



HAL
open science

Le relevé et la représentation de l'architecture

Jean-Paul Saint-Aubin

► **To cite this version:**

Jean-Paul Saint-Aubin. Le relevé et la représentation de l'architecture. Inventaire général - ELP, 2, 232 p., 1992, Documents & Méthodes, 2-11-087308-6. hal-02902017

HAL Id: hal-02902017

<https://hal.science/hal-02902017>

Submitted on 31 Jul 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

LE RELEVÉ
ET
LA REPRÉSENTATION
DE
L'ARCHITECTURE



DOCUMENTS



MÉTHODES

INVENTAIRE GÉNÉRAL DES MONUMENTS ET DES RICHESSES ARTISTIQUES DE LA FRANCE

LE RELEVÉ
ET
LA REPRÉSENTATION
DE
L'ARCHITECTURE

par

Jean-Paul Saint Aubin

Relevés, dessins et photographies
Service de l'Inventaire général



DOCUMENTS ET MÉTHODES N° 2

Coordination éditoriale :

Isabelle Balsamo, François Corbineau.

Maquette :

François Corbineau, Stéphane Chatellier.

Relecture :

Gérard Baptiste, Roger Lehni, Jean-Marie Pérouse de Montclos, Yves-Jean Riou, Bernard Toulhier, Jean-Marie Vincent.

Saisie :

Danielle Frezza avec le concours de Cécile Rousseau et d'Evelyne Nicouleau.

Montage :

Stéphane Chatellier.

Typographie :

La Photocomposition Nantaise.

Photogravure :

Trame Ouest, Nantes.

Impression :

Le Govic, Saint-Herblain.

Ouvrage réalisé par la Sous-Direction de l'Inventaire général, de la protection et de la documentation du Patrimoine.

Avec le concours financier de Leica-France.

FRANCE. INVENTAIRE GÉNÉRAL DES MONUMENTS ET RICHESSES ARTISTIQUES DE LA FRANCE.

LE RELEVÉ ET LA REPRÉSENTATION DE L'ARCHITECTURE / JEAN-PAUL SAINT AUBIN ; RELEVÉS, DESSINS ET PHOTOGRAPHIES : INVENTAIRE GÉNÉRAL.

PARIS : INVENTAIRE GÉNÉRAL, E.L.P., 1992. - 232 p. : ILL. NOIR ET BLANC ET COULEURS ; 27 CM - (DOCUMENTS ET MÉTHODES, 2 ; ISSN 1150-1383).

BIBLIOGR., INDEX.

I.S.B.N. 2-11 087 308-6

© Inventaire général, SPADEM,
Edité par l'Association Etudes, Loisirs et Patrimoine.



The Leica logo is the word 'Leica' in its characteristic black, cursive script font.

Cet ouvrage retrace l'expérience des équipes de l'Inventaire général
confrontées aux problèmes de la collecte documentaire et notamment à ceux qu'imposent l'apprentissage
et l'usage des techniques du relevé d'architecture.

Il constitue à la fois une réflexion sur la représentation de l'architecture et un manuel pratique sur les méthodes de relevés.

Ma profonde gratitude va tout d'abord à la mémoire de Louis Grodecki, mon professeur à la Sorbonne,
sans lequel je n'aurais pu créer, en 1972, l'atelier de photogrammétrie architecturale de l'Inventaire.

J'associe à son souvenir celui d'André Chastel,
qui a toujours suivi avec attention et intérêt mes travaux de relevé et d'analyse du bâti.

Je remercie vivement les conservateurs du Patrimoine et les chercheurs qui ont mis à ma disposition
la très riche documentation du service et ont participé activement à l'analyse des documents graphiques,
en particulier les Conservateurs régionaux de l'Inventaire :

Jacques Cailleteau (Pays de la Loire), François Fray (Provence-Alpes-Côte d'Azur),
Roger Lezni (Alsace), Yves-Jean Riou (Poitou-Charentes), Francis Roussel (Lorraine),

ainsi que

Philippe Araguas, Gérard Baptiste, Marie Bardisa, Patrice Bertrand, Aurel Bongiu, Georges Coste, François Dupuis,
Jean-Paul Leclercq, Gilbert Poinot, Bernard Sournia, Christine Toulhier.

Mes remerciements vont également à l'atelier de photogrammétrie architecturale :

Michel Maumont, Michel Andry, Philippe Manucci, Nathalie Cahoreau,
sans oublier les agents qui ont collaboré, à un moment ou à un autre aux tâches
de la prise de vue, de la topographie et de la restitution :

Paul Canavy, Julio Gonzales, Christian Laroche, Michel Lazarus, Francis Lazarus, Fabienne Lecannuet, Patrick Signoret,
aux techniciens du graphique et aux photographes qui, par leur expérience et leurs travaux,
ont permis l'élaboration d'une pratique cohérente :

Isabelle Buraglio, Marc Brugier, Stéphane Chatellier, Paul Cherblanc, François Corbineau, Myriam Guérid,
Josette-Zoé Lambert, Claude Laroche, Thierry Lochar, Cécile Malinverno, Alain Morelière, Nathalie Pégand, Annie Rémy,
Patrick Roques, Daniel Bastien, Pascal Corbière, Denis Couchaux, Bernard Couturier, Jean Erfurth, Patrice Giraud,
Jean-Claude Jacques, François Lasa, Robert Malnoury, Alain Maulny et Jean-Claude Stamm,

et à l'atelier de photographie de la Sous-Direction :

Philippe Fortin, Daniel Lebée et Bernard Emmanuelli, qui en a assuré la direction jusqu'en 1991.

La réflexion sur la photogrammétrie a beaucoup bénéficié
des travaux et des échanges avec mes confrères du Comité international de photogrammétrie architecturale (ICOMOS) :
Maurice Carbonnell, Hans Foramitti †, Antonio Almagro, Laura Baratin, Yves Egels et Robin Letellier.

La pratique du relevé aurait été incomplète sans l'apport amical des archéologues
Olivier Buchsenschutz et Jean-Olivier Guilhot.

Enfin le manuscrit de publication a bénéficié de la relecture et des conseils
de Jean Guillaume, professeur à l'Université Paris-IV.

Les relevés photogrammétriques ont été réalisés par l'atelier de photogrammétrie architecturale
(Sous-direction de l'inventaire, de la protection et de la documentation) .

Sauf mention contraire,

les relevés manuels sont dus aux Services régionaux de l'Inventaire d'Auvergne, de Lorraine,
de Midi-Pyrénées, des Pays de la Loire et de Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Les dessins explicatifs sont d'Hélène Nollet et de Nathalie Cahoreau.

Les images de synthèse ont été réalisées dans le cadre de l'atelier de photogrammétrie,
sauf celles de la p. 168 (IGN) et de la p. 172 (Patrice Giraud).

Sommaire

1. Représentation de l'architecture	
1.1. Typologie	15
1.2. Dessin et restitution de l'architecture	15
1.3. Relevé d'architecture	16
1.4. Décrire, figurer, représenter	18
1.5. Elaboration du relevé d'architecture	18
Demande - Mesurage - HISTORIQUE DU RELEVÉ - La transcription	
2. Enregistrement des données : le relevé	
2.1. Définitions	32
Remarques - Désignations	
2.2. Le point dans l'espace	34
Définition du point dans le plan - Définition du point par rapport au plan - Définition des points dans l'espace - Conclusions pratiques	
FICHES TECHNIQUES N° 1 - 2 - 3	
3. Définition topométrique du point dans l'espace : les instruments	
3.1. Le plan de référence : l'horizontale et la verticale	44
L'horizontalité - Le fil à plomb et la canne à plomber, le pendule et le plomb optique - Référence planimétrique des instruments topographiques - Le niveau du topographe	
3.2. La mesure des angles	47
Les instruments de mesure des angles : le théodolite - Les règles alidades et les tachéomètres - L'équerre optique d'alignement	
3.3. La mesure des distances	52
Mesure directe des distances horizontales - Mesure directe des distances verticales - Mesure indirecte des distances horizontales - Mesure indirecte des distances verticales - FICHES TECHNIQUES N° 4 - 5 - 6 - 7	
4. Méthodes du relevé topométrique	
4.1. La reconnaissance et le croquis de relevé	62
4.2. Le canevas de plan	62
Définition du canevas - Contrôle du canevas - Le canevas du relevé d'architecture	
4.3. Relevé planimétrique des détails	64
Le rayonnement - Relevé par abscisses et ordonnées et abscisses et quasi-hauteurs - Relevé par trilatération - Le relevé planimétrique de l'architecture	
4.4. Relevé altimétrique des détails	66
Station unique et rayonnement altimétrique - Stations multiples et cheminements altimétriques - Relevé de profils altimétriques	
4.5. Détermination de points en planimétrie et altimétrie	69
FICHES TECHNIQUES N° 8 - 9	

5. Définition photogrammétrique de l'objet dans l'espace : les instruments	
5.1. Définitions	74
Théorie de l'appareil photographique - Théorie de la photo- grammétrie	
5.2. Appareil photographique - Chambres métriques	75
Aberrations, distorsions - Distance principale - L'axe optique - Le plan négatif - La netteté - Les chambres semi-métriques - Les appareils photos numériques	
5.3. Influence des données photographiques dans l'obtention des clichés photogrammétriques	79
Les émulsions - Le grain - La migration du grain d'argent - Les pratiques opératoires - La qualité photogrammétrique	
5.4. Détermination du système de référence des gerbes perspectives	80
Le bloc de la chambre - Les paramètres du système - Les dispositifs d'orientation	
5.5. Les types de chambres terrestres	81
Les chambres photogrammétriques - Les chambres doubles ou stéréométriques	
5.6. Détermination photogrammétrique	84
Détermination graphique - Détermination par le calcul	
5.7. La stéréoscopie	86
5.8. La stéréophotogrammétrie	88
FICHE TECHNIQUE N° 10	
6. Méthodes de la prise de vue photogrammétrique	
6.1. Le système de l'objet architectural	102
6.2. Les principes fondamentaux de la stéréophotogrammétrie	102
6.3. La précision du couple photogrammétrique	106
6.4. Le couple stéréophotogrammétrique	108
Le champ du couple photogrammétrique - L'échelle du cliché - La base du couple photogrammétrique - Les couples basculés	
6.5. La reconnaissance et le schéma de prise de vue	114
6.6. La mise en station photogrammétrique	115
L'orientation azimutale de la base - Le calage de la chambre - L'établissement du cas normal	
6.7. L'opération de prise de vue photographique	119
L'émulsion - La mise au point - Le diaphragme - La vitesse - L'éclairage - Le laboratoire	
6.8. Le calage des prises de vue et le complètement	120
Les points de calage - La méthode "expédiée" - La méthode régulière - La pratique du calage - Les méthodes calculées de calage - Le complètement - FICHE TECHNIQUE N° 11	

7. Rédaction du document graphique	
7.1. La taille de l'image, l'échelle de la représentation	130
7.2. L'homographie : représentations géométrales et volumétriques	131
L'éloignement du centre de projection - L'orientation du tableau - L'orientation des rayons de projection - Les différentes projections - Les propriétés du tableau - Les géométraux - Les représentations volumétriques	
7.3. Les supports et les formats	140
7.4. Les outils du report	140
La table à dessin - Règles et kutchs, équerres, pistolets - Les outils du traçage : crayons, tire-lignes, pointes à graver - Le compas, le rapporteur, le coordinatographe	
7.5. Les références : horizontale, verticale, coordonnées, cadre	143
7.6. Les points, les lignes, les surfaces	143
7.7. Les codes, les symboles, les poncifs	144
7.8. La légende, les cotes, l'écriture	146
Le cartouche d'identification - L'échelle - La légende et les écritures de la figure	
7.9. Le lecteur du dessin	150
FICHE TECHNIQUE N° 12	
8. Relevés schématiques : les schémas et les croquis	
8.1. Dessin à vue et relevé schématique	154
8.2. Le schéma	155
8.3. Les croquis	156
Le croquis : image de substitution - Le croquis : image thématique	
8.4. Les restitutions	159
8.5. Les relevés de mouluration	159
Le relevé au conformateur - Le relevé au mètre	
8.6. Lecture du relevé schématique	160
9. Autres expressions du relevé	
9.1. Les traitements calculés	162
Calculs d'éléments simples et plans - Constructions géométriques élémentaires - Calcul de modèles mathématiques	
9.2. L'image ordinateur	166
9.3. Maquette et image de synthèse	167
La maquette - Modèles numériques filaires et surfaciques ; images de synthèse	
10. Reproduction et archivage	
10.1. La reproduction	174
La reproduction dessinée - La reproduction par photocopie - La reproduction héliographique - La reproduction photographique - La reproduction par scannérisation et caméras C.C.D. - La reproduction de documents colorés - Les procédés anciens de reproduction	
10.2. L'archivage	181
La catalogation - La conservation - La gestion - La structure du fichier "documentation graphique"	

11. Pratique documentaire du relevé et de la représentation d'architecture	
11.1. La documentation de l'architecture	188
Les ambitions de cette documentation - Le parc immobilier et le patrimoine - Les critères de discrimination - La représentation du patrimoine	
11.2. Le rôle de l'image et du dessin	189
11.3. Le relevé dans le dossier documentaire	190
11.4. Le dossier préliminaire de repérage et le dossier d'étude	192
La couverture photogrammétrique - Les choix graphiques	
11.5. Les règles d'une stratégie	195
FICHE TECHNIQUE N° 13	
11.6. Le dossier d'étude	211
11.7. Typologie d'une genèse de la représentation	213
Notes	218
Bibliographie	226
Index	228

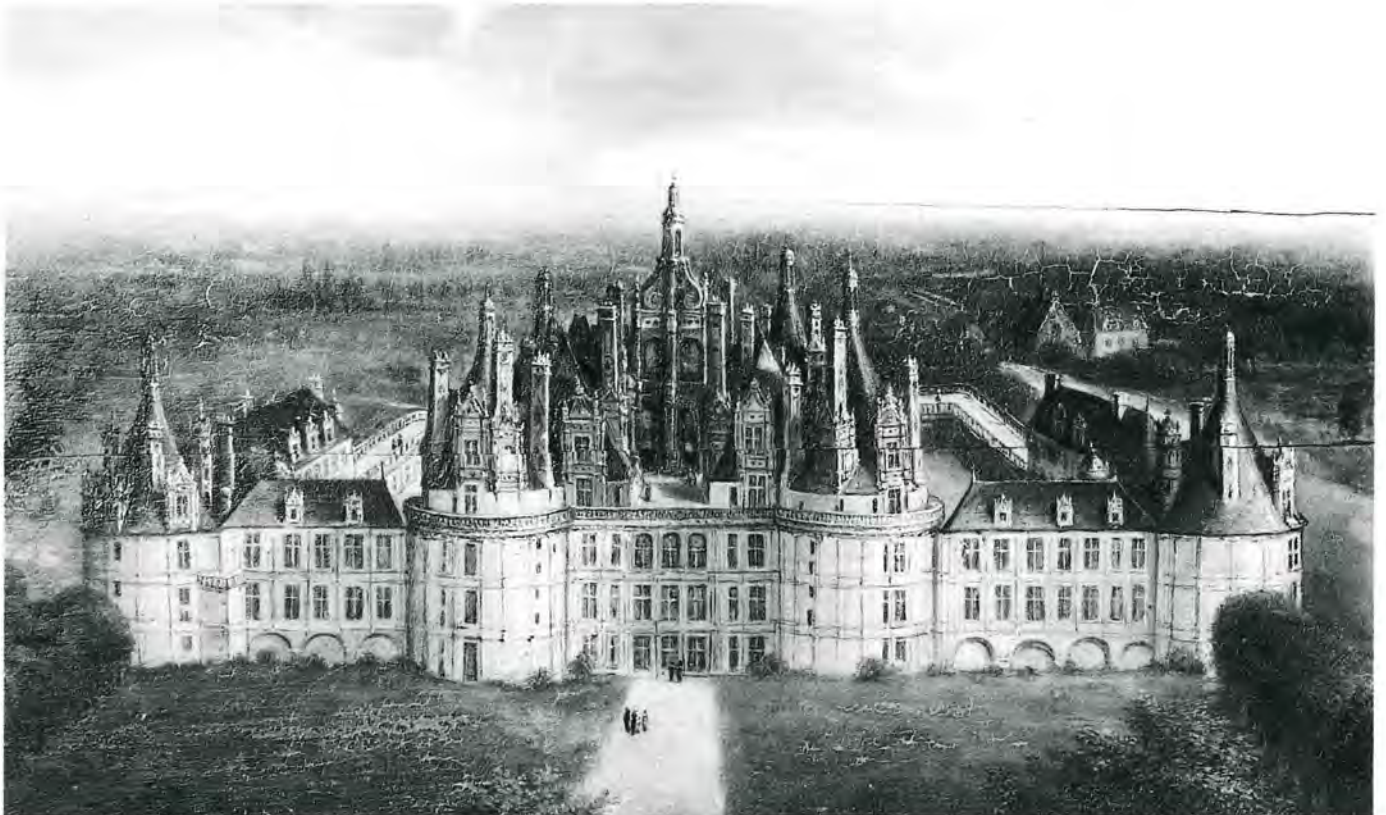
FICHES TECHNIQUES

Historique du relevé	20
Les modes topographiques - La photographie et la photogrammétrie - La stéréophotogrammétrie	
1. Les unités de mesure	37
Les mesures de longueurs; le système métrique - Les mesures d'angles	
2. Trigonométrie des figures planes et calculs du relevé	38
Trigonométrie - Transformations des coordonnées polaires en coordon- nées rectangulaires - Calcul des intersections	
3. Fautes et erreurs; précision; tolérance	41
Définitions et formules - Les erreurs de mise en station, de pointé et de déterminations angulaires - Les erreurs de chaînage - L'erreur graphique	
4. Les références du plan horizontal et de l'orientation	56
Les références du plan horizontal et le nivellement général de la France - Les nords et les références azimutales	
5. La mise en station du théodolite et le calage des nivelles	57
Le trépied - La mise en station - Le calage de la nivelle d'alidade - Le réglage de la nivelle d'alidade - Visée et lectures	
6. La lecture des angles	59
La lecture des angles horizontaux - Les angles orientés - gisements ou orientements - La lecture des angles verticaux	

7. Le chaînage	60
8. Le déroulement de l'opération de relevé topométrique	70
Le croquis de "terrain" - Le mesurage - La rédaction	
9. Report des points sur la minute	71
Report des points de détail rayonnés - Report des points de détail intersectés (quasi-hauteurs, trilatération) - Report des points par coordonnées rectangulaires	
10. Utilisation graphique de photographies isolées	96
La photographie comme base directe du dessin - La décomposition perspective de la photographie - Photographie redressée, photoplans - L'orthophotographie - La numérisation des photos	
11. Le déroulement de l'opération de prise de vue photogrammétrique	127
Le choix des points de vue et des bases - Mise en station et mode opératoire	
12. Le dossier de commande de la restitution photogrammétrique	151
Le dossier préalable - La commande photogrammétrique - Le dossier de commande	
13. Atlas de planches-types de dessins	198

