

L'HISTOIRE ET LA SITUATION PRESENTE DES APPLICATIONS DE LA PHOTOGRAMMETRIE A L'ARCHITECTURE

Un siècle d'expérience et de succès, l'appui chaleureux d'éminents spécialistes de l'architecture et de l'histoire de l'art, de nombreuses études formant une bibliographie de plus de deux cents titres, ... et cependant la photogrammétrie architecturale, c'est-à-dire l'application des méthodes photogrammétriques aux relevés des monuments et aux travaux d'architecture semble n'être encore qu'à ses premiers développements, n'est nullement d'un emploi universel et reste inconnue, dans le monde entier, d'un grand nombre d'architectes et de techniciens de l'art de construire.

Ce rapport, qui s'efforce de reconstituer l'histoire de la photogrammétrie architecturale et d'en présenter un tableau actuel et un bilan prospectif, devrait permettre d'expliquer ce paradoxe et de suggérer des remèdes à cette méconnaissance, à ce sous-emploi d'une technique qui répond aux exigences modernes de la conservation des monuments historiques et apporte à tous ceux qui sont chargés d'aménager la cité un secours efficace.

Bien que le partage entre les différentes disciplines ne soit souvent pas aisé, seules les applications architecturales seront traitées ici, à l'exclusion des applications de caractère purement archéologique, telles que la détection des constructions anciennes par prospection aérienne, et des études de pur urbanisme. C'est pourquoi il sera très peu question, dans ce rapport de photographie et de photogrammétrie aériennes(*).

(1) Il ne nous échappe pas que cette étude, aussi bien en ce qui concerne l'esquisse historique que le bilan des applications actuelles, présente certainement, malgré un grand effort d'information, des lacunes. Nous serons reconnaissants à tous ceux, photogramètres, architectes, inspecteurs, conservateurs, qui voudront bien nous permettre de compléter notre rapport en nous envoyant des renseignements et des documents.

- Un siècle de photogrammétrie architecturale.

Des origines à la fin de la seconde guerre mondiale

A ses débuts, l'histoire des applications de la photogrammétrie aux relevés d'architecture se confond avec l'histoire même de la photogrammétrie.

Dans leurs ouvrages, les promoteurs de cette technique, vers le milieu du XIX^e siècle, se plaisent à rappeler que la Renaissance italienne connaissait déjà l'art d'établir des plans et des élévations d'un bâtiment d'après des vues perspectives, que "le plus grand nombre des traditions et des ouvrages sur la perspective est dû à des architectes" (Laussedat), que les lois en ont été particulièrement bien explicitées au XVIII^e siècle par le mathématicien Lambert et, un peu plus tard, par Monge dans sa "Géométrie descriptive", et qu'Arago, dans son rapport sur le Daguerrotypage présenté en 1839 à la Chambre des Députés et à l'Académie des Sciences françaises, avait déclaré prophétiquement : "Les images photographiques étant soumises, dans leur formation, aux règles de la géométrie permettront, à l'aide d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices".

Premiers travaux - Aimé Laussedat

De solides bases étaient donc posées lorsque, en 1849, le français Aimé Laussedat, développant une idée de l'hydrographe Beautemps-Beaupré, imagina d'utiliser les perspectives comme des documents métriques à partir desquels il était possible de reconstituer "le faisceau perspectif" formé par l'ensemble des rayons visuels partant de tous les points d'une construction et aboutissant à l'oeil de l'observateur. L'enregistrement exact des perspectives avait fait depuis le début du XIX^e siècle de grands progrès grâce à la chambre claire inventée par William Hyde Wollaston en 1804. C'est ainsi que Caristie, ancien élève de l'Ecole Polytechnique devenu architecte et membre de l'Académie des Beaux-Arts, après avoir utilisé en Egypte une "chambre obscure" pour les dessins perspectifs de monuments, employa en Italie une "camera lucida" dès les premiers temps de l'invention de cet instrument. Et c'est avec la chambre claire de Caristie que Laussedat fit, en 1849, les premiers essais de ce qu'il devait appeler plus tard l'iconométrie (mesures sur des perspectives dessinées), sa première tentative ayant eu pour objet "de relever des mesures géométriques exactes sur une vue du dôme des Invalides, prise de la place Vauban".

Ainsi était créée la "méthode des perspectives" que Laussedat appliqua en 1851 au relevé du pavillon d'Anne de Beaujeu à Moulins, sa ville natale, puis à la Cour du Quartier de Panthémont, enfin à l'Eglise Santa Maria delle Grazie à Milan. Dans tous ces travaux, les perspectives étaient utilisées individuellement, comme le feront souvent plus tard G. Le Bon et H. Deneux. Pour l'église de Milan, l'image perspective était, pour la première fois, enregistrée photographiquement.

En même temps, Laussedat mettait au point l'exploitation simultanée de plusieurs perspectives, procédé qui permettait la mise en place de tous les détails par "intersection" des rayons lumineux. De 1850 datent les deux plus anciens relevés de ce type, exécutés à l'aide d'une chambre claire, ceux du château de Vincennes et du Fort du Mont Valérien. Il s'agissait essentiellement de restitutions en plan, comme le furent les premiers travaux officiels effectués avec une chambre noire photographique, en 1860. A l'aide de deux photographies prises de la tour Nord de l'église Saint Sulpice et de l'observatoire de l'Ecole Polytechnique, avec une chambre de format 24 x 30 cm et de focale 50 cm, Laussedat détermina la position de quelques monuments de Paris et la hauteur de la flèche de la cathédrale Notre-Dame au-dessus de l'arête du toit de la grande nef ; l'expérience fut faite sous le contrôle de deux commissaires nommés par l'Académie des Sciences et en présence de Viollet-le-Duc.

Aimé Laussedat était un officier du Génie : après ces premiers travaux, il consacra essentiellement ses efforts aux applications topographiques des procédés qu'il avait créés et que, après l'adoption définitive de l'enregistrement photographique des perspectives, il appela métrophotographie. Cependant, jusqu'à sa mort en 1904, il ne cessa de s'intéresser aux applications architecturales, leur consacra de nombreuses pages dans ses ouvrages et réclama sans cesse, mais vainement, la fondation en France d'un Institut d'archives métrophotographiques des monuments historiques analogue à celui qu'avait créé en Allemagne l'architecte Albrecht Meydenbauer.

Meydenbauer et le Messbildanstalt de Berlin.

Dès 1858, Meydenbauer, chargé du relevé de la cathédrale de Wetzlar, avait eu l'idée d'utiliser la photographie. Cette idée, présentée en 1865 à une exposition de photographie avait suscité quelque intérêt. Elle fut développée le 28 avril 1866 dans une conférence à l'Union des Architectes de Berlin, conférence publiée en 1867 dans le "Zeitschrift für Bauwesen". Meydenbauer employait alors le terme photométopographie. A cette époque, E. Busch fabriquait, à Rathenow, un nouvel objectif, le Pantoskop, donnant dans un champ de 90° une "image

perspective géométriquement exacte" (ou considérée comme telle par Meydenbauer). Cet objectif permit la construction d'une chambre photographique avec distance principale fixe qui fut expérimentée sur le terrain vers Freiburg, surtout pour des essais de levés topographiques en raison des événements internationaux.

