevé (les parties en saillie ou en retrait pouvant à la rigueur être remises en place sur le tracé par des constructions géométriques). Le redressement corrige alors les défauts perspectifs dus à l'inclinaison de l'axe de prise de vue. Pour un relevé simple ou pour compléter un relevé existant, il peut être effectué optiquement à l'aide d'une *chambre claire.* Mais la véritable méthode photogrammétrique de redressement est le *redressement photographique* qui transforme le cliché original pris à axe oblique en une photographie semblable, à l'échelle voulue, à celle que l'on aurait obtenue si l'axe de prise de vue avait été perpendiculaire au plan de référence.

Le redressement photographique réalise la mise en perspective de la photographie oblique du sujet (façade, mur, plafond, vitrail, etc.) avec le géométral, par une projection optique à travers un objectif. Les appareils conçus pour cette opération sont des agrandisseurs spéciaux, dans lesquels 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. 5).



En principe, tous les appareils de redressement photogrammétrique peuvent être associés soit aux chambres simples, prenant des clichés un par un, soit aux chambres stéréométriques, en ne traitant qu'un seul cliché. Mais, pour des raisons techniques de construction, ces appareils ont des limites d'emploi assez étroites en ce qui concerne l'inclinaison de l'axe de prise de vue, limites d'autant plus faibles que la distance principale de la chambre est plus courte: environ 16° pour une distance principale de 200 mm, mais 5° seulement pour une distance principale de 60 mm. Les chambres de petit format réduisent donc considérablement les possibilités d'utilisation du redressement (à moins de multiplier les opérations photographiques: agrandissements et redressements successifs, toujours nuisibles à la qualité du document final). Pour des photographies à axe fortement incliné, pour lesquelles une courte focale s'impose afin d'obtenir la profondeur de champ nécessaire, il est indispensable de systématiser les conditions de travail en adoptant

un angle constant (30 gr ou 30° par exemple) et en plaçant l'axe incliné dans un plan perpendiculaire au plan de référence; pour redresser de telles photographies (fig. 6) il faut concevoir un appareil spécial qui n'existe pas encore dans la production des firmes photogrammétriques (l'IGN français en a construit un pour ses propres besoins, ainsi que la Société Zeiss sur commande du Bundesdenkmalamt de Vienne; ce dernier appareil, perfectionné, sera bientôt commercialisé).

Les photographies redressées peuvent être assemblées sous forme de *photoplans*: on peut ainsi obtenir l'image totale d'un élément architectural de peu de relief qui n'a pu être enregistré qu'en plusieurs clichés (fig. 7).

b.2 - *Les méthodes stéréophotogrammétriques* permettent d'effectuer des relevés *dans les trois dimensions* (le trinôme classique: élévations, plans, coupes), alors que le redressement est limité à un seul plan de référence (élévation). Ce sont des méthodes par *intersection* des couples de rayons perspectifs homologues relatifs à chaque point du sujet. Celui-ci ayant été photographié de deux points de vue différents, situés aux deux extrémités d'une *base* photographique, on conçoit que, si l'on reconstitue et si l'on réoriente les deux « faisceaux perspectifs » de la prise de vues, les rayons homologues se couperont deux à deux et l'ensemble de ces intersections formera, à une échelle donnée, un modèle semblable au sujet (fig. 8).

Ces opérations sont effectivement réalisées dans des *appareils de restitution,* appareils optico-mécaniques. Lorsque tous les réglages sont effectués, l'opérateur observe dans le système optique binoculaire de l'appareil une image en relief du monument photographié et, dans la même vision en relief, un index. A l'aide de trois commandes, généralement deux volants et une pédale, il peut donner à cet index un déplacement apparent à la surface de l'image du monument et suivre toutes les lignes architecturales qu'il désire relever. Les trois commandes entraînent simultanément des dispositifs mécaniques, à l'extrémité desquels un système traceur dessine, à l'échelle du relevé, la projection (géométral) de la ligne suivie (fig. 9).

Dans la 3ème colonne du Tableau I on trouvera la liste des principaux appareils de restitution pouvant être utilisés en photogrammétrie architecturale et archéologique (appareils actuellement produits par les différents constructeurs) (fig. 10).

La mise en oeuvre des méthodes stéréophotogrammétriques se trouve simplifiée si l'on opère dans le *cas normal,* la base étant d'autre part parallèle à l'un des plans de référence du relevé (au plan moyen d'une façade par exemple). Nous avons vu que les chambres stéréométriques réalisent, par construction et en les employant de façon convenable, le cas normal, et qu'il en est de même de certaines chambres simples munies d'un dispositif de visée d'une station sur l'autre. Des appareils de restitution d'une grande précision, mais d'une conception simplifiée, ont été réalisés pour exploiter les clichés pris dans le

cas normal, et uniquement dans ce cas. Les perfectionnements apportés à certains d'entre eux et aux chambres photographiques correspondantes selon les conceptions du Dr Foramitti ont étendu les possibilités de ces instruments au cas normal réalisé, non plus seulement selon des axes perpendiculaires ou parallèles aux plans de référence du relevé, mais également avec des axes inclinés d'un angle de site constant (30 et 70 gr ou 30 et 60°). Ces appareils de restitution n'en restent pas moins limités à l'exploitation d'un seul type de photographies, celles qui sont prises avec des chambres d'une certaine focale et d'un certain format. En fait, ces équipements se présentent sous forme d'un *lot d'appareils*: chambre simple, chambre stéréométrique, appareil de restitution, les différents éléments de ce lot n'étant pratiquement pas interchangeables avec les éléments d'un autre lot construit par une autre firme. Il existe essentiellement deux lots de ce type: Zeiss TMK, SMK, Terragraphe; et Wild P.32, C et A.40 (1).

Il convient d'autre part de bien préciser que:

— les appareils de restitution de cette catégorie ne possèdent pas de dispositif d'orientation absolue et imposent donc de respecter toujours le parallélisme du plan de référence et de la base (en fait, c'est la direction de cette base qui définit l'orientation du trièdre de référence du relevé);

— les lots existant actuellement ne comportent que des chambres métriques qui — photogrammétriquement parlant — sont des chambres de petit format (6,5×9 et 9×12 cm) et de courte focale (55 à 65 mm).

Or, dans un relevé photogrammétrique d'architecture, il convient de respecter les deux règles suivantes:

— le *rapport de la longueur de la base à l'éloignement* doit rester compris entre 1/5 et 1/15, exceptionnellement 1/20; la première limite évite d'enregistrer des contours apparents trop différents sur les deux clichés d'un même couple; la seconde maintient la précision de la restitution;

— pour une bonne exploitation des clichés, l'*échelle de la photographie ne doit pas être trop petite par rapport à l'échelle du relevé*. Le rapport entre ces deux échelles doit rester supérieur à 1/7 ou 1/8, exceptionnellement 1/10.

En outre, dans certains cas, il n'est pas possible de conserver le parallélisme des axes de prise de vues entre eux, ni le parallélisme de la base au plan de référence du relevé. Ces raisons, jointes au respect des deux règles ci-dessus, peuvent rendre insuffisants les lots constitués par des chambres de petit format associées à des appareils de restitution simplifiés. Il est indispensable alors d'avoir recours à

---

(1) Les clichés pris avec la chambre stéréométrique Véroplast peuvent être traités dans un certain nombre d'appareils universels. Les clichés pris avec la chambre 5,5/0808 peuvent être restitués dans un Topocart (mais cet appareil a bien d'autres possibilités d'emploi) ou dans le nouvel appareil Technocart.

des chambres photogrammétriques plus importantes, de donner, s'il le faut, de la convergence et un site quelconque aux axes de prise de vues et, par voie de conséquence, d'utiliser *des appareils de restitution universels,* malgré les complications qui ne manquent pas de résulter de l'emploi de tels équipements. Ceux-ci ne se présentent plus sous forme d'une série « chambres-restituteur »; il faut, lors du choix des appareils, bien examiner les possibilités d'exploitation des clichés pris avec une chambre donnée dans tel ou tel appareil de restitution (1).

Les remarques qui précèdent ne sont nullement une critique envers les lots d'équipements comportant des chambres de petit format et des restituteurs limités au cas normal. Ces lots sont parfaitement adaptés à la très grande majorité des travaux de relevés nécessaires à la conservation des monuments historiques. Nous voulons seulement bien marquer qu'ils ne permettent pas de résoudre *tous* les cas de relevés, notamment pour les *grands édifices* ou les ensembles architecturaux importants, et que, dans un équipement complet permettant de traiter tous les types de relevés, il est indispensable de pouvoir disposer d'appareils plus conséquents.

Dans les appareils universels, les « chambres de restitution » peuvent recevoir des rotations en site (inclinaison par rapport à l'horizontale) et en convergence (rotation autour d'un axe vertical, détruisant le cas normal); les amplitudes de ces mouvements sont plus ou moins grandes selon les types d'appareil. Les valeurs maximales en sont indiquées dans le tableau I par les lettres s et c.

Une autre caractéristique importante est la « course en z » de l'appareil qui lui permet de traiter, en une seule opération, des éléments architecturaux ou archéologiques présentant une plus ou moins grande profondeur. Cette caractéristique est donnée dans le tableau par la lettre z. Pour obtenir la « profondeur restituable », il convient de multiplier la course indiquée (différence entre les deux valeurs extrêmes) par l'échelle du modèle reconstitué dans l'appareil.

b.3 - Nous voulons aussi souligner qu'il n'est pas non plus nécessaire de vouloir faire appel systématiquement aux méthodes photogrammétriques (certaines mesures très simples peuvent avantageusement être prises directement) et que la photogrammétrie, malgré ses immenses possibilités ne permet pas toujours de résoudre tous les problèmes d'un relevé complet. Ceci est souvent vrai pour l'établissement du plan d'un édifice ou lorsque l'on a le souci de relier dans un système de référence unique toutes les parties intérieures et extérieures (fig. 11 et 12). Certaines parties d'ailleurs (par exemple un escalier à vis dans une tour ou dans l'épaisseur d'un mur) peuvent échapper totalement à la

---

(1) Il est évident que des photographies prises dans le cas normal peuvent également être restituées dans des appareils universels, dont l'emploi se trouve alors simplifié.

photogrammétrie, tout simplement parce qu'elles ne peuvent pas être convenablement photographiées. L'adoption des méthodes photogrammétriques n'exclut donc pas le recours aux méthodes de relevé direct et aux méthodes topométriques. Le juste équilibre qui doit être réalisé entre les unes et les autres semble avoir été particulièrement bien atteint par les services techniques des monuments historiques de Tchécoslovaquie (se reporter, en particulier, aux actes du 1er Symposium géodésique sur le relevé des monuments historiques, Prague, 15-18 octobre 1968).

c) *Adaptation des équipements et des méthodes aux types de relevés à effectuer*

Cette question a été l'un des thèmes principaux du Colloque de l'ICOMOS (1968). Les résultats de cette étude ont été exprimés dans un tableau, élaboré pendant les discussions et mis au point dans ses détails par H. Foramitti et M. Carbonnell. Nous croyons utile de l'extraire des actes du Colloque de l'ICOMOS et de le reproduire ici (Tableau II). Il présente une vue d'ensemble de la question accompagnée d'un essai d'échelle d'indice du coût des travaux sur le monument (constitution des archives photogrammétriques) et en atelier (exploitation sous forme de relevés photographiques, graphiques et éventuellement numériques). Il donne également une échelle d'indice du coût des équipements. Il montre que la précision se paie, de façon très différente d'ailleurs selon les dimensions et l'accessibilité des parties à relever et selon les buts du relevé.

Il importe donc de *bien étudier la précision qu'il est vraiment nécessaire d'obtenir dans le relevé* et de bien connaître ce que l'on peut effectivement espérer obtenir avec tel équipement et telle méthode photogrammétrique. Pour des raisons techniques évoquées précédemment, les prises de vues doivent être adaptées à l'échelle et à la précision du relevé que l'on veut établir (fig. 13 et 14) et même parfois à la nature du monument ou du site. Convient-il, d'autre part, de n'enregistrer que des clichés permettant tous les relevés d'ensemble du monument (fig. 15) ou veut-on également des clichés permettant des relevés précis et détaillés de tous les éléments architecturaux pris individuellement (pouvant aller, par exemple, jusqu'aux quatre faces de tous les chapitaux d'une cathédrale...)? Il y a évidemment un choix à faire et il ne peut pas être fait sur de simples critères techniques. C'est à l'architecte de définir en quoi doit consister le relevé.

c.1 - Pour des *relevés simples et rapides,* en vue d'un dessin à caractère surtout expressif et pour lesquels les tolérances de précision sont assez grandes, la prise de vues s'effectuera avec des chambres individuelles ou stéréométriques de petit format, en réalisant de préférence le cas normal. L'exploitation des photographies se fera par redressement photographique ou par stéréorestitution graphique avec des appareils simplifiés.

c.2 - Les *relevés détaillés et précis,* exécutés en vue de travaux de restauration (fig. 16), de mise en valeur et d'études scientifiques, forment le groupe le plus important des applications de la photogrammétrie à l'architecture. Tous les travaux courants de la conservation des monuments historiques appartiennent à ce groupe (1), sous réserve toutefois qu'ils ne concernent pas des édifices ou des éléments architecturaux de très grandes dimensions.

On utilisera, pour ces relevés, le même matériel que dans le cas précédent, de plus grands formats pouvant cependant parfaitement convenir. On procèdera ensuite par stéréorestitution, souvent aussi, pour les surfaces planes, par redressement photographique, parfois enfin par une combinaison des deux méthodes, la restitution donnant le tracé des éléments en relief et ce tracé servant de figure d'appui au redressement des surfaces planes comprises entre ces éléments.

La stéréorestitution offre également la possibilité de traiter les surfaces non planes (voûtes, coupoles, colonnes, chapitaux, statuaire, bas-reliefs, etc.) par des profils et des coupes, mais aussi d'étendre le relevé à la totalité de ces surfaces par une représentation en courbes analogues aux courbes de niveau des cartes topographiques. Pour cela, l'opérateur amène son index à une certaine profondeur, puis, le maintenant à cette profondeur, il le déplace en gardant le contact avec la surface à relever. L'équidistance entre les courbes ainsi tracées (courbes de niveau si la surface de référence est horizontale, sections verticales si cette surface est elle-même verticale) sera choisie en fonction du relief des formes, de l'échelle du relevé et de la précision recherchée (fig. 17 et 18).

Pour le relevé des *grands édifices,* on s'efforcera avant tout de maintenir une échelle de prise de vues qui ne soit pas trop petite par rapport à l'échelle du relevé. Il sera alors indispensable d'utiliser des chambres de grand format et des appareils de restitution universels. Une méthode intéressante consiste à déterminer, à l'aide d'un couple de photographies couvrant l'ensemble d'un grand élément architectural, le canevas d'appui nécessaire à la restitution d'autres clichés à plus grande échelle couvrant, partie par partie, cet élément.

c.3 - Les mêmes méthodes peuvent s'appliquer aux *relevés à caractère archéologique* et notamment aux relevés des fouilles. L'un des avantages de la photogrammétrie, dans ce domaine, est de pouvoir enregistrer rapidement toute une série d'états successifs des fouilles au cours de l'avancement des travaux, sans perturber ni retarder ces travaux.

c.4 - Enfin la mesure de *faibles déformations* des monuments et de leur évolution ne peut atteindre une précision suffisante que si l'on

---

(1) Voir Hans FORAMITTI: « La photogrammétrie au service des conservateurs », Centre International pour la Conservation, Rome, 1973.

fait appel aux méthodes de la photogrammétrie numérique ou analytique. Il ne s'agit plus alors de tracés, mais d'enregistrement de coordonnées sur le modèle formé dans l'appareil de restitution ou sur les clichés (emploi d'appareils spéciaux appelés stéréocomparateurs). Ces données sont ensuite traitées par le calcul. L'exposé de ces méthodes sortirait du cadre de cette étude.

d) *Intérêt de la photographie aérienne*

Les couvertures photographiques aériennes prises en avion ne peuvent guère être utilisées pour le relevé des monuments. Elles sont d'un intérêt capital, par contre, pour:

— la restitution en plan des grands ensembles architecturaux et des sites archéologiques (fig. 19),

— l'analyse globale des centres historiques, notamment des centres urbains et la préparation du relevé photogrammétrique des développements de façades (1),

— les études d'aménagement des sites monumentaux et archéologiques et des sites naturels.

Pour les monuments eux-mêmes, il serait souhaitable de voir se développer des matériels permettant des prises de vues à très basse altitude (ballons par exemple ou hélicoptère dont l'emploi est cependant très délicat), matériels qui seraient fort utiles pour les tracés en plan et le relevé des parties supérieures des édifices (fig. 20).

Pour la restitution des photographies aériennes, il n'est plus possible d'utiliser les appareils simplifiés limités au cas normal. Il faut des appareils restituteurs de prises de vues stéréophotogrammétriques aériennes, dont il existe de nombreux modèles. Le choix cependant peut se trouver limité par la nécessité d'introduire parfois un faible rapport base/éloignement et de disposer d'une « course en z » importante par rapport à l'éloignement moyen (le sujet pouvant présenter de fortes différences d'altitude comparativement à la hauteur de prise de vue). Les appareils universels recommandés pour les cas les plus difficiles de prises de vues au sol sont également ceux qui conviennent le mieux à la restitution de prises de vues aériennes de tous types (tableau I).

III - Le personnel

a) *Différentes catégories de personnel*

Le personnel travaillant dans un service de photogrammétrie architecturale doit avoir les *qualifications nécessaires en architecture et en photogrammétrie.* Cette affirmation peut paraître banale mais on a

---

(1) Se reporter au texte sur la photogrammétrie appliquée à l'étude et à la conservation des centres historiques, pag. 5 et s.

parfois tendance à l'oublier. De la même façon qu'une bonne cartographie par photogrammétrie aérienne ne peut se concevoir sans une solide formation topographique du personnel qui l'exécute, l'exécution des relevés photogrammétriques de monuments demande une certaine formation dans le domaine architectural.

D'autre part, le personnel doit se situer à deux niveaux: *niveau architecte et ingénieur; niveau technicien.* Architectes et ingénieurs assurent la direction du service, l'organisation générale des travaux, définissent le choix et les conditions d'emploi du matériel, précisent les caractéristiques du relevé et de la constitution d'archives photogrammétriques propres à chaque monument ou à chaque site. Les techniciens assurent l'exécution des travaux sur place et des travaux de laboratoire: prises de vues, mesures topométriques, restitution, mise au net des relevés, conservation des archives photogrammétriques. Il est fort souhaitable que, parmi les techniciens, se trouve au moins un spécialiste *photographe.*

Il faut éviter une trop grande spécialisation de ce personnel: par exemple affecter certains aux opérations sur les monuments, d'autres aux travaux de laboratoire. Il est indispensable, pour faciliter l'organisation du Service, pour accroître l'intérêt porté par les techniciens à leur tâche et pour assurer un bon travail que le personnel soit *polyvalent.* L'expérience prouve que des problèmes particuliers à chaque cas de relevé ne manquent jamais de se poser lors d'une campagne de constitution d'archives photogrammétriques; le choix des bonnes solutions nécessite la connaissance et une sérieuse pratique de la restitution photogrammétrique.

b) *Formation du personnel*

Cette formation doit réaliser, pour les deux niveaux, la symbiose entre les spécialistes de la photogrammétrie et les spécialistes des monuments historiques.