1. Représentation de l'architecture

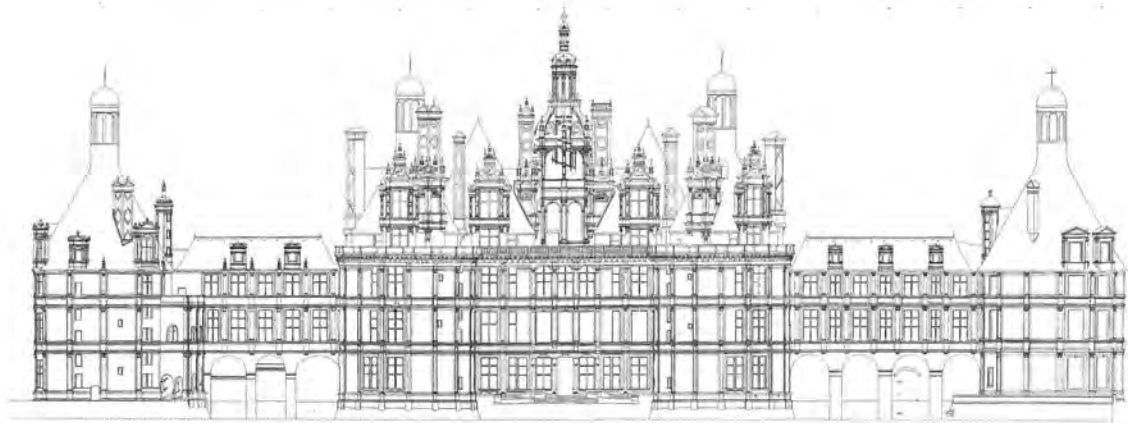
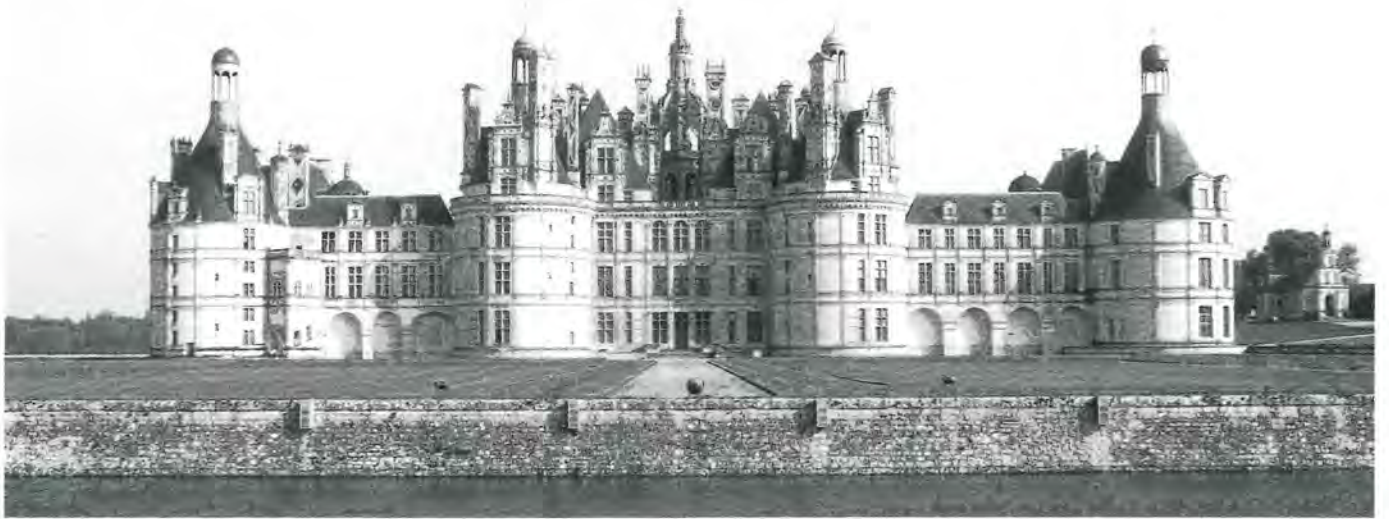
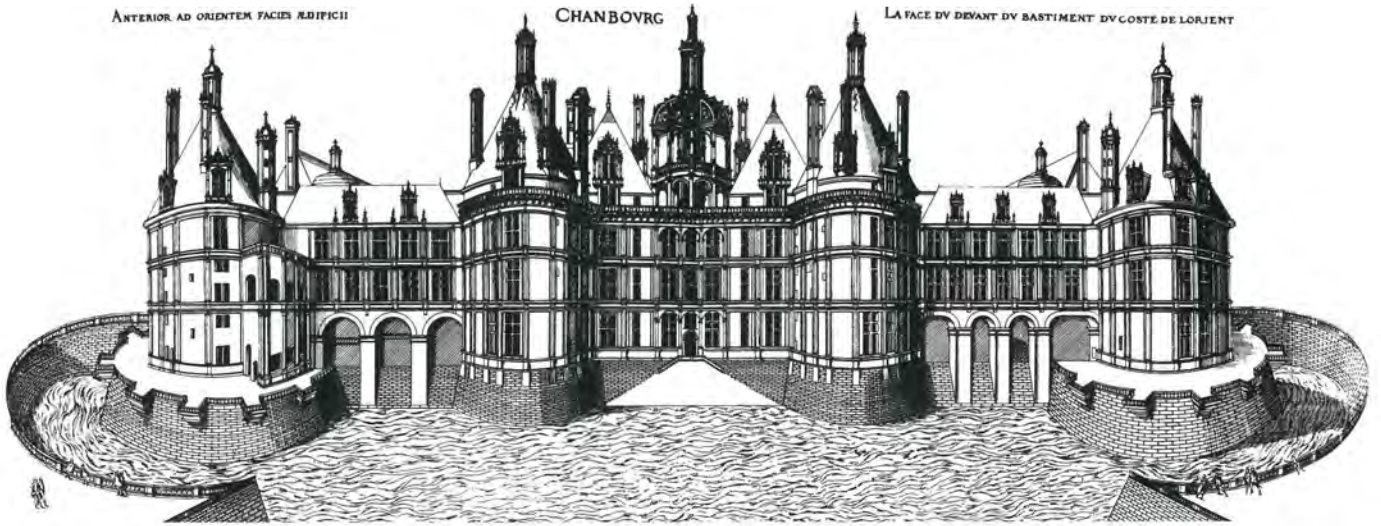
Sous l'appellation de "représentation de l'architecture" il est loisible de regrouper tout un ensemble de documents qui se propose de montrer, c'est-à-dire de donner à voir et de donner à entendre, l'architecture. Sous une apparence particulièrement synthétique, la représentation de l'architecture a l'ambition de faciliter l'appréhension immédiate de l'un des phénomènes créatifs sans doute parmi les plus complexes puisqu'il se situe, de manière permanente, à la confluence de l'art et des techniques les plus frustes comme les plus savantes, des besoins primordiaux de l'homme et des logiques sociales sophistiquées qui témoignent d'une culture et d'une époque.



ANTERIOR AD ORIENTEM FACIES AEDIFICII

CHANBOVRG

LA FACE DV DEVANT DV BASTIMENT DV COSTE DE LORIENT



1.1. Typologie

Chambord (41), face nord-ouest.

- Etienne Dupuis, 1853, *Musée des Beaux-Arts, Orléans* (p. 13).
- Du Cerceau, *Les plus excellents bastiments de France...*, 1576-1579.
- *Photographie*, 1976.
- *Relevé par photogrammétrie*, 1976.

Dresser l'inventaire des formes adoptées par la représentation de l'architecture serait sans doute illusoire car elle n'exclut aucun mode d'expression¹ : les mots, dans le texte littéraire ou le sec exposé du notaire et les chiffres dans le devis du constructeur ou la réflexion harmonique ; la totalité des procédés plastiques, du modelage à l'aquarelle, de l'aquatinte à la peinture à l'encaustique, s'est pliée à ses nécessités comme également les techniques de la gravure, de l'imprimerie, de la photographie,...

Ce corpus innombrable, si nous cessons de l'énumérer avec les seuls arguments des outils employés, pour l'aborder par le biais de la "chose" représentée, va encore se démultiplier par deux, par trois, suivant une classification dont nous allons bientôt saisir toute l'importance : la représentation concerne l'architecture seulement pensée, conçue ou rêvée, mais également celle qui existe dans l'empilement de ses blocs de pierre, le jet de ses arcs et l'équilibre des structures les plus audacieuses.

1.2. Dessin et restitution de l'architecture

Dans le premier cas, nous sommes dans un univers platonicien, tout d'idéal ; la représentation est une sorte d'"empreinte psychique," protégée de tout défaut, reflet de la perfection d'une idée, d'une conception. C'est à cette perfection que l'image fait constamment référence, au-delà même de la critique pouvant porter sur la représentation ou l'objet. Dans cette catégorie nous rangerons naturellement les dessins d'architecture, les dessins de "progettazione" qui disent l'inédit et l'inconstruit.

Dans le cas de l'architecture construite, l'objet n'est rien moins que parfait ; certes, reflet d'une abstraction préalable, plus ou moins élaborée, l'acte de bâtir s'inscrit dans l'aléatoire et passe, à travers parfois plusieurs siècles, par des modifications, des remaniements, des déprédations que lui impriment le temps et/ou les hommes. La représentation va suivre là deux voies antagonistes : l'une tentera de gommer l'imperfection et de réhabiliter, dans la maturation d'une réflexion, l'objet dans sa perfection réelle ou supposée ; tentative, là encore, platonicienne où, du fond de la caverne, l'ombre sert, aux risques consentis, à projeter l'idée de ce que fut, ou aurait pu être le bâtiment.

L'architecture non construite :

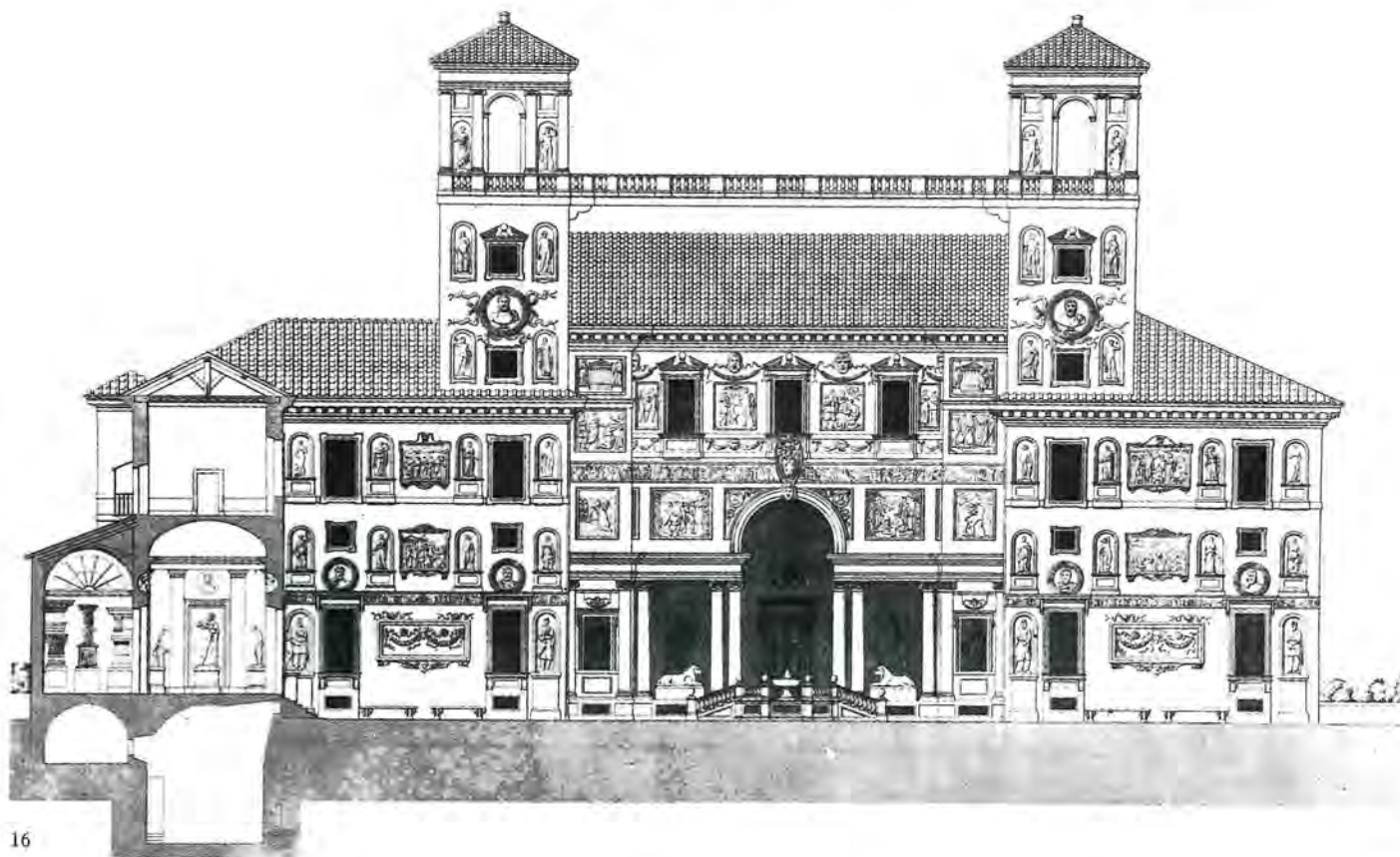
- *Cathédrale synthétique, photographie de maquette.* Louis-Auguste Boileau, *Nouvelle forme architecturale*, Paris, 1853.
- *Edifice à voitures imbriquées.* Louis-Auguste Boileau, *Histoire critique de l'invention en architecture*, Paris, 1886.

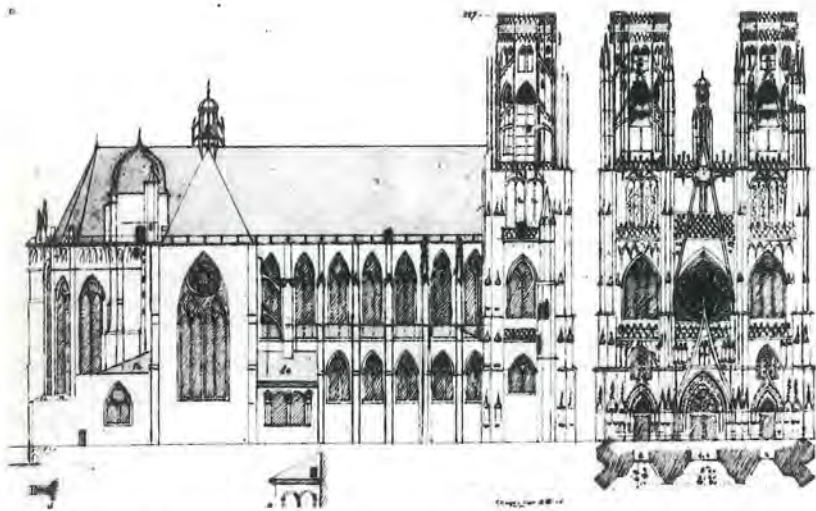


1.3. Relevé d'architecture

La seconde voie nous concerne plus directement puisque, seule, il conviendrait de l'appeler relevé d'architecture. En effet, elle conduit à dresser, par l'intermédiaire de la représentation, le constat daté de la forme effective du bâti, avec comme référence constante, l'objet : ses imperfections rendent compte de l'insuffisance des techniques, des outils et des hommes ; ses remaniements racontent son histoire et ses usages ; ses défaillances comme ses déformations en annoncent l'état sanitaire. Cette métaphore médicale correspond bien à la fonction ou à l'objet du relevé : il s'agit d'établir, par la dissection d'un corps éventuellement malade, les représentations objectives qui permettront l'analyse et la connaissance de l'anatomie de l'individu sain, de l'espèce et de son fonctionnement. Autrement dit, le document à établir doit fixer les formes de l'objet, leurs dimensions et proportions, énoncer les relations multiples qui lient les parties entre elles et les rassemblent dans un seul organisme. De la manière la plus objective, l'établissement du document limitera les hypothèses qui pourraient précéder l'analyse ultérieure et sans doute la fausser, car le relevé ne peut se confondre avec la restitution de l'architecture sans que le risque s'introduise de déductions erronées. Le relevé d'architecture va ainsi procéder de décisions de l'ordre de la connaissance et de l'ordre de l'intervention matérielle qui ne devront pas interférer dans le mode de fabrication ; outil documentaire et analytique, descriptif, commémoratif, il s'inscrit dans la tradition des relevés de Philibert Delorme sur le Panthéon de Rome, de Baltard sur la Villa Médicis ou de Ramée sur la cathédrale de Noyon. Il vise à alléger la description verbale de l'édifice, à la suppléer mais aussi à éclairer une particularité dans le processus de construction, dans la structure ou l'esthétisme d'une forme et enfin à diagnostiquer la vétusté pour introduire les moyens de la sauvegarde.

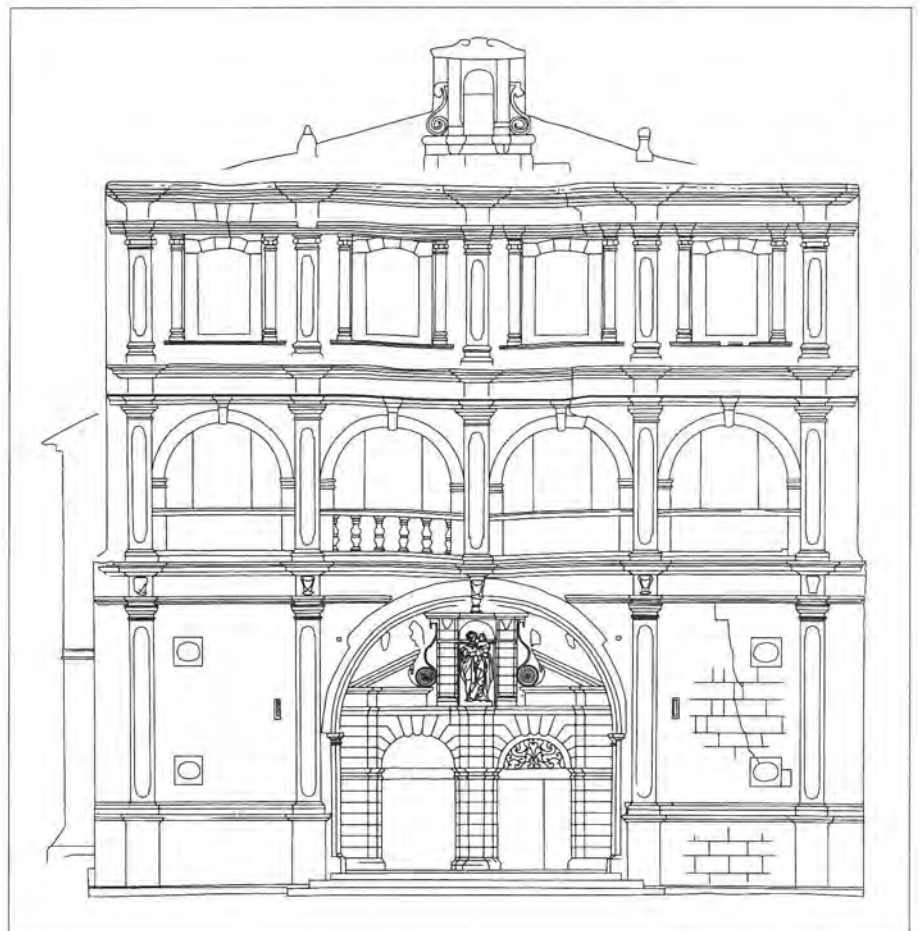
*Rome, Villa Médicis, façade sur les jardins.
Victor Baltard, Villa Médicis à Rome, Paris,
1847.*





Toul (54), cathédrale, cahier de développement et plan-relief. Musée des plans-reliefs, Paris.

Nous consacrerons les pages suivantes à cette catégorie de représentation qui montre l'architecture bâtie et s'en déduit par strictes références, celle que nous avons appelée relevé d'architecture ; que l'on ne s'y trompe pas, le relevé d'architecture ne nous condamne pas à une représentation purement graphique, réduite au plan de la feuille de papier ; le terme ne préjuge pas de la transcription



Gignac (34), Notre-Dame-de-Grâce, face antérieure (relevé par photogrammétrie).

0 5 m

finale et il n'est pour s'en convaincre que de penser aux cahiers de développement préalable aux plans-reliefs ; le terme initie le processus de fabrication et porte témoignage de la référence. Que l'optimisme ne masque pas non plus les atteintes que la suite du propos illustrera quant à la fidélité absolue, ou toute relative au modèle ; il y a longtemps que la carte n'est plus le territoire même si elle reste l'outil indispensable de sa découverte.

1.4. Décrire, figurer, représenter

L'aspect de la représentation tient en trois termes : décrire, figurer et représenter le bâti. Décrire, parce que la saisie exhaustive et l'ordonnement de la totalité des données qui caractérise l'objet, reste impossible ou non traitable ; "la perception normale n'est pas contemplative mais intentionnelle"² et il faut admettre les choix significatifs, la sélection d'informations exclusivement tournées vers la satisfaction de la demande et qui rendent l'objet unique ou comparable ; il faut passer d'une globalité, par ailleurs insaisissable, à un relevé de témoignages, par nécessité orientés.³ Figurer condense le bâti dans un assemblage ordonné de volumes simples ou simplifiés, de polyèdres, puis de lignes les délimitant ; une hiérarchisation élimine les éléments jugés accessoires et soumet aux éléments de structure, aux grandes lignes de l'architecture, des qualificatifs sur la polychromie, sur le décor, ..., la structure donne le cadre mesurable pour la gestion, à cette base de données. Figurer le bâti introduit aussi des nécessités de traductions, de codes et symboles, de rendus, qui visent à compenser la perte de l'information, à redonner par l'illusion l'accès à l'intelligibilité de l'objet. Représenter enfin — bien que l'ordre ne soit ici qu'une commodité et qu'une subtile dialectique anime tous ces facteurs —, représenter va passer par deux décisions : le choix primordial de la taille de représentation ; taille qui donne la densité possible d'informations à figurer et le choix du mode de visualisation, volumétrique ou plan ; le rappel, ici, s'introduit, explicite ou non à l'histoire comme à la tradition issue des réflexions du quattrecento. Deux systèmes antagonistes sont confrontés ; l'un tente de préserver la vision de l'objet, tel que l'œil le voit et l'autre s'ingénie à en conserver les propriétés dimensionnelles et formelles.

Il reste à nommer la représentation, à "légèder" pour en finir avec un processus strictement intellectuel dans lequel l'opérateur, le dessinateur par exemple, sera loin d'être innocent, d'autant plus que la représentation masque, derrière la séduction de l'apparence, la genèse des procédés de fabrication, et notamment tout le processus de mesurage et de sélection.

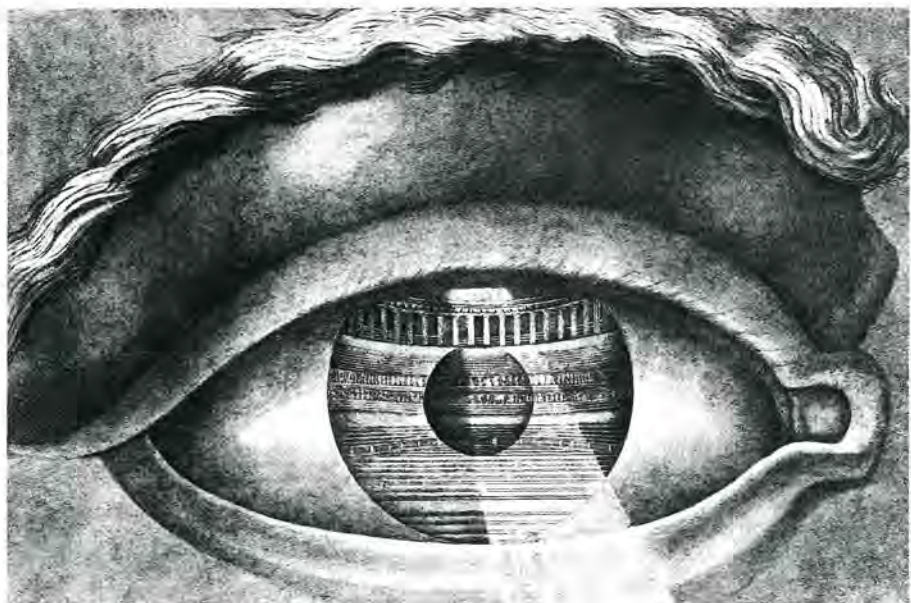
1.5. Elaboration du relevé d'architecture

Cantonnés dorénavant au seul relevé d'architecture, nous suivrons le déroulement de l'opération dans l'ordre des phases : la demande, dont l'expression est si fondamentale qu'avec elle tout est déjà joué ; le mesurage qui révèle par son historique le poids des traditions et la force des habitudes mentales ; la transcription, enfin, qui codifie l'analyse et introduit l'épineux problème de la normalisation.