Aussitôt après la guerre de 1870, Meydenbauer reprit ses travaux d'architecture. Aidé du Dr. F. Stolze, il utilisa une chambre de format 20 x 20 cm pour le relevé de la Kastor-kirche à Koblenz. En 1874-76, Stolze relevait la "mosquée du Vendredi" à Shiraz et les ruines de Persépolis et de Pasargadae, tandis que W. Jordan opérait en Lybie. Meydenbauer, promu en 1878 Kreisbauinspektor et Universitäts Architekt, nommé professeur aux Ecoles Supérieures d'Aix-la-Chapelle puis de Berlin, fut appelé en 1885 par le ministre des cultes, von Gossler, pour fonder et diriger le "Königliche Preussische Messbildanstalt", service chargé d'établir les plans des monuments historiques par les procédés de la photogrammétrie, nom imaginé par Meydenbauer et qui, l'emportant sur les autres appellations, devait devenir d'un emploi universel.

Ainsi fut créé, en 1885, le seul service d'archives photogrammétriques des monuments historiques qui vit le jour avant la seconde guerre mondiale. Meydenbauer en fixa aussitôt les méthodes de travail qui restèrent immuables jusqu'à la disparition de son Institut en 1945. Ces méthodes reposent sur l'emploi de chambres photographiques rigides de grand format (40 x 40 cm) à tirage fixe (20,35 ou 50 cm), munies de repères de fond de chambre, d'un dispositif de déplacement vertical de l'objectif (mesuré avec précision) pour la photographie des parties hautes des édifices, et utilisées toujours à axe horizontal. Pour les bâtiments simples et de petites dimensions, on prend des photographies uniques que l'on exploite en appliquant les lois de la perspective. Pour les édifices de plus grande importance, plusieurs photographies sont utilisées selon la méthode des intersections : autant que possible, les bases doivent être grandes, supérieures à la moitié de l'éloignement; tous les points de vue sont repérés et déterminés par polygonation et triangulation, ainsi que certains points remarquables du bâtiment; des mesures identiques faites à l'intérieur sont liées aux mesures extérieures dans un système de référence unique; enfin la direction de chaque axe de prise de vue est obtenue en orientant systématiquement la chambre sur l'un des points de repère intersectés sur le monument.

L'exploitation des photographies se fait graphiquement, ce qui justifie le grand format des clichés. Tous les éléments topométriques sont reportés sur un plan : on peut donc tracer

chaque axe photographique et, à partir du point de vue, construire en vraie grandeur le point principal, la trace du cliché, la projection horizontale de l'image d'un point que l'on veut "restituer" et la visée relative à ce point. L'intersection des visées homologues issues de différents points de vue donne la position planimétrique du point. Quant à sa position altimétrique, on l'obtient par le calcul à partir de mesures graphiques sur les clichés et sur l'épure. Ainsi construit-on, point par point, les élévations. A partir de ce canevas, le dessin doit évidemment être fait par des spécialistes, c'est-à-dire des architectes.

Tels furent toujours les techniciens du Messbildanstalt. Eglises, abbayes, cathédrales, hôtels de ville, châteaux, tous les monuments allemands furent archivés photogrammétriquement au cours de soixante années de travail, sans compter certains monuments étrangers tels que Sainte Sophie de Constantinople et les temples de Baalbek. En 1945, la Staatliche Bildstelle, photothèque d'état des Monuments historiques allemands, conservait 76.000 clichés photogrammétriques, les édifices les plus importants comportant chacun de 150 à 200 clichés. Des photographies prises à différentes dates permettaient déjà de suivre l'évolution de certains édifices, d'en mesurer les déformations et les gauchissements.

La stéréophotogrammétrie. L'oeuvre de Dolezal

L'apparition au début du XXe siècle des méthodes de la stéréophotogrammétrie n'avait rien changé aux procédés de restitution graphique appliqués par le Messbildanstalt de Berlin. Meydenbauer et ses successeurs n'en comprirent pas l'intérêt. L'école autrichienne, par contre, qui avait pris une part importante au développement des nouvelles méthodes, développa que jalonnent les premiers stéréocomparateurs, les premiers stéréoautographes, les premiers appareils à double projection, saisit tout de suite les possibilités qu'offraient l'examen et le pointé stéréoscopiques, le tracé continu des lignes planimétriques et des courbes d'égale éloignement, ainsi que la souplesse et le gain de précision qui en résultaient. Eduard Dolezal qui, avec la collaboration de Theodor Scheimpflug, avait relevé en 1898 la Karlskirche de Vienne et l'église paroissiale de Gersthof selon les procédés de Meydenbauer, se fit bientôt le champion de l'exploitation des clichés métriques par la stéréophotogrammétrie. Il était soutenu dans ses efforts par le Prof. Schell qui avait conçu, pour les relevés d'architecture, un photothéodolite universel permettant d'importantes inclinaisons de l'axe optique (+ 40°), équipé d'un objectif de Steinheil (focale 308 mm) couvrant un format 30 x 30 cm, photothéodolite que construisit Théodor Dokulil. Le Prof. Schell imagina aussi

un appareil stéréoscopique à base fixe et rigide dont il confia la réalisation à la firme R. et A. Rost. Dès la première décade du XXe siècle étaient ainsi créés les deux types d'appareil de prise de vues qui sont maintenant employés dans les relevés photogrammétriques des monuments. En 1909, Dolezal succéda au Prof. Schell à la chaire de géodésie de l'Ecole Technique Supérieure de Vienne. Ses collaborateurs, A. von Hübl, S. Truck, V. Frey, s'efforcèrent avec lui d'introduire la stéréophotogrammétrie en architecture.

Ainsi débuta une querelle entre les partisans de la "métrophotographie graphique", dans laquelle on emploie des bases longues, des axes fortement convergente et qui détermine par intersection graphique, nécessitant des constructions délicates, la position dans l'espace de points caractéristiques du monument en nombre forcément limité, et les partisans de la "stéréophotogrammétrie" qui impose des bases plus courtes et des convergentes limitées permettant l'examen stéréoscopique des clichés mais qui conduit à un tracé continu et très précis de tous les éléments du monument dans leurs moindres détails. La première méthode ne demande, pour l'exploitation des photographies, que des matériels simples et peu coûteux; la seconde exige des appareils beaucoup plus compliqués et onéreux. L'esprit et les possibilités de l'une et de l'autre ne sont, à vrai dire, pas les mêmes. La métrophotographie graphique, qui ne saurait être appliquée que par un spécialiste des monuments, fut surtout mise en oeuvre par des architectes; la stéréophotogrammétrie, qui a un caractère beaucoup plus technique, fut principalement prônée par des géodésiens et des photogrammètres. La querelle devait se poursuivre jusqu'à la seconde guerre mondiale. Reflétant sans doute un manque de collaboration suffisamment étroite entre les architectes et les techniciens de la photogrammétrie, elle explique en grande partie pourquoi les méthodes nouvelles de relevé n'ont pas connu, dans tous les pays, l'essor que l'on aurait pu espérer. Une conséquence fort regrettable aura été, en particulier, l'incompréhension presque générale de l'intérêt majeur que présentaient les archives photogrammétriques des monuments.