Architectes et ingénieurs. - Ils doivent se spécialiser en photogrammétrie architecturale au niveau de l'enseignement supérieur, dans les quelques instituts ou facultés qui dispensent un enseignement adapté à cette spécialisation. Il y en a malheureusement très peu. Si possible, ces études (deux années par exemple) doivent aboutir à la soutenance d'une thèse.

La littérature sur le sujet est déjà abondante et s'est beaucoup accrue au cours des dernières années (voir bibliographie sommaire in fine).

Techniciens. - Pour la formation des techniciens, il faut prévoir un cours avant tout pratique. Les étudiants qui l'auraient suivi devraient connaître de façon très sérieuse les différents aspects du relevé photogrammétrique et acquérir une expérience pratique certaine dans la manipulation des instruments et dans la solution des problèmes de la

photogrammétrie architecturale, souvent plus ardus que ceux de la photogrammétrie topographique aérienne. L'enseignement doit donc s'étendre sur une année.

Une bonne culture générale, du niveau des études secondaires, serait souhaitable. Deux catégories de participants peuvent être admises au cours:

— des techniciens de l'architecture (dessinateurs spécialisés, aides architectes, etc.) qui apprendraient les techniques photogrammétriques de relevés;

— des techniciens photogrammètres et géomètres qui recevraient les notions nécessaires à l'application de leur technique au cas très particulier des relevés d'architecture.

Il est très désirable que les deux catégories soient représentées lors de chaque session, afin de permettre des échanges fructueux et d'accroître l'intérêt du cours.

Le programme doit comporter les points principaux suivants:

1) Les diverses techniques du relevé d'architecture. Etude comparative et analyse critique des cas d'application. Parallèlement, notions d'histoire de l'architecture, avec une attention particulière aux faits et aux éléments architecturaux qui posent des problèmes particuliers dans les relevés.

2) Notions générales de photogrammétrie. Principes. Conditions techniques d'exécution du processus photogrammétrique.

3) Différentes méthodes photogrammétriques applicables aux relevés d'architecture. Etude critique de ces méthodes et de leurs cas d'application les plus favorables, sous le triple aspect de l'adaptation aux besoins de l'architecte, de l'efficacité et du prix de revient. Etude des matériels les mieux adaptés.

4) Nombreux travaux pratiques de prise de vues et d'exploitation des clichés sur des monuments de différents types et d'importance variable.

Un tel cours n'existe absolument pas actuellement. Il serait d'une grande importance d'en prévoir l'organisation sur un plan international.

N.B. - Le schéma de formation du personnel exposé ci-dessus est un schéma théorique que l'on doit s'efforcer de réaliser, mais qui peut présenter parfois des difficultés en raison de l'impossibilité d'envoyer pendant longtemps des techniciens à l'étranger pour qu'ils y acquièrent les connaissances nécessaires. Il n'est pas exclu de procéder par étapes, en s'efforçant d'entreprendre des travaux de relevés aussi rapidement que possible avec un personnel ayant reçu une formation accélérée. Cette façon de faire peut même être un stimulant qui facilitera le fonctionnement d'un nouveau service spécialisé. L'accent devra alors être mis d'abord sur la constitution des archives photogrammétriques et sur les méthodes de redressement, l'initiation à la restitution stéréo-

photogrammétrique pouvant ne venir qu'ultérieurement. Il est certain que la simplicité du matériel employé sera un facteur qui contribuera également à un bon départ.

IV - Organisation du service

a) *Schéma d'organisation*

Le Tableau III présente un schéma possible. Quel que soit l'organigramme adopté, on trouvera toujours, d'une part les travaux sur les monuments et les sites, c'est-à-dire l'établissement des archives photogrammétriques, et d'autre part les travaux d'exploitation de ces archives sous forme de relevés graphiques ou photographiques. Il faudra également prévoir de façon très sérieuse la conservation des archives, documents de travail qui devront pouvoir être examinés et exploités à tout moment et qui resteront, aussi longtemps que possible, les témoins de l'état du monument ou du site à la date de prise de vues.

Le Bureau technique, placé auprès de la Direction du Service, a un rôle capital. Il est chargé de « penser » les relevés à exécuter, en liaison avec les services de conservation et de restauration et en fonction des besoins de ces services. Il doit définir les équipements à employer et les méthodes à mettre en oeuvre selon les caractéristiques de l'édifice (caractéristiques propres et environnement). Enfin il doit établir un programme de constitution systématique d'archives photogrammétriques pour toutes les richesses architecturales et archéologiques du pays et préciser, pour chaque monument, les prises de vues à effectuer.

A la Direction et au Bureau technique, doivent être placés des spécialistes de la qualification ingénieur et architecte. Si le service prend de l'ampleur il doit en être de même à la tête des trois principales divisions. Les autres employés seront des techniciens, assistés de quelques photographes de laboratoire et dessinateurs.

Bien entendu, le Service peut se développer progressivement. Une bonne solution, pour une mise en route, serait d'y affecter un architecte, un ingénieur, quatre techniciens, deux photographes et quatre dessinateurs. Comme nous l'avons dit, il est très souhaitable que les mêmes techniciens et photographes puissent effectuer à tour de rôle les travaux sur le terrain et les travaux d'atelier.

b) *Choix des équipements*

Les équipements peuvent, eux aussi, être acquis et mis en service progressivement. Nous conseillons de commencer par un « lot » conçu pour le cas normal. La série Zeiss TMK - SMK 120 - SMK 40 - Terragraphe est certainement la mieux adaptée aux relevés d'architecture. La série Wild P 32 - C 120 - C 40 et A 40 convient sans doute mieux aux relevés

archéologiques. Le coût de chaque série est de l'ordre de 60.000 dollars (1). Il faut ensuite prévoir un redresseur (40.000 dollars environ). On peut toutefois commencer les travaux sur les monuments avec un équipement plus réduit, composé par exemple d'une chambre TMK, d'une chambre stéréométrique SMK et, si possible, d'un petit redresseur à 30 grades (coût total, environ 20.000 dollars).

Das une deuxième phase, il faut envisager d'acquérir simultanément un deuxième équipement pour le cas normal et des appareils plus universels, afin de pouvoir effectuer le relevé des grands monuments. Les chambres de prise de vues ont des prix variables (par exemple l'UMK 10/1318 coûte environ 16.000 dollars). Les photothéodolites (Wild P.30, Zeiss-Jena 19/1318, Galileo FTG 1 b) ont l'inconvénient d'un champ trop petit et ne conviennent pas toujours bien aux relevés d'architecture. Pour ces relevés l'UMK de Zeiss-Jena et la chambre P.31, actuellement en préparation chez Wild, sont préférables.

Quant aux restituteurs universels, dont le Tableau I indique ceux qui conviennent le mieux à la restitution architecturale et archéologique, avec — de plus — la possibilité d'être utilisés pour la restitution des photographies aériennes, ils sont d'autant plus intéressants qu'ils ont une grande course en z (profondeur du sujet) et de plus grandes inclinaisons en site et convergence. Il faut, d'autre part, qu'ils puissent recevoir les clichés pris avec la chambre choisie (format et focale): les descriptions détaillées des chambres et des restituteurs permettent de le savoir, mais il est bon de s'en assurer auprès des constructeurs. Ils doivent permettre d'introduire un très petit rapport base/éloignement, donc une très petite base; tous les appareils mentionnés au Tableau I le permettent. Le coût de ces appareils varie entre 50.000 et 80.000 dollars.

Enfin, il faut prévoir des équipements annexes indispensables:

— matériel de laboratoire de campagne;

— matériel de laboratoire pour la division des archives, avec tout l'équipement nécessaire;

— flash et projecteurs pour les prises de vues;

— un matériel pour photos documentaires, souvent très utiles pour des détails que l'on photographiera de près afin d'en faciliter la restitution (par exemple, un 24×36 équipé d'un objectif normal et d'un téléobjectif);

— enfin, dès que possible, pour le laboratoire d'archives, une tireuse électronique à compensation automatique de contraste.

c) *Collaboration avec les services photogrammétriques des instituts topographiques*

Un Service de photogrammétrie architecturale doit évidemment appartenir au Ministère responsable des Monuments Historiques et des

(1) Avec le Planimat au lieu du Terragraphe, l'équipement Zeiss coûte environ 80.000 dollars.

Sites. Mais il aura grand intérêt à entretenir une étroite collaboration avec le service photogrammétrique de l'institut topographique du pays. Cette collaboration doit lui permettre:

— de recevoir les conseils d'ingénieurs et de techniciens spécialistes de la photogrammétrie et de faire éventuellement appel à eux pour la formation du personnel;

— de faire exécuter certaines restitutions sur des appareils universels, dans l'attente de disposer lui-même de tels appareils;

— d'exploiter les photographies aériennes prises par ces services et, s'il le faut, de leur demander des missions aériennes spéciales.

Juin 1970

MAURICE CARBONNELL
Chef du Service de Photogrammétrie
et du Centre de Photogrammétrie
Architecturale et Archéologique
Institut Géographique National (France)

Tableau I

EQUIPEMENTS PHOTOGRAMMETRIQUES CONVENANT AUX RELEVES D'ARCHITECTURE

Chambres simples	Chambres stéréométriques	Appareils de restitution	Appareils de redressement
I - EQUIPEMENTS CONÇUS POUR LE CAS NORMAL			
Zeiss TMK f = 60 mm 9 × 12 cm (8×10 utiles) H s = 0, ± 30, ± 70, ± 100 gr	**Zeiss SMK-120 et SMK-40** f = 60 mm 9 × 12 cm (8×10 utiles) H s = 0, ± 30, ± 70, ± 100 gr B = 120 et 40 cm base verticale possible	**Zeiss Terragraphe** z = de 60 à 610 mm calculateur inclinaison 30 et 70 gr **Zeiss Planimat modifié** z = de (f+40) à (f+310) mm avec TMK, conv. ±5,5 gr, calculateur inclinaison 30 et 70 gr	
Wild P. 32 f = 64 mm 6,5 × 9 cm L et H montée sur théodolite T 2 ou base basculante s = de —40 à + 40 gr	**Wild C-120 et C-40** f = 64 mm 6,5 × 9 cm L s = 0, ± 10, ± 30, ± 60, ± 80, ± 90° B = 120 et 40 cm base verticale possible	**Wild A. 40** z = de 40 à (500-f) mm calculateur inclinaison 30 et 60 gr	
Officine Galileo Verostat f = 100 mm 9 × 12 cm H s = 0, ± 30, ± 60, ± 90°	**Officine Galileo Veroplast** f = 150 mm 13 × 18 cm L s = de 0 à ± 45° B = 200 et 56 cm	**Officine Galileo Stéréocartographe V** z = de 150 à 525 mm (ou certains autres appareils universels)	
	Zeiss Jena SMK-5,5/0808/120 et 40 f = 56 mm 9 × 12 cm (8×8 utiles) s = 0 et + 100 gr B = 120 et 40 cm	**Zeiss Jena Topocart B** z = de 70 à 320 mm **Zeiss Jena Technocart** z = de 35 à 350 mm	
II - EQUIPEMENTS PLUS OU MOINS UNIVERSELS			**Wild E 4** **Zeiss SEG. V**
Wild P. 30 f = 165 mm 10 × 15 cm L s = de —28 à + 7 gr		**Wid A. 7** z = de 140 à 490 mm f = de 98 à 215 mm s = de —9 à +30 gr c = de ±6 à ∓30 gr	**Zeiss Jena Rectimat**

Chambres simples	Chambres stéréométriques	Appareils de restitution	Appareils de redressement
Zeiss Jena Phototheo 19/1318 f = 190 mm 13 × 18 cm L translation objectif de +30 à —45 mm **Zeiss Jena UMK 10/1318** f = 100 mm 13 × 18 cm H et L s = 0 et + 100 gr **Officine Galileo FTG 1b** f = 155 mm 10 × 15 cm L se monte sur un théodolite		**Wild A. 10** z = de 130 à 450 mm f = de 86 à 308 mm s = de —7 à +6 gr c = ± 6 gr **Zeiss stéréoplanigraphe C. 8** z = de 170 à 605 mm f = de 80 à 610 mm s = de —20 à +60 gr c = de ±20 à ∓30 gr **Zeiss Planimat** z = de (f+40) à (f+310) mm f = de 85 à 305 mm s = c = ± 5,5 gr **Zeiss Jena stéréoplanigraphe** z = de 150 à 640 mm f = de 100 à 211 mm s = de —20 à +75 gr c = de ±15 à ∓30 gr **Zeiss Jena stéréométrographe D** z = de 135 à 350 mm (700 mm) f = de 87 à 215 mm s = c = ± 6 gr **Zeiss Jena stéréoautographe** (pour clichés 19/1318 seulement) z = de 50 à 400 mm c = de —2 à +5 gr **Officine Galileo Stéréocartographe V** z = de 150 à 525 mm f = de 86 à 220 mm s = ± 12 gr c = ± 8 gr **Nistri Photostéréographe Béta 2** z = de 140 à 700 mm f = de 152 à 210 mm s = de —30 à +30 gr c = de —10 à +10 gr	

Tableau II

Extrait des actes du Colloque de l'ICOMOS sur la photogrammétrie architecturale (1968)

LA PHOTOGRAMMETRIE AU SERVICE DES MONUMENTS HISTORIQUES

RELEVES NECESSAIRES A L'ETUDE, LA CONSERVATION ET LA MISE EN VALEUR DES MONUMENTS HISTORIQUES			POSSIBILITES OFFERTES PAR LES DIFFERENTES METHODES PHOTOGRAMMETRIQUES					
	Différents types de relevés	Tolérances maximales	Enregistrement des données: clichés (2) et mesures de contrôle	Investissement (6)	Exploitation (sur le monument) (7)	Exploitation des données (établissement de relevés photographiques, graphiques ou numériques)	Investissement (6)	Exploitation (en atelier) (7)
❶	Relevés simples et rapides en vue d'un dessin à caractère surtout expressif (y compris développements sommaires de façades), pour avant-projets de restauration, études préliminaires, etc.	5% sur les dimensions principales ou 10 à 20 cm en erreur absolue	*Prises de vues* - Chambres individuelles ou chambres doubles sur base fixe: — petits formats (6,5×9 à 9×12) — courtes focales (50 à 70 mm) Différents types: — prise de vues isolées ..... — -d° - astéréoscopiques ..... — -d° - stéréoscopiques [de préférence cas normal (3)] ..... *Mesures de contrôle:* horizontale et verticale repérées (4) + simples mesures de longueurs	1 2	1	Epures par constructions graphiques Redressement optique à la chambre claire Redressement photographique { établissement de photoplans / exploité graphiquement Stéréorestitution avec appareils simplifiés	0,5 0,2 10 10	10 à 20 10 à 20 1 5 à 15 10
❷	Relevés détaillés et précis en vue de travaux de restauration, de mise en valeur et d'études des tracés (1): a) Tous relevés courants de monuments, d'éléments architecturaux considérés individuellement, de développements de façades dans les quartiers anciens, à l'exception des relevés d'ensemble des grands édifices ou d'éléments architecturaux de très grandes dimensions.	0,5 à 2% sur les dimensions principales ou quelques cm en erreur absolue	*Prises de vues:* Matériels du type ❶ ou chambres de plus grand format de construction simple. Différents types: — Prise de vues isolées ..... — Prise de vues stéréoscopiques [de préférence cas normal (3)] ..... *Mesures de contrôle:* Mesures topométriques allégées. Horizontale et verticale repérées (4).	1 à 3	1,5 à 3	Redressement photographique { établissement de photoplans / exploité graphiquement Stéréorestitution, de préférence avec appareils simplifiés	10 10	1 à 2 10 à 20 10 à 15
	b) Relevés de grands édifices et d'éléments architecturaux de grandes dimensions.	d°	*Prises de vues:* Chambres métriques individuelles grand angulaires (de format 10×15 à 24×24, de focale 100 à 150 mm) + chambres à longues focales de 300 à 600 mm (5): — Prise de vues stéréoscopiques ..... *Mesures de contrôle:* Canevas topométrique.	5 à 10	4 à 10	Stéréorestitution avec appareils de 1er ordre Restitution analytique de très nombreux points avec stéréocomparateur et calcul électronique — mesures et calcul des points — avec établissement d'un dessin complet Possibilités d'emploi de l'orthophotographie (à étudier)	20 à 35 30 60	20 à 25 10 40 10 à 20 (9)
	c) Relevés à caractère archéologique.	d°	— Voir a) et b) pour les éléments apparents ..... — Nouvelles méthodes d'enregistrement à étudier pour les éléments cachés ..... — Photographie aérienne pour les relevés d'ensemble des grands sites	1 à 10 — > 150	1,5 à 10 — (8)	Voir a) et b) Etudes à poursuivre et surtout à entreprendre Stéréorestitution aérienne	10 à 35 — 10 à 35	1 à 40 — (8)
❸	Relevés de haute précision en vue d'études fines de l'évolution de faibles déformations.	de 1 mm à quelques mm	— Voir 2 b) avec le maximum de précautions — Prises de vues différentielles	5	10	Restitution numérique ou analytique	25 à 35	(10)
❹	Relevés de surfaces polies, en particulier de sculptures (épiderme) avec le maximum de précision.	de 1 à quelques dixièmes de mm	Matériel à créer	—	—	Méthodes et matériels à étudier	—	—

(1) Pour ces études, l'homogénéité du relevé doit être aussi bonne que possible.

(2) Ne sont considérées dans ce tableau que des prises de vues avec des chambres métriques.

(3) Cas normal = axes parallèles et perpendiculaires à la base.

(4) En particulier avec des niveaux de précision.

(5) Intérêt, pour certains travaux, d'employer des chambres par paires.

(6) Indices de coût du matériel sur la base 1 = prix d'une chambre métrique individuelle de petit format. L'équipement considéré tient compte des données les plus récentes obtenues lors du XIe Congrès International de Photogrammétrie (Lausanne, 8-20 juillet 1968).