1.5.1. Demande

La fonction du relevé doit être explicite dès avant la réalisation ; pour simplifier, nous resterons dans le cadre exclusif de l'étude et de la conservation du patrimoine architectural. Les relevés sont indispensables à l'architecte et aux agents des corps de métier chargés de la restauration ou de la réhabilitation pour situer les zones d'interventions, exprimer les devis, analyser la structure et surveiller ses mouvements, prévenir les risques de détérioration ou de destruction et servir à la conduite des travaux ; de même, les relevés, pour l'historien de l'architecture, facilitent la description, éclairent les techniques de construction, contribuent à

L'œil du dessinateur et la représentation de l'architecture. Nicolas Ledoux, L'architecture..., Paris, 1804.



l'étude des formes et à leur comparaison, justifie les réflexions sur les proportions et sur les théories ; ils fixent les chronologies relatives des diverses campagnes et les évolutions stylistiques.

Cette énumération n'est évidemment pas exhaustive et reste généraliste ; ajoutons l'usage a posteriori des relevés, considérés comme une documentation d'archive ; le relevé devra répondre alors à des usages probablement non prévus lors de la réalisation et il constitue, après critique notamment de sa genèse, une des sources, sans doute parmi les plus suggestives, sur les œuvres disparues ou abondamment remaniées.

La clarté des références à la réalité de l'édifice mais aussi la densité de l'information recueillie et la part qu'elle laisse à l'interprétation donnent les limites du rôle que joue le relevé. Ici, dans cette polysémie contrôlée, la mesure intervient de manière fondamentale ; la mesure, les outils de mesure et, introduites par les méthodes, les lacunes que l'interpolation masque ; lacunes et interpolations qui ne devraient pas en principe participer de la matière de la question et faire obstacle à la réponse.

1.5.2. Mesurage

Pour répondre à la demande, l'objet est appréhendé par l'intermédiaire de mesures — mesures au sens large, sans préjuger de la précision et en l'entendant même comme rapport de grandeur — appliquées aux éléments significatifs retenus lors de la demande. Celle-ci, en introduisant la sélection, a rendu possible le relevé mais les techniques de mesurage vont introduire un nouveau glissement ambigu vers ce qu'il convient d'appeler "la figuration mesurable" : les éléments significatifs se trouvent réduits, au pire à l'enregistrement de dimensions, à la fixation de plans plus ou moins matérialisés sur lesquels ils s'organisent, et au mieux à la fixation dans l'espace tridimensionnel de points, de lignes et de surfaces, ... Le problème acquiert toute son acuité lorsque nous nous apercevons que les techniques de mesurage, des architectes comme des topographes, sont essentiellement ponctuelles ; chaque forme de l'objet, qui s'épanouit le plus souvent dans l'espace, est réduite par le relevé à une constellation de points entre lesquels les lignes de contours sont interpolées pour livrer la représentation. L'excellence de la représentation se trouve ainsi directement liée, certes à la qualité significative des points retenus, mais également à la quantité de points.

HISTORIQUE DU RELEVÉ

Le relevé est théorisé dès le XV^e siècle : les grands principes sont posés. Ils ne seront dès lors pas modifiés mais bénéficieront simplement des progrès de fabrication des instruments. Deux modalités de collecte des données, apparemment rivales mais en réalité complémentaires, naissent, dont on peut suivre les filiations jusqu'à nos jours : l'une part du miroir de Brunelleschi, du châssis à réseau de Dürer, de la vitre italienne du Père Jean du Breuil et de la modeste planchette de l'arpenteur pour aboutir à travers la chambre claire de Wollaston à la photographie et à la photogrammétrie ; l'autre est issue d'Alberti et de son plan de Rome, du portillon de Dürer, du carré géométrique et se conclut au XX^e siècle avec le théodolite et le distancemètre à laser et mémoire. Deux modalités qu'il serait trop sommaire et fort peu nuancé d'assimiler respectivement à la perspective et à l'arpentage, d'autant que, dès l'origine, les liaisons entre les deux modalités sont établies ; ainsi, Alberti fonde aussi bien la perspective avec *Della pittura* (livre 1, 1436) qu'il inaugure la topographie moderne avec *Ludi rerum mathematicarum* (1445) et *Descriptio urbis Romae* (1450). Les traités de perspectives après lui, et celui de Jean Pêlerin "le Viator" (1505) en premier, n'auront de cesse d'établir le passage entre

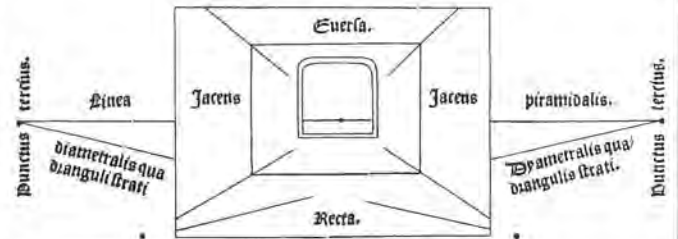


Alidade de bois. IGN, Galerie des instruments, Saint-Mandé (94).

figures géométrales et perspectives. Les deux modalités partent, comme d'un postulat, du rayon visuel et de sa rectitude ; la première pourtant s'en sert pour "balayer" en continu l'objet vu et enregistrer sa trace sur un support plan qui peut devenir directement la représentation ou n'être qu'un intermédiaire, tandis que la seconde, plus abstraite, organise et collectionne des visées convergentes sur les points de l'objet et en note les orientations. Le grand principe géométrique qui préside est celui de l'intersection : intersection des visées pour constituer la figure fondamentale de la "mesure à vue," le triangle indéformable et plan ; intersection des visées et des plans pour réaliser "la construction légitime," la réception sur la feuille de papier de la gerbe perspective ; inter-



Le dessinateur à la femme couchée, la saisie continue. Le dessinateur au luth, la saisie ponctuelle. Dürer, *Under Weysung der Messung mit dem Zirckel und richt Scheyt, in Linien eben und gantzen corporen...*, Nürnberg, 1525-1538.

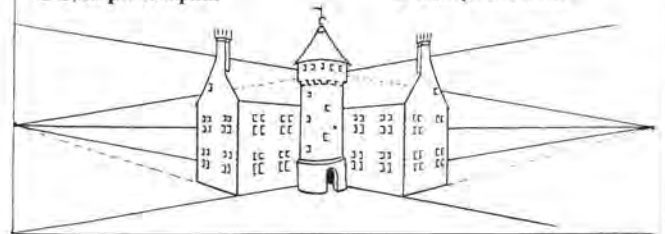


¶ In edificis quoq3 ab angulo inspectis duplex et diffusa ac bico3nis operantur.

¶ Et es figures deuce angulairemet la double la diffusa a la corne besoignêr.

¶ Exemphū de dupli3ci.

¶ Exemple de la double.

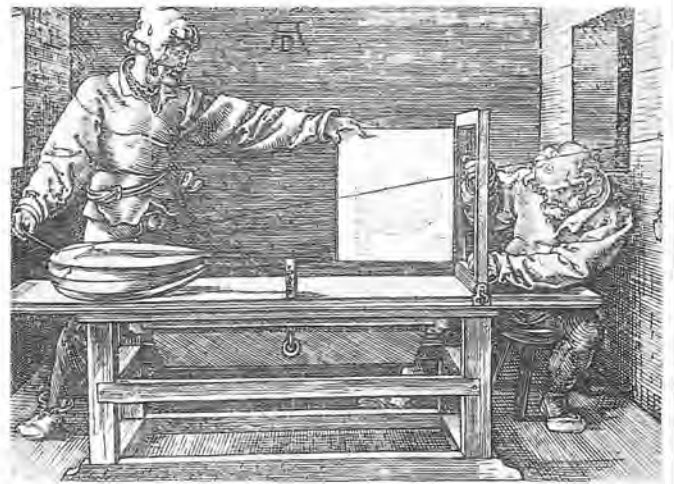


La perspective à deux points de fuite. Jean Pêlerin, *De artificiali perspectiva*, 1509.

section des plans horizontaux et verticaux pour mieux découper, en géométral, les figures d'analyse de l'objet.

Les modes topographiques

L'évolution des outils marque seule le progrès et elle se concrétise, au-delà d'un accroissement fantastique de la précision des mesures⁵ et d'une meilleure compréhension du phénomène des erreurs, selon deux directions : l'une de simplification et d'automatisation du mesurage⁶ et l'autre de mémorisation des données.⁷ Les mesures du relevé sont de deux types : angles et distances. La mesure des angles, plus commode, donne la clef de tous les relevés anciens ; elle apparaît évidente, pourvu que l'on ne s'intéresse pas trop à la précision des déterminations. Au contraire, la mesure

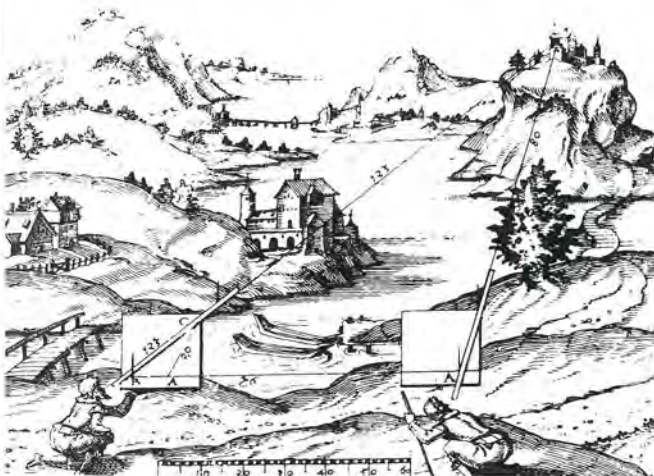




*Pantomètre; Du-
maïge, XIX^e siècle.
IGN.*

des distances révèle immédiatement la difficulté de reporter selon des directions non matérialisées et souvent infranchissables un étalon de longueur, canne, latte ou chaîne d'arpenteur, outils qui fondamentalement n'évoluent pas en 500 ans; d'où la solution imposée immédiatement avec Alberti, de déterminer de manière indirecte les distances en recourant aux mathématiques : rapports de similitude (triangles semblables principalement) et d'homothétie, valeurs naturelles des angles (trigonométrie). Inventés dès le XVI^e siècle, des instruments pour mesurer les distances, comme l'arbalète ou "bâton de Jacob," s'appuient sur ces connaissances comme les instruments modernes (tachéomètres, stadimètres, ...). L'apparition dans la deuxième moitié du XX^e siècle des distan-

cemètres qui convertissent le temps en espace constituera, pour la mesure des distances, l'unique révolution qui bouleverse déjà le monde des topographes et ne saurait laisser indifférents les "relevés" d'architecture. La lunette et son système optique grossissant remplacent, dès le XVII^e siècle mais surtout au XVIII^e et même au XIX^e siècle, l'alidade de bois et la règle à pinnules; ils assurent la finesse des pointés dont le repérage angulaire est accru par les verniers qui démultiplient le partage gravé des cercles et préparent à la lecture directe au micromètre qui n'apparaît que dans les années 1960. L'introduction de la "bulle d'air" et la nivellement sur le carré géométrique qui va orienter dans le plan horizontal les outils de visées et de détermination des angles aboutit à la confusion simplificatrice des systèmes de mesure et de représentation. La dernière innovation, en topographie, c'est l'apparition vers 1980 du théodolite automatique et sa connexion possible à une mémoire qui conserve pour chaque visée l'identification et la valeur des directions et des distances avec leurs deux composantes, horizontale et verticale. Il ne reste dorénavant à l'arpenteur que le choix primordial des points qui fixera la qualité du relevé mais pèse ultérieurement d'un poids très lourd; la sélection des points s'effectue sur le terrain, et si la mémoire des opérateurs, avec de grands risques, comble lors de la transcription



certaines oubliés, aucune modification fondamentale ne peut intervenir à ce moment de la rédaction sans nécessiter un retour sur le terrain. Les choix significatifs doivent ainsi être bien énoncés dès le départ.



L'arpenteur et ses instruments, fil à plomb, compas, bâton de Jacob... Carte de Hollande, 1575.

Le relevé à la planchette ou l'intersection topographique. Léonhard Zubler, Novum instrumentum geometricum, Bâle, 1614.



*Cercle à pinnules;
Lang, XVIII^e siècle. IGN.*



*Graphomètre à verniers;
Canivet, 1763. IGN.*



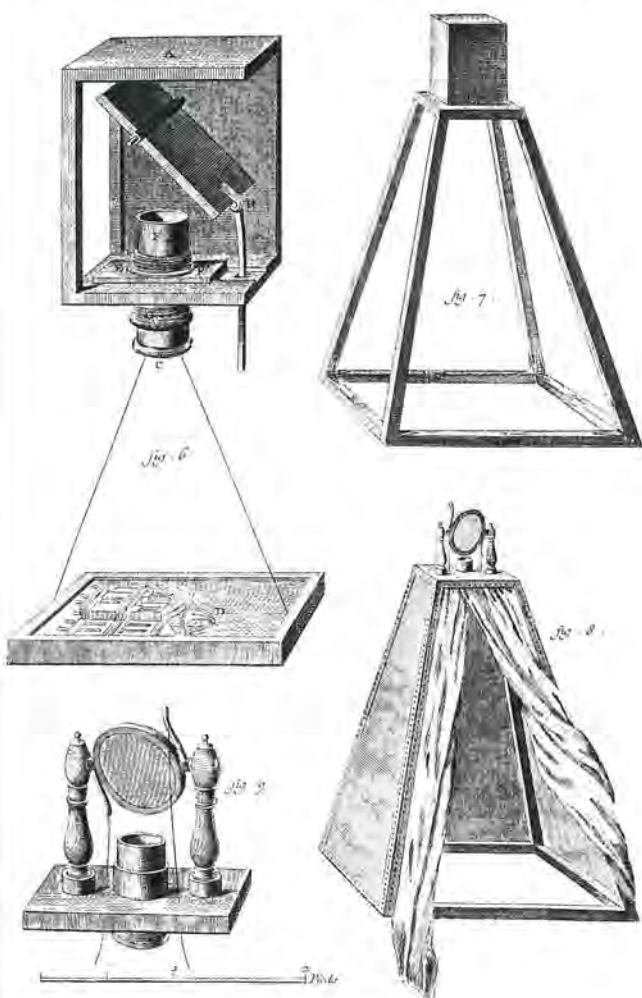
*Cercle répétiteur;
Bellet, 1816. IGN.*



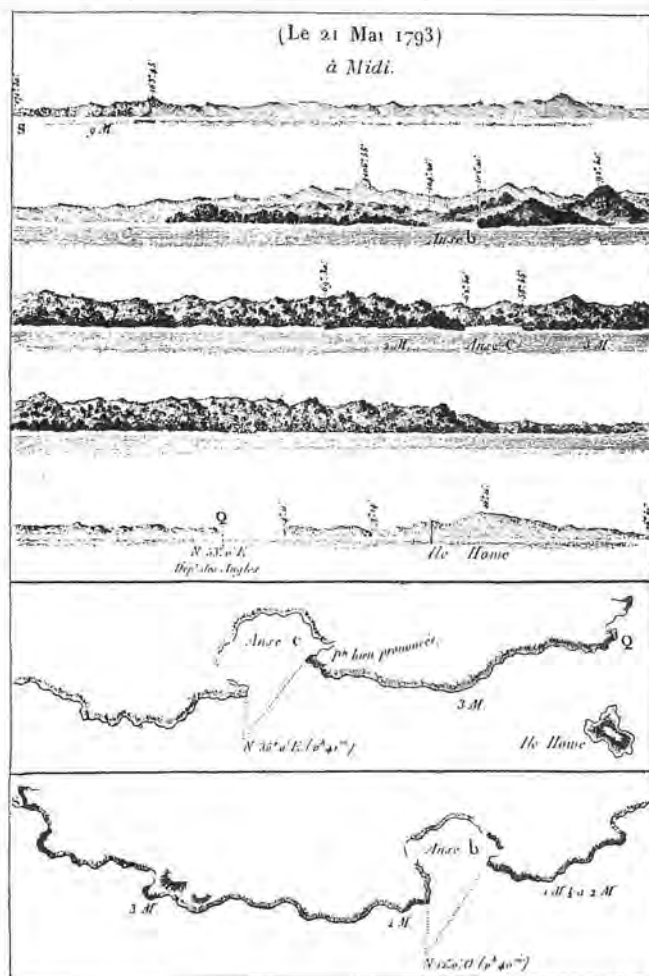
*Théodolite;
Jobin, 1930. IGN.*

La photographie et la photogrammétrie

Cette dernière remarque constitue sans doute une des différences fondamentales avec les techniques de relevé utilisant la photographie : si le choix de l'angle de prise de vue peut créer certains masques, il n'en demeure pas moins vrai que la surface sensible ramasse indistinctement le signifiant et l'insignifiant et offre une mémoire globale dans laquelle, pour la transcription, il est facile d'avoir recours, pour étoffer la représentation prévue, répondre à un nouveau questionnement ou modifier le mode de représentation. La photogrammétrie, c'est donc dès le départ, vers 1850, l'introduction de la mémoire, au sens informatique du terme, et nous dirons même que c'est essentiellement cela car le principe géométrique, l'intersection de rayons issus de deux stations et convergeant vers un point de l'objet à relever, est à l'origine de la topographie. L'utilisation de deux perspectives centrales, comme source de l'intersection est même, en germe, dans les correspondances entre géométraux et perspectives des traités de perspective; elle naît sans doute avec la planchette où se construit graphiquement et visuellement l'image de la terre et avec tous



Chambre obscure. Encyclopédie..., Paris, 1767.

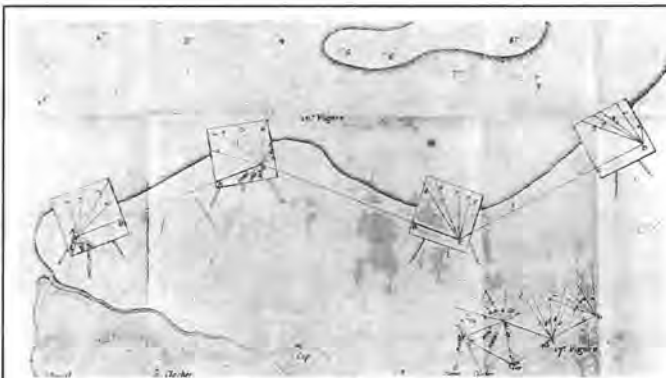


Le relevé à l'aide de perspectives dessinées. Beautemps-Beaupré, Méthode pour la levée et la construction des cartes et plans hydrographiques, Paris, 1811.

les procédés de fabrication de perspective du châssis à réseau de Dürer et des chambres obscures de Léonard de Vinci et de Porta jusqu'au prisme de la chambre claire de Wollaston en 1804. En 1791, l'amiral Beautemps-Beaupré effectue, à partir de perspectives multiples saisies de son bateau, les relevés des côtes des îles du Pacifique⁸, puis Laussedat théorise finalement un mode de relevé qui n'attend plus que la photographie. Laussedat, considéré comme l'inventeur de la photogrammétrie,⁹ l'appela métrophotographie; il est plus simplement, dans un processus établi de relevés, l'introducteur d'un perfectionnement, la photographie. Lui comme Meydenbauer, qui est l'inventeur du terme, ne font rien d'autre que de suivre, en les



Chambre claire. IGN.



Le relevé à la planchette. Montesson, *L'art de lever les plans...*, Paris, 1774.

inversant, les leçons de Jean Pêlerin; un siècle plus tard, c'est également ce que fera l'architecte Deneux¹⁰ quand il reconstituera les parties détruites de la cathédrale de Reims à partir d'anciennes photographies.