Dolezal, par exemple, dès 1898, rêvait de créer un "Messbildanstalt" autrichien; malgré l'appui du Prof. Dvorak, historien d'art, il n'y parvint pas. Sur le plan national, puis sur le plan international, avec toute l'autorité que devaient lui conférer la fondation et la présidence de la Société Internationale de Photogrammétrie, il ne cessa pourtant jamais jusqu'à la fin de sa vie (1955), de mener, selon l'expression d'Henri Roussilhe, "sa croisade" en faveur des archives photogrammétriques des oeuvres d'art. Le vœu qu'il présenta et fit adopter au Congrès International de Photogrammétrie de Paris, en 1934,

résume son action :

1° - Les Sociétés nationales de photogrammétrie plaideront par la parole et par l'écrit la cause de la photogrammétrie appliquée à l'architecture.

2° - Elles intéresseront à cette cause les architectes, les historiens de l'art et les archéologues.

3° - Elles proclameront la grande importance des archives de monuments".

Mais Dolezal ne fut pas entendu.

Avant la première guerre mondiale : prédominance des méthodes d'exploitation graphique.

Jusqu'à la guerre de 1914, la méthode d'exploitation des clichés métriques par intersections graphiques fut, hormis les tentatives autrichiennes, presque seule employée. En Italie, l'ingénieur Paganini, de l'Istituto Geografico Militare, avait effectué quelques relevés architecturaux selon cette méthode, de même qu'en Suisse la Schweizerische Gesellschaft für Erhaltung historischer Kunstdenkmäler in Basel qui avait obtenu, en 1898, le soutien financier du gouvernement fédéral.

Parmi les travaux français, rappelons d'abord, pour son seul intérêt historique, le relevé exécuté en 1866 par M. Wyganowski : sous la direction de Viollet-le-Duc, il établit le plan du château de Pierrefonds à l'aide de la "planchette photographique" du Dr. Chevalier, appareil qui enregistrait, en chaque station, un panorama complet ayant la forme d'une couronne circulaire. Plus importante est l'oeuvre du Dr. Gustave Le Bon. Il prenait presque toutes ses photographies métriques "de front", en assurant un parallélisme aussi exact que possible entre le plan du cliché et le plan vertical principal de la façade considérée; sa chambre était montée sur une calotte sphérique et le verre dépoli portait un quadrillage millimétrique; l'appareil était convenablement orienté lorsque les lignes de ce quadrillage étaient parallèles aux horizontales et aux verticales de l'édifice. Des jalons donnaient l'échelle de l'image en des plans parallèles au plan principal, situés à différentes profondeurs. Le Dr. Le Bon releva ainsi de nombreux monuments en Asie. Ses dessins furent, en particulier, publiés dans son ouvrage "Les Civilisations de l'Inde", paru chez Firmin-Didot en 1887. Plus tard, la méthode fut étendue à des plans fuyants, en considérant leurs intersections avec des plans de front et en plaçant des étalons de longueur sur ces intersections. A la même époque, le Commandant V. Legros recommandait d'effectuer les prises de vues des monuments selon la technique du Dr Le Bon; il préférerait, toutefois, travailler avec deux perspectives orthogonales.

Dix ans plus tard, l'architecte Le Tourneau faisait construire une chambre métrique de format 13 x 18, pouvant recevoir des objectifs de différentes focales (de 10 à 100 cm) montés sur une plaquette à décentrement, le parallélisme de cette plaquette et du fond de chambre étant assuré par des armatures rigides. Avec cet appareil, Le Tourneau prit de nombreux clichés. Aux Salons des Beaux-Arts, en 1904 et 1906, il exposa 107 photographies magnifiques de 19 monuments anciens de Thessalie, d'Albanie, de Macédoine et d'Epire. Malheureusement ces clichés ne furent jamais utilisés pour des restitutions précises et la collection de Le Tourneau ne fut pas continuée. Tous ces efforts restaient sporadiques, comme le furent ceux d'Emile Wenz, qui, vers 1914, prit quelques photographies métriques de monuments (notamment ce pavillon d'Anne de Beaujeu, à Moulins, dont Laussedat avait relevé les perspectives à la chambre claire) et qui essaya, sans aucun succès, de répandre les procédés de la métrophotographie en architecture.

Une autre voie de recherche avait été ouverte en 1899 par le Capitaine de Romance. Ses clichés de façades étant pris en "basculant" la chambre autour d'un axe horizontal parallèle à l'édifice, il en effectuait le redressement photographique avec un appareil de sa fabrication. La théorie du redressement devait être développée et étendue à une inclinaison quelconque de l'axe par Theodor Scheimpflug. Avec son collaborateur G. Kammerer, il mit au point le "perspectrographe", premier redresseur universel (1904). L'appareil ne fut pas utilisé seulement pour rectifier des vues aériennes obliques, mais aussi pour obtenir d'éléments architecturaux plans (murs intérieurs, plafonds, vitraux...) des images photographiques géométriquement semblables à l'objet.

De 1919 au Congrès de Paris (1934) le conflit des méthodes.

Entre les deux guerres mondiales, la méthode des intersections graphiques fut appliquée, immuablement, par le Messbildanstalt de Berlin qui poursuivit la constitution de ses vastes archives photogrammétriques. De cette époque datent les relevés des cathédrales de Regensburg, de Bamberg et de Köln, de nombreux monuments allemands et de Sainte Sophie de Constantinople. En 1934, K. Zaar proposait un procédé permettant de dessiner l'élévation d'une façade par des constructions transformant, point par point, une image photographique prise perpendiculairement à la façade en une projection orthogonale; il décrivait un petit appareil simple réalisant cette transformation.

s méthodes d'exploitation graphique des photogra-

phies devaient trouver aussi un défenseur de très grande classe en la personne d'Henri Deneux, Architecte en Chef des Monuments historiques français, responsable de la cathédrale de Reims. Deneux recommandait la construction d'appareils de prise de vues métriques, mais il utilisa surtout des clichés absolument quelconques et dont il ignorait les caractéristiques (cartes postales, illustrations d'ouvrage...) notamment pour travailler à la restauration d'édifices détruits à l'aide de clichés antérieurs à leur destruction. Il pensait d'ailleurs "qu'avec n'importe quel appareil photographique il est possible de faire des relevés métrophotographiques de précision". Il s'attachait donc d'abord à reconstituer les conditions de la prise de vues (ligne d'horizon, point principal, distance principale, éventuellement inclinaison de l'axe) par des constructions basées sur certaines hypothèses d'horizontalité ou de verticalité, utilisant des données angulaires et linéaires mesurées ou reconstituées et faisant appel à toutes les lois de la perspective et de la géométrie descriptive. Puis il restituait l'élévation, le "géométral" de la façade d'après une ou plusieurs photographies, par des constructions savantes et complexes (méthode des points de fuite ou des plans de fuites, méthode des intersections, etc...), tirant parti également des ombres portées. C'était, comme l'a dit H. Roussilhe, l'oeuvre d'un "architecte qui connaissait bien son métier, son art et sa géométrie". Il fit ainsi de très beaux relevés de la cathédrale de Reims et de l'église Saint Jacques de cette même ville, du Temple Sainte-Marie et du Sacré-Coeur de Montmartre à Paris, etc... et présenta, en 1930, tout le fruit de son expérience dans un ouvrage, "La métrophotographie appliquée à l'architecture", que préfaça Paul Léon, Directeur Général des Beaux-Arts et dans lequel il souhaitait, en conclusion, la création d'un "institut de métrophotographie" et l'enseignement de cette technique dans les grandes écoles et les facultés. Voeux qui ne furent pas entendus, pas plus que ne le fut la motion adoptée, cette même année 1930, par le Congrès International de Photogrammétrie de Zürich (proposition Torroja, Espagne), demandant que "les pays qui n'en possèdent pas encore établissent le plus tôt possible des archives de photographies métriques des monuments architectoniques et archéologiques, desquelles on puisse déduire, par les procédés qu'on juge convenables ou possibles, les mesures ou modèles qui peuvent être désirables".