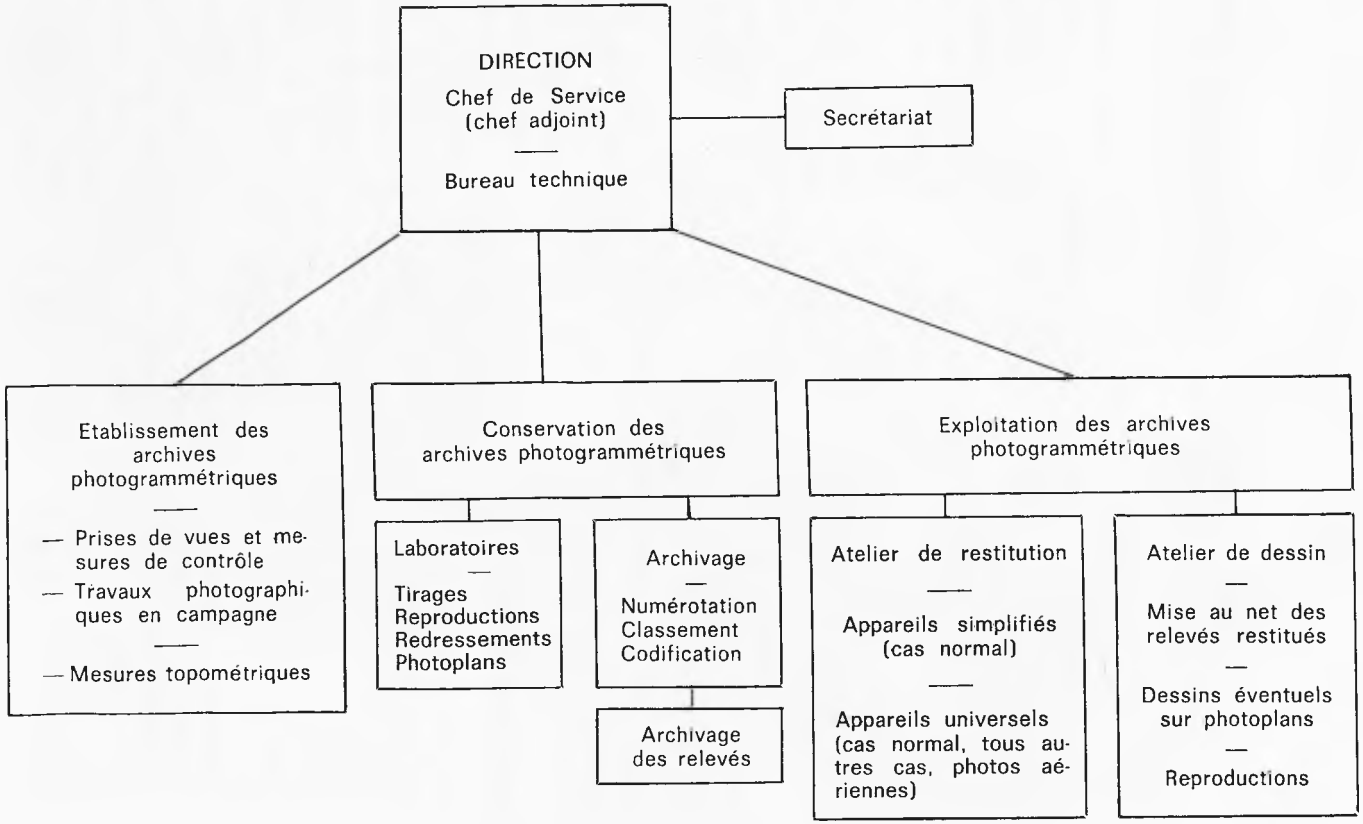
(7) Indices relatifs, indépendants de l'investissement. La base de ces indices est la même pour la prise de vues et pour l'exploitation en atelier.

(8) Très variable selon l'importance et la situation du site.

(9) L'emploi de l'orthophotographie ne semble pouvoir être envisagé que pour des éléments architecturaux ne présentant pas trop de discontinuité. En raison de son prix de revient, l'orthophotographie est certainement sans intérêt si l'on veut aboutir ensuite à un document graphique complet.

(10) Très variable selon le nombre de mesures à effectuer.

SCHEMA D'UN SERVICE DE PHOTOGRAMMETRIE ARCHITECTURALE **Tableau III**



NOTES ON THE CREATION OF AN ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY SERVICE IN A DEVELOPING COUNTRY

1. - What are the advantages of an architectural photogrammetry service?

The interest and possibilities of photogrammetry employed for the survey of monuments have often been demonstrated. A great many publications and the ICOMOS meeting at Saint-Mandé (France, 4-6 July 1968) have pointed out the following:

— the scientific study of monuments and the technical history of architecture should now be considered as an essential part of artistic knowledge;

— they require exact and objective surveys, guaranteeing the precise measurement of each part of the building (a distinction should be made, according to Mr. H. Foramitti, between the actual form, as opposed to the intended form or apparent form of the building).

— the surveys can only be carried out by means of photogrammetry.

These methods can be employed in all fields covered by the architecture of historic monuments. On the occasion of the ICOMOS meeting, Mr. A. Donzet drew up a complete plan consisting of three main parts:

— study, restoration and presentation of monuments (including archaelogical studies and excavations);

— analysis and treatment of historic towns, requiring a general approach and detailed surveys, in particular the "façade development" of squares and streets;

— conservation and protection of urban and natural sites, especially when new buildings are to be added to these sites.

Generally speaking, very little progress has been made in this direction. For the majority of buildings belonging to international artistic property, there is not a plan satisfying modern requirements of a scientific survey. In every country these buildings are threatened by nature, the weather and man's activity. This threat is probably more serious and immediate in developing countries: here, in fact, the rapid and substantial changes and the construction of new buildings and dams condemns many monuments to destruction.

It is particularly urgent in these countries to undertake immediately scientific surveys of monuments and sites. The pressing requirements of these monuments suggest the application of photogrammetric methods, which guarantee reasonable costs and rapid results in the field. Photographs taken with special equipment and according to certain rules, and completed with measurements that are generally very simple, form the *photogrammetric archives of the monument*. Such archives are used

over and over in the future: this time lapse between the constitution of the technical archives and their use is one of the main advantages of photogrammetry. Reflecting exactly the state of the monument when the photograph is taken, the archives will often help in making graphic surveys, in determining measuring elements and deformations, even if the monument is later seriously damaged or even destroyed. The creation of photogrammetric archives is the first duty of any country interested in the conservation of its artistic and cultural property.

How can photogrammetric surveys be organized?

Topographic services or university institutes might be charged with photogrammetric surveys. Extremely important is the cooperation between these services for the study of the best equipment and methods and for the performance of particularly difficult works concerning large monuments or architectural sites. A topographich service may specialize one of its sections for this type of activity (as the French Institut National Géographique did). Or else, an organization might request its experts in historic monuments to create a photogrammetric service in cooperation with the topographic service. In France this cooperation formula has been adopted by the Inventaire National des Monuments et des Richesses Artistiques and by the Institut Géographique National.

But, in some developing countries, it may happen that the architectural works are left as second in order of priority, owing to other heavy demands on topographic services and to their lack of funds. The amount of work required by an emergency survey of major monuments and sites may be of so great an extent that it can only be carried out properly by *a specialized organization.*

2. - Equipment required for architectural photogrammetry

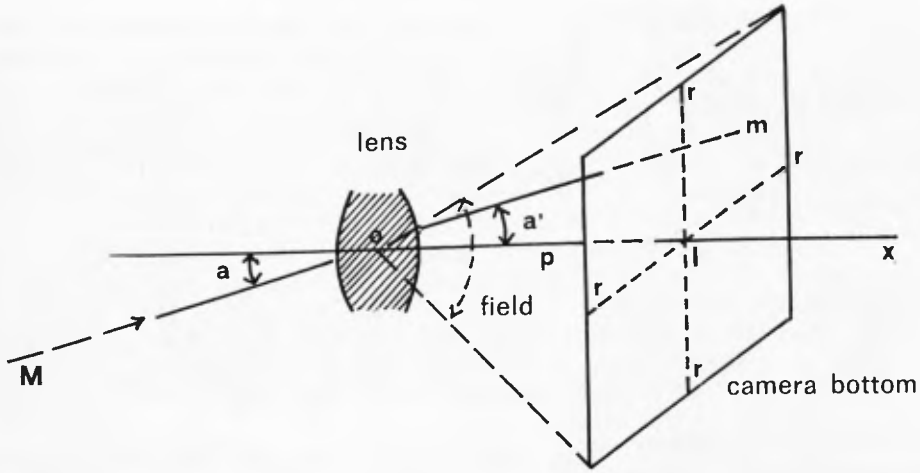
a) *Different types of equipment*

Table I shows the main instruments available on the international market of photogrammetric equipment, suggested for architectural surveys.

a.1. *Cameras for photogrammetric exposures*

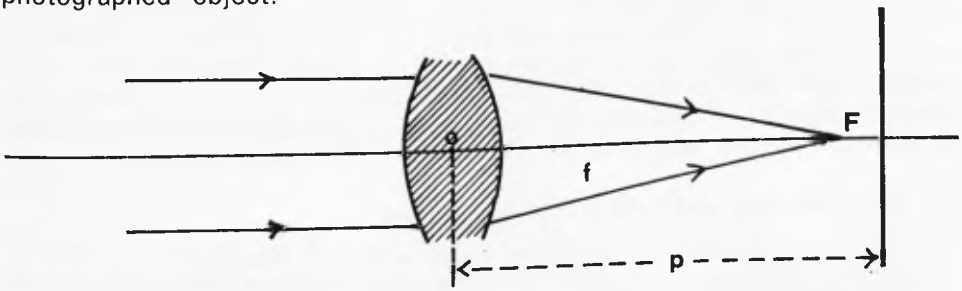
They are *metric cameras,* that is special instruments in a single unit, strictly connecting the lens to the bottom of the camera, on which the plate is applied at the moment of the exposure. The features of these cameras are calibrated with great precision in the laboratories (such calibration is expressed in hundred of millimetres or microns). These features must remain unvaried during manipulation of the instrument.

If we draw a sketch representing a metric camera, we can see the following features:



— The optical axis of the lens Ox must be rigorously perpendicular to the camera bottom; it cuts this bottom in a point I, called the *principal point.* This is placed on the intersection of two orthogonal lines joining two by two some reference points r placed on the camera bottom and reproduced on the negative image with the subject (fig. 1).

— The distance O I separating the perspective centre from the lens O of point I is the *principal distance* p of the camera. Such distance can be different from the *focal length* of the lens f, that is the distance O F to which, after having crossed the objective, beams parallel to the optical axis (subject to the "infinity") are converging; the principal distance corresponds to an optimal separation from the photographed object.



This principal distance p should be known with an extreme exactness (0,01 mm). In practice, however, a type of metric camera is characterized by a value approaching f (f = 60 mm; f = 155 mm etc.). The photogrammetric cameras required for architectural surveys have a principal distance that it not very different from the focal (they only take neat pictures if the subject is at least a few metres away from the lens). In the majority of cases, this principal distance is fixed (there are no possibilities of "setting up").

— Another characteristic is the *size* of the camera bottom, and consequently, the size of photographic plates corresponding to the type of camera bottom. So, in order to insure the emulsion flatness, *plates* are used in architectural or archaeological photogrammetry, rather than films; this does not happen in the case of aerial photogrammetry, as the cameras are supplied with special devices assuring the film flatness during the exposure. The focal and size determine the camera *field* (60°, 90°, etc.). Large fields are more and more used.

— Lastly a photogrammetric camera can be recognized by the *distortion* of its lens, for which a beam M O coming from a point M of the subject and making an angle a with the optical axis, goes out of the lens in a direction O m, that makes with the optical axis an angle a' different from a. All the modern photogrammetric lenses are orthoscopic, that is, their distortion is so weak that it can be ignored (a few microns in the image).

Having considered these main points, we pass now to classify photogrammetric cameras in 2 categories: simple and stereometric cameras.

The *simple cameras* consist of a unique photographic device turning around a vertical axis (fig. 2). Generally such cameras can be inclined towards various directions, with the optical axis making an angle S with the horizontal line. If S = 90° (or 100 gr) the axis is vertical.

The *stereometric cameras* consist of 2 identical metric cameras, fixed on a rigid beam: this is the constant base between the 2 cameras. In all the stereometric equipment, presently available for architectural surveys, the optical axes of the 2 cameras are parallel between them and perpendicular to the base; this is what specialists call "the normal case" of exposures (fig. 3).

Some simple cameras have devices allowing the realization of the "normal case" in 2 consecutive positions of the camera. They are especially used for this case, but not only for that. Other cameras have more possibilities; this is why they are considered to be more or less "universal" (fig. 4). However, we should always consider these possibilities in relation to the instruments exploiting the photographs.

a.2. *Plotting and rectifying equipment*

We are not going to describe these types of equipment, treated by specialized courses. It is important to notice, however, that their choice, as well as that of cameras, is not totally arbitrary. Beside obvious considerations, as price and performance, this choice is strictly connected, on one side, to the different photogrammetric *methods*, on the other side to the kinds of survey to be made.

b) *Equipment and methods*

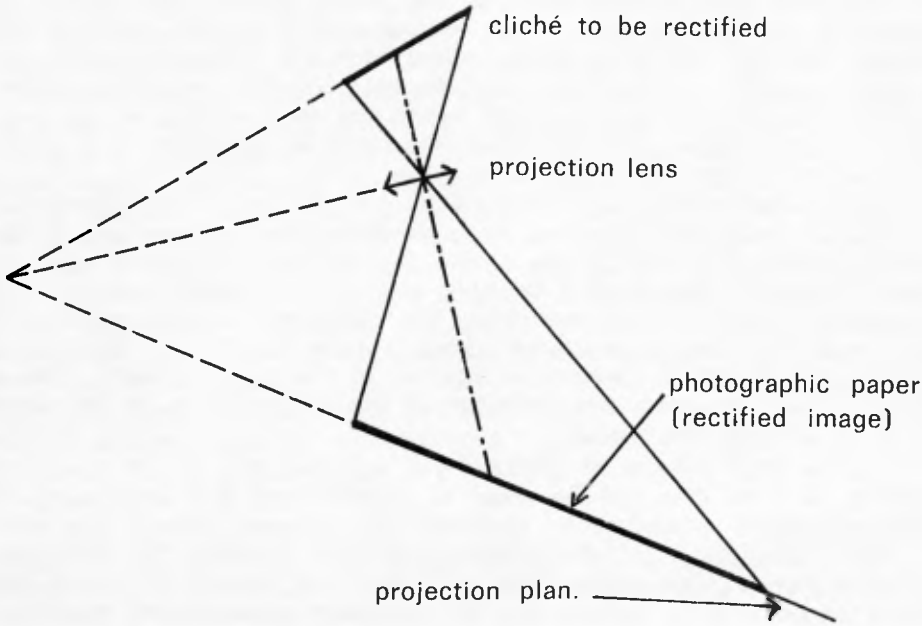
The photogrammetric methods can be divided in two main groups:
— methods treating each cliché individually, by *rectification;*

— methods treating couples of clichés by *stereophotogrammetric plotting.*

b.1. The first group of methods is based on the hypothesis of a rigorous flatness of the subject or, at least, a slight relief of the surveyed architectural element (projecting or receding elements can in principle be set back on the line through geometric constructions).

The rectification corrects the perspective faults depending on the axis inclination. In the case of a simple survey, or to complete a previous survey, the rectification can be done optically by means of a *camera lucida.* But the best photogrammetric method for rectifying is the *photographic rectification,* transforming the original photograph taken with an oblique axis into a picture at a wanted scale, similar to what would be obtained if the axis were perpendicular to the plan of reference.

The photographic rectification gives a perspective to the oblique photograph of the subject (façade, wall, ceiling, window, etc.) with the geometrical plane, through an optical projection crossing a lens. The instruments used for this operation are special magnifiers, which give the cliché holders, the lens and the projection table the required inclinations and translations for a simultaneous realization of the geometrical conditions for a correct perspective and for optical conditions assuring the sharpness of the image (fig. 5).



In principle, all the photogrammetric rectifiers can be connected to simple cameras, taking clichés one by one, and to stereometric cameras, treating only on cliché. But, for technical reasons, such devices have a limited use so far as concerns the axis inclination: these limits become weaker as long as the principal distance from the camera decreases: about 16° for a principal distance of 200 mm, but only 5° for a principal distance of 60 mm. Therefore, the small camera reduces sensibly the possibilities of rectifying (unless one multiplies the photographic operations, that is blow up and further rectification, always damaging the quality of the final document). In the case of photographs with a strongly inclined axis, for which a short focal is needed in order to obtain the required field depth, the working conditions should be established adopting a constant angle of 30 gr. or 30° for example, and placing the inclined axis perpendicular to the reference plan; the rectifying of such photographs (fig. 6) needs a special device that has not yet been produced by photogrammetric firms (in France the I G N has built one for its own needs, as well as the ZEISS Society (West Germany) for the Bundesdenkmalamt, Vienna; once perfectioned, this one will soon be introduced on the market).

Rectified photographs can be set together in the form of *photoplans:* thus we obtain for example the total image of a slightly relieved architectural element, that could only be recorded on various clichés (fig. 7).

b.2. *Stereophotogrammetric methods enable three dimensional surveys* (elevations, plans, sections) while the rectification is limited to the elevation only. These methods are based on the *intersection* of couples of perspective homologous beams relative to each point of the subject. As this has been photographed from two different points, set on the 2 ends of a photographic *base,* the reconstitution and re-orientation of the 2 "perspective bundles" will cause the intersection, two by two, of homologous beams, and all these intersections will form, on a given scale, a model similar to the subject (fig. 8).

These operations are performed by optical-mechanical *plotting instruments.* Once everything has been regulated, the operator sees in the binocular system a relief image of the photographed monument, as well as an index. By means of 3 controls, generally 2 steering wheels and a pedal, he moves the index along the image of the monument, and follows all the lines of which he wants to make the survey. The 3 controls are connected to mechanical devices, at the end of which a tracing system draws the geometral projection of the followed line, on the same scale as that of the survey.

In the third column of TABLE I you will find the list of the main plotting devices that can be used in architectural and archaeological photogrammetry (instruments produced by different firms) (fig. 10).

The installation of stereophotogrammetric methods is simplified when working in the normal case, with the base parallel to one of the reference plans of the survey (the middle plan of a façade, for example).

When used in the right way, stereometric cameras realize the normal case; the same happens with certain simple cameras provided with an aim device of one station on another. Highly exact plotting devices, though simplified, were realized in order to exploit the photographs taken in the normal case, but only in that case. The improvements brought to some of them, and to their corresponding cameras, according to Mr. FORAMITTI, increased the possibilities of applying these devices in the normal case, not only according to axes which are perpendicular or parallel to the reference plan of the survey, but also to those inclined at constant angles (30 and 70 gr or 30° and 70°). These plotting devices are limited to the exploitation of unique types of photographs, those taken with cameras of a certain size and focal. In fact, these types of equipment are the sum of *a lot of devices:* simple camera, stereometric camera, plotting device; the various elements cannot be changed with elements belonging to another lot, built by another house. Presently there are two main lots of this kind: ZEISS TMK, SMK, Terragraphe, and Wild P.32, C and A.40 (1).