La stéréophotogrammétrie

Le progrès réel n'intervient qu'au début du XX^e siècle avec le mariage mécanique de la photogrammétrie et de la stéréoscopie; des dessins de Léonard de Vinci montrent que ce phénomène, intimement lié à la vision humaine, n'était pas totalement ignoré au début du XVI^e siècle. Wheatstone, en 1832, imagine de créer l'impression du relief à partir de dessins et, dès 1844, à l'exposition internationale de Londres, Brewster présente les premières photos stéréoscopiques — au vrai des daguerréotypes —; le succès multipliera les appareils stéréophotographiques et les stéréogrammes durant tout le XIX^e siècle. Vers 1905, l'autrichien Von Orel construit le premier appareil qui traite les perspectives photographiques à partir de leur observation stéréoscopique. L'appareil prendra le nom de "restituteur"; il détermine, en "vraie grandeur" (c'est-à-dire dans la réalité physique de l'objet), la taille et la forme de l'objet deux fois photographié. La construction de la machine reproduit à l'aide de tiges et de cardans, l'intersection des rayons homologues; des règles liées à trois chariots orthogonaux, complétées de verniers permettent, dans cet espace virtuel mais géométrique, de mesurer, directement et dans l'espace, la position d'un repère déplacé par stéréoscopie à l'aide de deux volants et d'une pédale connectés respectivement à chacune des trois dimensions du trièdre cartésien X, Y, Z. L'intersection de rayons lumineux matérialisés par des tiges d'acier donne une rigidité certaine au système défini strictement par le plan du cliché et l'axe de la chambre métrique; cette rigidité rend ardue l'utilisation directe des coordonnées d'où l'idée quasi-immédiate de transférer, par de nouveaux engrenages, ces mesures à une table: un outil de gravure ou un crayon se déplace selon deux des dimensions de l'objet dans l'un des plans déterminé par la chambre de prise de vue (plan du négatif et deux plans perpendiculaires passant par ses médianes); la troisième dimension, fondamentale, assure la mise à échelle constante de la représentation. La restitution analogique offre ainsi apparemment la possibilité de suivre en continu les formes de l'objet qui sont transcrites sur la table; on pourrait dire que la restitution analogique multiplie les mesures ponctuelles et spatiales qui restent latentes tandis qu'est réalisée, en temps réel, leur interpolation sur la table

(ceci est encore plus vrai avec les tables traçantes actuelles reliées à des restituteurs analogiques et qui réalisent cette interpolation par l'intermédiaire d'algorithmes de lissage). Dans cette évaporation du volume que l'opérateur a pourtant sous les yeux, infiniment "palpable," il y a là un phénomène de perte et comme une régression fondamentale qu'il faut relier au poids culturel de l'image scientifique et "descriptive"; évidemment, cette disparition acceptée du volume correspond également au champ principal d'application de la photogrammétrie: la représentation cartographique où les deux dimensions primordiales de la planimétrie s'expriment en kilomètres alors que les altitudes ne s'expriment qu'en mètres. Le restituteur photogrammétrique va donc poursuivre le découpage en tranche de l'objet — plans, coupes, élévations — sans innovation, sauf peut-être le développement des tracés de courbes de niveau (ou d'égal éloignement) rendu

PHOTOTHÉODOLITES

ET

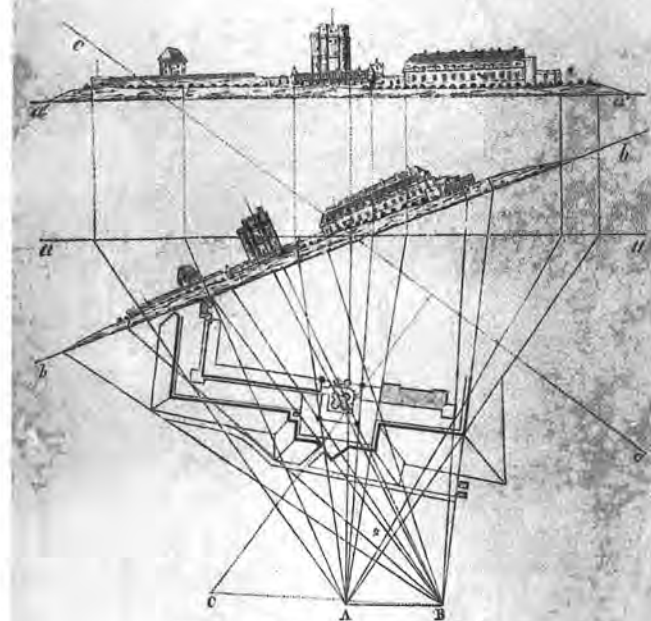
PHOTOGRAMMÈTRES

DE

M. le Colonel LAUSSEDAT

MEMBRE DE L'INSTITUT

DIRECTEUR DU CONSERVATOIRE DES ARTS-ET-MÉTIERS



LEVÉ PHOTOGRAMMÉTRIQUE DU CHATEAU DE VINCENNES

E. DUCRETET*

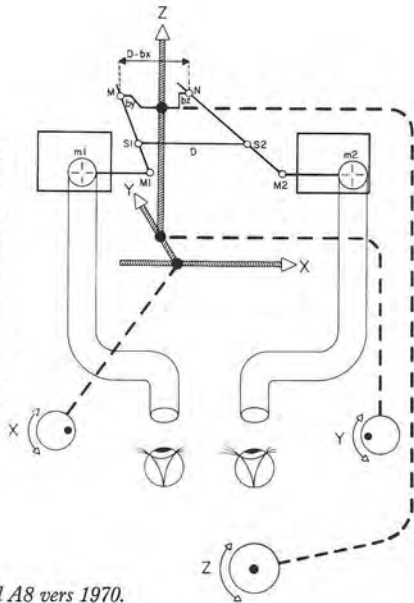
CONSTRUCTEUR

75, Rue Claude-Bernard, à PARIS

DÉCEMBRE 1899

aisé par la stéréoscopie. Les produits restent ainsi conformes à la tradition de la représentation. Comme pour la topographie, le système de projection dans les plans horizontaux et verticaux est rigidement fixé par les organes mêmes des instruments : aux difficultés opératoires près, l'axe de prise de vue est horizontal — vertical pour la cartographie — et le plan du négatif vertical — horizontal pour la cartographie —. Par contre, l'abondance des données sur le support photographique autorise une multiplication des représentations avec une précision inégalable qui détecte toutes les irrégularités de l'objet, ses déformations les plus subtiles. L'arrivée de l'ordinateur pour assister la restitution photogrammétrique n'a d'abord entraîné qu'un assouplissement

Schéma du restituteur analogique : l'opérateur observe stéréoscopiquement deux secteurs homologues m_1 et m_2 des photographies. A l'aide des volants il "pointe" dans un espace mécaniquement reproduit. Les déplacements se lisent sur trois chariots orthogonaux et mobiles qui matérialisent l'intersection des tiges métalliques M_1M et M_2M .

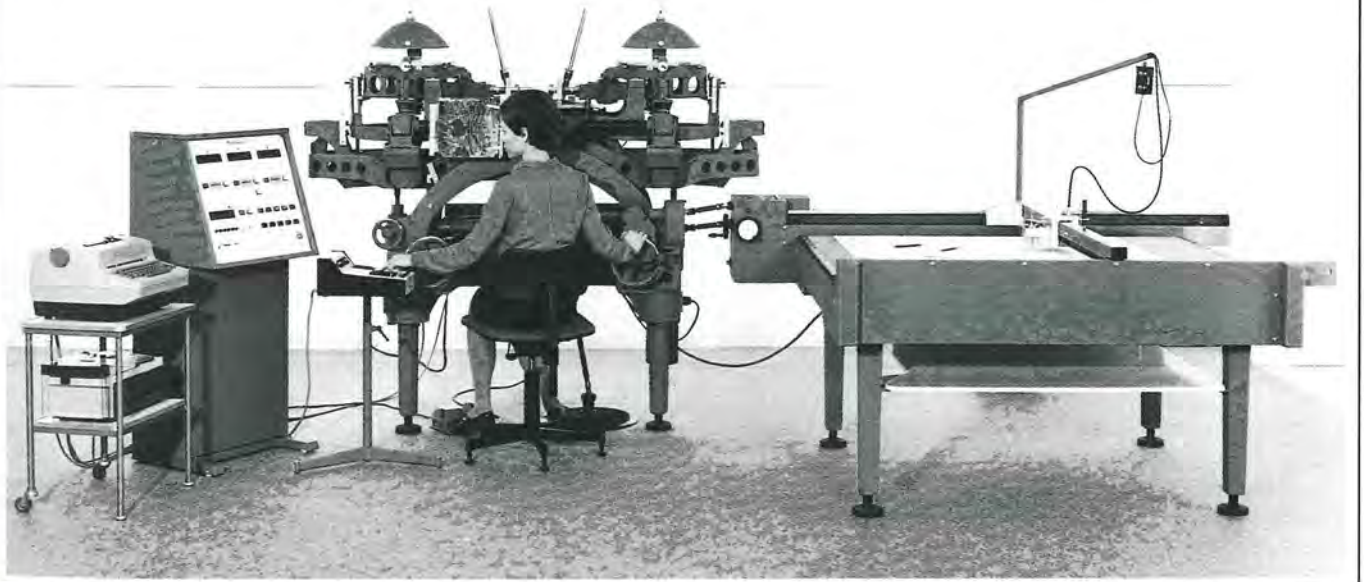


Restituteur analogique Wild A8 vers 1970.

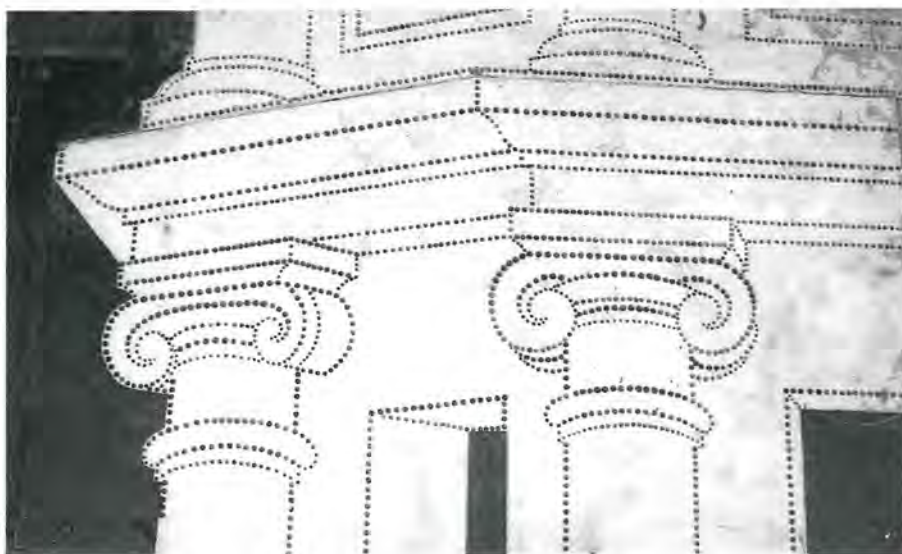


Photothéodolite; Brosset, 1890. IGN.

dans l'utilisation de la machine; la table à dessiner, de mécanique, est devenue automatique sans que soit changé l'esprit de la représentation. Petit à petit, pourtant, se découvrent les possibilités d'informer numériquement l'objet en créant une maquette numérique prête à toutes les sollicitations graphiques mais également à des confrontations à des modèles mathématiques qui interrogent l'état sanitaire de l'édifice, comme ses modes de construction ou sa conception.



Le dessin ponctuel. Sienne, cathédrale, pavement du parvis.

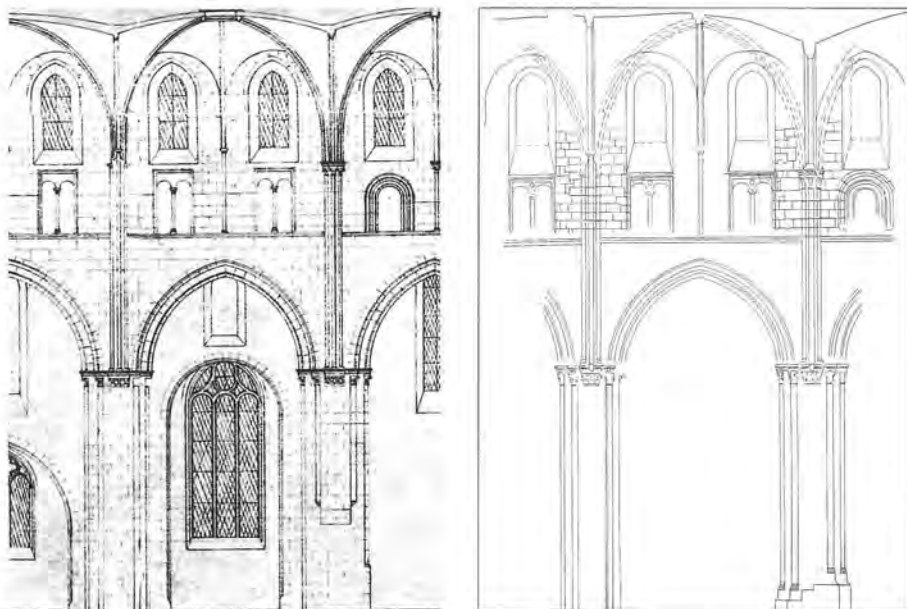


L'opération de collecte de ces mesures devient dès lors longue et complexe et ne peut aboutir qu'en posant un certain nombre d'hypothèses de régularité des formes ; hypothèses dont la véracité est étayée par la connaissance a priori de l'objet et de ses modes de construction. Leur abondance limite l'objectivité et revient à restituer une vision théorique et antagoniste des informations que l'on désire acquérir (c'est donc la négation du relevé comme outil d'analyse).

La sélection des points, leur abondance et le choix des hypothèses les moins contraignantes placent donc le "releveur" devant des choix stratégiques qu'il ne peut assumer que par une connaissance profonde d'objets apparentés et des interrogations qu'ils suscitent ; mais, au risque de ne livrer qu'une image subjective et par cela arbitraire, il doit pouvoir poser des problèmes d'ordre structural et stylistique tout en n'abordant qu'avec humilité l'édifice dont il doit révéler la singularité. La précision de la mesure ne vient ensuite que confirmer la justesse et l'honnêteté du constat.

Levroux (36), coupe-élévation longitudinale interne. Relevé de Dauvergne et relevé photogrammétrique des 4^e et 5^e travées indiquant le changement de conception du voûtement.

0 5 10 m



1.5.3. La transcription

Le relevé et la représentation : fiabilité et ambiguïté.

La demande étant judicieusement formulée et les outils bien employés, le relevé peut être considéré comme valable et son emploi, sans risque de distorsion, conduit à répondre pertinemment à la demande initiale ; mais l'usage du relevé va justement conduire à dépasser cette demande initiale dans une dialectique qui risque de se développer dans des territoires largement polysémiques ; en effet, nous l'avons vu, la mesure ne peut être que ponctuelle et l'interpolation des lignes et des surfaces demeure la règle.

De par son statut, la représentation vise à rendre intelligible l'objet ; il en résulte que, dans l'ignorance du processus détaillé de sa fabrication, ce qui est évidemment plus vrai encore dans le cas de réutilisation de relevés, l'observation de la représentation est insuffisante pour établir ce qui est relevé et ce qui est interpolé et, plus grave, ce qui dans les éléments relevés est précis et ce qui l'est moins. L'apparence voisine de deux représentations ne préjuge pas de leur intérêt documentaire et de leurs qualités analytiques. L'ambiguïté subsiste mais atténuée lorsqu'on peut connaître l'outil de mesure employé et le croquis, par exemple, qui relate la genèse ; là, la photogrammétrie démontre sa supériorité, non tant dans la représentation obtenue que dans la possibilité de retourner au couple photogrammétrique et à la capacité énorme de sa mémoire de données pour vérifier et contrôler l'information.

La normalisation des relevés.

La nécessité de normaliser la fabrication des relevés procède justement d'une volonté de réduire la marge d'incertitude dans l'utilisation des représentations. La fixation de règles de transcriptions, notamment de "normes graphiques," est nécessaire mais notoirement insuffisante puisque ces règles ne concernent que l'apparence ; c'est l'ensemble des phases de fabrication, de la commande au classement du document, qui doit respecter des lois, bien souvent de simple bon sens.

Finalisation intellectuelle.

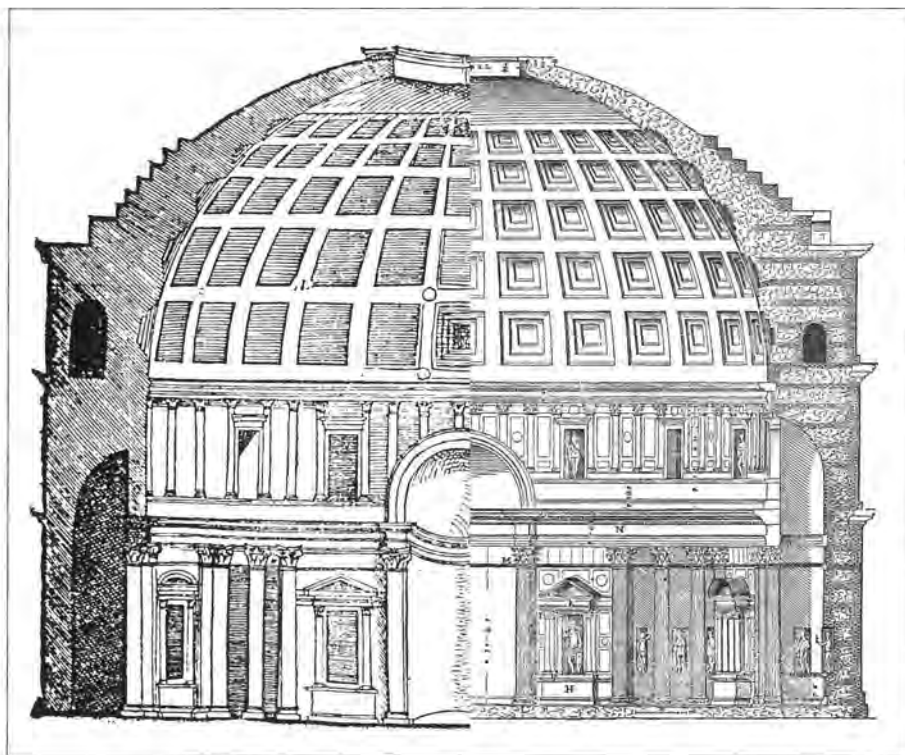
La finalisation intellectuelle doit être stricte. Le relevé est établi pour satisfaire un besoin exprimé ; la clarté de la demande fixe les instruments et les méthodes qui permettront d'y répondre dans les meilleures conditions de fiabilité intellectuelle et d'économie. Au flou du besoin correspondra impérativement le relevé le plus expédié et les techniques les plus sophistiquées répondront à des exigences de précision dans le mesurage ou à la faillite évidente des procédés plus légers.

A la demande correspond la sélection des éléments significatifs et la réflexion ne pourra s'appuyer, une fois le document final élaboré, que sur eux, les autres informations ne figurant que pour parfaire le "rendu." De même, le type de représentation, très souvent exclusif de tout autre, est arrêté durant cette démarche et les repères des plans de coupe et de projection précisés. L'énoncé du contenu de la demande montre son importance et combien le demandeur doit s'impliquer dans le relevé. L'usage d'un vocabulaire strict s'impose, tant pour désigner les éléments d'architecture à relever que pour les modes de représentation¹¹ ; il est à la base du dialogue cohérent entre le demandeur et le releveur.

Genèse du relevé.

Chaque transcription réalisée à partir d'un relevé comporte des manques apparents qui reflètent des lacunes de l'objet ou de la collecte ; plus gravement, la transcription comporte des informations de deux natures contradictoires, celles qui reposent sur des mesures¹² et celles qui résultent de la figuration même, c'est-à-dire de l'interpolation réfléchie et du remplissage illusionniste de la "choucroute"¹³ :

Rome, le Panthéon, les relevés de Palladio (à droite) et Serlio. Andrea Palladio, Les quatre livres de l'architecture, 1650. Sebastiano Serlio, Livre trois, 1637.

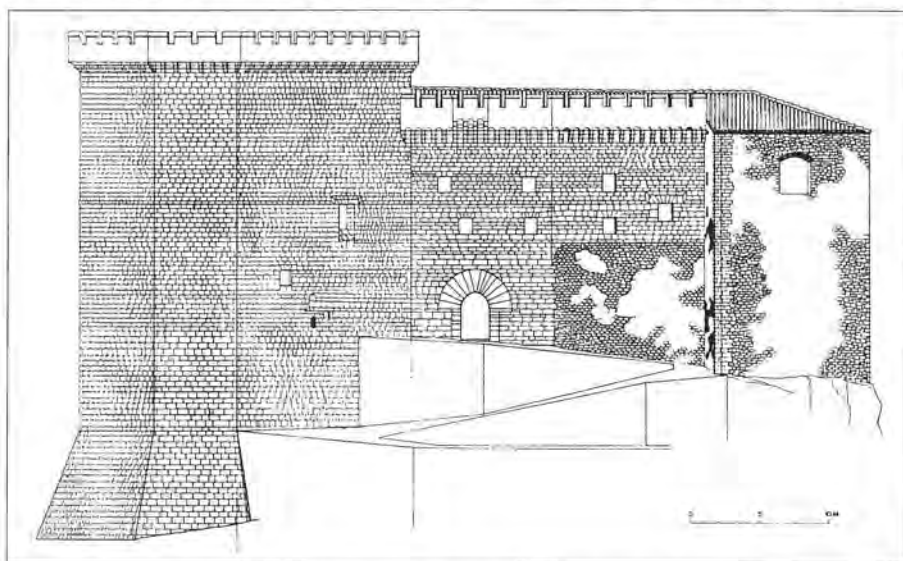


l'ambiguïté de la représentation ne peut être levée que par la connaissance totale des détails de la fabrication, ce qui se produit habituellement lorsque l'utilisateur a été le demandeur. Dans le cas contraire mais fréquent, l'utilisation raisonnable d'un relevé passe par cette connaissance et cette critique du document habituelle à tout utilisateur d'archives. Il est évident que, dans le cas d'une transcription graphique, le croquis de relevé constitue une pièce annexe de première importance qui autorise le meilleur usage. Sur ce modèle, chaque représentation devrait être accompagnée d'une fiche d'identité technique qui informe sur le degré de validité des informations ; pourtant la complexité du processus de fabrication rend par trop difficile l'établissement d'un tel document annexe pour imaginer qu'il pourra éliminer toute incertitude sans retour sur l'objet lui-même et c'est pourquoi la photogrammétrie là encore, présente, à travers le contrôle facile sur les couples de photogrammes, une solution élégante en même temps que la possibilité de répondre aux nouvelles interrogations.

Normes de représentation.