On notera l'expression "par les procédés qu'on juge convenables ou possibles" qui reflétait discrètement l'opposition entre les partisans de l'exploitation des clichés par les méthodes graphiques et les promoteurs de la stéréophotogrammétrie. Ceux-ci estimaient en effet, comme l'écrira plus tard le Prof. R. Burkhardt, qu'une méthode comme celle de Deneux "n'est pas exempte d'a priori et ne peut être maniée que par un architecte très expérimenté" alors que la précision, l'homogénéité,

l'objectivité des relevés stéréophotogrammétriques étaient maintenant démontrées par d'excellents travaux. De nombreux matériels, photothéodolites et chambres doubles à base fixe avaient été réalisés dans différents pays, ainsi que de petits autographes simplifiant les opérations de mise en place par l'application systématique du "cas normal" (axes de prise de vues parallèles entre eux et perpendiculaires à la base).

En Allemagne même, parallèlement aux travaux du Messbildanstalt, l'Ecole Technique Supérieure de Hanovre et la Section topographique du Ministère des Finances et de l'Economie de l'Etat de Basse-Saxe avaient appliqué les méthodes stéréophotogrammétriques aux relevés de la Cathédrale de Konstanz (25 planches à l'échelle de 1/50, mesure des déformations des voûtes ogivales), de la statue équestre dite "Sachsenross", où l'on vit, pour la première fois peut-être la ronde bosse exprimée par des sections verticales équidistantes, et, en Haute-Egypte, de quelques éléments du Ramesseum. Selon ces mêmes méthodes, la Sociedad Estereografica Espanola relevait le Puente de Toledo à Madrid, le Prof. Br. Piatkiewicz dressait les plans du vieil hôtel de ville de Cracovie, et le Cabinet Zurbuchen établissait ceux de plusieurs monuments suisses, dont l'Alte Hauptwache de Berne. On doit noter aussi des relevés expérimentaux du Dôme de Milan, en 1935, et de la façade principale de la cathédrale de Mexico. Enfin, en Tchécoslovaquie où, dès 1924, le Prof. Ruzicka s'était fait le propagateur des méthodes et des archives photogrammétriques et où, en 1925, le Prof. Pantoflíček avait relevé le château de Karlštejn, les Ecoles Polytechniques de Prague et de Brno effectuaient différents travaux (dont la mesure des dômes de l'Eglise Saint Nicolas dans la Mala Strana) en exploitant dans un stéréocomparateur des clichés pris avec des photothéodolites selon les axes inclinés.

Ce dernier procédé mérite d'être souligné. Il offrait en effet aux partisans de la restitution point par point la possibilité d'exploiter des clichés pris dans des conditions quelconques d'inclinaison par rapport à la façade, d'une manière beaucoup plus souple, universelle, rapide et précise que par des constructions graphiques. Cette idée avait été présentée et défendue d'une façon remarquable en 1931 par K. Schwedfsky dans sa thèse de doctorat, thèse appuyée sur la restitution analytique effective de plusieurs monuments de Braunschweig. Le Prof. Schwedfsky a la modestie de considérer aujourd'hui cette étude comme un "péché de jeunesse". Elle ouvrirait en fait des perspectives sur lesquelles nous reviendrons dans la seconde partie de ce rapport.

La discussion fut âpre, au Congrès de Paris, entre les partisans des méthodes stéréophotogrammétriques et les

défenseurs de la métrophotographie graphique. Ces derniers estimaient trop coûteux et trop compliqués les appareils de restitution photogrammétrique. Ils affirmaient d'autre part que la méthode graphique "suffit mieux aux exigences pratiques des architectes",... que peu leur importe "une précision poussée jusqu'au millimètre",... et que "d'autres exigences, telles qu'une présentation artistique et un style irréprochable, sont au moins aussi importantes". Chacun resta sur ses positions et la sous-Commission 4a (Architecture) présenta à l'Assemblée générale du Congrès et fit adopter des résolutions qui recommandaient d'abord d'établir des archives photogrammétriques et d'enseigner la photogrammétrie dans les écoles d'architecture, puis préconisaient :

"L'établissement du prix de revient des résultats de la photogrammétrie par intersection et de la stéréophotogrammétrie, par un relevé comparatif montrant les avantages et les inconvénients de ces deux procédés".

et "La construction d'un appareil spécial, simple et de prix modéré, adapté aux buts de l'architecture, en se bornant au cas normal de la stéréophotogrammétrie".

Il ne semble pas que le premier de ces vœux ait été suivi d'effet. En ce qui concerne l'appareil spécial, certaines firmes (Zeiss, Wild) en présentaient déjà, qui ne demandaient que peu de modifications pour convenir aux relevés d'architecture.

Le développement de la stéréophotogrammétrie architecturale.

L'exploitation graphique des clichés par la méthode des intersections perdit cependant peu à peu ses partisans et seul le Messbildanstalt de Berlin la conserva jusqu'en 1945. En 1934-35, K. O. Raab mettait en évidence, dans un article du Bildmessung und Luftbildwesen, les multiples possibilités de la stéréophotogrammétrie, aussi bien pour l'architecture que pour la sculpture, tout en soulignant les dangers de fautes dans la restitution de certaines formes (colonnes par exemple). Les travaux stéréophotogrammétriques se développèrent alors en Allemagne (monuments et statuaire relevés par la Section topographique du Ministère des Finances de Bade et par l'Ecole Technique Supérieure de Berlin); - en Tchécoslovaquie, où le Prof. A. Semerád, de l'Ecole Polytechnique de Brno, dressa, en particulier, les plans des châteaux de Vranov en Moravie et d'Orava en Slovaquie; - en Suisse, où le Cabinet Zurbuchen poursuivait le relevé des monuments de Berne (église du St-Esprit, cour des Archives de l'Hôtel de Ville, etc...). En 1943-44, l'Institut Géographique National français effectuait son premier travail stéréophotogrammétrique d'architecture sur la Sainte Chapelle de Paris; cet essai, donna toute garantie en ce

qui concerne la précision et la qualité homogène que l'on pouvait obtenir (de l'ordre du centimètre pour des prises de vues dont l'éloignement allait jusqu'à 30 mètres) et conduisit à d'intéressantes conclusions archéologiques sur la chronologie de la construction de l'édifice, notamment de la grande rosace, en mettant en évidence sa verticalité alors que le mur de façade est incliné. Le Prof. G. Poivilliers, qui dirigea ce travail expérimental avec l'Ing. en Chef R. Janicot, définit les caractéristiques d'un matériel de prise de vues spécialement adapté à la photogrammétrie architecturale (*). Quelques années plus tard (1946) une société privée française, la Société Française de Stéréotopographie, mesurait certains éléments architectoniques du Pont-Neuf, à Paris, par restitution numérique de clichés pris depuis les berges et en bateau.