It is interesting to point out the following:

— the plotting instruments belonging to this category are not provided with absolute orientation devices; it is therefore necessary to observe the parallelism of the reference plan and the base (in fact, the direction of the base defines the orientation of the reference trihedron of the survey);

— the existing lots include metric cameras that — speaking in terms of photogrammetry — have a reduced size (6,5×9 and 9×12 cm) and a short focal (55 to 65 mm).

So, in an architectural photogrammetric survey, the two following rules should be respected:

— *the relation between the base length and the distance* should be included betwen 1/5 and 1/15, exceptionally 1/20; the first limit avoids the recording of different contours on the two clichés of the same couple; the second one keeps the plotting precision;

— for good exploitation of clichés, *the photograph scale should not be too small if compared to the survey scale.* The relation between the two scales should be higher than 1/7 or 1/8, exceptionally 1/10.

Moreover, in certain cases, it is not possible to keep the parallelism of the axes between them, or the parallelism of the base to the reference plan of the survey. For these reasons, added to the respect of the 2 mentioned rules, the lots consisting of small cameras and simplified plotting devices may be insufficient. In these cases more perfect photogrammetric cameras are required; it might be necess-

---

(1) The photographs taken with the Veroplast stereometric camera can be treated by a certain number of universal devices. The photographs taken by the camera 5,5/0808 can be plotted in a Topocart (a device with large possibilities of application) or in the new Technocart.

ary to make the axes converge and consequently to use *universal plotting devices,* despite the complications involved. These instruments are not part of a series of devices (cameras + plotting instruments); when choosing them, one should always study the possibilities of exploiting photographs taken with a given camera in such or such plotting device (1).

In the universal devices; the "plotting cameras" can receive site rotations (inclinations relative to the horizontal line) and converging rotations (around the vertical axis, destroying the normal case); this movement is more or less extended, according to the types of instruments. The maximal values are shown on TABLE I and marked with s and c.

Another important characteristic is the "z run" of the device, treating in a unique operation the architectural or archaeological elements at various depths. This characteristic is shown on TABLE I and marked with z. In order to obtain a depth that can be plotted, the indicated run (difference between the 2 extreme values) should be multiplied by the scale of the model reconstructed in the device.

b.3. We point out that it is not always necessary to apply photogrammetry (some simple measurements can be easily taken directly); despite its wide possibilities, photogrammetry does not always solve all the problems of a complete survey. This happens for example when we want to define the plan of a building or when we want to make a unique reference for the interior and the exterior of a building (fig. 11 and 12). On the other hand some elements (as an « à vis » staircase into a tower or in the thickness of a wall) can escape photogrammetry, just because they cannot be conveniently photographed. Therefore, the application of photogrammetry does not exclude the methods of direct survey and the topometric methods. The right balance between the various methods was well reached by the technical services of historic monuments in Czechoslovakia (see Acts of the 1st Geodetical Symposium in the survey of historic monuments, Prague, 15-18 October 1968).

c) *Application of methods and equipment to the various types of surveys*

This was one of the main themes of the ICOMOS meeting of 1968. The results of this study were expressed in a program, discussed and defined in each detail by Mr. Foramitti and Mr. Carbonnell. We have included the abstracts of this program in this text (TABLE II). The general points are followed by an index giving the cost of works on the monument (creation of photogrammetric archives) and in the laboratory (use in the form of photographic, graphic and numerical surveys). It

---

(1) Obviously, the pictures taken in the normal case can also be plotted in universal devices, the use of which is thus simplified.

also indicates a cost scale of the different equipment. It shows that the extremely precise surveys are expensive but their cost varies according to the size of the work to be surveyed and according to the purpose of the survey.

It is necessary to know the *precision that we really want to obtain with the survey*, and to know what we can obtain with each piece of equipment or photogrammetric method. For technical reasons previously mentioned, the exposures should be adapted to the scale and precision of the survey we want to make (fig. 13 and 14) and, eventually, to the monument or site. Should we just record the views permitting general surveys (fig. 15) or also those allowing precise and detailed surveys of any architectural element taken separately (as, for example, the few faces of each capital of a cathedral)? A choice has to be made, and not only on simple technical criteria. The architect should define what the survey must cover.

c.1. For *simple and rapid surveys*, to obtain a readable and expressive drawing for which the precision tolerance is quite large, the exposure should be done with small individual or stereometric cameras. The use of these photographs will be through photographic rectification or graphic stereo-plotting with simplified devices.

c.2. The main application of photogrammetry to architecture consists of *detailed and exact surveys*, made to help carry out restoration (fig. 16), and scientific study of a monument. All the usual conservation work on historic monuments belongs to this group (1), but it does not include very large buildings or parts of buildings.

The material used for this type of survey is the same used in the previous case; nevertheless larger devices can also be very well employed. The work continues with stereo-plotting, and often, in the case of flat surfaces, with photographic rectification. Sometimes a combination of both methods is applied: plotting gives an outline of the projecting elements; this outline helps in rectifying the flat surfaces.

Stereoscopic plotting must be used for non-flat surfaces (vaults, cupolas, columns, capitals, statues, low-reliefs, etc.) through profiles and sections, and extends the survey to all these surfaces through a series of curves similar to the contour lines of topographic maps. The operator brings his index to a certain depth, then he moves it (always at the same depth) keeping contact with the surface to be surveyed. The equidistance among such curves (contour lines if the reference surface is horizontal, vertical sections if the surface itself is vertical) will be chosen on the basis of the relief of elements, of the survey scale and of the precision required (fig. 17 and 18).

---

(1) See Hans FORAMITTI: "La photogrammétrie au service des conservateurs", International Centre for Conservation, Rome, 1973.

In the survey of *large buildings* the photo scale should be proportioned to the scale of the survey. This requires big cameras and universal plotting devices. An interesting method consists in determining, by means of 2 photographs covering a whole architectural element, the necessary basis for the plotting of photographs of a larger scale covering the element in various sectors.

c.3. The same methods can be applied to *archaeological* surveys, and especially to excavation surveys. Photogrammetry has the possibility of recording rapidly the phases of excavations for the whole duration of the work and without slowing it.

c.4. The *slight deformations* of monuments and their evolution will be precisely treated only with numerical or analytical photogrammetry. The recording no longer concerns outlines, but coordinates, in the model appearing in the plotting device or on the photograph (use of special devices called stereo-comparators). The data are then mathematically treated.

d) *Interest of aerial photography*

The aerial photographs taken from an airplane cannot be used usually for a monument survey. On the contrary, they are fundamental for the following purposes:

— the plan-plotting of architectural groups and archaeological sites (fig. 19);

— the global analysis of historic centres, in particular the urban centres, and the study of a photogrammetric survey of façade developments (1);

— the studies for the rehabilitation of archaeological, monumental and natural sites.

The survey of monuments would need the development of means permitting low level photography (balloons, for example, or a helicopter, the use of which is very delicate); these means would be extremely helpful for plan outlines and for the survey of upper parts of buildings (fig. 20).

For the plotting of aerial photographs, it is not possible to use the simplified devices limited to the normal case. Plotting devices for aerial stereophotogrammetric exposure are required; many types are available on the market. Their choice, however, may be limited by the need of introducing a slight relation between the base and the distance, and of having an important "z run" relative to the middle distance, (the subject might show considerable height differences, in relation to the flight altitude). The universal devices recommended

---

(1) See the text on photogrammetry applied to the study and conservation of historic centres, page 19—48.

for the most difficult cases of taking views from the ground, are the most convenient for the plotting of all kinds of aerial surveys (TABLE I).

3. - The staff

a) *Different staff categories*

The staff working in a service of architectural photogrammetry *should meet certain requirements necessary to architecture and photogrammetry.* There is a tendency to forget this. As good cartography by means of aerial photogrammetry cannot be conceived without a solid topographic practice of the staff, the execution of photogrammetric surveys of monuments requires a certain experience in the field of architecture.

The staff should be divided into 2 groups: *architects and engineers, technicians.* The first group will assure the direction of the service and the general organization of work; it will define the choice and use of materials, the characteristics of the survey and the constitution of photogrammetric archives relative to each monument or site. The technicians will be responsible for the execution of work on the spot and in the laboratory: exposures, topometric measurements, plotting, refining of surveys, conservation of photogrammetric archives. A *photographer* specialist should at least be included among the technicians.

An exagerated specialization of the staff should be avoided: in order to facilitate the organization of the service, to raise the interest of technicians in their work, and to ensure good work the staff should be *polyvalent.*

Experience has demonstrated that some problems, typical of a special case of survey, will always appear during the creation of photogrammetric archives; the choice of good solutions requires knowledge and practice in photogrammetric plotting.

b) *Staff training*

For both groups this staff training should result in a symbiosis between the specialists of photogrammetry and the specialists of historic monuments.

Architects and engineers: they should specialize in architectural photogrammetry (upper teaching level) in the Institutes or Faculties teaching this specialization. Unfortunately there are very few of them. If possible, these studies (lasting about 2 years) should end with the discussion of a thesis.

The literature on this subject is quite rich and has considerably increased in the last few years (see summarized bibliography "infine").

Technicians. The training of technicians requires a practical course. Its participants will have to know the different aspects of photogrammetric surveys and get good practice in the use of devices and in the solution of problems relative to architectural photogrammetry.

These problems are often more complicated than those of photographic aerial photogrammetry. The period of instruction should be of 1 year.

A good general culture (of a secondary study level) would be appreciated. Two categories of participants could be accepted to the course:

— architecture technicians (specialized designers, assistant architects, etc.) who would learn the photogrammetric techniques of surveys;

— photogrammetrists and land-surveyors, who would learn how to apply their techniques to the specific case of architectural surveys.

The 2 categories should be represented in each session, in order to allow useful exchanges of knowledge and to improve the general interest of the course.

The programme should include the following basic subjects:

(1) the different techniques of architectural survey. Comparative study and critical analysis of the cases of application. In the meantime, some history of architecture, with special attention given to architectural facts and elements presenting particular problems in the surveys.

(2) General rudiments of photogrammetry. Principles. Technical conditions in the execution of the photogrammetric proceeding.

(3) Different photogrammetric methods that can be applied to architectural surveys. Critical study of these methods and their best applications from the point of view of the architect's requirements, efficiency and cost. Study of the most suitable materials.

(4) A good deal of practical work in taking photos and photograph-exploitation on various monuments of different value.

Such a course does not exist at present. It would be extremely important to organize one, on an international plan.

N.B. - The mentioned scheme of staff training is a theoretical one; we must try to realize it, despite the difficulties due to the impossibility of sending technicians abroad for a long time, in order to allow them to study the necessary subject. We might proceed by stages, trying to undertake survey work as quickly as possible, with a staff having received an accelerated instruction. Such a system might also prove to be stimulating, and would therefore facilitate the working of a new specialized service. Special attention should be given to the constitution of photogrammetric archives and to rectifying methods; the teaching of stereophotogrammetric plotting can be started at a later date. The simplicity of material employed will contribute to a good start.

4. - Organization of the service

a) *Organization scheme*

Table III shows a possible scheme. The programme adopted, on one side there will be the work on monuments and sites, that is the

creation of photogrammetric archives, and on the other side the work for the exploitation of these archives in the form of graphic or photographic surveys. The conservation of archives and working documents is fundamental; these documents will be examined and used whenever necessary, as they give evidence of the monument's condition when the photograph was taken.

The Technical Bureau, working at the side of the service direction, has a main role. Its task is that of "thinking" which surveys are to be made, in agreement with the conservation and restoration service and according to the requirements of this service. It defines the equipment and methods on the basis of the monument's characteristics (own characteristics and environment). Lastly, it draws up a programme for a systematic creation of photogrammetric archives, concerning the whole architectural and archeological property of a country, and determines which are the photographs to be taken of each monument.

Specialists (engineers or architects) should form the staff of the Direction and the Technical Bureau. If the Service grows, the three main sections should also be directed by engineers or architects. The other staff members will be technicians, assisted by some laboratory photographers or designers.

Of course, the Service can grow progressively. A good solution, for a good start, would be that of appointing an architect, an engineer, 4 technicians, 2 photographers and 4 designers. As we said, technicians and photographers should alternate their work between the site and the laboratory.

b) *Choice of equipment*

The equipment can be bought and employed progressively. We suggest to start with a "lot" conceived for a normal case. The most suitable series for architectural surveys is the Zeiss TMK - SMK 120 - SMK 40 - Terragraphe, while archaeological surveys are better performed with a Wild P.32 - C.120 - C.40 and A.40. The cost of each series is about 60.000 dollars (1).

A rectifier will cost about 40,000 dollars. However, it is possible to start working on monuments with reduced equipment, consisting of a camera TMK, a stereometric camera SMK and possibly a small rectifier of 30 gr (total cost, about 20,000 dollars).

In a further phase, other equipment should be bought for the normal case and universal instruments for large monuments. The cost of exposure cameras varies (UMK 10/1318 costs about 16,000 dollars).

---

(1) With Planimat instead of a Terragraphe the Zeiss equipment will cost about 80,000 dollars.

The phototheodolites (Wild P.30, Zeiss-Jena 19/1318, Galileo FTG 1.b) have a narrow field and often they cannot be used for architectural surveys. In such cases, the UMK of Zeiss-Jena and the camera P.31, presently in course of preparation by Wild, are to be preferred.

For what concerns universal plotting instruments, TABLE I shows the best ones for architectural and archaeological plotting, that can also be used for the plotting of aerial photographs: moreover, they have a large "z run" (subject depth) and larger inclinations of site and convergence. On the other hand, they must be able to receive the photographs taken with the chosen camera (size and focal); this is why one should always read the detailed descriptions of cameras and plotting instruments, and possibly consult the firms producing them. These instruments should allow a slight relation between the base and the distance, that is a very small base; every device shown on TABLE I allows it. The cost of these instruments varies between 50,000 and 80,000 dollars.

Lastly the following equipment is indispensible:

— material for field laboratory;

— laboratory material for the archive division, with all the necessary equipment;

— flash and projector for exposures;

— photo-documentary material, often essential for details taken from a very short distance, in order to facilitate the plotting (for example a 24×36 equipped with a normal objective and a tele-objective);

— lastly, for the archive laboratories, an electronic printing machine working for automatic contrast compensation.

c) *Collaboration with the photogrammetric services of topographic institutes*

A service of architectural photogrammetry must naturally belong to the Ministry responsible for historic monuments and sites. There should be strict collaboration with the photogrammetric service of the topographic institute of the country. Such collaboration will allow:

— to receive the advice of engineers and technicians (specialists in photogrammetry) and to consult them for staff training;

— to have some plottings performed by universal devices;

— to exploit aerial photographs taken by these services, and, if necessary, to assign them special aerial missions.

June 1970.

MAURICE CARBONNELL
Head of the Photogrammetry Service
and of the "Centre de Photogrammétrie
Architecturale et Archéologique,
Institut Géographique National" (France)

Table I

PHOTOGRAMMETRIC EQUIPMENT FOR ARCHITECTURAL SURVEYS

Simple cameras	Stereometric cameras	Plotting instruments	Rectifying instruments
I - EQUIPMENT USED FOR NORMAL CASE			
Zeiss TMK f = 60 mm 9 × 12 cm (8×10 effective) H s = 0, ± 30, ±70, ± 100 gr	**Zeiss SMK-120 et SMK-40** f = 60 mm 9 × 12 cm (8×12 effective) H s = 0, ± 30, ± 70, ± 100 gr B = 120 and 40 cm possible vertical base	**Zeiss Terragraph** z = from 60 to 610 mm calculator inclination 30 and 70 gr **Modified Zeiss Planimat** z = from (f+40) to (f+310) mm from TMK, conv. ±5,5° calculator inclination 30 and 70 gr	
Wild P. 32 f = 64 mm 6,5 × 9 cm L and H mounted on a T 2 theodolite or a balancing s = from —40 to +40 gr	**Wild C-120 et C-40** f = 64 mm 6,5 × 9 cm L s = 0, ± 10, ± 30 ± 60, ± 80, ± 90° B = 120 and 40 cm possible vertical base	**Wild A. 40** z = from 40 to (500-f) mm calculator inclination 30 and 70 gr	
Officine Galileo Verostat f = 100 mm 9 × 12 cm H s = 0, ± 30, ± 60, ± 90°	**Officine Galileo Veroplast** f = 150 mm 13 × 18 cm L s = from 0 to ± 45° B = 200 and 56 cm	**Officine Galileo Stereocartograph V** z=from 150 to 525 mm (or other universal instruments)	
	Zeiss Jena SMK-5,5/0808/120 et 40 f = 56 mm 9 × 12 cm (8×8 effective) s = 0 and + 100 gr B = 120 and 40 cm	**Zeiss Jena Topocart B** z = from 70 to 320 mm **Zeiss Jena Technocart** z = from 35 to 350 mm	**Wild E 4**
II - MORE OR LESS UNIVERSAL EQUIPMENT			**Zeiss SEG. V**
Wild P. 30 f = 165 mm 10 × 15 cm L s = from —28 to + 7gr		**Wid A. 7** z = from 140 to 490 mm f = from 98 to 215 mm s = from —9 to +30 gr c = from ±6 to ∓30 gr	**Zeiss Jena Rectimat**

Simple cameras	Stereometric cameras	Plotting instruments	Rectifying instruments
Zeiss Jena Phototheo 19/1318 f = 190 mm 13 × 18 cm L translation objective from +30 to —45 mm **Zeiss Jena UMK 10/1318** f = 100 mm 13 × 18 cm H and L s = 0 and + 100 gr **Officine Galileo FTG 1b** f = 155 mm 10 × 15 cm L mounted on a theodolite		**Wild A. 10** z = from 130 to 450 mm f = from 86 to 308 mm s = from —7 to +6 gr c = ± 6 gr **Zeiss Stereoplanigraph C. 8** z = from 170 to 605 mm f = from 80 to 610 mm s = from —20 to +60 gr c = from ±20 to ∓30 gr **Zeiss Planimat** z = from (f+40) to (f+310) mm f = from 85 to 305 mm s = c = ± 5,5 gr **Zeiss Jena Stereoplanigraph** z = from 150 to 640 mm f = from 100 to 211 mm s = from —20 to +75 gr c = from ±15 to ∓30 gr **Zeiss Jena Stereometrograph D** z = from 135 to 350 mm (700 mm) f = from 87 to 215 mm s = c = ± 6 gr **Zeiss Jena Stereoautograph** (for photographs 19/1318 only) z = from 50 to 400 mm c = from —2 to +5 gr **Officine Galileo Stereocartograph V** z = from 150 to 525 mm f = from 86 to 220 mm s = ± 12 gr c = ± 8 gr **Nistri Photostereograph Beta 2** z = from 140 to 700 mm f = from 152 to 210 mm s = from —30 to +30 gr c = from —10 to +10 gr	