Chaque édifice, et chaque relevé qui veut en témoigner, pose des problèmes particuliers ; il est étonnant de constater que la représentation architecturale n'est pas, contrairement, une fois encore, aux figurations cartographiques, une image explicitement codée et symbolique. Une carte ne se conçoit pas sans que soit indiqué le système de projection alors que, pour le dessin, la référence est implicite ; il s'agit, par exemple, du plan défini par la paroi, quand bien même elle présente ventres et déformations, brisures... ; et, pour le "plan," son altitude d'horizontalité parfois fixée "à un mètre au-dessus du sol" (mais le sol extérieur ou celui de quelle pièce ?), se relève ou s'abaisse pour saisir l'appui de la fenêtre ou le seuil de la porte. Egalement, dans le rendu graphique, aucun code et symbole, à la différence de la carte ; chaque élément est rendu, réduit à l'échelle, simplifié souvent, figuré à l'œil pour faire illusion mais sans formalisation type : l'appareil de maçonnerie n'est souvent qu'un simple poncif dont le symbolisme n'est qu'implicite puisqu'il vise

au réalisme et ne se distingue pas d'un appareil réellement relevé. Nous pourrions faire des observations semblables en ce qui concerne le rendu en projection des parties voûtées et pour bien d'autres éléments dont la représentation introduit des équivoques qui constituent pourtant toute une série de prescriptions reconnues de tous. Ainsi, la normalisation de la représentation d'architecture et, notamment celle de la représentation graphique reste, en dehors de grandes règles exposées

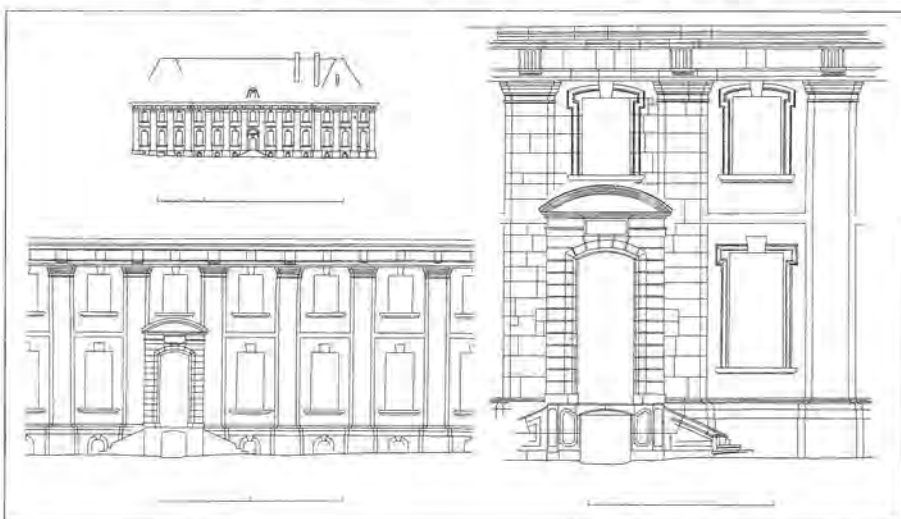


Mora de Rubielos, élévation sud-ouest.
A. Almagro Gorbea. El castillo de Mora de Rubielos, Madrid, 1975.

chapitre 7, aux frontières de l'impossible et de l'illusoire. La légende, qui se limite bien souvent à la désignation de l'édifice, à son adresse, au type et à l'échelle de la figure, doit suppléer d'une certaine façon la singularité des choix de représentation ou éviter leur amphibologie.

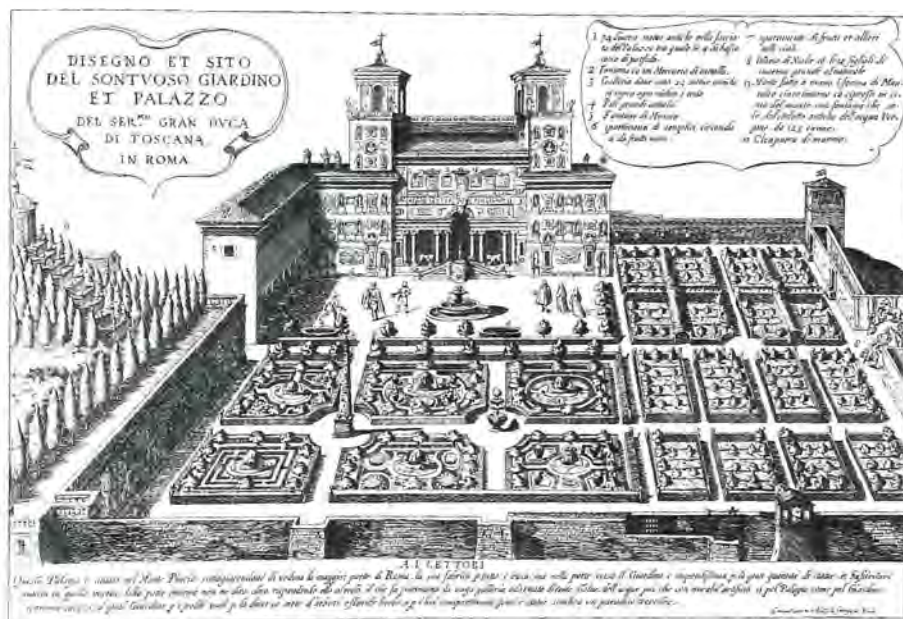
Archivage et reproduction.

Beaucoup plus élémentaires à établir, mais d'une importance d'autant plus grande que leur absence détruit fréquemment la validité de l'information, sont les normes de classement et de reproduction ; elles se résument par trois principes dont l'application n'est pourtant pas simple : assurer la sécurité de la documentation, son accessibilité, et sa démultiplication sans aberration ni perte d'informations.



Rangeval (55), abbaye de Prémontrès, élévations des bâtiments abbaciaux, échelles de 1/400^e, 1/200^e, 1/50^e (relevé par photogrammétrie).

Rome, Villa Médicis, façade sur les jardins.
Gravure attribuée à Mathieu Greuter, 1620.
In : Victor Baltard, Villa Médicis à Rome,
Paris, 1847.



La sécurité ne peut être assurée qu'en évitant les manipulations constantes du fonds constitué par les documents de base (croquis des relevés, carnets de mesures, photogrammes,...) et les transcriptions originales ; le doublement organisé de ce fonds est une prescription fondamentale qui débouche sur des systèmes documentaires de gestion et peut aboutir à la création de banques d'images (microfiches, vidéodisques, disques optiques,...) ; en même temps que la sécurité, ce doublement assure la qualité des accès et permet un certain nombre d'éditions de qualité moyenne qui se révèlent capables de satisfaire une grande partie des besoins des utilisateurs. La reproduction des documents doit pouvoir pourtant s'effectuer sans déperdition des qualités de précision et de définition de l'original ; dans le domaine graphique, cette nécessité conduit à privilégier des supports stables et l'usage du banc de reproduction et du châssis (en contact) de préférence aux procédés "ozalid" ou héliographiques dont les tirages ne conservent pas la finesse de l'information ni ses propriétés dimensionnelles.

L'ensemble de ces normes met en évidence, à travers toutes les phases de fabrication d'une représentation d'architecture, la difficulté de préserver intégralement, ou sans pertes significatives, la demande primordiale et l'objectivité des réponses que le relevé analytique doit produire.

Les procédés traditionnels qui rajoutent, à la parcellisation des tâches et à la difficulté des mesures, les interprétations et hypothèses plus ou moins subjectives du "relevé" confirment, a contrario, l'intérêt de procédés qui diminuent le nombre d'interventions entre la demande et la réponse. La photogrammétrie, avec la banque de données innombrables des photogrammes, constitue, en liaison avec l'informatique un moyen judicieux de créer des maquettes numériques, perpétuellement enrichies et interrogeables sans délai. Cet outil nouveau, comme le deviendront peut-être les distancemètres automatiques, les scanners de modélisation et les hologrammes, brise avec la représentation de l'architecture telle que nous l'avions héritée du quattrocento ; renouant avec la tradition immémoriale du modello mais, avec la sophistication des technologies nouvelles, il propose non seulement un instrument de figurations ad libitum mais le moyen privilégié d'analyses et d'auscultations des formes et des structures de l'architecture bâtie, c'est-à-dire un produit qui témoigne, à notre époque, du légitime souci d'étudier et de préserver l'architecture bâtie.



La transmission du relevé. Philibert Delorme,
Architecture, Paris, 1648.

2. Enregistrement des données : le relevé

L'enregistrement des données mesurées passe par un certain nombre de définitions logiques qu'il importera de garder à l'esprit. Géométriquement, le mesurage consiste à fixer dans un espace préalablement repéré une constellation de points entre lesquels seront interpolées les limites des surfaces et les linéaments de l'objet.



*Le fil à plomb assure
l'horizontalité de l'instrument.
Boussole Bellet, fin XIX^e siècle. IGN.*

2.1. Définitions

Collecter

	Paris	Orléans	Nantes
Paris	-	150 km	450 km
Orléans	150 km	-	360 km
Nantes	450 km	360 km	-

Effectuer le relevé d'un objet c'est collecter un certain nombre de mesures afin :

- de connaître ses dimensions, ses formes, et les rapports ou relations des différentes parties qui le composent,
- d'analyser l'objet quantitativement ou qualitativement à partir de données objectives,
- d'établir éventuellement un document graphique qui soit, projeté dans un plan déterminé, son image réduite dans un certain rapport.

Fixer dans un espace

Collecter des mesures, c'est fixer numériquement dans un espace de référence les points¹⁴ d'un objet et aussi établir les relations sans ambiguïté entre ces points.

Choisir les plans

Définir un espace de référence, c'est choisir les plans sur lesquels sera projetée graphiquement l'image de l'objet. Le choix de plans horizontaux et verticaux est un choix de règle non absolue.

Connaître les distances

Fixer numériquement un point, c'est connaître les distances du point à ses projections sur les plans.

Définir des formes

Etablir la relation entre deux points, c'est quantitativement, mesurer la distance qui sépare les points, et, qualitativement, définir d'une part la forme de la ligne qui joint ces points et, d'autre part, la valeur des zones que la ligne partage.

Les techniques traditionnelles de mesure sont strictement quantitatives ; les techniques photogrammétriques sont à la fois quantitatives et qualitatives, établissant non seulement la position des points dans l'espace mais la relation formelle qui les lie.

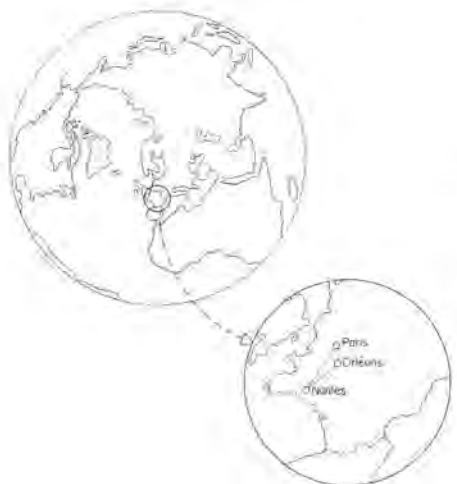
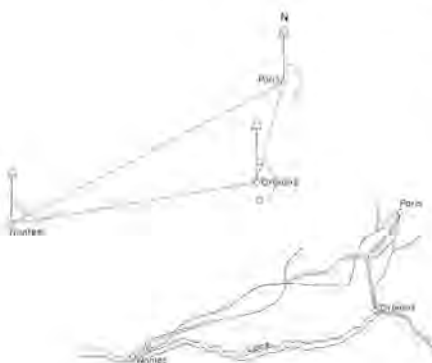
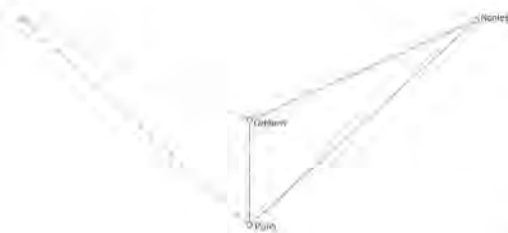
2.1.1. Remarques

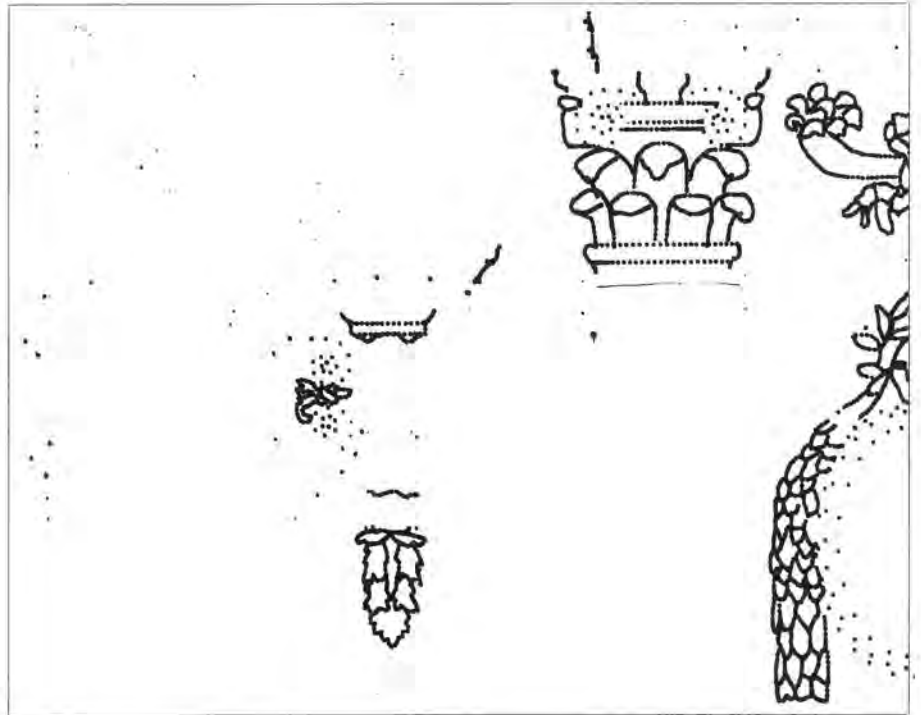
L'application pratique de ces définitions appelle un certain nombre de remarques :

- théoriquement, l'image de l'objet peut être considérée comme la configuration obtenue par la juxtaposition d'une infinité de points. Pratiquement, le choix des points à relever apparaît forcément limité ; la formulation des lignes s'établira par une interpolation plus ou moins distendue,

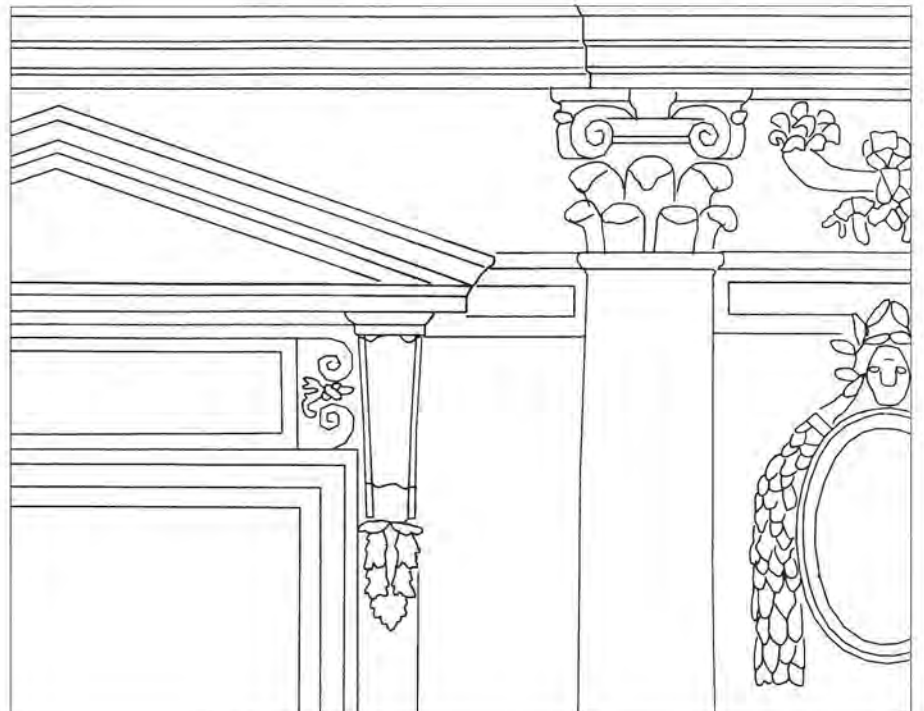
- le mode graphique de relevé correspondra à une sélection des points, en vue d'une élaboration des lignes jugées caractéristiques ou significatives pour limiter les zones ou facettes homogènes de l'objet ; c'est-à-dire que le document graphique n'est jamais exactement la représentation conforme à l'objet mais son analyse graphique quantitative et qualitative, donnée comme une réponse à une question, ou à une proposition. L'exhaustivité du document graphique reste un leurre et le piège auquel pourraient s'engluer le "releveur" comme le lecteur,

- la pratique du relevé graphique se situe donc au lieu commun résultant de la définition de l'objet — c'est-à-dire de sa théorisation dans un système pertinent d'analyse — et de la définition du degré de précision de l'information — c'est-à-dire de sa densité et de sa justesse —.





Au langage de l'objet que l'archéologue veut consigner doit répondre l'écriture sur l'objet que le technicien réalise. L'idéal est donc la confusion de l'archéologue et du technicien ou l'adéquation la plus intime par un dialogue constant. Sera dorénavant nommée relevé d'un objet, l'exécution technique de ce relevé préalablement prémédité archéologiquement.



2.1.2. Désignations

Nous appellerons :

- [H] ou [V] : le plan de référence adopté selon qu'il sera horizontal ou vertical,
- A et/ou B : la projection dans un plan du point [A] et/ou [B] situé(s) dans l'espace,
- D : la projection dans un plan de la droite [D] située dans l'espace,
- O, O₁, O₂ : un point d'origine situé dans le plan,
- α , α_1 , α_2 : un angle mesuré dans le plan horizontal,
- φ , φ_1 , φ_2 : un angle mesuré dans le plan vertical,
- X et Y : les axes de référence du plan [H], orthogonaux entre eux et de même origine,
- Z : l'axe de référence vertical perpendiculaire au plan et ayant même origine que les axes X et Y du plan,
- x, y, z : les coordonnées tri-rectangulaires d'un point,
- ℓ : la distance entre deux points de l'espace, mesurée dans un plan de référence [H].

2.2. Le point dans l'espace

Géométriquement, un point [A] de l'espace est parfaitement défini par l'intersection de deux droites ; il peut de même être défini par sa position sur une droite — par rapport au point d'origine de cette droite —. Fixer la position d'un point dans l'espace consiste donc à déterminer la position de droites. En pratique, la définition d'un point s'effectue par l'intermédiaire d'un plan de référence qui va bissecter l'espace, le point est alors situé par la position de sa projection sur le plan et fixé par la distance entre le point et sa projection, en deçà ou au-delà du plan. Généralement, et nous adopterons ces choix dans la suite du texte, le plan est horizontal ou vertical et la projection s'effectue orthogonalement au plan.

Le point sera donc défini par des données de planimétrie et d'éloignement au plan (altimétrie dans le cas de plan horizontal) ; les techniques de relevé adopteront ces principes : définitions du plan, du point projeté dans le plan, du point par rapport au plan.

2.2.1. Définition du point dans le plan

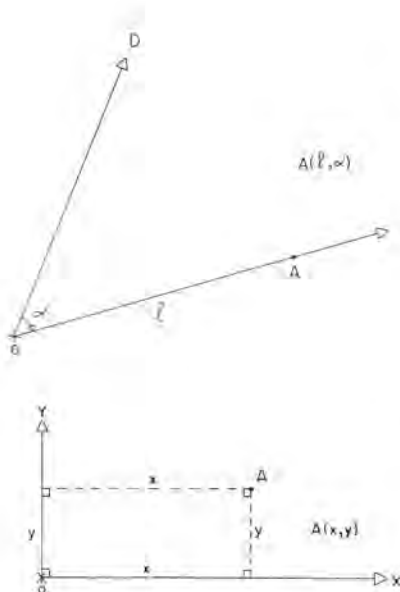
Lors de la projection orthogonale la position respective des images des points projetés n'est pas modifiée si l'on déplace le plan parallèlement à lui-même ; ce qui signifie que l'important pour définir la position des points dans le plan sera d'assurer la verticalité ou l'horizontalité du plan.

Le point A (projection du point [A] dans l'espace) peut être défini par sa position par rapport à :

- un axe connu D et son origine O :

- le point A est défini par sa distance ℓ au point origine O de l'axe D et par l'angle α (mesuré dans un sens défini) entre les droites D et OA ; ℓ et α sont les coordonnées polaires de A ; on écrit $A(\ell, \alpha)$;

- le point A est défini par sa projection sur l'axe D et la distance séparant sur cet axe sa projection à l'origine O : cela revient à définir le point A par rapport à deux axes orthogonaux d'origine O en mesurant algébriquement les projections. Par convention, on appelle les axes X et Y, respectivement leurs mesures, abscisse (x) et ordonnée (y) sont les coordonnées rectangulaires de A ; on écrit $A(x,y)$. Le passage aux coordonnées polaires (ou inversement) se fait par calcul (cf. Fiche 2).



- deux points connus O_1, O_2 (et la longueur du segment de la droite D qui les joint par conséquence) :

- le point A est défini par l'intersection des droites O_1A et O_2A en mesurant les angles α_1 et α_2 que font respectivement O_1A et O_2A avec D (intersection de droites),

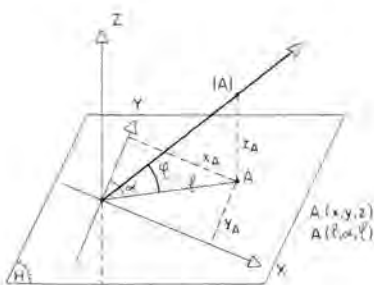
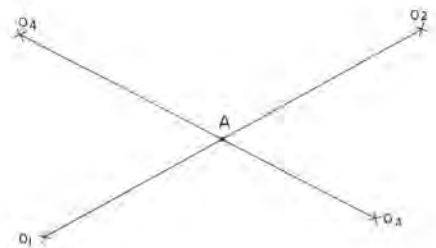
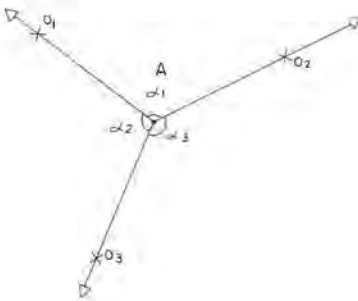
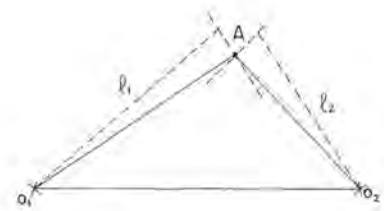
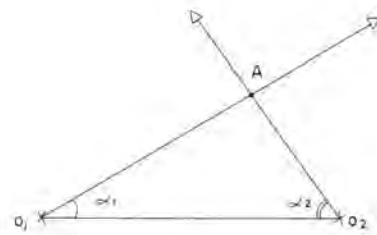
- le point A est défini par l'intersection des distances mesurées l_1 et l_2 entre A et respectivement O_1 et O_2 (intersection de cercles),

- le point A est défini en mesurant l'angle α_1 que fait O_1A avec D et la distance l_2 entre O_2 et A ou, inversement, l'angle α_2 et l_1 (intersection d'une droite et d'un cercle).