Enfin, aux Pays-Bas, fut décidée, dès les premières menaces de guerre en 1938, la constitution d'archives photogramétriques des monuments. Elles furent établies, de 1938 à 1948, pour les édifices les plus importants de la partie occidentale du pays (églises de Leiden, La Haye, Haarlem, Delft, ruines de la cathédrale de Rotterdam après le bombardement de juin 1940, etc...). Des restitutions partielles furent effectuées sur des appareils universels. Les sites et convergences étaient mesurés sur les cercles gradués d'un bâti de théodolite qui supportait soit une lunette, soit une chambre métrique. Ces données ne permettaient cependant pas d'obtenir d'emblée un stéréomodelle parfait et le Prof. Van der Weele, analysant les erreurs instrumentales, mit au point une méthode de correction de ces erreurs à l'aide des points de canevas déterminés topométriquement sur le monument.

Telle était, au lendemain de la seconde guerre mondiale, la situation de la photogrammétrie architecturale. Après un siècle de recherches et de travaux, le bilan était déjà important et les résultats très positifs. Les différentes méthodes d'exploitation des clichés métriques s'étaient peu à peu précisées. Les procédés utilisant des constructions graphiques furent définitivement abandonnés après 1945, tandis que, quelques années plus tard, les possibilités accrues de la photogrammétrie analytique vinrent s'ajouter à celles du redressement et de la stéréorestitution. Il nous faut donc dresser maintenant un tableau des méthodes de relevé et des matériels qu'elles mettent en oeuvre.

* MM. Poivilliers et Janicot devaient également diriger, en 1955, la première campagne de l'IGN en Nubie égyptienne.

II Les relevés photogramétriques d'architecture : méthodes et matériels.

Ce chapitre ne prétend aucunement constituer un manuel de photogrammétrie architecturale décrivant, dans ses différents aspects, l'organisation et les phases d'exécution d'un relevé de monument. Il présente seulement un bilan des méthodes qui peuvent actuellement être employées pour un tel travail, souligne les liaisons étroites qui existent entre ces méthodes et certaines catégories d'appareils et esquisse un schéma d'application à des cas types de relevés.

Remarques préliminaires.

1° - Toutes les méthodes appliquées aujourd'hui supposent que les clichés ont été pris avec une chambre métrique. L'exploitation de photographies prises avec des appareils non métriques, même d'excellence qualité, est toujours difficile et conduit à des résultats médiocres. Nous reviendrons ultérieurement sur ce point : on ne peut envisager l'utilisation de telles photographies que lorsqu'il est impossible de faire autrement, par exemple pour l'étude d'un monument détruit dont on ne possède pas de clichés photogramétriques.

2° - Il est toujours indispensable de pouvoir contrôler les mesures, notamment l'échelle du relevé; ceci conduit généralement à déterminer, lors des travaux sur le terrain des données métriques surabondantes.

3° - La photogrammétrie ne peut et ne doit donner que la forme réelle effective du monument, dans l'état où il se trouve au moment de la prise de vues. Le photogrammètre ne doit jamais perdre de vue ce souci d'objectivité et doit adapter ses méthodes et son matériel au monument qu'il traite et au type de relevé qu'il veut effectuer (échelle, travail limité aux grandes lignes structurales ou étendu à tous les détails, précision absolue et relative nécessaires, etc...). Citons le Prof. A. Petrigiani, de l'Université de Bari : "Aujourd'hui le rôle du relevé a changé, comme a changé le rôle de l'histoire en architecture. Au relevé, on ne demande plus une interprétation liée à un goût, à une faculté intuitive personnelle. Les relevés scientifiques, stéréophotogramétriques, vont être examinés maintenant à la lumière d'une nouvelle conscience historique".

4° - Les relevés photogramétriques sont le plus souvent exécutés sous forme d'un tracé continu. Certains architectes cependant pensent que des relevés ponctuels, déterminant

la position dans l'espace et en projection sur des plans de référence d'un certain nombre de points caractéristiques de l'édifice, peuvent être d'un grand intérêt; ils se justifient en tout cas lorsqu'il s'agit d'obtenir seulement certaines dimensions pour lesquelles on recherche la précision maximale. C'est pourquoi ces deux types de relevés sont présentés ici.

A - Méthodes exploitant chaque cliché individuellement.

Ces méthodes, dites de redressement, reposent toutes sur l'hypothèse de la planéité du sujet. Elles conduisent à déterminer graphiquement, photographiquement ou par le calcul, la figure formée par les éléments situés dans un même plan (plan d'une façade, d'un mur intérieur, d'un sol si la photographie est prise d'un point élevé, ou d'un plafond si la photographie est prise du sol, etc...). Ce plan est choisi comme plan de référence du relevé : tous les éléments qui y sont effectivement situés, ou considérés comme tels, sont bien en place dans la restitution; ceux qui sont en dehors du plan de référence (avancées de balcon, toits, etc...) restent "déplacés" sur l'image perspective redressée (*) et leur mise en place exacte sur le relevé nécessite des petites constructions géométriques, généralement simples d'ailleurs si ces éléments eux-mêmes sont simples, mais qui demandent de solides connaissances du dessin d'architecture. On peut, bien entendu, choisir plusieurs plans de référence et répéter les opérations pour chacun d'eux.

Ces méthodes ne donnent pas d'indications chiffrées sur le relief du sujet : ces indications doivent être obtenues par des mesures directes (ou relevées sur des plans existants). Il est bien évident, cependant, que le fait d'exploiter des clichés considérés individuellement n'exclut pas l'intérêt d'une prise de vues stéréoscopiques, toujours utile pour l'étude interprétative du monument.

Sur place, il suffit de prendre une photographie selon un axe plus ou moins oblique par rapport au plan de référence, la position du point de vue restant indéterminée. Il faut, d'autre part, placer sur le monument et enregistrer ou identifier sur la photographie un quadrilatère de forme et de dimensions con-

*) Les exigences sur la planéité du sujet sont liées à la précision que l'on veut obtenir dans le redressement. Le Prof. Burkhardt a donné une formule pratique. Pour obtenir une précision planimétrique de N mm dans un redressement à l'échelle 1/m d'un cliché incliné de $1/x$, les écarts en profondeur par rapport au plan de référence ne doivent pas excéder la valeur: $D = \pm m \cdot x \cdot N$. Exemple : $N = 0,5$ mm, $1/m = 1/50$, $1/x = 1/10$ (environ 6 grades); on obtient $D = \pm 25$ cm.

nues, ces dimensions devant être aussi grandes que possible par rapport à celles de l'élément architectural traité. Ce quadrilatère peut être "construit" : repères fixés ou dessinés, cadre, jalons verticaux, fils à plomb placés contre le sujet, etc... Il peut aussi être "naturel" : lignes parallèles d'une façade, horizontales et verticales, par exemple.