Table II

Extract from acts of ICOMOS meeting on architectural photogrammetry (1968)

PHOTOGRAMMETRY APPLIED TO THE SURVEY OF HISTORIC MONUMENTS

SURVEYS NECESSARY FOR THE STUDY, CONSERVATION AND REHABILITATION OF HISTORIC MONUMENTS			AVAILABLE POSSIBILITIES BY THE VARIOUS METHODS OF PHOTOGRAMMETRY					
	Different types of surveys	Maximum tolerances	Recording of data: photographs (2) and control measures	Investment (6)	Utilisation (on the monument) (7)	Utilisation of data (establishment of photographic, graphic or numerical surveys)	Investment (6)	Utilisation (in workroom) (7)
❶	Simple and rapid surveys with the view to a drawing of expressive character (including summary development of façades) for draft restoration projects, preliminary studies, etc.	5% on main dimensions or 10 to 20 cm on absolute error	*Photographs:* Single or double cameras on fixed base: — small format (6.5×9 to 9×12) — short focal length (50 to 70 mm) Different types: — isolated photographs ..... — -d°- astereoscopic photos ..... — -d°- stereoscopic photos [preferably normal case (3)] ..... *Control measures:* Horizontal and vertical alignments (4) plus simple measurements of lengths	1 2	1	Drawing by graphic construction Optical rectification Photographic rectification { establishment of photoplans / utilised graphically Stereoplotting with simple equipment	0.5 0.2 10 10	10 to 20 10 to 20 1 5 to 15 10
❷	Detailed and precise surveys with the view to restoration, rehabilitation and study of tracings (1): a) All current surveys of monuments, architectural elements considered singly, of development of façades in ancient quarters, with the exception of surveys of whole large buildings or architectural elements of very large dimensions.	0,5% to 2% on the main dimensions or some cm on absolute error	*Photographs:* Materials of type ❶ or larger format and simple construction cameras. Different types: — isolated photographs ..... — stereoscopic photographs [preferably normal case (3)] ..... *Control measures:* Lightened topometric measurements. Horizontal and vertical alignments (4).	1 to 3	1.5 to 3	Photographic rectification { establishment of photoplans / utilised graphically Stereoplotting, preferably with simple equipment	10 10	1 to 2 10 to 20 10 to 15
	b) Surveys of large buildings and architectural elements of large dimensions.	d°	*Photographs:* Single metric cameras wide angle (format from 10×15 to 24×24, focal length 100 to 150 mm) plus cameras with focal length of 300 to 600 mm (5): — Stereoscopic photographs ..... *Control measures:* Topometric network	5 to 10	4 to 10	Stereoplotting with 1st order equipment Analytic plotting of many points with stereocomparator and electronic computer: — measurement and calculation of points — with establishment of a complete drawing Possible uses of orthophotography (to be examined)	20 to 35 30 60	20 to 25 10 40 10 to 20 (9)
	c) Archeological surveys.	d°	— See a) and b) for the visible elements — New methods of recording to study hidden elements ..... — Aerial photography for surveys of entire large sites	1 to 10 — ≥ 150	1.5 to 10 — (8)	See a) and b) Studies to be pursued and especially to be undertaken Aerial stereoplotting	10 to 35 — 10 to 35	1 to 40 — (8)
❸	High precision surveys with the view to detailed study of evolution of slight deformations.	from 1 mm to several mm	— See 2 b) with maximum precautions — Differential photographs	5	10	Numerical or analytic plotting	25 to 35	(10)
❹	Survey of polished surfaces, in particular of sculptures (skin) with maximum precision.	from 1 to several 10ths of mm	Material to be created	—	—	Methods and material to be studied	—	—

(1) For these studies, the homogeneity of the survey must be as good as possible.
(2) In this table only photographs taken with metric cameras.
(3) Normal case = parallel axes and perpendicular to base.
(4) In particular with levels of precision.
(5) Advantage for certain work to use pairs of cameras.
(6) Index of cost of material on the base 1 = cost of metric camera of small format. Equipment considered accounts for the most recent data obtained during the XI International Photogrammetry Congress (Lausanne, 8-12 July 1968).
(7) Relative indexes, independent of investment. The base of these indexes is the same for photography and for utilisation of data in workroom.
(8) Very variable according to the importance and the situation of the site.
(9) The use of orthophotography cannot be envisaged except for architectural elements that do not present too much discontinuity. Due to its revenue costs, orthophotography is certainly not advantageous if one wishes to obtain a complete graphic document.
(10) Very variable according to number of measurements to be taken.

ORGANISATION OF AN ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY SERVICE **Table III**

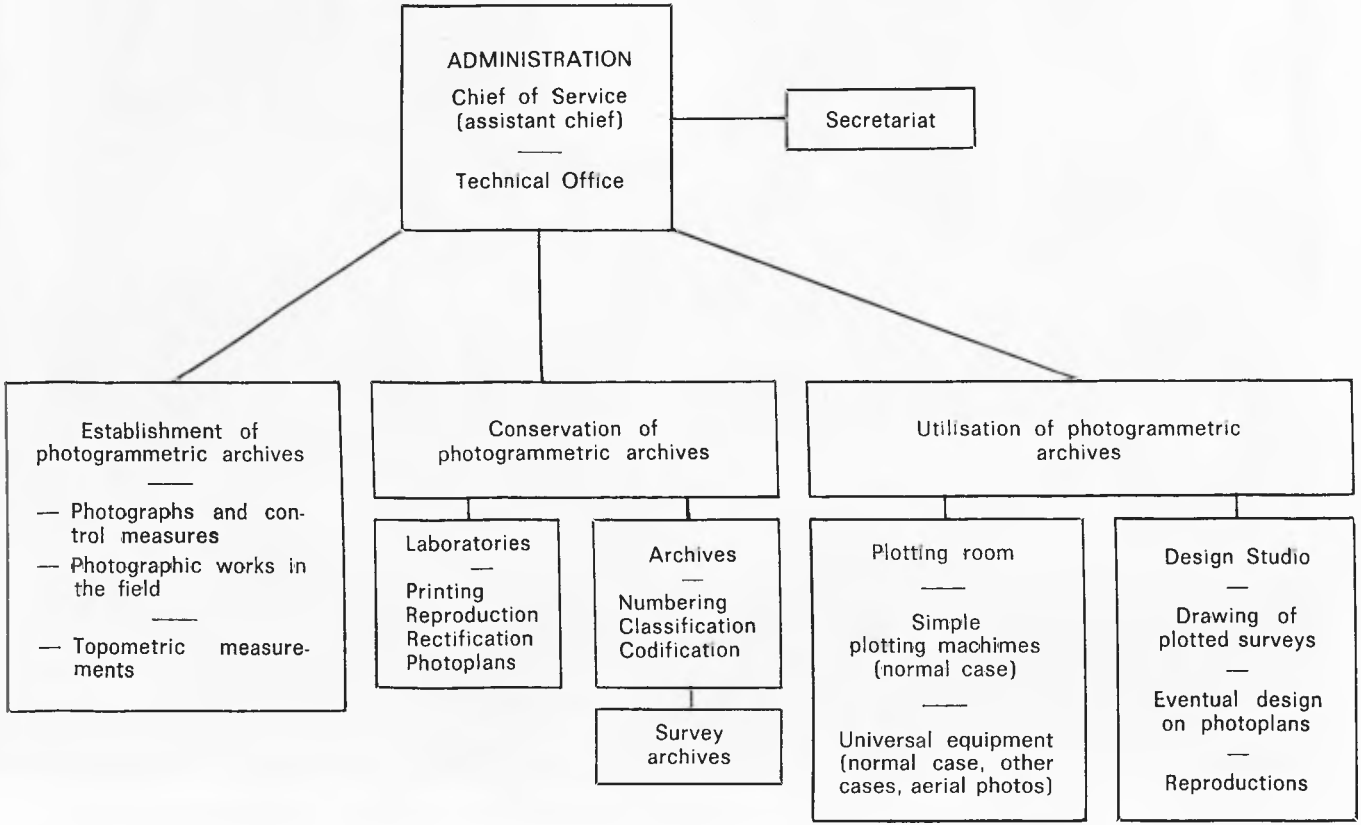
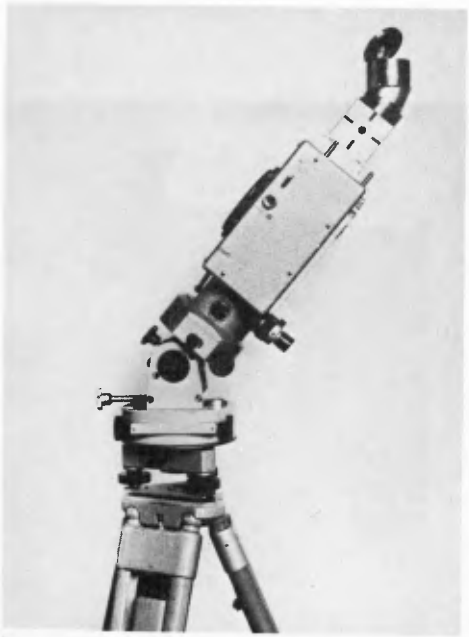


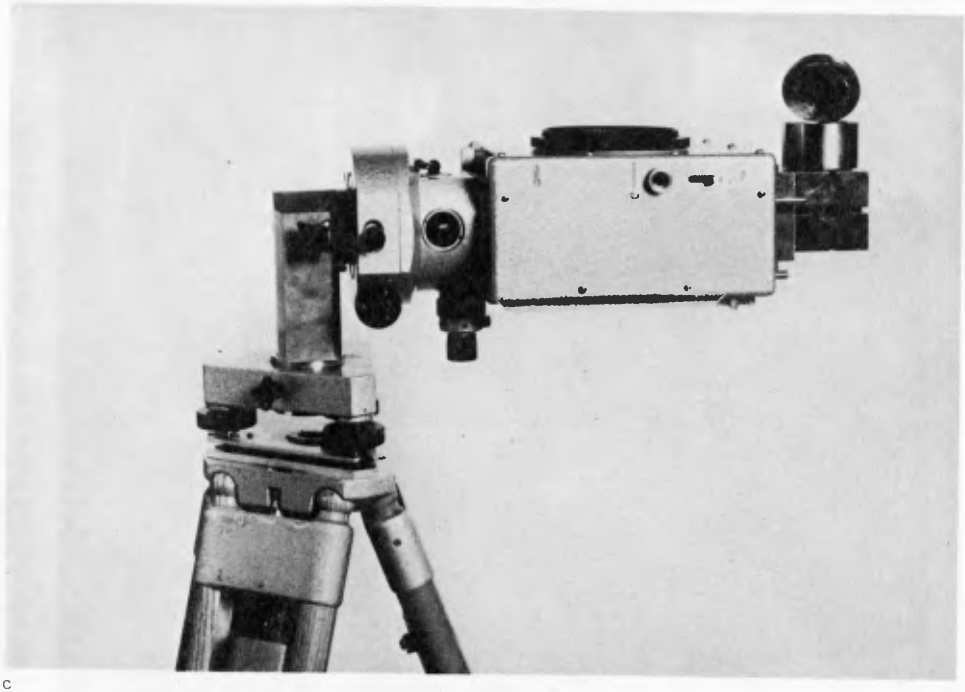
Fig. 1 - Une photographie prise avec une *chambre métrique* (13 × 18 cm.) On remarquera, au milieu de chaque côté du cadre, les repères du fond de chambre

Fig. 1 - A photograph taken with a *metric camera* (13×18 cm.). In the middle of each side of the frame, the fiducial marks on the camera bottom will be noted.

a



b



c

Fig. 2 - Une chambre photogrammétrique *simple*. Chambre Carl Zeiss TMK, focale 60 mm., format 9×12 cm. - a) axe horizontal - b) axe incliné à 30 grades sur l'horizontale - c) axe vertical

Fig. 2 - A *simple photogrammetric* camera. Camera Carl Zeiss TMK, focal 60 mm., size 9×12 cm.: (a) horizontal axis; (b) inclined axis at 30 degrees to the horizontal; (c) vertical axis

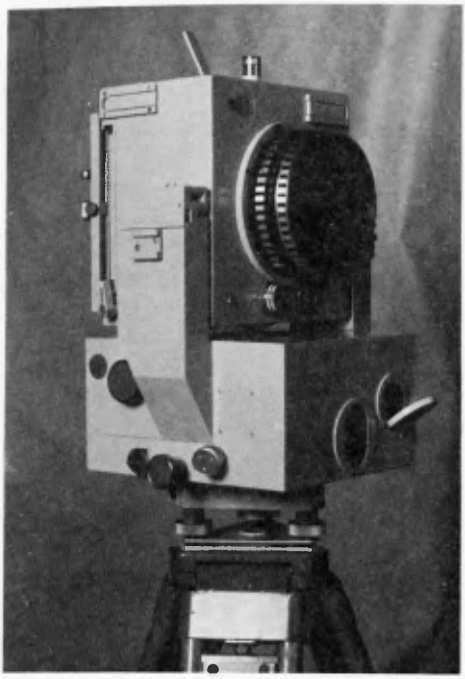
a

b

Fig. 3 - Deux chambres *stéréométriques*. - a) Chambre Wild C. 120, vue de dos (format 6,5×9 cm.; focale 65 mm.) - b) Chambre Zeiss Jena SMK 5,5/0808/120, vue de face (format 8×8 cm.; focale 55 mm.). Pour la chambre Carl Zeiss SMK-120, voir la publication de H. Foramitti: « La photogrammétrie au service des conservateurs »

Fig. 3 - Two *stereometric cameras*. Camera Wild C. 120, back view (size 6,5×9 cm. focal 65 mm.); (b) camera Zeiss Jena SMK 5,5/0808/120 front view (size 8×8 cm., focal 55 cm.). For camera Carl Zeiss SMK see H. Foramitti's publication: "La photogrammétrie au service des conservateurs"

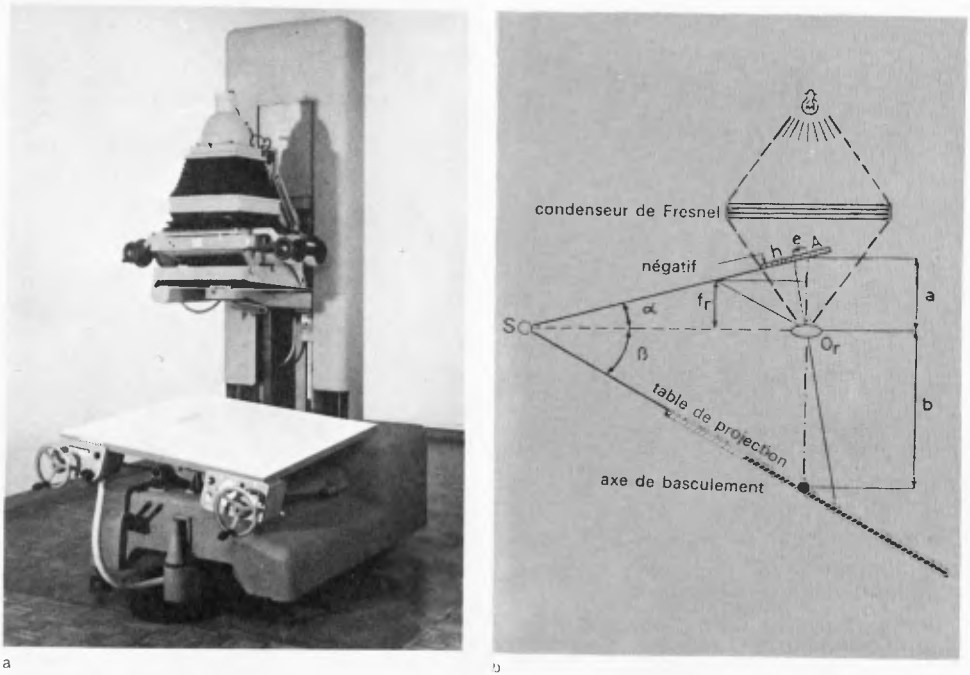
a



b

Fig. 4 - Deux chambres « *universelles* ». - a) Photothéodolite Wild P. 30 (focale 165 mm., format 10×15 cm.) - b) Chambre Zeiss Jena UMK 10/1318 (focale 100 mm., format 13×18 cm.)