- trois points connus O_1, O_2, O_3 (et, par conséquence la longueur des trois segments qui les joignent) :

- le point A se trouve à l'intersection des arcs capables sous lesquels on voit à partir de A les trois segments O_1O_2, O_2O_3, O_3O_1 : il est défini par "relèvement" en mesurant les angles $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ que font respectivement les droites AO_1 avec AO_2 , AO_2 avec AO_3 , AO_3 avec AO_1 ¹⁵

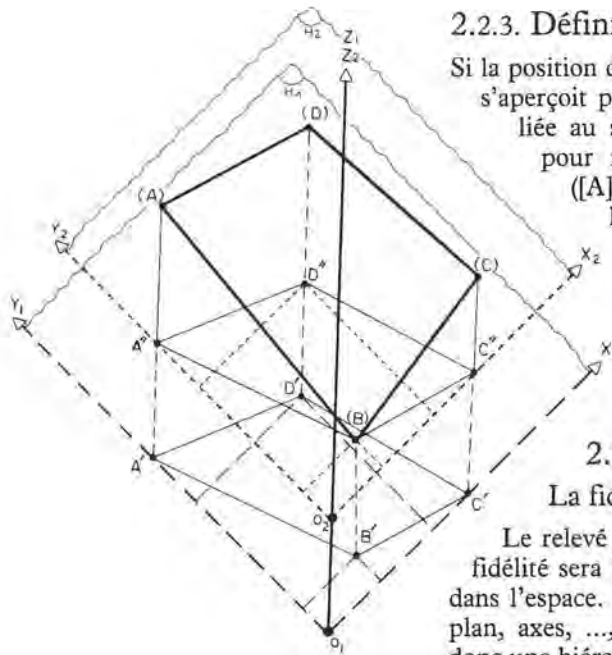
- deux droites connues passant par le point inconnu A : le point A est défini par l'intersection de deux alignements définis chacun respectivement par deux points connus.



2.2.2. Définition du point par rapport au plan

Le point A étant défini, il reste à définir la distance $(A [A])$. Celle-ci peut être mesurée directement : le point $[A]$ est alors défini par sa position A dans le plan et son éloignement algébrique h au plan ; dans le cas d'un système tri-rectangulaire, le point $[A]$ est défini par ses projections x, y, z sur les trois axes X, Y, Z . On écrit : $[A](x,y,z)$.

La distance $(A [A])$ pourra être déterminée par l'angle sous lequel est vu, à partir d'un point origine du plan, le segment $(A[A])$; dans le cas où le point A est déterminé par coordonnées polaires, on aura $[A](l, \alpha, \varphi)$. Le passage de l'un à l'autre des systèmes se fera par calcul (cf. Fiche 2).



2.2.3. Définition des points dans l'espace

Si la position d'un point dans l'espace est liée au système de référence choisi, on s'aperçoit par contre que la position de plusieurs points entre eux n'est pas liée au système de référence. Quelles que soient les références adoptées pour mesurer les points [A], [B], [C], ... les différences verticales $([A].[B])$, $([A].[C])$, $([B].[C])$ ne changent pas. Quel que soit le plan horizontal (H) choisi et quelles que soient les références adoptées dans ce plan, les distances AB, AC, BC, les angles entre AB et AD, BA et BC, CB et BD, ...¹⁶ et les différences de niveau entre [A] et [B], [A] et [C], [B] et [C] ne changent pas. Cette remarque facilitera les opérations de terrain puisque la position topographique du plan horizontal n'aura pas d'influence sur la définition planimétrique de l'objet.

2.2.4. Conclusions pratiques

La fidélité du relevé

Le relevé de l'objet est ramené géométriquement aux relevés de points ; sa fidélité sera liée à la densité des points et à la qualité de leurs déterminations dans l'espace. La fixation de références nécessaires pour la prise des données : plan, axes, ..., s'effectue par l'intermédiaire de points privilégiés ; il s'établit donc une hiérarchie immédiate et nécessaire entre les points qui fixent le système d'enregistrement et sont appelés à servir plusieurs fois de centres de rattachement aux mesures, et ceux qui n'ont pour fonction que de détailler l'objet. La différenciation entre les points que l'on peut appeler principaux et les points de détail est essentielle dans l'appréciation de la qualité du relevé.

En effet, des points principaux vont découler les points de détail ; l'erreur commise dans la fixation du point principal entraîne conséquemment une erreur sur tous les points de détail qui en dépendent.

Inversement, le point principal étant contrôlé, il n'y a plus d'enchaînement des erreurs ; les erreurs commises dans la mesure d'un point de détail n'ont aucune autre répercussion que sur sa propre détermination.

Au-delà de la fixation des références, les points principaux assurent la cohérence de l'ensemble du relevé ; ils forment un cadre d'appui dans les mailles duquel les points de détail mesurés indépendamment les uns des autres, assurent la définition — au sens photographique — de l'objet. Cette définition est, en grande partie, liée à la densité des points de détail et aussi à leur qualité signifiante : le point de détail doit rentrer dans le programme prémédité (archéologiquement) du relevé ; il faut éviter le point redondant sauf s'il contrôle une information — par exemple, vérifier en relevant trois points qu'une ligne est droite —. Ainsi, la qualité des méthodes de relevé apparaît liée aux exigences suivantes :

Indépendance maximum des mesures par une hiérarchisation entre des points principaux, en nombre limité pour permettre leur contrôle, et des points de détail, en nombre suffisant pour assurer la cohérence de la "définition" du relevé.

Les unités de mesures

Les mesures de longueurs ; le système métrique

Ce n'est vraiment qu'avec la loi du 4 juillet 1837 que le système métrique est instauré en France à partir du 1^{er} janvier 1840. L'utilisation en est obligatoire et aucune unité antérieure n'est autorisée.

La "convention du mètre" qui sera adoptée par vingt pays le 1^{er} mars 1875, officialise le Bureau international des poids et mesures ; celui-ci, installé depuis 1876 dans le pavillon de Breteuil à Sèvres, y conserve le mètre-étalon en platine iridié, étalon matériel qui va servir de référence à la mesure des longueurs et, par conséquence, aux mesures de surfaces et de volumes.

Cette mesure universelle se substitue à la grande diversité qui régnait entre les unités de longueurs : palme, verge, latte, perche, coudée, aune, toise et pied qui se partagent le territoire et dont les concordances sont vagues quand le même terme ne reflète pas, suivant le lieu, des valeurs fort différentes.

L'avantage d'une mesure unique était pourtant apparu très vite puisque un premier texte de François I^{er} fixait en 1540 l'aulne du Roy, comme représentant 3 pieds 7 pouces 8 lignes mesurés sur la toise du Roy, accrochée à l'un des murs du Châtelet, seule référence.

Que la référence soit strictement matérielle n'était pas sans poser le problème de sa pérennité liée à la conservation de l'étalon et à sa reproductibilité.

L'histoire de la mesure royale est, à cet égard, instructive puisque la toise de François I^{er} disparaît avec la démolition de l'escalier



Étalon de longueur scellé dans le porche de l'ancien Hôtel de Ville de Laon.



Règle de deux pieds divisée en pouces et centimètres. IGN.

sur lequel elle était scellée ; elle est remplacée, en 1667, par un nouvel étalon, la toise du Châtelet, qui se révèle à l'usage plus d'un centimètre plus court.²⁸⁷ Sa copie, la toise du Pérou, réalisée en 1735 pour servir aux mesures de l'arc méridien au Pérou, la remplacera en 1766.

Dans l'histoire de la mesure royale, nous pouvons ainsi repérer trois périodes :

Années	Toise	Pied	Pouce	Ligne	Point
1540	195,95	32,66	2,72	0,23	0,02
1667	194,70	32,45	2,70	0,23	0,02
1766	194,90	32,48	2,71	0,23	0,02
1795	Mesures exprimées en centimètres ²⁸⁸				

La précarité de la référence royale conduit naturellement à s'interroger sur l'étalonnage des instruments habituels de mesures qui s'en déduisaient : lattes ou bois de piques même comparés avec précaution ne pouvaient certainement pas prétendre, en tenant compte des phénomènes de dilatation, de courbure du bois à une précision supérieure à ± 2 cm par portée. Toute réflexion sur les dimensions ou les rapports exprimés en mesures anciennes doivent tenir compte de ces éléments :

- l'outil de mesure, celui qui servait de référence sur le chantier, s'il y en avait un, et ceux qui étaient utilisés quotidiennement, ne reflètent pas d'une manière absolue les valeurs des unités anciennes,²⁸⁹
- la faible longueur de l'outil de mesure²⁹⁰ nécessite de nombreux reports qui introduisent des distorsions dans la mesure des grandes dimensions,
- les dimensions courtes sont, au contraire, très probablement interpolées à partir de l'outil de mesure schématiquement gradué ; il en résulte des rapports qui peuvent se révéler incohérents entre les courtes et les longues dimensions.

Cette fragilité d'un étalon physique conduira à vouloir le définir par rapport à un phénomène physique simple et reproductible — la longueur du pendule qui bat la seconde définit la toise de Picard en 1669²⁹¹ — ou par rapport au monde lui-même — la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre exprime en 1795 le mètre²⁹² —. Aujourd'hui, depuis le 20 octobre 1983, "le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde" (17^e conférence générale des poids et mesures).²⁹³

Le mètre est une unité décimale ; ses multiples et sous-multiples se déduisent d'un rapport 10. Les multiples sont le décamètre (10 m), l'hectomètre (100 m), le kilomètre (1000 m) ; les sous-multiples

sont le décimètre (0,1 m), le centimètre(0,01m), le millimètre (0,001 m).

En-deçà du millimètre, on dit un dixième, un centième de millimètre... ; le micron (μ) correspond à la millième partie du millimètre (0,000 001 m).

Les mesures d'angles

Si la référence naturelle pour les longueurs manquait, il n'en est pas de même pour les angles où le tour d'horizon — c'est-à-dire l'angle de rotation d'une visée, décrivant à partir d'un point, et dans un plan, tout l'espace — apparaît très tôt comme la référence évidente.

L'angle entre deux demi-droites issues d'un point O apparaît alors immédiatement comme le rapport sur un cercle de centre O et de rayon r, entre la longueur de l'arc l que délimitent les deux demi-droites et celle de la circonférence.

Des rapports simples sont à l'origine de systèmes qui cohabitent ; la division du cercle en six secteurs par des cordes égales au rayon est à l'origine de la division sexagésimale en degrés.²⁹⁴ C'est également le rapport qu'adopte, en 1435, Alberti dans son relevé de Rome²⁹⁵ ; c'est celui que reprend le partage du jour en 12 secteurs et 24 heures.

Les divisions successives du tour d'horizon par 2 puis par 4... aboutissent aux 32 aires de vent, les 32 rumbs qui étoilent les anciennes cartes marines ; cette division par quadrants et leurs sous-multiples aboutit, au début du XIX^e siècle, dans l'optique du système décimal universel, aux grades et leurs sous-multiples : 100 grades pour un quadrant ; 10 décigrades pour un grade ; 10 centigrades pour un décigrade ; 10 milligrades pour un centigrade ; 10 décimilligrades pour un milligrade. Le décimilligrade correspond à la plus petite mesure courante en topographie.

D'autres systèmes existent comme les millièmes²⁹⁶ ou les radians²⁹⁷ mais, à l'heure actuelle, la division en 400 grades se retrouve sur les cercles de la plupart des instruments topographiques utilisés en France.

Le recours à des angles, exprimés en degrés, qui reste en usage pour fixer des coordonnées géographiques, simplifie parfois la description de figures (angles de 60° et 30° notamment) ou peut correspondre à des données d'équipement²⁹⁸ ; la conversion est facilitée par des calculs élémentaires.

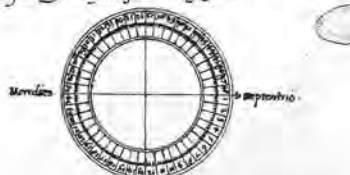
$$90^\circ = 100^g \rightarrow 1^\circ = 1,1111^g; 1^g = 9/10^\circ$$

$$5400' = 10000^cg \rightarrow 1' = 100/54^cg; 1^cg = 0,54'$$

$$324000'' = 1000000^dmg \rightarrow 1'' = 1000/324^dmg; 1^dmg = 0,324''$$

Grossièrement : 1' = 2^cg et 1'' = 3^dmg

*In orientali, numerus adit 12. Occidentali vero aguntur 12.
 Quibus gradum quatuordecim sistori subdunda in partes quatuor
 que minuta nuncupantur. Distantia gradus, atque etiam centod-
 ces, sistori que sistori, exemplar hic habes.*



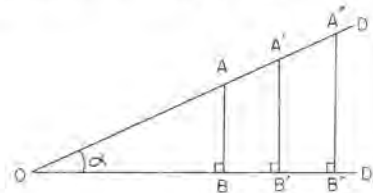
Orisonte d'Alberti.

Trigonométrie des figures planes et calculs du relevé

La plupart des calculs (rayonnement, polygonation, intersection, changement de base), nécessités par les opérations topométriques préalables aux relevés d'architecture, peuvent être informatisés.²⁹⁹ Ces formules de calcul élémentaires ne seront nécessaires que lors de contrôles sur le terrain à l'aide de calculatrices de poche.

Trigonométrie

L'angle α étant l'angle aigu de deux demi-droites OD et OD₁ et B, B',... les projections orthogonales sur OD₁ des points A, A',... situés sur OD, on peut définir trois rapports constants à partir des triangles semblables OAB, OA'B',...



$$\frac{AB}{OA} = \frac{A'B'}{OA'}$$

dont la valeur est appelée sinus ($\sin \alpha$)

$$\frac{OB}{OA} = \frac{OB'}{OA'}$$

dont la valeur est appelée cosinus ($\cos \alpha$)

$$\frac{AB}{OB} = \frac{A'B'}{OB'}$$

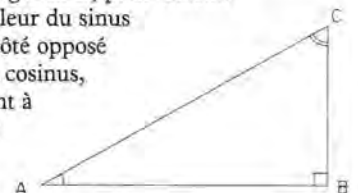
dont la valeur est appelée tangente ($\tan \alpha$)

Ces valeurs, dites naturelles, constantes pour chaque valeur d'angle, évoluent avec les variations de l'angle de 0 à 90° (respectivement de 0 à 100^g).

Calculées dès le premier siècle de notre ère, elles figurent dans des tables (300) et nous les trouvons aujourd'hui dans la mémoire des calculatrices de poche les plus usuelles.

Valeurs naturelles	Angles				
	0°	30°	45°	60°	90°
sin α	0	1/2	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{3}/2$	1
cos α	1	$\sqrt{3}/2$	$\sqrt{2}/2$	1/2	0
tg α	0	$\sqrt{3}/3$	1	$\sqrt{3}$	—

Dans un triangle ABC, rectangle en B, pour chacun des angles aigus A et C, la valeur du sinus s'exprime par le rapport du côté opposé à l'hypothénuse, la valeur du cosinus, par le rapport du côté adjacent à l'hypothénuse et la valeur de la tangente, par le rapport du côté opposé au côté adjacent.



Soit, en appelant a, b, c les côtés respectivement opposés aux angles A, B, C :

$$\sin A = \frac{a}{b} = \cos C \quad \cos A = \frac{c}{b} = \sin C \quad \operatorname{tg} A = \frac{a}{c} = \frac{1}{\operatorname{tg} C}$$

L'inverse de la tangente s'appelle la cotangente (cotg).

Le rapport du sinus au cosinus a pour valeur la tangente :

$$\frac{\sin A}{\cos A} = \frac{a}{b} \times \frac{c}{b} = \frac{a}{b} = \operatorname{tg} A$$

Enfin, le théorème de Pythagore $b^2 = c^2 + a^2$, nous permet de constater que :

$$\sin^2 A + \cos^2 A = \left(\frac{a}{b}\right)^2 + \left(\frac{c}{b}\right)^2 = \frac{(a^2 + c^2)}{b^2} = \frac{b^2}{b^2} = 1$$

Pour un triangle rectangle dont nous connaissons trois éléments (dont au moins un côté), il nous est possible de calculer les trois autres éléments ; en particulier, si nous connaissons un des angles aigus et l'hypothénuse, le calcul nous obtiendra les deux côtés orthogonaux³⁰¹ :

$$a = b \times \sin A \\ c = b \times \cos A.$$

Inversement, connaissant les deux côtés perpendiculaires, nous pourrions calculer les angles aigus :

$$\frac{a}{c} = \operatorname{tg} A, \text{ d'où } A$$

$$\frac{c}{a} = \operatorname{tg} C, \text{ d'où } C$$

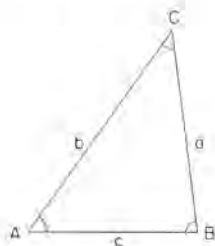
Dans un triangle quelconque, les valeurs naturelles vont permettre le calcul des éléments manquants à condition également de connaître 3 des éléments dont au moins un côté. Si a, b, c sont les côtés opposés respectivement aux sommets A, B, C , on a

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

$$\cos B = \frac{c^2 + a^2 - b^2}{2ca}$$

$$\cos C = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$



Transformations des coordonnées polaires en coordonnées rectangulaires

Des formules élémentaires servent au passage des coordonnées polaires (α, ℓ) aux coordonnées rectangulaires (x, y) — et inversement —, et assurent la vérification par le calcul des polygones fermés :

$$\frac{x}{\ell} = \sin \beta = \cos \alpha$$

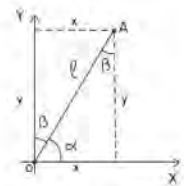
$$\frac{y}{\ell} = \cos \beta = \sin \alpha$$

$$\text{où } \beta = 100^g - \alpha$$

$$\text{d'où : } x = \ell \times \sin \beta = \ell \times \cos \alpha \\ y = \ell \times \cos \beta = \ell \times \sin \alpha$$

$$\text{et } \frac{y}{x} = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{cotg} \beta$$

$$\frac{x}{y} = \operatorname{cotg} \alpha = \operatorname{tg} \beta$$

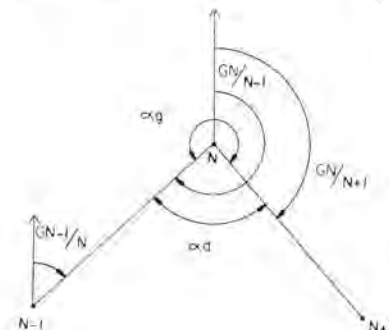
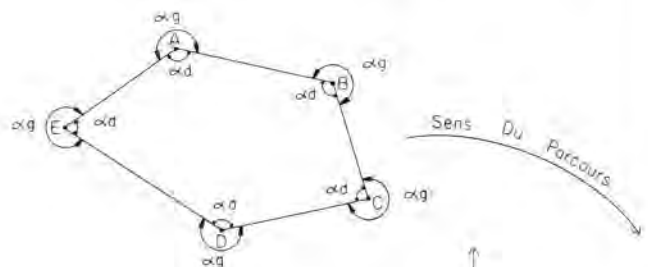
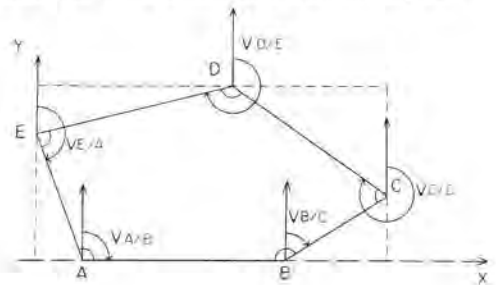


Généralement, le système rectangulaire de calcul peut être quelconque ; on choisit pour une station de départ 1 des coordonnées telles que les points calculés ne se retrouvent pas avec des coordonnées négatives³⁰² et l'on attribue à la visée sur le point suivant 2 une direction que l'on choisit comme celle d'un des demi-axes (c'est-à-dire $0^g, 100^g, 200^g, 300^g$). Les gisements successifs sont calculés par la formule :

$$G_{N/N+1} = G_{N-1/N} + 200^g + \alpha_g \text{ [ou } -\alpha_d] \text{ (} -400^g \text{)}$$

α_g [ou α_d] est l'angle entre deux côtés successifs de la polygonaion et que l'on laisse à sa gauche [ou à sa droite] en parcourant le périmètre du premier au dernier sommet.

Le calcul se referme sur le contrôle du gisement de départ.³⁰³ Le calcul des coordonnées se fait avec une calculatrice disposant en mémoire, dans le système unitaire des angles, des valeurs naturelles et assurant le passage des coordonnées polaires en coordonnées rectangulaires ; il faut naturellement lire le mode d'emploi et vérifier dans la machine le sens de lecture des angles.³⁰⁴



Le calcul ne livre pas directement les coordonnées mais les différences de coordonnées.