A.1 - Redressement graphique - Appliquant les propriétés de la perspective par des constructions graphiques sur la photographie et sur l'épure, très long et peu précis dès qu'il s'agit d'un relevé complet, ce procédé n'est plus employé aujourd'hui qu'exceptionnellement.

A.2 - Redressement optique - La mise en perspective de la photographie et de l'épure est faite à l'aide d'une chambre claire. L'application de cette méthode est assez délicate et assez fatigante pour l'opérateur, mais reste valable pour un relevé simple ou pour compléter un relevé existant.

A.3 - Redressement photographique - Traité dans un appareil de redressement, le cliché est transformé en une image photographique semblable à celle que l'on aurait obtenue si l'axe de prise de vue avait été perpendiculaire au plan de référence et mise à l'échelle voulue. Pour établir un relevé graphique, il suffit donc de calquer cette image, les éléments hors du plan de référence étant mis en place par des constructions géométriques, comme il a été dit précédemment.

Le redressement photographique est, parmi les procédés de redressement, le plus intéressant et le plus employé, pourvu que l'on dispose de l'équipement nécessaire. Les appareils de redressement, cependant, ont pour des raisons d'ordre mécanique et optique, des limites d'emploi qui ne les rendent utilisables que si le défaut de perpendicularité de l'axe par rapport au plan de référence reste inférieur à une certaine valeur, valeur d'autant plus faible que la focale de prise de vue est plus courte. Avec les grands redresseurs automatiques modernes, du type Zeiss SEG.V ou Wild E.4, par exemple, cette limite est de l'ordre de 5° pour une focale de 60 mm, 16° pour une focale de 200 mm. Il faut tenir compte de ces données dans le choix de la chambre et dans les conditions de la prise de vue. Dans ces limites, tous les photothéodolites, toutes les chambres individuelles peuvent être utilisés en vue d'un redressement photographique des clichés.

Les photographies redressées peuvent être assemblées sous forme d'une mosaïque : 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, ou d'un ensemble de façades d'une rue, etc... Il est prudent, dans ce dernier cas, de ma-

térialiser une horizontale tout le long de la rue.

A.3 bis - On peut concevoir l'introduction d'inclinaisons beaucoup plus fortes pour de courtes focales si l'on systématise les conditions de prise de vues en construisant un appareil de redressement fixe ne pouvant travailler que pour un angle de site donné. C'est ainsi que, pour des relevés rapides de façades simples mais élevées dans des rues étroites, l'I.G.N. de Paris a mis au point récemment la solution suivante : - prise de vue avec une chambre systématiquement inclinée, l'axe étant placé dans un plan perpendiculaire au plan de référence pour un procédé d'autocollimation sur une glace plaquée contre la façade; - redressement à l'aide d'un agrandisseur de précision spécialement transformé pour réaliser toutes les conditions optiques et mécaniques du redressement dans le cas d'un coefficient d'agrandissement constant. Il ne reste plus ensuite qu'à "mettre à l'échelle" le cliché ainsi redressé.

A.4 - Redressement analytique - La restitution s'opère par points, en aussi grand nombre que l'on veut, pourvu qu'ils soient situés dans le ou les plans de référence. On mesure, à l'aide d'un comparateur de précision, les coordonnées-images de tous ces points sur le cliché. Ces mesures sont traitées par le calcul électronique. On obtient dans un système d'axes lié au quadrilatère d'appui les coordonnées, en vraie grandeur, de tous les points caractéristiques observés. Ces coordonnées peuvent être reportées, à l'échelle choisie, sur une épure si l'on veut ensuite établir un dessin; ce report peut se faire avec un coordinatographe automatique.

Le redressement analytique est applicable avec de très fortes inclinaisons de l'axe de prise de vue.

B - Méthodes exploitant des couples de clichés.

Ces méthodes permettent des restitutions dans un espace à trois dimensions, l'établissement d'élévations, de plans, de coupes horizontales, verticales ou obliques et l'expression des surfaces non planes par des courbes de niveau ou des sections verticales équidistantes. Elles n'exigent aucune hypothèse sur la planéité de certaines surfaces. Elles seules, en particulier, permettent un relevé précis de tous les éléments sculptés.

B.1 - Stéréorestitution graphique - Les clichés pris peuvent être examinés au stéréoscope. Leur exploitation se fait dans des appareils de restitution par pointé stéréoscopique sur une image en relief du sujet et par déplacement apparent d'un index à la surface de l'image, déplacement qui entraîne le tracé en projection des lignes suivies sur un plan de référence. Il est

généralement possible de choisir trois plans de référence orthogonaux permettant d'établir l'élévation et les coupes.

B.1.1 - On s'impose les conditions suivantes, représentant ce que l'on appelle le "cas normal". La base est horizontale (ou parfois verticale) et parallèle au plan de projection choisi pour le tracé. Les axes de prise de vues sont horizontaux ou verticaux, parallèles entre eux, perpendiculaires à la base, perpendiculaires à l'un des plans de projection et parallèles aux autres. Ces conditions sont réalisées à l'aide d'appareils de prise de vues conçus spécialement à cet effet; chambres simples munies d'un dispositif de visée dans une direction perpendiculaire à l'axe optique et surtout chambres doubles montées sur une base rigide de longueur parfaitement étalonnée : le plus souvent 1,20 m ou 2 m et, pour les sujets rapprochés, 0,40 m ou 0,60 m. L'exploitation des clichés peut se faire dans des appareils simplifiés, donc moins onéreux, ne pouvant traiter que le "cas normal". Chambres et appareils de restitution forment généralement un équipement global, permettant difficilement la dissociation de ses éléments et leur interchangeabilité avec les éléments d'un autre équipement. Dans ce type de matériel, la tendance actuelle est aux petits formats (6,5 x 9 ou 9 x 12, etc...) et aux courtes focales (de 55 à 65 mm). Les appareils restituteurs ont toujours un "volume utile" d'exploitation très profond.

Si la base est connue avec précision, il n'est théoriquement pas nécessaire de prendre des mesures sur l'édifice. A titre de contrôle cependant, on mesurera une ou plusieurs longueurs ou la distance séparant l'un des points de vue d'un point donné du sujet. Par précaution, il sera toujours bon aussi de matérialiser une verticale ou, en deux ou trois points, la trace d'un plan horizontal.

Plus rarement, ces conditions peuvent être appliquées au relevé d'un sujet présentant une certaine obliquité d'ensemble et que l'on veut traiter par projection sur un plan de référence de même obliquité. La base restera toujours parallèle à ce plan, tandis que les axes seront orientés perpendiculairement à lui.

B.1.2 - On respecte les mêmes conditions que dans le cas précédent, sauf la perpendicularité des axes de prise de vues sur l'un des plans de référence. On donne à ces axes une inclinaison déterminée par rapport à ce plan. Si la base est horizontale, l'angle choisi peut être introduit avec précision à l'aide d'un niveau décalé de grande sensibilité. Si la base et le plan de référence sont verticaux, l'introduction de cet angle sera plus difficilement exacte, bien que souvent suffisante pour le relevé d'édifices mineurs.