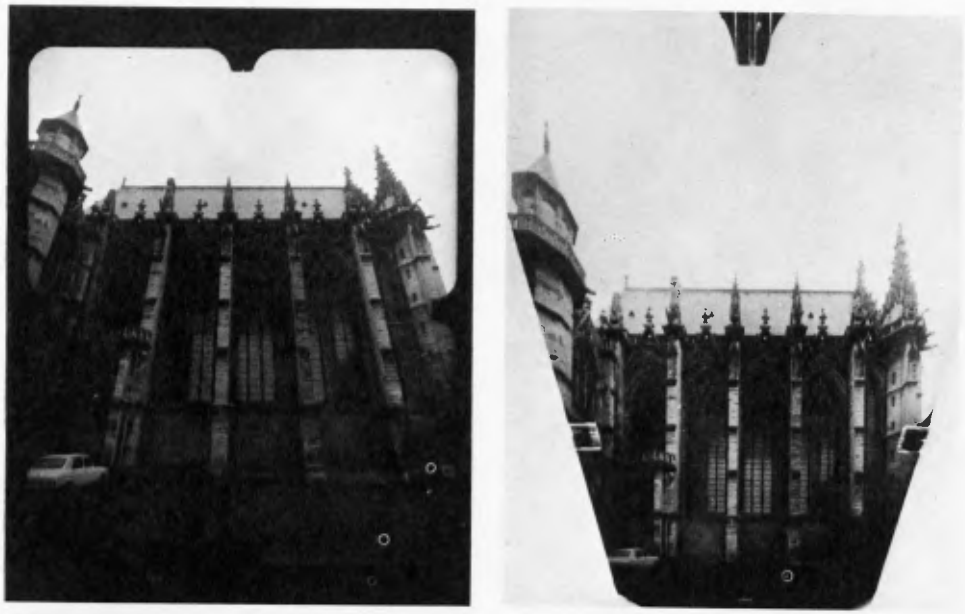
Fig. 4 - Two *universal* cameras: (a) Phototheolodite Wild P. 30 (focal 165 mm. format 10×15 cm.); (b) camera Zeiss Jena UMK 10/1318 (focal 100 mm., format 13×18 cm.)



a b

Fig. 5 - Un appareil de *redressement photogrammétrique*. Redresseur Wild E. 4 - a) Vue d'ensemble - b) Schéma de principe

Fig. 5 - A *photogrammetric rectifier*. Rectifier Wild E. 4: (a) general view; (b) fundamental sketch



a b

Fig. 6 - *Redressement* d'une photographie prise avec une inclinaison systématique de 30 grades, l'axe de la chambre étant placé dans un plan perpendiculaire au sujet - a) Photographie originale - b) Photographie redressée. (Sainte-Chapelle du Château de Vincennes, près de Paris)

Fig. 6 - A *rectified photograph*, taken with a sistematic inclination of 30 degrees, the axis of the camera was placed in a plan which is perpendicular to the subject: (a) original photograph; (b) rectified photograph. (Saint-Chapelle du Château de Vincennes, near Paris)

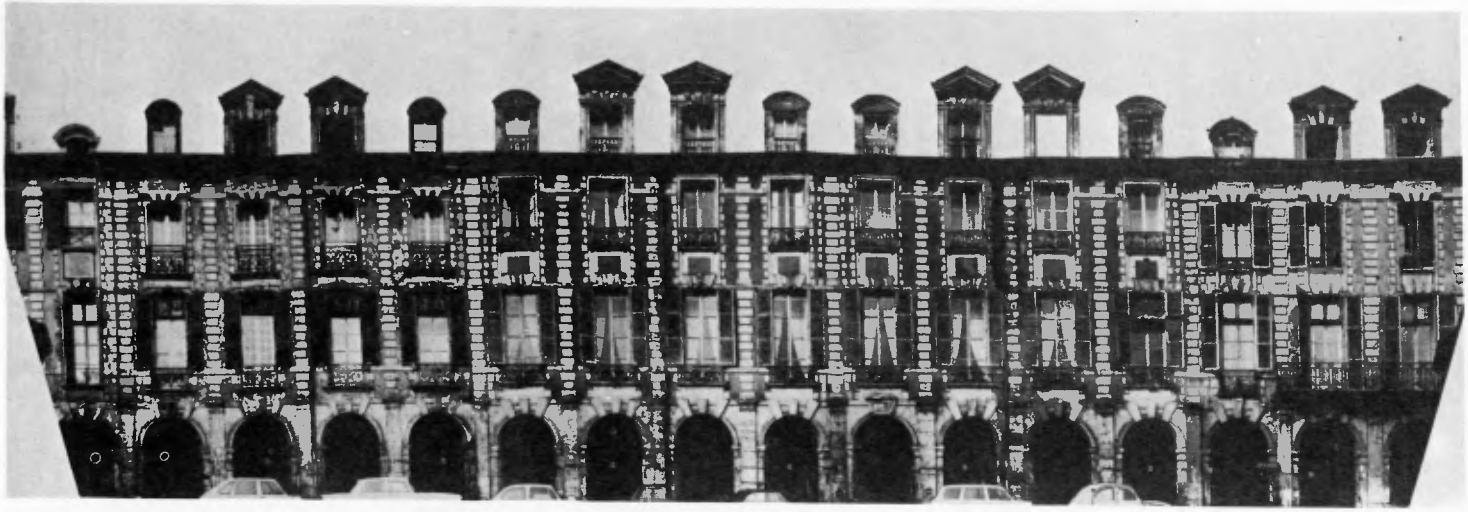
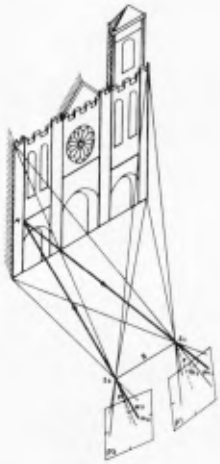


Fig. 7 - *Photoplan* obtenu par assemblage de photographies redressées. Place des Vosges à Paris, côté Ouest. Les toits et les cheminées, qui ne sont pas dans le plan des façades, présentent sur les photographies redressées des déformations perspectives qui rendent impossible leur assemblage; ils ont donc été supprimés sur le photoplan

Fig. 7 - *Photoplan* obtained by setting together various rectified photographs. Place de Vosges, Paris, west side. The rooves and chimneys which are not in the plan of the facades, show perspective distortions on the photographs which make it impossible to set them together, they have thus been omitted in the photoplan

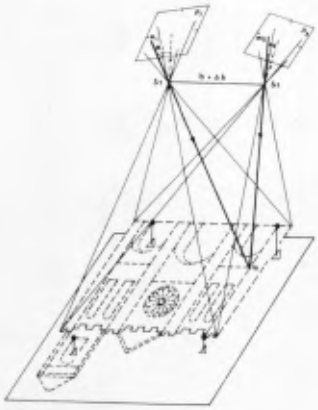
Schéma de principe de la stéréophotogrammétrie



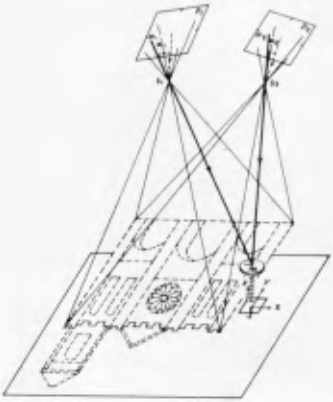
① Prise de vues

② Reconstitution des faisceaux perspectifs

③ Orientation relative des faisceaux perspectifs. Formation du modèle à l'échelle $\frac{b}{B}$



④ Orientation absolue et mise à l'échelle définitive sur les points d'appui connus. Echelle : $\frac{b + \Delta b}{B}$



⑤ Exploration du modèle et restitution

Organes constitutifs d'un appareil de restitution analogique

1° Dispositif permettant la reconstitution des faisceaux perspectifs (optiquement ou mécaniquement).

2° Système optique permettant d'observer stéréoscopiquement les deux clichés restitués et de faire des pointés, en posant optiquement un index, qui fait partie de l'espace observé par l'opérateur, sur l'image en relief de l'objet

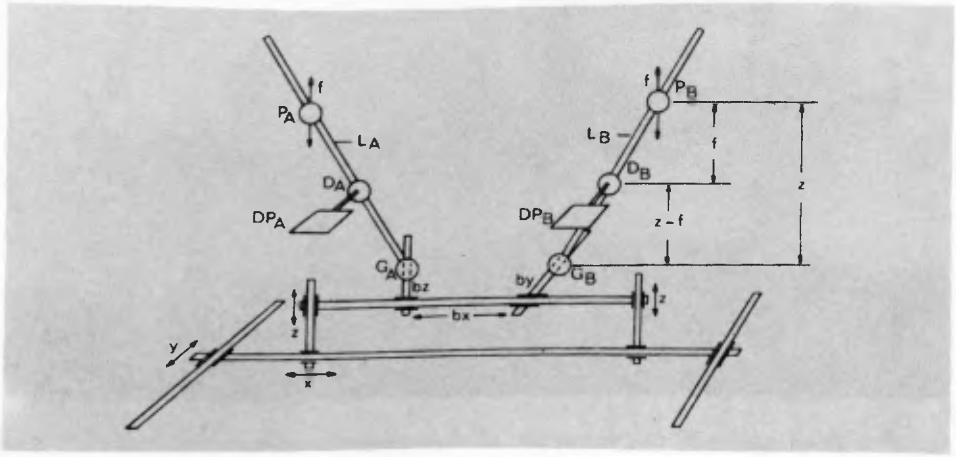
3° Système mécanique commandant le déplacement apparent de l'index dans les trois dimensions et matérialisant simultanément, par des tiges ou des règles articulées, les rayons perspectifs correspondant au détail pointé ainsi que l'intersection de ces rayons.

4° Dispositif traceur, entraîné par le système mécanique, permettant le report, en projection orthogonale, à une échelle donnée, des points ou des lignes de l'objet pointés ou suivies par l'index.

Fig. 8 - Schéma de principe de la *stéréophotogrammétrie*

Fig. 8 - Fundamental sketch of *stereophotogrammetry*

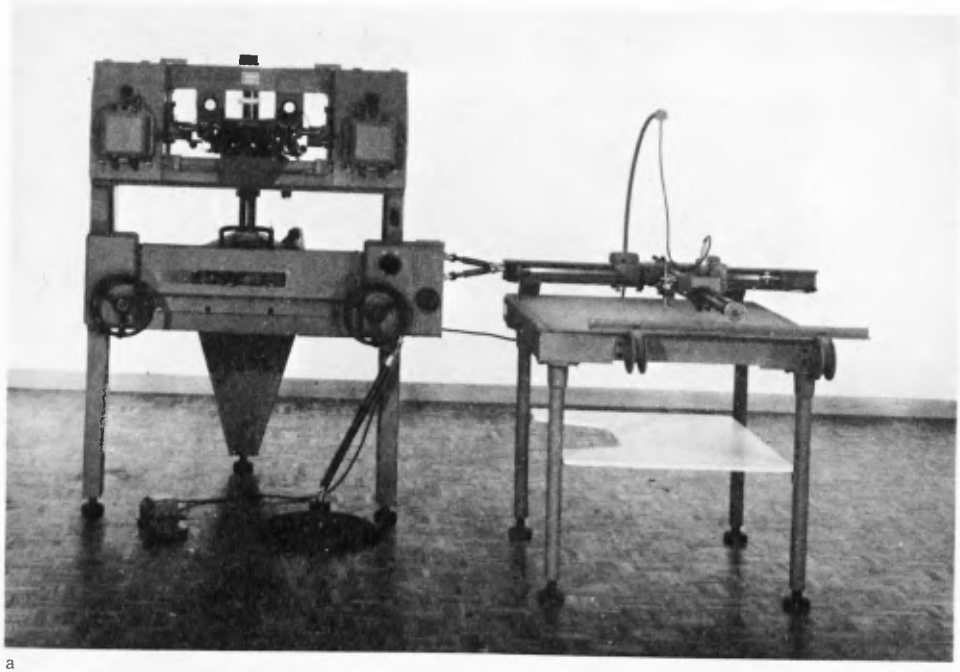
a



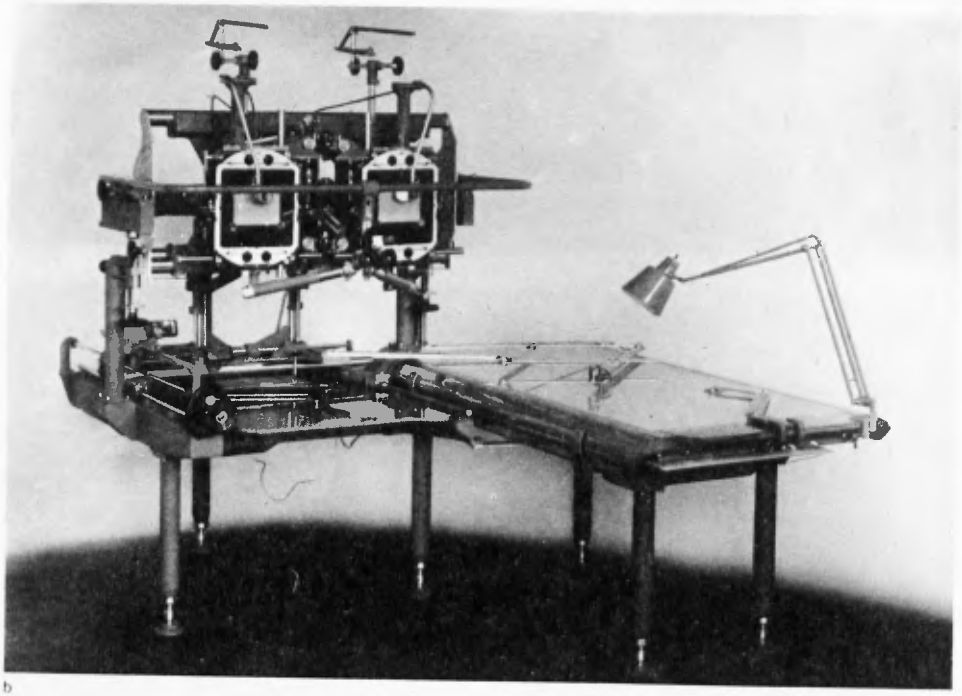
b

Fig. 9 - Un appareil de *restitution stéréophotogrammétrique* effectuant un relevé d'architecture. Appareil Carl Zeiss *Planimat*. - a) Vue d'ensemble - b) Schéma de principe

Fig. 9 - A *stereophotogrammetric plotting instrument* carrying out an architectural survey. Carl Zeiss Planimat: (a) comprehensive view; (b) fundamental sketch



a



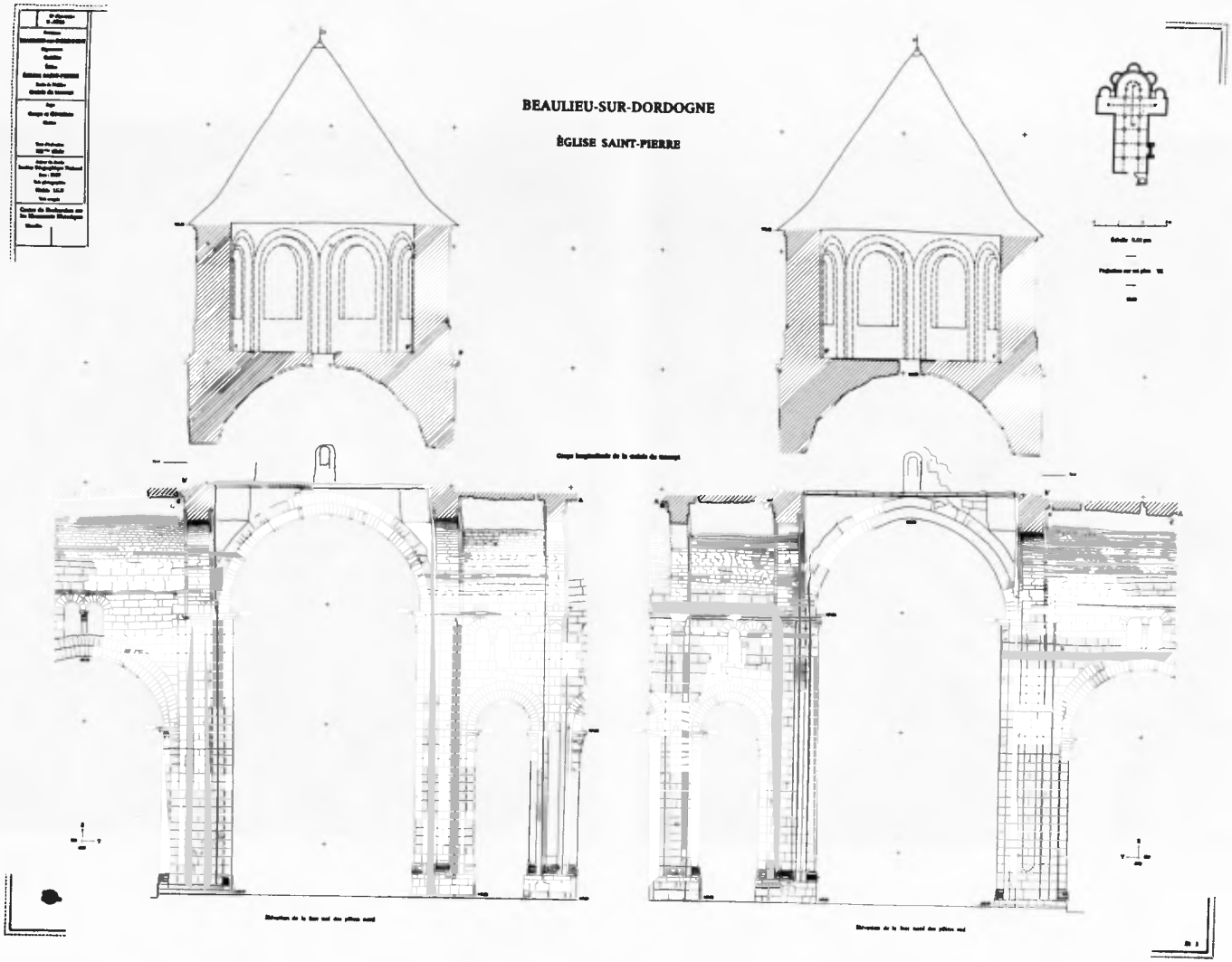
b

Fig. 10 - Deux appareils de *restitution stéréophotogrammétrique.* - a) Appareil Wild A. 40, concu pour la restitution des clichés pris, dans le *cas normal,* avec les chambres P. 32, C. 120 et C. 40. - b) Appareil universel Officine Galileo *Stéréosimplex II c.*

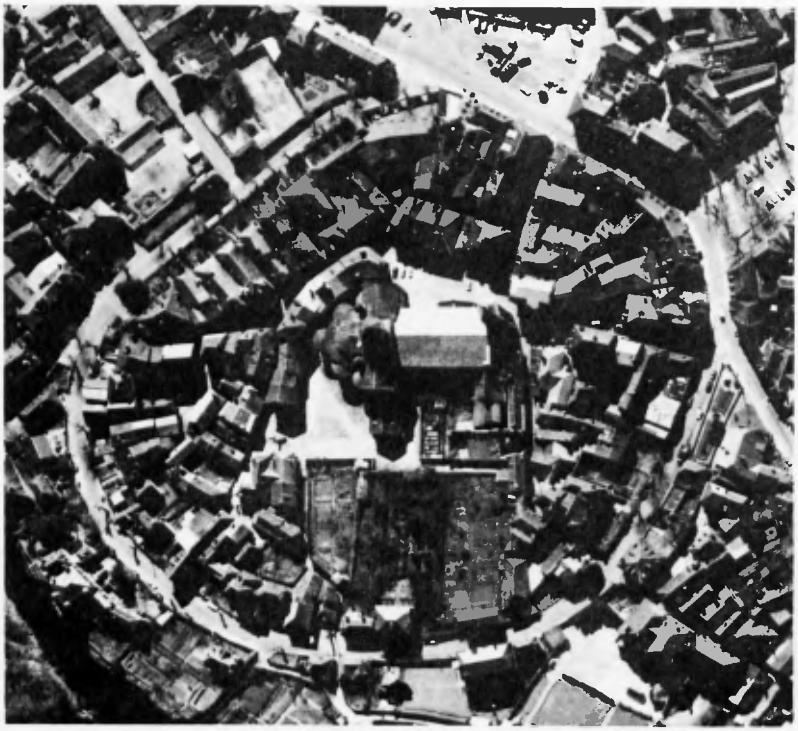
Fig. 10 - Two *stereophotogrammetric plotting instruments.* Wild A 40 made for the plotting of clichés taken normally with cameras P. 32 C. 120 and C. 40; (b) Universal Officine Galileo Stereosimplex II c

Fig. 11 - Combinaison des méthodes *photogrammétriques* et *topométriques* pour le relevé architectural d'un monument. Eglise St-Pierre de Beaulieu - sur - Dordogne (France): relevé des parties extérieures et intérieures de la croisée du transept dans un même système de référence; la liaison entre les relevés photogrammétriques des différentes parties a été assurée par des mesures topométriques

Fig. 11 - Combination of *photogrammetric* and *topometric* methods for the architectural survey of a monument. Eglise Saint-Pierre de Beaulieu-sur-Dordo- (France): survey of the exterior and interior parts of the transept in the same reference; the liaison between the photogrammetric survey of the different parts has been assured by topometric means



a



b

Fig. 12 - Eglise de Beaulieu-sur-Dordogne. - a) Vue extérieure de la croisée du transept - b) Photographie aérienne situant l'église dans son environnement.