Exemple réalisé sur Casio fx - 570 :

- Allumer la machine : [Power] sur "ON"

- Choisir le mode grade : [mode] [6]

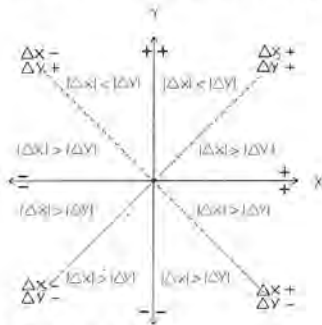
- Choisir 2 décimales : [mode] [7] [2]

- (pour vérifier le sens de lecture des gisements le plus simple est de procéder avec un exemple : $l = 1.00$ et $G = 140^\circ$; pour un gisement entre 100 et 150° on sait que x est positif et y négatif et que $x > y$;

au clavier [1.00] [inv] [P-R] [140] = 0,59

[XY] = +0.81.

Les résultats seront à inverser : $x = +0.81$ et $y = -0.59$



Calculer x et y entre B et C

$l = 29,64$ et $G = 231,99$:

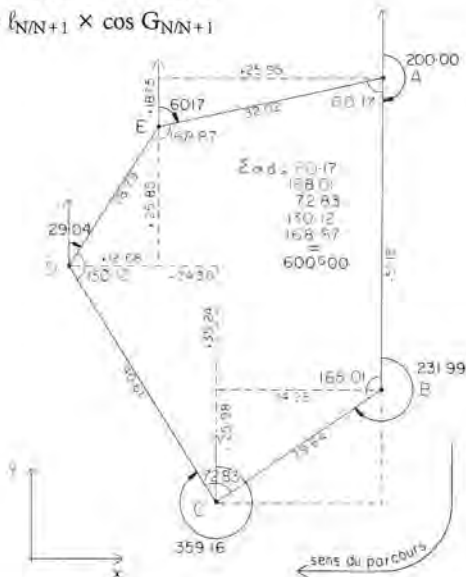
[29,64] [inv] [P-R] [231] = -25,98 = y

[XY] = -14,28 = x ...

Si la machine ne disposait pas de système de calcul polaire/rectangulaire, les x et y seraient obtenus plus classiquement par les formules :

$$\Delta x_{N/N+1} = l_{N/N+1} \times \sin G_{N/N+1}$$

$$\Delta y_{N/N+1} = l_{N/N+1} \times \cos G_{N/N+1}$$



Le calcul se ferme en calculant les différences de coordonnées sur le point de départ ; la somme des Δx comme la somme des Δy doit être nulle ; en cas d'écarts, ceux-ci, s'ils sont tolérables, sont répartis proportionnellement aux longueurs des côtés. Enfin, les coordonnées des points sont calculées :

$$X_{(n+1)} = X_n + \Delta x_{(n/n+1)}$$

$$Y_{(n+1)} = Y_n + \Delta y_{(n/n+1)}$$

Sts	α	G	l	Δx		X	Δy		Y
				+	-		+	-	
A	60,17					100,00			200,00
B	168,01	200,00	51,19			100,00		51,19	148,81
C	72,83	231,99	29,64		14,28	85,72		25,98	122,83
D	130,12	359,16	40,61		24,30	61,42		32,54	155,37
E	168,87	29,04	28,79	12,68		74,10		25,85	181,22
A		60,17	32,07	25,90		100,00		18,78	200,00
		600,00						38,58	38,58
		e=0						$\Sigma=0$	$\Sigma=0$

Calcul des intersections

Certains points inaccessibles sont déterminés par visées réciproques à partir de deux stations O_1 et O_2 . Pour chaque point M , on a mesuré les angles horizontaux 1 et 2 et verticaux α_1 et α_2 . Le triangle $O_1 O_2 M$ est parfaitement défini puisque l'on connaît trois de ses éléments : la base b entre O_1 et O_2 , α_1 , α_2 .

On peut écrire $200 - (\alpha_1 + \alpha_2) = M$ et :

$$\frac{\sin M}{b} = \frac{\sin \alpha_1}{O_2 M} = \frac{\sin \alpha_2}{O_1 M}$$

$$O_1 M = \frac{\sin \alpha_2 \times b}{\sin M}$$

$$O_2 M = \frac{\sin \alpha_1 \times b}{\sin M}$$

Ces résultats obtenus, il est possible de calculer par rapport aux coordonnées de O_1 (et de O_2) les coordonnées planimétriques du point M par transformation des coordonnées polaires (α_1 , $O_1 M$) et (α_2 , $O_2 M$) en coordonnées rectangulaires ; les coordonnées de M sont ainsi calculées deux fois, ce qui assure le contrôle du calcul.

La différence de niveau D entre le point M et le point O_1 (et O_2) est obtenue par la formule :

$$\frac{DM}{O_1} = O_1 M \times \text{tg } \varphi_1$$

$$\frac{DM}{O_2} = O_2 M \times \text{tg } \varphi_2$$

La différence entre DM/O_1 et DM/O_2 correspond à la différence d'altitude des tourillons de l'appareil entre O_1 et O_2 et constitue donc également un contrôle.

En fait, ce mode de calcul, s'il est le plus simple en l'absence d'un logiciel de calcul, n'est pas forcément le mieux adapté à la détermination des points architecturaux ; les logiciels (comme le logiciel Topo) traitent le problème dans l'espace de manière analytique assurant dans tous les cas (points planimétriquement alignés) le résultat le plus cohérent ; le calcul d'un vecteur de sensibilité indique la qualité de précision de la détermination.³⁰⁵

Fautes et erreurs ; précision ; tolérance

Définitions et formules

Il convient tout d'abord de distinguer les fautes des erreurs. Les fautes proviennent d'une méprise, de la maladresse ou de la négligence de l'opérateur : oubli d'une portée de chaîne dans la mesure d'une distance ; interversion de nombres dans la recopie d'une lecture, ... Aucun opérateur, si habile soit-il, ne peut être assuré d'éviter une faute. Aussi convient-il de réitérer certaines mesures et d'assurer des contrôles permanents dans le déroulement de l'opération.

Les erreurs sont des inexactitudes inévitables qui tiennent à l'imperfection de notre vue et à celle des instruments utilisés ou des méthodes poursuivies.

Les erreurs systématiques n'agissent que dans un sens (+ ou -) et proviennent très souvent de la déficience de construction ou des réglages d'un instrument³⁰⁶ ; le respect des réglages (c'est-à-dire suivre les prescriptions analysées dans les modes d'emploi des appareils) et un certain mode opératoire peuvent les annuler.³⁰⁷

Les erreurs accidentelles correspondent aux imprécisions inévitables qui entachent chaque mesure et qui agissent de manière tout à fait irrégulière tant en signe qu'en valeur ; ne pouvant être éliminées, ce sont elles qui donnent la précision de l'opération.

L'erreur absolue mesure la différence entre la valeur exacte³⁰⁸ et sa détermination.

L'erreur relative correspond au quotient des grandeurs de l'erreur et de la détermination.³⁰⁹

En règle générale, dans l'ignorance de la valeur exacte, on considère la moyenne D des n déterminations, d_1, d_2, d_3, \dots , comme la valeur la plus probable :

$$D = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{n}$$

Les écarts $v_1, v_2, v_3, \dots, v_i$ sont calculés par différence des déterminations à la valeur probable D.

L'erreur moyenne arithmétique e est la moyenne de la somme de valeurs absolues des écarts :

$$e = \pm \frac{\sum v_i}{n}$$

L'erreur moyenne quadratique e_q est calculée à partir de la somme des carrés des écarts et donne une plus forte importance aux fortes erreurs :

$$e_q = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}$$

La tolérance T que l'on accepte sur une détermination est fixée au triple de e_q :

$$T = \pm 3 e_q$$

Les déterminations qui, par rapport à D, s'en écartent d'une valeur supérieure à T sont éliminées ; finalement, l'erreur moyenne e et de la valeur probable D résultant de n déterminations est égale au quotient de l'erreur quadratique par la racine carrée du nombre de déterminations :

$$e = \pm \frac{e_q}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}}$$

La détermination d'une grandeur procède souvent d'un certain nombre n de déterminations élémentaires entachées d'erreurs quadratiques e_{q1}, e_{q2}, \dots , l'erreur E sur la détermination sera :

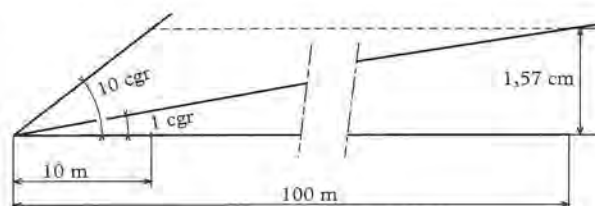
$$E = \pm \sqrt{e_{q1}^2 + e_{q2}^2 + \dots}$$

et si les erreurs quadratiques ont le même ordre de grandeur, on pourra écrire :

$$E = \pm e_q \sqrt{n}$$

Les erreurs de mise en station, de pointé et de déterminations angulaires

L'erreur de positionnement de l'appareil sur le point de station, de même que l'erreur de pointé sur un signal disposé sur le point visé, jouent un rôle important dans les erreurs angulaires de nos relevés d'architecture du fait de la faible portée des visées ; généralement, moins de 50 m mais bien souvent inférieures à 20 m.



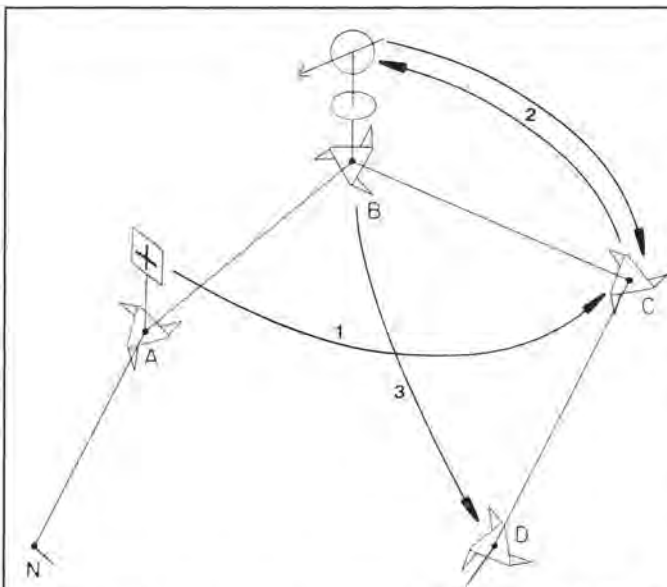
Prenons l'exemple d'un angle très petit de 1 cgr ; à 100 m, cet angle sera représenté par un segment de 15,7 mm ; à 10 m par 1,57 mm ; inversement, un segment de 1,57 cm sera vu à 100 m sous un angle de 1 cgr mais à 10 m sous un angle de 10 cgr ; les erreurs de mise en station et de pointé reposent sur ce même principe et il en résulte que plus les visées sont courtes plus ces erreurs jouent un rôle important et qu'il convient donc pour les relevés d'architecture, avec des lignes polygonales ou des visées de rayonnement très courtes, de soigner à quelques millimètres le repérage des points faisant l'objet de visées et les mises en station.

Une mise en station à 5 mm près et une visée à 2 mm³¹⁰ près correspondront à une résultante de décalage :

$$E = \pm \sqrt{5^2 + 2^2} = \pm 5,5 \text{ mm}$$

Ce décalage linéaire pour une longueur de visée de 15 m sera l'équivalent de 23,3 mgr et l'écart sur la mesure d'un angle entre deux visées atteindra 33 mgr. Ces erreurs répercutées ensuite sur des points spécifiques de l'édifice risquent d'induire, si on n'y prend pas garde, des hypothèses de désorientements qui pourront fausser l'analyse de l'architecture.

Il est donc nécessaire pour les types de polygonations "architecturales" de signaler les points de station par des gravures fines, de les désigner lors des visées par une fiche, ou le fil à plomb stabilisé³¹¹ de viser le plus bas possible pour éviter des erreurs supplémentaires de verticalité et, évidemment, de soigner la mise en station à 1 ou 2 mm près. La méthode la plus adaptée consiste à recourir au centrage forcé, ce qui implique un équipement complémentaire de trépieds, de mirettes et embases. Des trépieds sont



disposés sur quatre stations successives A, B, C, D; en A, on fixe une embase et la mirette; en B, le théodolite sur son embase; en C et D, une embase; lecture en B/A et transfert de la mirette de A en C; lecture en B/C; sans bouger les embases, inversion du théodolite de B en C et de la mirette de C en B; lecture en C/B; transfert de l'embase et de la mirette en D; lecture en C/D;... Les trépieds en A et B ne seront enlevés qu'après la visée effectuée de la station A.

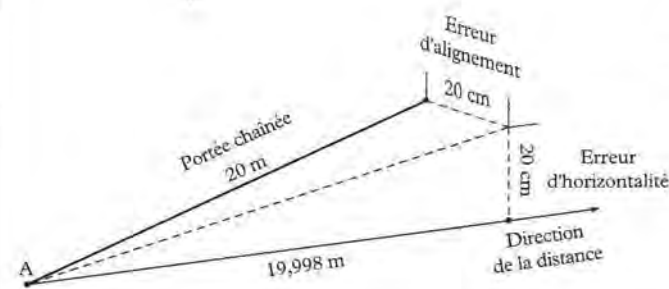
Pour le rayonnement, il importe que les mesures angulaires et les mesures de distances se fassent sur les mêmes points; aussi est-il bon de repérer ceux-ci par des marques légères à la craie.

Les erreurs de chaînage

L'erreur sur une longueur mesurée avec une portée de chaîne (de ruban) peut être fixée à ± 1 cm en terrain facile, à ± 2 cm en terrain difficile. Cette erreur résulte d'une multiplicité d'erreurs : l'erreur systématique d'étalonnage, l'erreur météorologique (qui prend en compte la différence de température avec la température d'étalonnage), l'erreur de chaînette (qui provient d'une traction différente de celle prévue à l'étalonnage),³¹² l'erreur d'horizontalité et d'alignement³¹³ demeurent négligeables; l'erreur de coïncidence et de marque (les extrémités du chaînage) restent les plus importantes, surtout en cas de chaînage suspendu.

Pour un chaînage de n portées, l'erreur prévisible est :

$$E = \pm 1 \text{ à } 2 \text{ cm } \sqrt{n}$$



L'écart acceptable entre deux déterminations de la même longueur ne devra pas dépasser $T = \pm 3 E$.

L'erreur moyenne de la moyenne des déterminations acceptables sera égale à E.

Par exemple, sur un chaînage de 50 m environ, mesuré avec un ruban de 20 m, il y aura trois portées et l'erreur E sera d'environ ± 2 cm.

L'erreur graphique

L'erreur graphique correspond à l'écart minimum perceptible à l'œil entre deux traits; elle est constante pour chaque observateur entre $\pm 0,1$ mm et 0,2 mm.

Sur une distance mesurée avec un double décimètre sur un dessin, on commet cette erreur graphique deux fois, à la coïncidence de l'origine de la règle et de l'origine de la distance, à la coïncidence de l'extrémité de la distance et des graduations de la règle; s'ajoute à ces erreurs, l'erreur d'estimation dans le millimètre entre deux traits gravés. L'erreur résultante, selon la qualité de l'observateur et celle du dessin, est donc de l'ordre de $\pm 0,3$ mm (de 0,1 à 0,2 mm que multiplie $\sqrt{3}$).

Si l'on ne tient pas compte du jeu du papier (qui peut être considéré comme nul avec des matériaux stables comme les calques plastiques ou les couches à graver), cette erreur doit être mise à l'échelle de la rédaction du document pour donner l'erreur réelle de mesurage e :

à 1/50 : e = $\pm 1,5$ cm; à 1/100 : e = ± 3 cm.

C'est donc, si l'opérateur veut être logique, la précision avec laquelle les éléments auront dû être mesurés sur le terrain.

L'erreur relative, c'est-à-dire le rapport à la taille du détail significatif, devra fixer l'échelle du document : à l'échelle 1/100 sur un élément de 10 m, l'erreur relative sera de 3/1000 et tombera à 3/50 pour un élément de 50 cm. Il ne faudra donc pas imaginer mesurer, sur un relevé à 1/100, des détails de modénature, des largeurs de pilastres, ... Si tel était le but de la commande du relevé, la rédaction devra s'effectuer à une échelle plus grande après que les mesures aient été prises de manière plus précise.

Ces observations sur l'erreur graphique posent ainsi deux problèmes :

- la nature hétérogène des renseignements dimensionnels que peut offrir un document et donc le souci dans des relevés d'architecture de diversifier les échelles,

- la relation étroite qui doit exister entre l'échelle du dessin et les outils et méthodes de mesurage. L'échelle 1/100 avec sa précision graphique de ± 3 cm est bien adaptée à la précision de relevés menés par photogrammétrie (pour les élévations et les coupes) ou à l'aide du théodolite et des méthodes affirmées de la polygonation, du rayonnement et des quasi-hauteurs; si cette échelle assure, pour les grandes dimensions et pour la mise en place des éléments du décor, de la modénature, ... une précision de lecture suffisante, il sera vain de vouloir définir des détails trop petits qu'il faudra traiter à d'autres échelles. A contrario, avec ce type de relevés, la rédaction à des échelles plus grandes sera illusoire car elle induira des possibilités de mesurages graphiques erronés et, à des échelles plus petites, elle ne reflètera pas les exigences trop grandes du relevé et constituera donc un gâchis dans l'utilisation des moyens topographiques.

3. Définition topométrique du point dans l'espace : les instruments

Les instruments qui vont rendre possible la définition du point dans l'espace vont devoir :

- fixer le plan de référence,
- mesurer des angles,
- mesurer des distances.



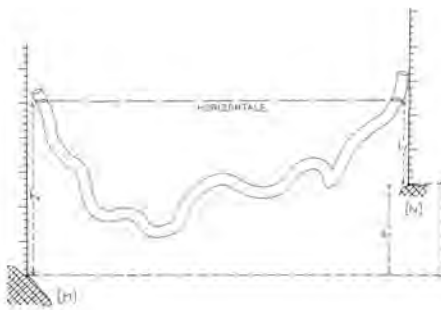
Niveau à bulle et à pinnules. IGN.

3.1. Le plan de référence : l'horizontale et la verticale

3.1.1. L'horizontalité

Sur le terrain, le plan adopté sera horizontal pour des raisons de commodité technique.

D'une part, l'image de ce plan nous est donnée par la surface d'un liquide au repos et c'est la surface de la mer qui sert d'origine au mesurage des altitudes (cf. Fiche 4), d'autre part, c'est le plan immédiatement perçu physiologiquement par l'homme. Par ailleurs, le repérage de l'horizontalité peut se faire à l'aide d'instruments simples :



Le niveau d'eau

Dans un tuyau incomplètement rempli d'eau, celle-ci, sous la pression atmosphérique, s'équilibre à la même altitude aux deux extrémités (qui ne doivent pas être bouchées). Il est donc facile à l'aide d'un tel instrument de matérialiser une horizontale (sur un mur par exemple) ou de mesurer la différence de niveau entre deux points [M] et [N] en fixant les extrémités du tuyau au-dessus de ces points (ou en-dessous) et en mesurant à l'aide d'un mètre rigide les distances verticales h_1 et h_2 à ces points. La différence de niveau d_n est égale à la différence algébrique $h_1 - h_2$.

Des niveaux d'eau plus élaborés permettent de mesurer avec une grande précision (le 10^e de millimètre) des différences de niveau ; le procédé ne peut s'appliquer qu'à des étendues relativement faibles.

Le niveau de maçon

Dans une fiole hermétique incomplètement remplie de liquide, la bulle d'air, sous la pression du liquide qui s'équilibre, occupe la position supérieure de la fiole ; cette position est repérée sur la fiole par des gravures symétriques entre lesquelles on "cale" la "bulle" au centre ; par construction, la tangente à cette position supérieure, la directrice est parallèle au support de la fiole qui définit une horizontale quand la bulle est calée. Le niveau de maçon, suffisant pour construire un mur, est néanmoins trop imprécis pour effectuer des mesures.

La nivellette du topographe

Elle répond à des nécessités de précision beaucoup plus grande ; remplie d'un mélange d'alcool et d'éther, la fiole est de forme sphérique ou torique :



Niveau à lunette et à bulle réglable sur quatre vis calantes; Chezy, 1780. IGN.

La nivelle sphérique, en général moins précise, permet¹⁷ directement d'assurer un calage approché du plan-support puisque la directrice n'est pas seulement une droite mais un plan tangent.

La nivelle torique¹⁸ est la plus précise; la directrice permet de définir une horizontale; reliée à une lunette de visée, elle permet de viser horizontalement (à la condition que, par construction ou par fixation, la directrice soit parallèle à l'axe optique de la lunette); posée ou fixée sur un plan support (planchette ou platine d'appareil), elle permet d'en assurer l'horizontalité en définissant une, puis deux horizontales perpendiculaires (cf. Fiche 5 : le calage des nivelles).

3.1.2. Le fil à plomb et la canne à plomber, le pendule et le plomb optique

Chacun de ces instruments définit la verticale de son point de suspension.

Le fil à plomb est composé d'une masse métallique suspendue à un fil qui passe par son axe de symétrie; dans la canne à plomber et le pendule, le fil est remplacé par une tige rigide; le fil à plomb, la canne à plomber matérialisent sur le terrain la



projection verticale du point [A]; tous les points situés sur cette projection verticale auront la même représentation dans le plan horizontal de référence; le fil à plomb et la canne à plomber ont donc pour fonction de hausser ou d'abaisser le point [A] de façon à le rendre visible ou à permettre sa fixation. Ainsi, le centre de l'appareil sera-t-il descendu au sol et matérialisé (piquet, gravure, borne, ...) par le fil à plomb; inversement, ce point matérialisé (piquet, gravure, borne, ...) sera-t-il haussé à l'aide du fil à plomb ou de la canne à plomber pour centrer l'appareil sur la verticale de ce point et permettre la visée, ou le mesurage horizontal de la distance séparant ce point d'un autre point.