L'exploitation se fait avec le même type d'appareil simplifié. Mais, entre l'appareil et le coordinatographe, on interpose un calculateur analogique qui opère une rotation d'axes autour de la base et transmet au crayon traceur des déplacements corrects dans le plan de projection.

Les éléments à mesurer sur le monument restent les mêmes qu'en B.1.1.

Ce mode opératoire a été suggéré par le Dr. Foramitti, du Bundesdenkmalamt de Vienne, et, avec son concours, la maison Zeiss (Oberkochen) a réalisé les dispositifs nécessaires sur la chambre individuelle TMK, sur les chambres doubles SMK-120 et SMK-40 et sur l'appareil de restitution Teragraf. Les deux angles que l'on peut introduire, 30 grades et 70 grades, sont complémentaires, ce qui simplifie la construction du calculateur (*); ils répondent d'ailleurs à des exigences réelles des relevés dans les cas difficiles, notamment aux relevés de façades dans les rues étroites. Il y a évidemment un risque de "manques" dans la restitution, en raison de tous les angles morts introduits par les éléments architecturaux en relief (balcons, encorbellements, etc...) surtout avec une inclinaison de 70 grades, qui n'est d'ailleurs qu'exceptionnellement employée. Mais, dans les rues étroites, ces éléments ne sont généralement qu'en faible saillie et, pour des monuments relativement simples, cette méthode est d'un grand intérêt. Elle permet aussi, très avantageusement, d'établir un plan intérieur d'une partie d'un édifice photographiée depuis une station élevée, une tribune par exemple, et, d'une façon plus générale, d'effectuer rapidement un relevé intérieur complet d'un édifice, sol, parois et voûtes.

B.1.3 - On utilise une chambre métrique individuelle (éventuellement une chambre double) et l'on admet de ne plus réaliser systématiquement le "cas normal", donc de ne plus respecter, s'il est nécessaire, les parallélismes et orthogonalités entre la base, les axes et les plans de référence. On doit alors exploiter les clichés sur des appareils dans lesquels les sites et convergences des chambres, les composantes (BX, BY, BZ) des bases peuvent être introduits, soit directement s'ils ont été mesurés ou calculés lors des travaux sur le terrain, soit indirectement par les opérations classiques de la stéréophotogrammétrie : orientation relative des chambres et orientation absolue du stéréomodèle. Ces appareils sont les mêmes que ceux qui sont d'un usage courant en stéréophotogrammétrie

(1) Des dispositifs d'inclinaison à 30 et 60 degrés ont été également réalisés par la Sté Wild sur les chambres stéréoscopiques C.120 et C.40 et sur l'appareil de restitution A.40.

topographique aérienne. Ils ont certaines limites mécaniques d'emploi, qu'il faut connaître et respecter lors de la prise de vues; on évitera également de donner des sites et convergences relatifs trop importants qui nuiraient à la qualité de l'examen et du pointé stéréoscopiques.

Pour certaines grandes surfaces de peu de relief, on peut réaliser une "couverture photographique" continue, comme on le fait en photographie aérienne, sous forme d'une (ou plusieurs) bande : stations successives sensiblement équidistantes et alignées parallèlement à la surface, recouvrement de 60 à 70%. Mais ces cas sont exceptionnels et l'expérience a montré qu'il est presque toujours indispensable de procéder par couples de clichés, en traitant chaque base individuellement. Le rapport base/éloignement maximal doit rester compris entre 1/5 et 1/15, éventuellement 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 : précision dans la mesure des profondeurs(*), mais aussi, conséquemment, précision "planimétrique" des tracés, la répercussion d'une erreur en éloignement sur la position frontale du point restitué étant d'autant plus grande que les surfaces exploitées sur les clichés débordent plus largement de part et d'autre des points principaux.

On emploie de préférence des appareils universels en raison de leur précision élevée, mais surtout parce qu'ils ont plus de possibilités en sites, convergences, composantes de base et, point très important en architecture, en "volume restituable", particulièrement en profondeur.

Pour pouvoir exploiter les clichés pris dans ces conditions, les déterminations topométriques sur le terrain sont plus importantes que dans les cas précédents. Elles peuvent être de différents types, dont on trouve effectivement des exemples dans les travaux récents :

a) On détermine la position des stations photographiques dans un système de référence lié aux plans de projection de la restitution. On détermine, dans ce même système, les directions des axes optiques ou les directions des droites joignant les points de vue à un certain nombre de repères (naturels ou artificiels) choisis sur le monument. Cette méthode nécessite l'emploi de photothéodolites ou l'utilisation successive,

(*) Rappelons que la précision en profondeur s'exprime approximativement par la formule: $dE = E/B$. E/p . 0,01 mm, E étant l'éloignement, B la base, p la distance principale de la chambre. Exemple : E = 50 m, B = 5 m, p = 100 mm, $dE = 50$ mm.

sur le même support, d'une chambre métrique, puis d'un théodolite. Si possible, il est préférable de déterminer aussi sur l'édifice quelques éléments de contrôle : longueurs et orientations.

b) On ne se préoccupe pas de connaître les éléments ci-dessus, mais on détermine la position de points de repère sur le monument, dans un système de coordonnées choisi en fonction des plans de référence du relevé. Ces points forment l'ossature, le canevas sur lequel s'appuiera la restitution stéréophotogrammétrique.

c) Si les dimensions du sujet sont assez petites et s'il se trouve photographié en un ou deux couples de clichés, on peut, pour chacun de ceux-ci, déterminer simplement deux longueurs parallèles ou plan de projection choisi, l'une horizontale, l'autre verticale. Il est nécessaire, si l'on veut maintenir une bonne précision, que ces longueurs soient du même ordre de grandeur que les dimensions maximales du sujet.

d) Selon les cas, on peut choisir l'un ou l'autre type de détermination ou les combiner entre eux. Il est toujours avantageux et plus simple, dans la mesure du possible, de substituer à une véritable triangulation des mesures de longueurs et d'orientations. Toutefois, si l'on désire relier entre elles les différentes parties d'un bâtiment, obtenir un plan d'ensemble extérieur et intérieur, il devient souvent indispensable d'établir un canevas de points de repère par triangulation et polygonation. Seul un tel canevas pourra assurer l'homogénéité du relevé.

N.B. On trouve, dans certains travaux, une heureuse combinaison entre la stéréorestitution et le redressement photographique. La première donne le canevas de redressement ou mieux encore le tracé des éléments en relief entourant les parties planes, tracé qui sert de figure d'appui au redressement de ces parties. Celles-ci sont ensuite reportées graphiquement sur l'épure. Cette combinaison peut permettre un meilleur emploi d'un équipement constitué d'un redresseur et d'un stéréorestituteur.

B.2 - Stéréorestitution numérique - Cette méthode est, dans son principe, analogue à la stéréorestitution graphique. Mais, au lieu d'exploiter les clichés suivant des lignes avec l'index de l'appareil, on pose cet index sur un aussi grand nombre de points caractéristiques que l'on veut, on enregistre les coordonnées de ces points dans le système d'axes de l'appareil et on les transforme par le calcul dans le système de référence du relevé. On peut alors reporter ces points, si cela est nécessaire, sur les épures du relevé, éventuellement avec un

coordinatographe automatique.