Fig. 12 - Eglise de Beaulieu-sur-Dordogne: (a) Exterior view of the transept; (b) Aerial photograph showing the church in its surroundings

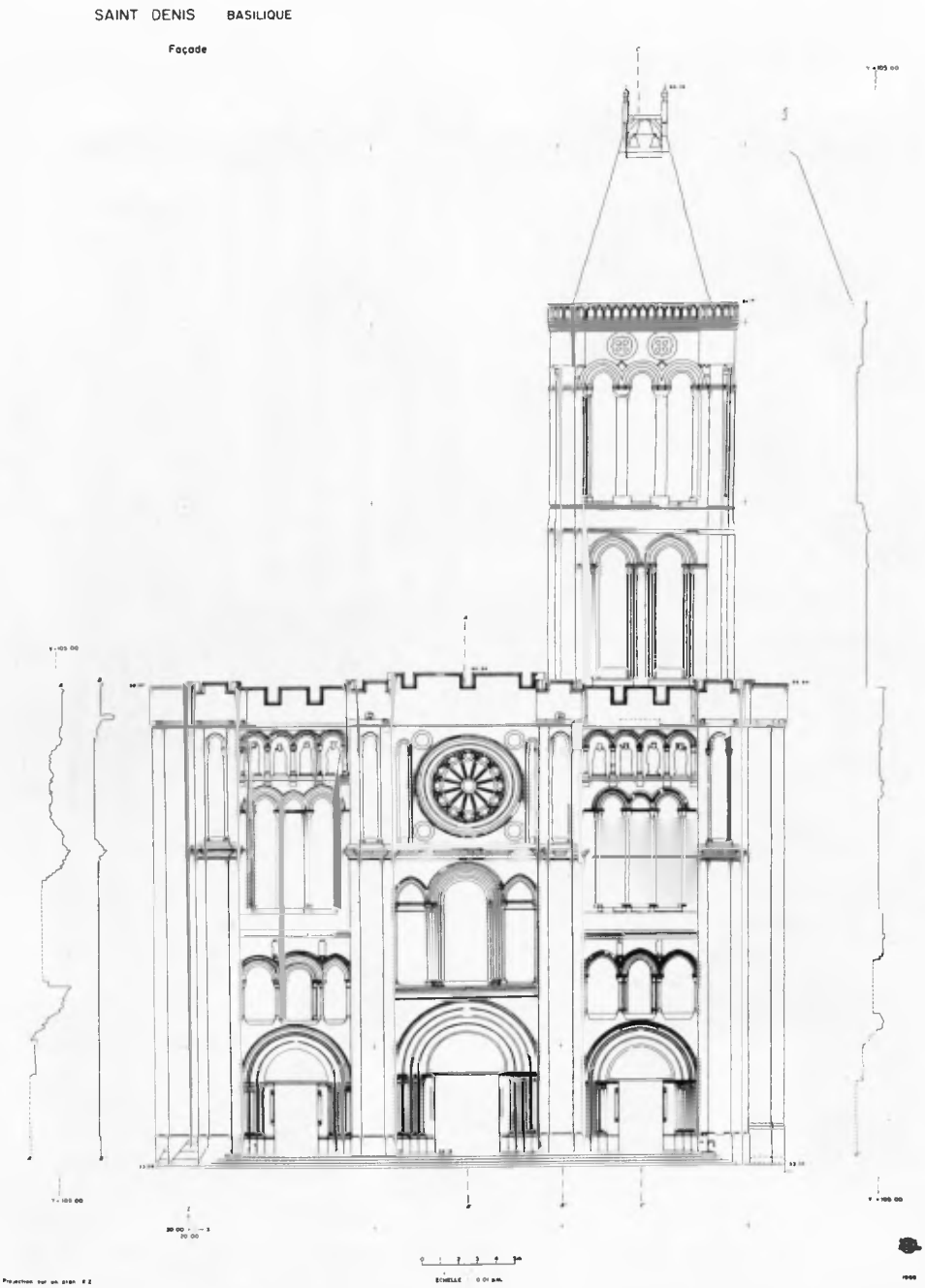


Fig. 13 - Un exemple de *relevé photogrammétrique simplifié:* façade de la basilique de Saint-Denis, près de Paris. Relevé précis, mais limité aux lignes architecturales, sans appareil ni décor sculpté. Echelle du tracé original 1/100

Fig. 13 - An example of a *simplified photogrammetric survey:* facade of the basilica of Saint-Denis, near Paris. Accurate survey, but limited to the architectural lines, without stone outline or sculptured decor. Scale of original diagram 1/100

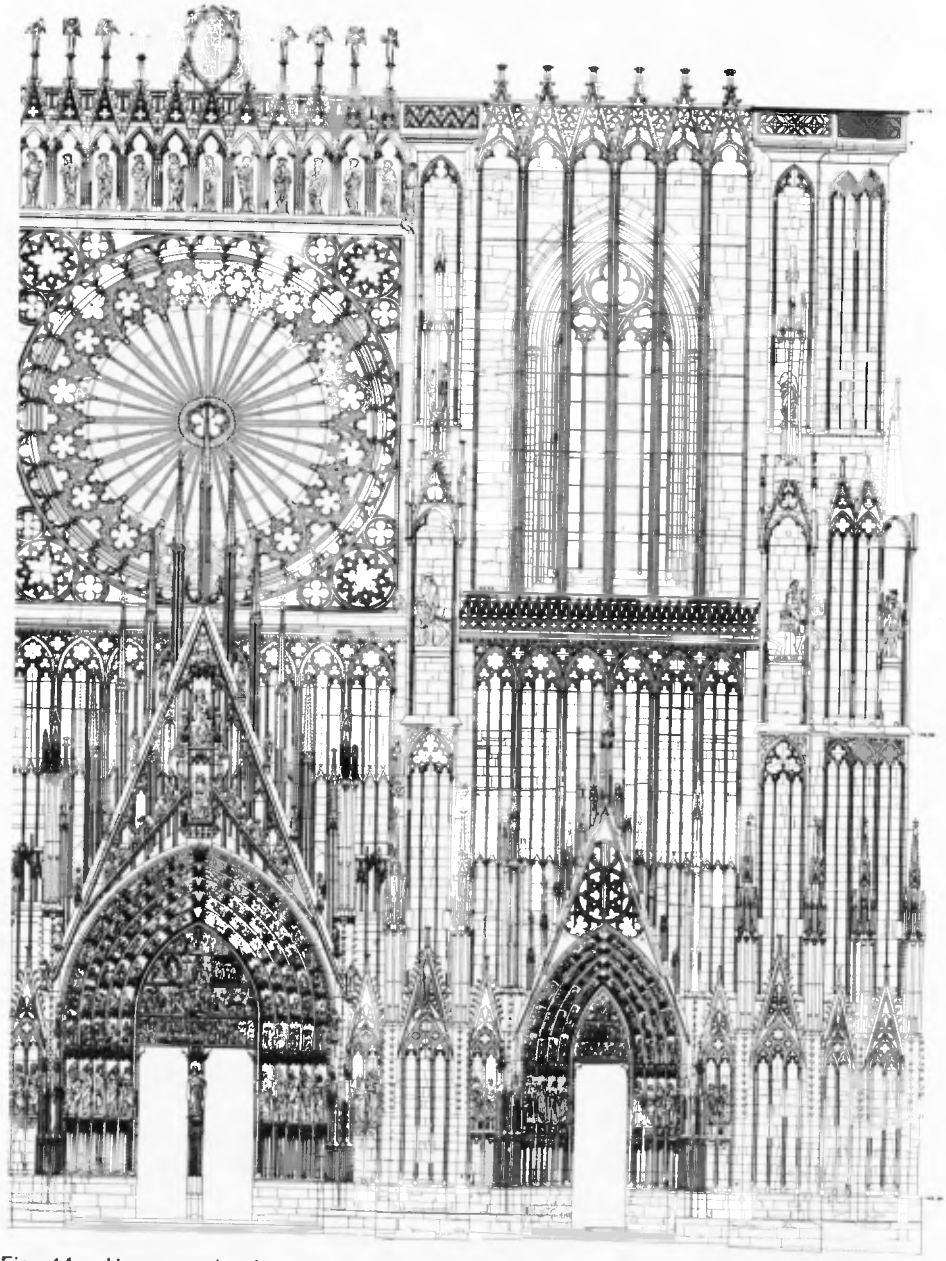


Fig. 14 - Un exemple de *relevé photogrammétrique complet:* façade occidentale de la cathédrale de Strasbourg (France), partie Sud. Tous les détails du monument sont relevés avec une grande précision. Echelle du tracé original 1/50

Fig. 14 - An example of a *complete photogrammetric survey:* western facade of Strasbourg cathedral (France), south side. All the details of the monument are surveyed with great accuracy. Scale of original diagram 1/50

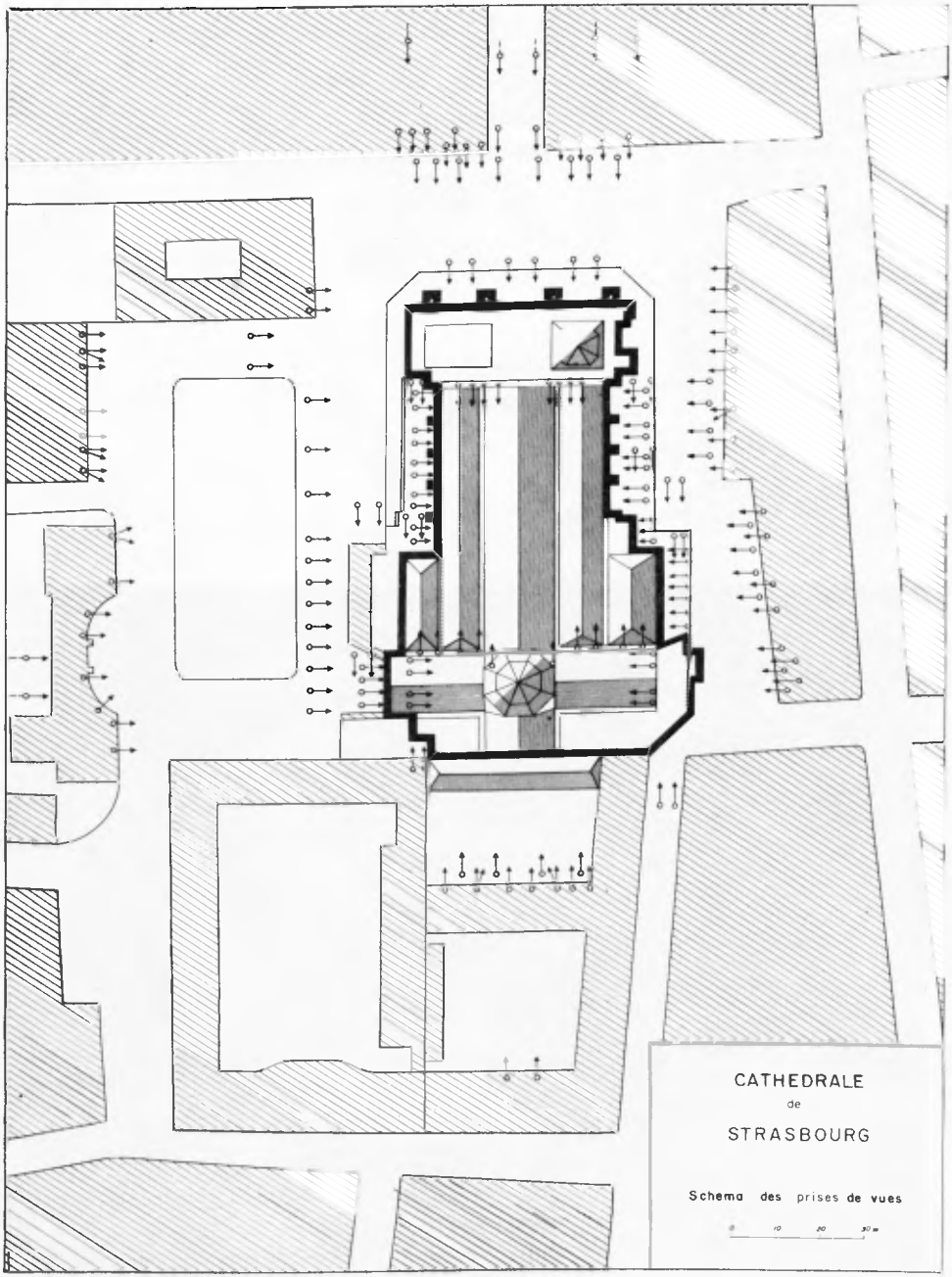


Fig. 15 - Schéma des *prises de vues photogrammétriques* effectuées en vue du relevé *intégral* de toutes les parties *extérieures* de la cathédrale de Strasbourg (à l'exception de la flèche)

Fig. 15 - Sketch of *photogrammetric exposures* made with a view to the entire survey of all the exterior parts of Strasbourg cathedral (apart from the spire)

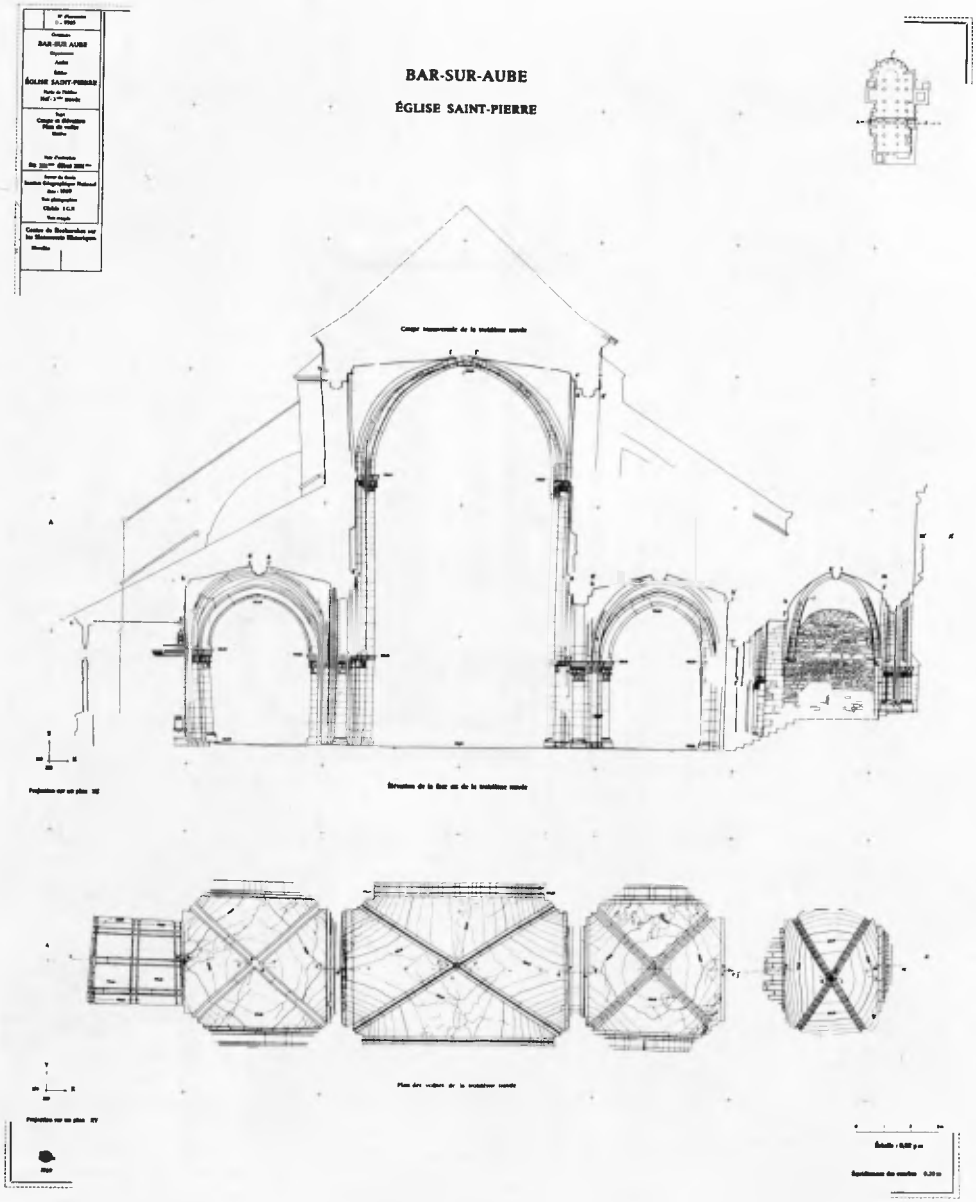
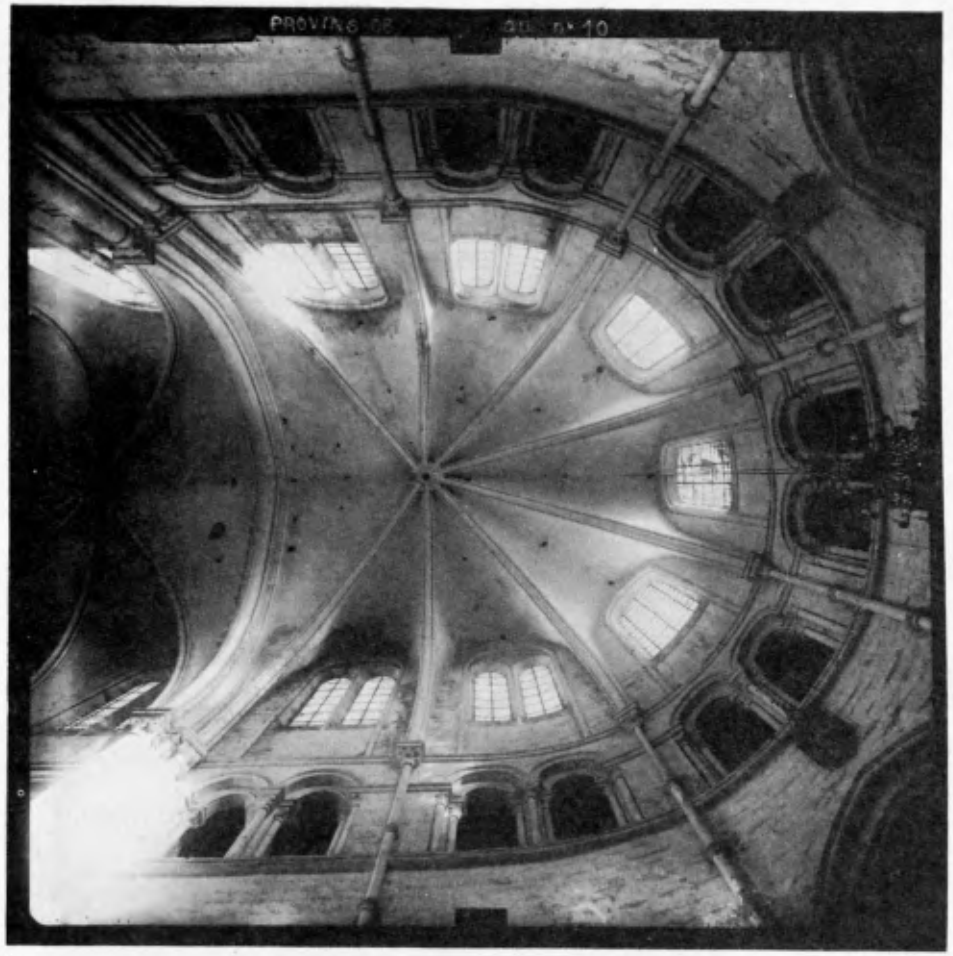
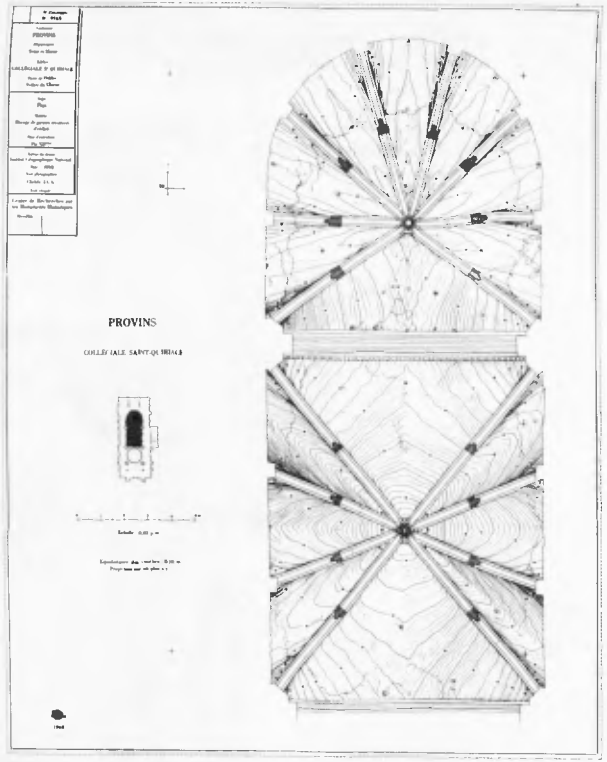