On se trouve encore lié par des limites d'inclinaison relative des axes de prise de vues entre eux et par rapport à la base, mais on peut donner n'importe quelle inclinaison à ces axes par rapport au sujet; seule la précision des mesures peut se trouver affectée si cette inclinaison est très forte. Les déterminations sur place restent les mêmes qu'en B.1.3

Cette méthode d'exploitation est beaucoup plus rapide que la restitution graphique. Elle est également plus précise. Elle peut être retenue :

- s'il s'agit simplement de mesurer des longueurs, des orientations ou des angles sur l'édifice;
- si l'on se contente de déterminations ponctuelles servant ensuite d'ossature à un relevé graphique (la valeur du choix de ce procédé est liée à l'échelle du relevé, à la structure et à l'état de conservation du monument; il risque, en effet, de conduire, entre les points déterminés, au tracé de formes théoriques et non pas effectives, tracé qui ne peut être confié, en tout cas, qu'à des spécialistes du dessin d'architecture);
- pour déterminer, à l'aide d'un couple de photographies couvrant l'ensemble d'un élément architectural, le canevas d'appui nécessaire à la restitution de clichés à plus grande échelle ne couvrant que certaines parties de cet élément. On simplifiera ainsi, de façon importante, les opérations topométriques.

B.3 - Restitution analytique - Comme la stéréorestitution numérique, elle conduit à des déterminations ponctuelles. Mais elle exploite, par le calcul, des mesures de coordonnées faites directement dans le plan des clichés et non plus sur le stéréomodèle formé dans un appareil de restitution. Rendue aujourd'hui d'un emploi plus aisé par les enregistreurs automatiques et le calcul électronique, cette méthode - dont on se rappelle qu'elle fut préconisée par le Prof. K. Schwedsky dès 1931 - peut être considérée comme la forme moderne de la méthode des intersections graphiques.

La restitution analytique peut être appliquée à des couples de clichés pris selon des normes telles qu'ils peuvent être examinés stéréoscopiquement, c'est-à-dire selon les conditions précisées en B.1 ou en B.2. La mesure se fait sur les deux clichés à la fois à l'aide d'un stéréocomparateur. Mais les clichés peuvent également être pris dans des directions très différentes ne permettant pas l'examen stéréoscopique. Les mesures se font sur chaque cliché individuellement avec un monocomparateur. L'identification des points homologues sur les deux images peut alors être parfois délicate.

Dans les deux cas, on reconstitue par le calcul la position et l'orientation relatives des clichés en recherchant l'intersection, dans l'espace, d'un certain nombre de paires de rayons perspectifs relatifs à un même détail du sujet ; puis l'orientation absolue, en orientant le solide ainsi formé par rapport aux plans de référence.

Cette méthode est encore plus souple que la stéréorestitution numérique. Elle pourra être appliquée, par exemple, pour une façade de dimensions assez modestes,

- en prenant deux clichés dans des directions quelconques, pourvu que chaque cliché couvre entièrement le sujet, la position des points de vues n'étant repérée que très approximativement (on pourra toutefois, si cela ne présente pas de difficultés, mesurer la longueur de la base);

- en plaçant devant le sujet deux références linéaires de longueur connue, l'une horizontale, l'autre verticale, parallèles au plan de projection choisi.

Pour un sujet plus important, il sera préférable de déterminer quatre repères situés vers les angles de l'élément à restituer.

Les cas d'application de la restitution analytique sont exactement les mêmes que ceux de la stéréorestitution numérique.

Emploi des photographies non métriques.

Nous avons dit que cet emploi est à déconseiller. Il conduit à des opérations difficiles et à des résultats qui peuvent être incertains. Il peut cependant être d'un grand secours pour la restauration de monuments détruits dont on ne possède ni relevés précis, ni clichés métriques. Les travaux de J. Sutor (Peterskirche et Heiligengeistkirche à Munich, Rathaus à Augsburg, etc...) P. Gosdschan (destructions de Berlin), la thèse de K. Linkwitz, les études de R. Meyer (Dresde) renouvellent l'oeuvre de H. Deneux, en lui apportant le perfectionnement des mesures instrumentales sur les clichés et du calcul, le plus souvent maintenant du calcul électronique. Nous ne pouvons entrer ici dans le détail des opérations décrites par ces auteurs. Signalons seulement les procédés de reconstitution des conditions, souvent inconnues, des prises de vues anciennes utilisées. Ces procédés reposent sur des mesures au théodolite faites sur des éléments sauvegardés du monument ou sur les détails de constructions voisines; ces mêmes mesures angulaires sont parfois obtenues à l'aide de nouvelles photographies métriques du monument et de son environnement dans leur état actuel.

Des travaux analogues ont été effectués en Grande-Bretagne par le Department of Photogrammetry and Surveying de l'University College de Londres (Prof. E. H. Thompson, Mr. K. B. Atkinson) pour la restauration du château Howard et pour la reconstitution du campanile de l'Eglise St. Mary the Virgin à Londres, église détruite en grande partie pendant la dernière guerre et dont les ruines furent offertes par la Grande-Bretagne aux U.S.A. pour devenir, à Fulton, le monument élevé à la mémoire de W. Churchill; les parties détruites furent reconstituées, en partie d'après les plans originaux (XVIIe siècle), en partie d'après les relevés photogrammétriques exécutés à l'aide de photographies antérieures à la guerre.

De ces travaux, il convient de rapprocher les études que fit, en 1951-53, le Prof. R. Burkhardt sur l'emploi d'appareils de très petits formats et stéréophotogrammétrie architecturale. On retrouve, dans ces travaux, l'idée fondamentale de la nécessaire homogénéité entre les méthodes et les possibilités des chambres photographiques et des appareils de restitution : méthodes rapides et de faible précision appliquées à des sujets de dimensions restreintes, prise de vues avec un Leica 24 x 36 (f = 40 ou 50 mm), restitution sur un Multiplex Zeiss utilisé soit comme redresseur, soit comme stéréorestituteur. Des détails ornementaux, des éléments de façades, des voûtes et coupes furent ainsi relevés, notamment sur le château de Charlottenburg. Ainsi également furent établis les plans, profils, développements de surfaces nécessaires à l'étude des propriétés acoustiques de l'Auditorium Titania à Berlin. Dès qu'il en eut la possibilité, cependant, le Prof. Burkhardt généralisa l'emploi des chambres métriques de format 13 x 18 cm et du stéréoplanigraph C. 8.

Soulignons bien, encore une fois, le caractère exceptionnel de ces relevés obtenus par exploitation de photographies non métriques. Ils ne sauraient être généralisés sans inconvénients, ne permettant ni la précision, ni l'homogénéité, ni même le rendement des méthodes dont nous avons dressé le tableau.

Emploi des photographies en couleurs.

Cet emploi se heurte actuellement à l'absence d'émulsions couleurs coulées sur plaques. L'utilisation des films-plans, ou même des films en rouleau n'est pas à rejeter, puisqu'elle est maintenant courante et photographie aérienne. Il faudrait seulement adapter aux chambres métriques terrestres des magasins spéciaux, assurant la planéité du support d'émulsion au moment de l'exposition. Le problème est à l'étude, en Autriche notamment où le Prof. F. Ackerl, en collaboration avec le Bundesdenkmalamt, a pris des vues photogrammétriques en