Fig. 16 - Relevé photogrammétrique exécuté en vue de travaux de *restauration* d'un monument: relevé détaillé et précis de l'élément architectural à restaurer. Eglise Saint-Pierre de Bar-sur-Aube (France). Echelle du tracé original: 1/50

Fig. 16 - Photogrammetric survey made with a view to works of *restauration* of a monument: detailed and accurate survey of the architectural element to be restored. Eglise de Saint-Pierre de Bar-sur-Aube (France). Scale of original diagram 1/5



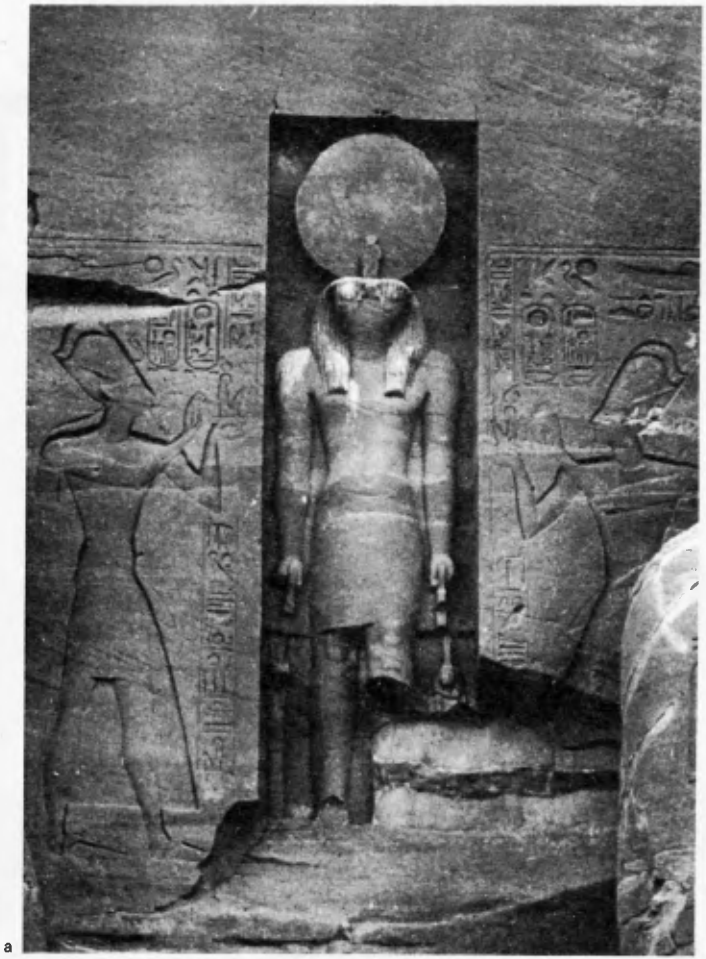
a



b

Fig. 17 - Relevé photogrammétrique de voûtes sous forme de *courbes de niveau*, mettant en évidence la forme *effective* des voûtes au moment de la prise de vues et leurs déformations. Collégiale Saint-Quiriace de Provins (France). - a) La voûte octopartite du choeur - b) Le relevé photogrammétrique. Echelle du tracé original: 1/50. Equidistance des courbes de niveau 10 cm.

Fig. 17 - Photogrammetric survey of vaults in the form of *contour lines* showing clearly the *actual* form and defects of the vaults at the time the exposures were taken. Collegiale Saint-Quiriace de Provins (France) (a) The octopartite chancel vault; (b) the photogrammetric survey. Scale of original diagram: 1/50 Equidistance of contour lines 10 cm.



a

b

Fig. 18 - Relevé photogrammétrique d'une surface sculptée en *sections verticales équidistantes*. Abou Simbel (Egypte), grand temple. - a) Statue du dieu Re-Harakhti, au-dessus de l'entrée. - b) Le relevé photogrammétrique. Echelle du tracé original: 1/20. Equidistance des sections verticales 2 cm.

Fig. 18 - Photogrammetric survey of a surface sculptured in *vertical equidistant sections*. Abou Simbel (Egypt) great temple (a) statue of the god Re-Harakhti, above the entrance; (b) the photogrammetric survey. Scale of original diagram: 1/20 Equidistance of the vertical sections 2 cm.

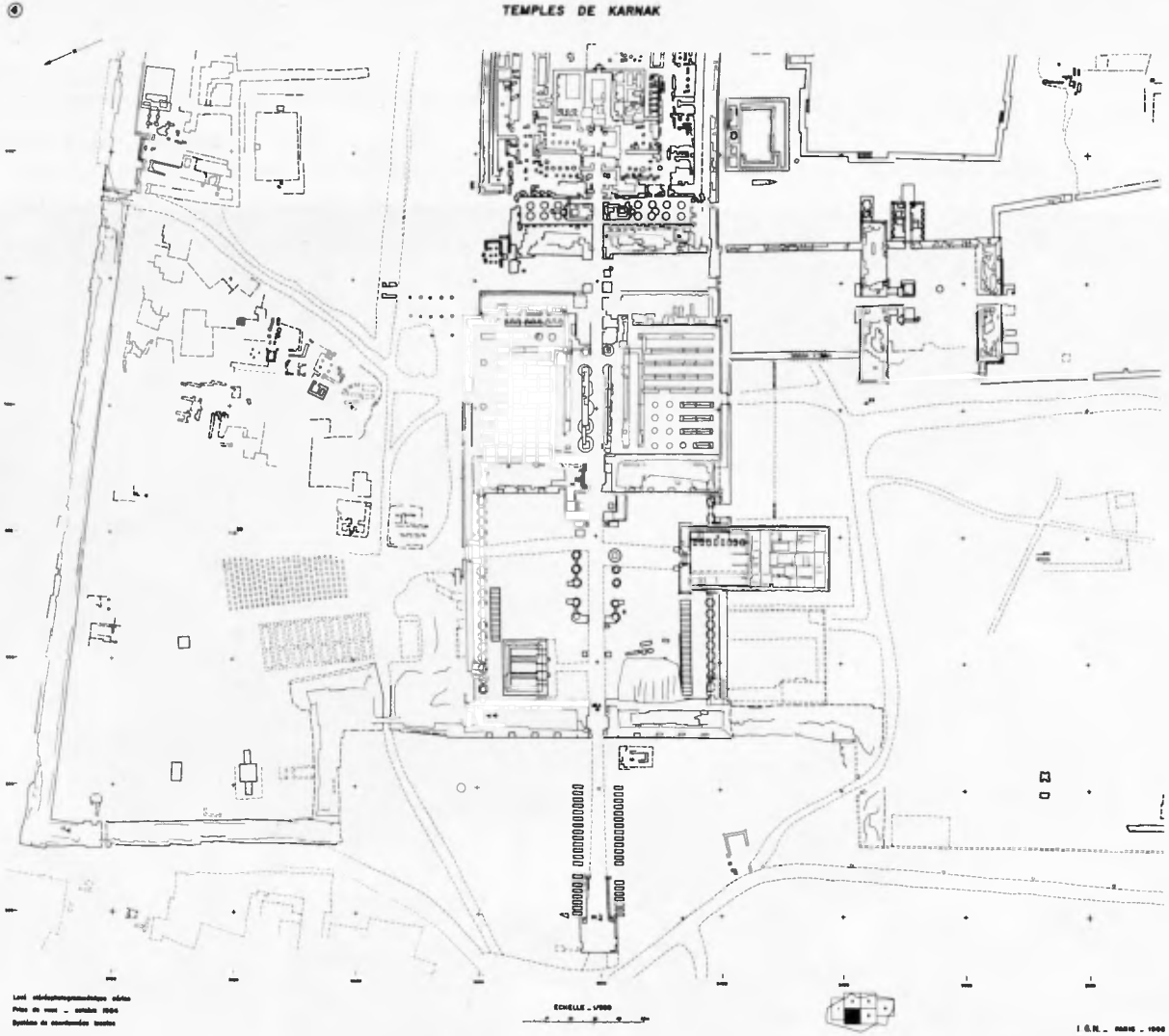


Fig. 19 - Relevé photogrammétrique *aérien* d'un *site archéologique*. Les temples de Karnak (Egypte). Echelle du tracé original: 1/500

Fig. 19 - *Aerial* photogrammetric survey of an *archaeological site*. The temples of Karnak (Egypt) Scale of original diagram: 1/50

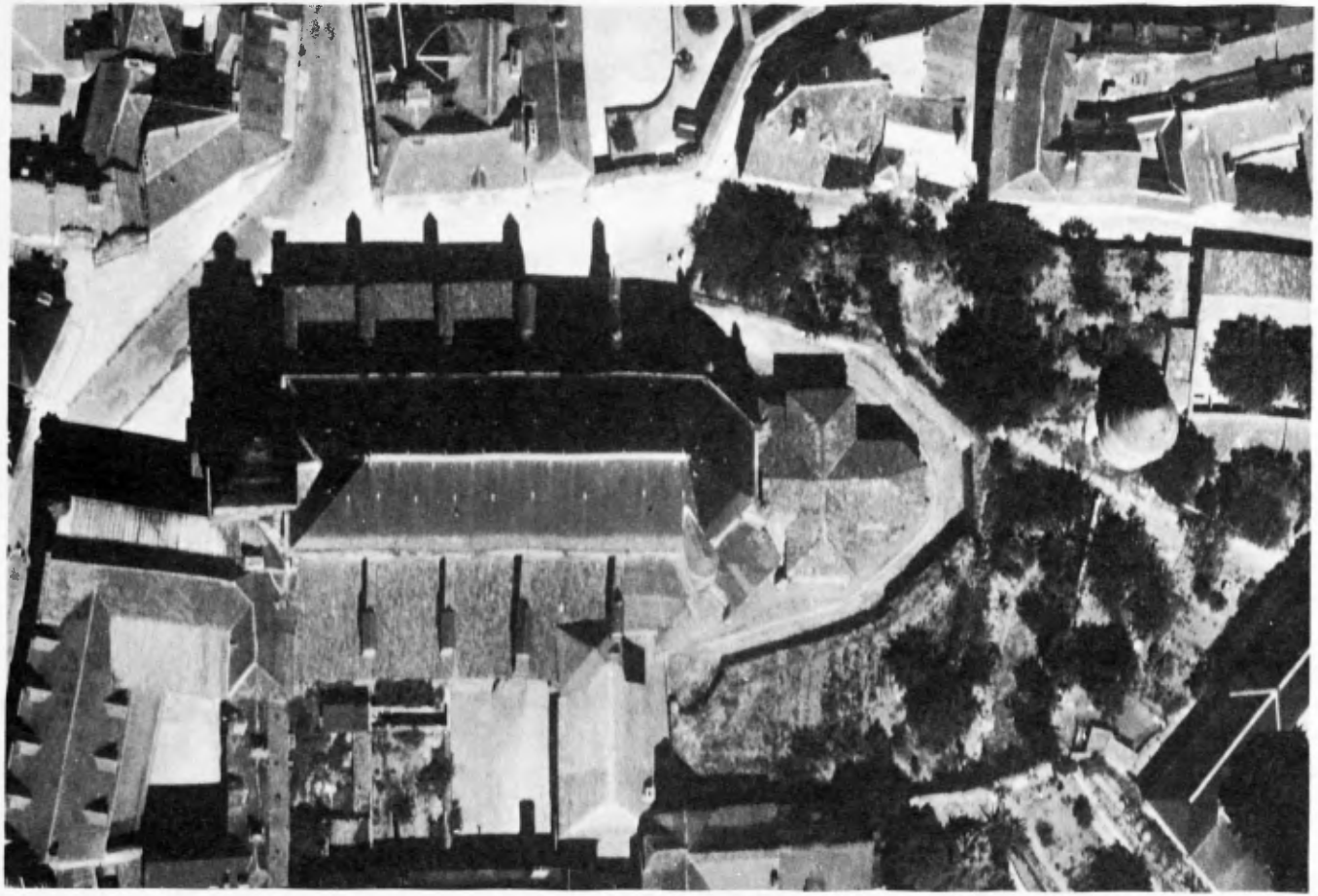


Fig. 20 - Intérêt de la *photographie aérienne verticale* pour le relevé du plan et des parties supérieures d'un monument. Cathédrale de Sarlat (France)

Fig. 20 - Advantage of the *aerial vertical photograph* for the survey of the plan and the superior parts of a monument. Sarlat cathedral (France)

INDICATIONS BIBLIOGRAPHIQUES

CARBONNELL M.: *Le relevé photogrammétrique des ensembles architecturaux* (Bulletin de la Sté Française de Photogrammétrie, n. 19, 1956, p. 91-120).

CARBONNELL M.: *L'histoire et la situation présente des applications de la photogrammétrie à l'architecture* (Colloque de l'ICOMOS, juillet 1968, 42 p., bibliographie).

CARBONNELL M.: *Introduction à l'application de la photogrammétrie aux édifices et aux ensembles monumentaux anciens* (Monumentum IV, 1969, p. 3 à 35).

CATTELAIN F. (et VERMEIR P.): *Relevés photogrammétriques de monuments historiques* (Ministère des T.P. de Belgique, Bruxelles, 1956).

FORAMITTI H.: *Die Bildmessung in der Hand des Baufachmannes* (Deutsche Bauzeitung, p. 786-792 et 874-880,, Stuttgart, 1966).

FORAMITTI H.: *Die Photogrammetrie im Dienste der österreichischen Denkmalpflege* (Osterreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege, p. 112-123, Wien 1968).

FORAMITTI H.: *La Photogrammétrie au service des conservateurs* (Centre International d'Etudes pour la Conservation et la Restauration des Biens Culturels, Rome, 1969, 52 p.).

ICOMOS: *Colloque sur la photogrammétrie appliquée aux monuments historiques* (Saint-Mandé, 4-6 juillet 1968). Rapports de M. CARBONNELL, J.P. PAQUET, R. de VITA, A.J. DONZET, M. JIRINEC, R.W. McDOWALL, C. ERDER, R. MEYER, H. FORAMITTI, J. GOMOLISZEWSKI, P.E. BORCHERS.

Institut Géographique National: *Photogrammétrie architecturale. Application des méthodes photogrammétriques au relevé des monuments.* (Paris 1967).

JIRINEC M.: *Měřvicka dokumentace v památkové péci* (Monumentorum Tutela, Bratislava, 1966, p. 113-133).

RAAB K.O.: *Architekturbildmessung* (Karlsruhe, 1960).

Société Française de Photogrammétrie - Bulletin spécial n. 19: *La photogrammétrie au service de l'architecture.* Articles de J.P. PAQUET, R. BURKHARDT, H. FORAMITTI, J. BERNHARD, A. SCHLUMBERGER, T. MARUYASU, P.E. BORCHERS, M. CARBONNELL (Paris, 1965).

Société Tchécoslovaque pour la Science et la Technique: *Premier symposium géodésique sur la relevé des monuments historiques* (Prague, 15-18 octobre 1968). Rapports de M. JIRINEC, M. SIMANA, J. BRYKNAROVA, J. SIMA, R. KUDELASEK.

REFERENCES DES FIGURES

Fig. 2-6-7-8-9a-12-15-20 - Institut Géographique National. Centre de Photogrammétrie Architecturale et Archéologique (IGN-CPAA), Paris

Fig. 11-14-16-17 - Centre de Recherches sur les Monuments Historiques Paris, (documents établis par l'IGN-CPAA)

Fig. 1-18 - Centre d'Etudes sur l'Egypte Ancienne. Le Caire (documents établis par l'IGN-CPAA)

Fig. 19 - Centre d'Etudes des Temples de Karnak (CNRS) (document établi par l'IGN-CPAA)

Fig. 13 - Prof. Crosby, Université de Yale, USA (document établi par l'IGN-CPAA)

Fig. 3a-4a-5-10a - Wild Heerbrugg, Suisse

Fig. 3b-4b - VEB Carl Zeiss Jena, R.D.A.

Fig. 9b - Carl Zeiss, Oberkochen, R.F.A.

Fig. 10b - Officine Galileo, Firenze, Italie

FINITO DI STAMPARE
APRILE 1974