Le pendule et le plomb optique sont des dispositifs intégrés à un certain nombre d'instruments modernes et qui ont pour fonction de fixer automatiquement horizontales et verticales :

- Dans la lunette de visée de certains niveaux — dits automatiques — un dispositif pendulaire supportant un prisme rend les visées horizontales en corrigeant l'inclinaison des rayons lumineux.

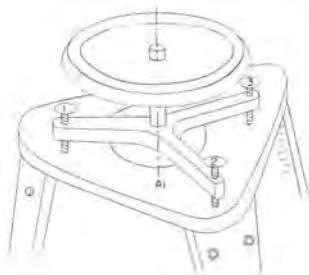
- Certains théodolites disposent également d'un système pendulaire qui rend l'origine de la mesure des angles verticaux, horizontale — ou verticale —.

- Beaucoup d'instruments disposent d'un plomb optique qui permet de matérialiser la verticale du centre de l'instrument à l'aide d'une lunette d'observation ; le rayon lumineux qui traverse un prisme fixé sur un système pendulaire est renvoyé verticalement vers le sol ce qui facilite la mise en station de l'appareil (cf. Fiche 5).

3.1.3. Référence planimétrique des instruments topographiques

Tous les instruments topographiques disposent de la possibilité de repérage du plan horizontal et de la verticale de station.

Par construction, toutes les parties de l'appareil, et notamment la lunette de visée, sont liées perpendiculairement à un axe principal A_1 et s'inscrivent, l'instrument étant en station, dans un système d'axes et de plans horizontaux ou verticaux. L'embase de l'instrument comprend un système de fixation au trépied, constitué d'un triangle à vis calantes. L'axe principal de l'instrument est rendu vertical lors de la mise en station par référence à une nivelle ; la position de cet axe peut être matérialisée au sol par l'intermédiaire d'un fil à plomb ou d'un plomb optique.



3.1.4. Le niveau du topographe

Il est composé d'une lunette d'approche dont l'axe optique est matérialisé par une gravure sur une plaque réticulaire ; par construction — ou par réglage —, cet axe optique est perpendiculaire à l'axe principal A_1 ; la lunette pivote autour de l'axe principal A_1 de l'instrument dans un plan qui lui est perpendiculaire. L'horizontalité du plan de rotation de l'axe de la lunette et des visées est assurée par une nivelle dont la directrice est parallèle à l'axe optique (et/ou par un système pendulaire).

Les visées sont effectuées sur des règles rigides et graduées, les mires, disposées verticalement sur les points dont on veut connaître la différence de niveau avec le plan horizontal de visée.



Niveau à lunette et à bulle réglable sur trois vis calantes ; D'Egault, 1809. IGN.



Le niveau de chantier; Wild NK0.



La lecture sur la mire est directe ; la différence de niveau d_n du point [A] par rapport aux points [B], [C], ... s'effectue par différence algébrique des lectures sur les points [A], [B], [C], ... : h_A, h_B, h_C .

$h_A - h_B =$ différence de niveau [B] par rapport à [A].

Le plan horizontal de visée peut donc être quelconque comme le point de station de l'instrument.

3.2. La mesure des angles

Les angles sont mesurés dans le plan horizontal — fixation planimétrique du point — ou vertical — fixation altimétrique du point —.

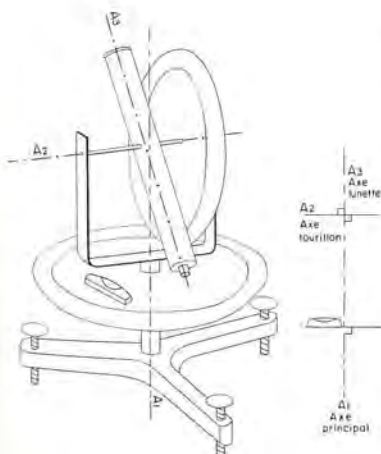
3.2.1. Les instruments de mesure des angles : le théodolite

Certains niveaux topographiques sont équipés de "cercles horizontaux" mais leur précision est faible (de l'ordre du demi-grade ou du décigrade) et l'horizontalité de la lunette ne permet le mesurage des angles horizontaux que sur des points altimétriquement proches du plan horizontal de visée.

Il existe également des instruments appelés cercles d'alignement qui permettent exclusivement la mesure des angles horizontaux mais l'instrument universel qui convient plus particulièrement aux relevés d'architecture est le théodolite ; il permet la mesure d'angles horizontaux et d'angles verticaux.

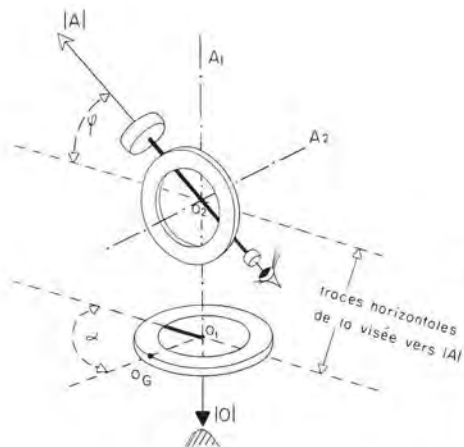
Le principe en est simple : la lunette de visée de l'appareil est couplée avec des index qui se déplacent avec elle et selon les mêmes amplitudes devant des cadrans horizontaux et verticaux gradués en unités d'angles.

Pour décrire l'espace, l'axe A_3 de la lunette doit pivoter autour d'un axe vertical A_1 (comme la lunette du niveau) mais également autour d'un axe horizontal appelé axe de tourillonnement A_2 ; l'axe A_3 de visée de la lunette sera perpendiculaire à cet axe A_2 et décrira un plan vertical passant par l'axe principal ; les axes, principal, de tourillonnement et de visée, sont sécants en un point O_2 dont la situation peut être matérialisée au sol par l'intermédiaire du fil à plomb ou du plomb optique de l'embase.





Théodolite avec déclinaire; Chasselon, 1860. IGN.



Par construction, la lunette repose par l'intermédiaire de tourillons (qui matérialisent l'axe de tourillonnement) sur les branches d'une lyre qui pivote dans l'embase autour de l'axe principal. L'ensemble lyre/lunette constitue l'alidade de l'appareil.

Les angles horizontaux

L'alidade comporte un index (ou un système annexe de visée) qui décrit un cercle centré sur l'axe principal et solidaire de l'embase, le cercle horizontal. Ce cercle comporte un limbe annulaire gravé de 0 à 400 grades — ou 0 à 360° ... — dont l'orientation reste fixe tandis que l'alidade décrit l'ensemble des directions de l'espace — l'angle horizontal entre deux positions de la lunette est donc mesuré par la différence de deux lectures faites sur le limbe gradué. Des verniers ou des micromètres permettent d'affiner la précision de lectures (décimilligrade ou seconde sexagésimale par exemple).

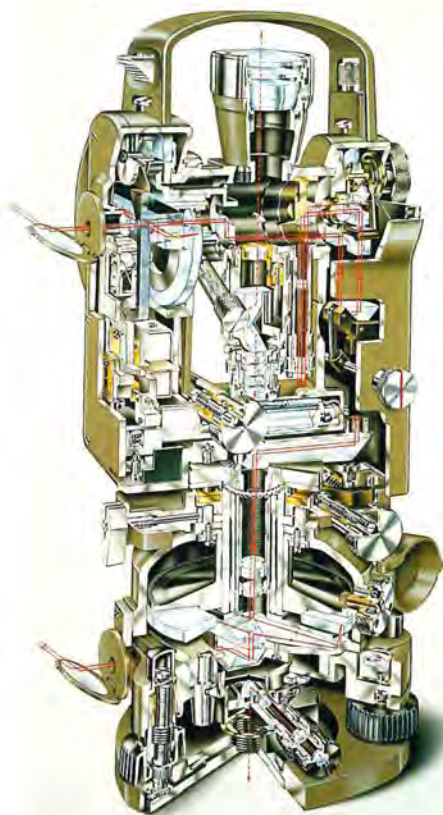
Les angles verticaux

L'un des tourillons comporte un index (ou un système annexe de visée) qui décrit un cercle centré sur l'axe des tourillons et solidaire d'une des branches de la lyre. Ce cercle dit vertical comporte un limbe annulaire gravé de 0 à 400 grades — ou 0 à 360° ... — dont le diamètre 0 - 200 grades — ou 0 - 180° — est vertical — ou horizontal — ; l'inclinaison de l'axe de visée de la lunette par rapport à la verticale de station — ou l'horizontale — est donc lue directement sur le limbe gradué. Des verniers ou des micromètres permettent d'affiner la précision de la lecture (décimilligrade ou seconde sexagésimale par exemple).

L'utilisation du théodolite

L'instrument repose, par l'intermédiaire de son embase, sur un trépied. Une nivelle permet de rendre l'axe principal vertical ; l'axe de tourillonnement est donc rendu horizontal et le plan que décrit la lunette autour de cet axe est vertical.

A l'aide du réticule de la lunette on vise un point et l'on effectue alors la lecture d'angle horizontal et la mesure de l'angle vertical qui avec la position du point de station, fixent dans l'espace la position de la visée. L'instrument permet également, dans certaines conditions d'utilisation de mesurer la distance entre le point de station et le point visé, la distance horizontale, et la différence de niveau (cf. 3.3.3.).



Les chemins optiques dans le théodolite Wild T2.

3.2.2. Les règles alidades et les tachéomètres

Un certain nombre d'appareils ont pour principe de base la fixation dans l'espace de visée mais leur conception est différente du théodolite et leur utilisation doit être strictement limitée à la topographie et aux relevés à petite échelle (à partir du 1/500^e pour les tachéomètres et du 1/2000^e pour les règles alidades).

Les règles alidades

Ce type d'instrument est utilisé posé sur la planchette sur laquelle il matérialise directement la projection horizontale des visées effectuées.

Il est constitué d'une lunette pouvant pivoter dans un plan vertical : lunette fixée sur une règle que l'on fait pivoter autour d'un point dessiné sur la planchette et matérialisant le point de station. Les angles horizontaux ne sont donc pas mesurés mais enregistrés graphiquement avec une précision très faible (environ 5 décigrades). La rotation de la lunette dans le plan peut être constatée par la mesure de l'angle vertical ou de la pente de la visée (quotient de la différence de niveau à la distance horizontale); là encore, la précision reste très faible (1 décigrade environ).

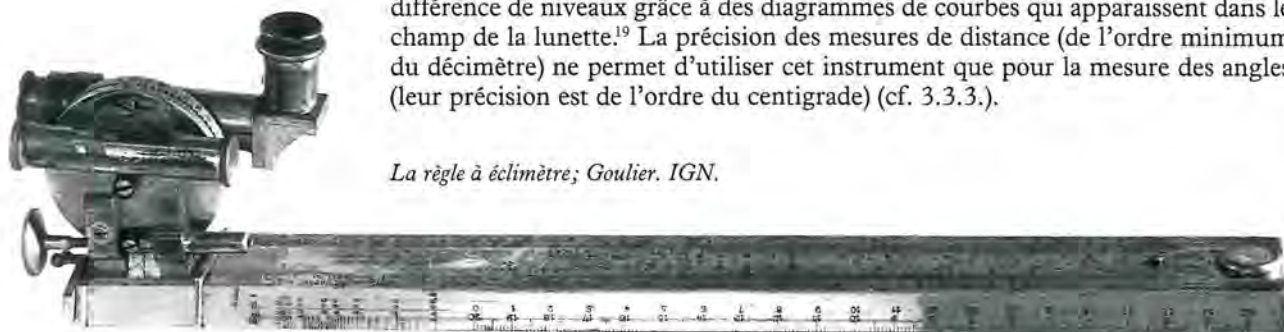


Le relevé à la planchette. Ludovico Perini, Geometrica pratica, Venezia, 1757.

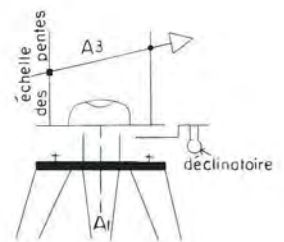
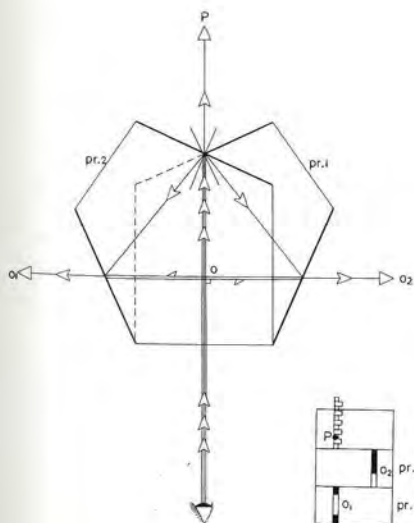
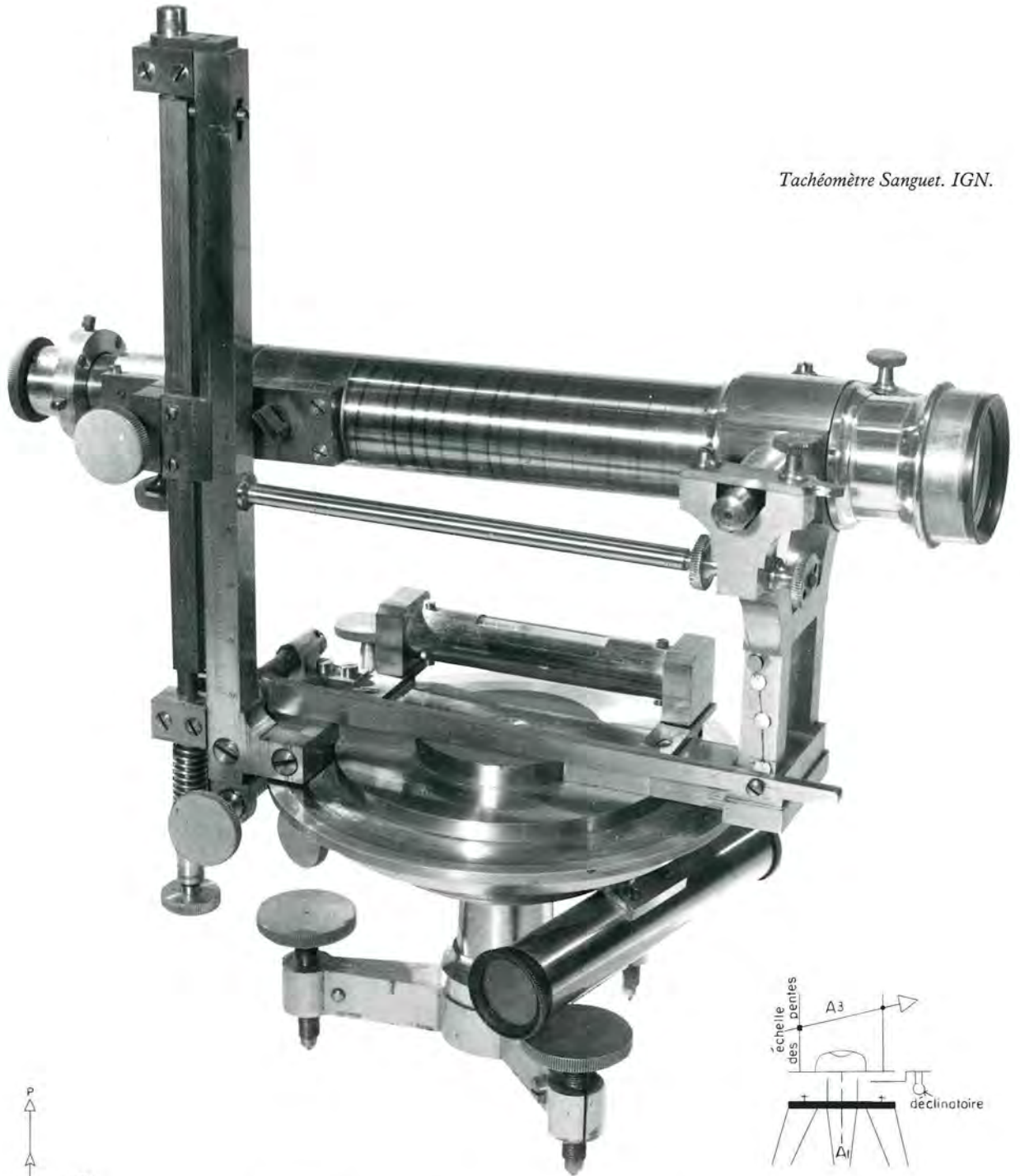
Le réticule de la lunette permet, outre la visée, de mesurer les distances au-delà de 25 m environ avec une précision qui ne convient qu'à des relevés à petites échelles. La conception de cet instrument permet de suivre graphiquement le travail de relevé. Mais la précision trop faible et la manipulation délicate doivent proscrire son utilisation aux grandes échelles.

Les tachéomètres

Ce type d'instrument très proche du théodolite permet toujours la mesure des angles horizontaux ; la mesure des angles verticaux est parfois remplacée par la mesure des pentes. Il permet de lire sur une mire la distance horizontale et la différence de niveaux grâce à des diagrammes de courbes qui apparaissent dans le champ de la lunette.¹⁹ La précision des mesures de distance (de l'ordre minimum du décimètre) ne permet d'utiliser cet instrument que pour la mesure des angles (leur précision est de l'ordre du centigrade) (cf. 3.3.3.).



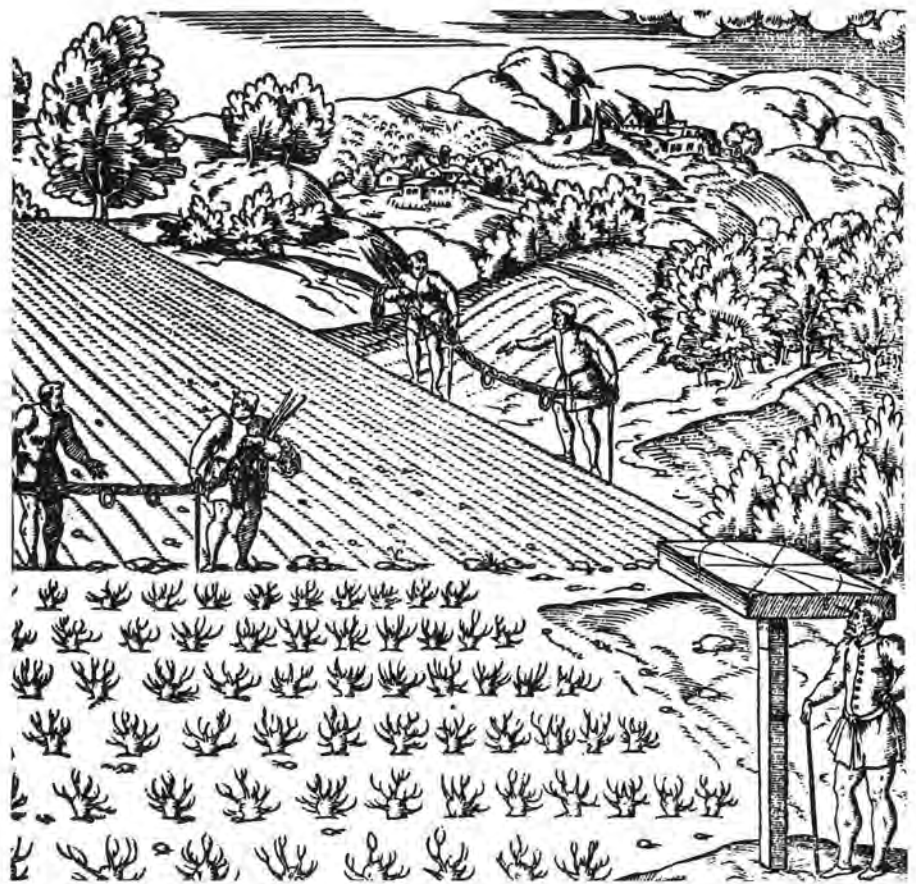
La règle à éclinètre; Goulier. IGN.



3.2.3. L'équerre optique d'alignement

Cet instrument ne mesure pas à proprement parler les angles mais sa conception permet l'implantation d'angles droits. Le principe est le suivant : la visée est réfractée et réfléchiée par un prisme de telle sorte que sa direction de sortie forme un angle droit avec sa direction d'entrée.

L'instrument comporte deux prismes superposés maintenus dans un boîtier qui présente à sa base un système d'accrochage pour le fil à plomb ou la canne à plomber. Il permet d'aligner entre deux éléments fixes (deux jalons par exemple) la projection orthogonale d'un troisième élément (un détail de relevé). Cet instrument est dépourvu de système de visée ; son utilisation est liée à la vue de l'opérateur ; au-delà de 10 m, la précision de l'alignement et de l'implantation de l'angle droit décroît beaucoup.²⁰



Le chaînage. Jean de Merliers, La pratique de géométrie descriptive et démontrée, Paris, 1575.

3.3. La mesure des distances

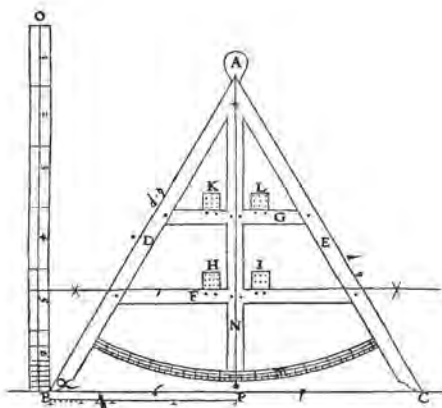
3.3.1. Mesure directe des distances horizontales

La mesure directe de la distance horizontale entre [A] et [B], "le chaînage," se fait en déplaçant horizontalement dans le plan vertical passant par [A] et [B] un étalon de mesure, règle, ruban, ...

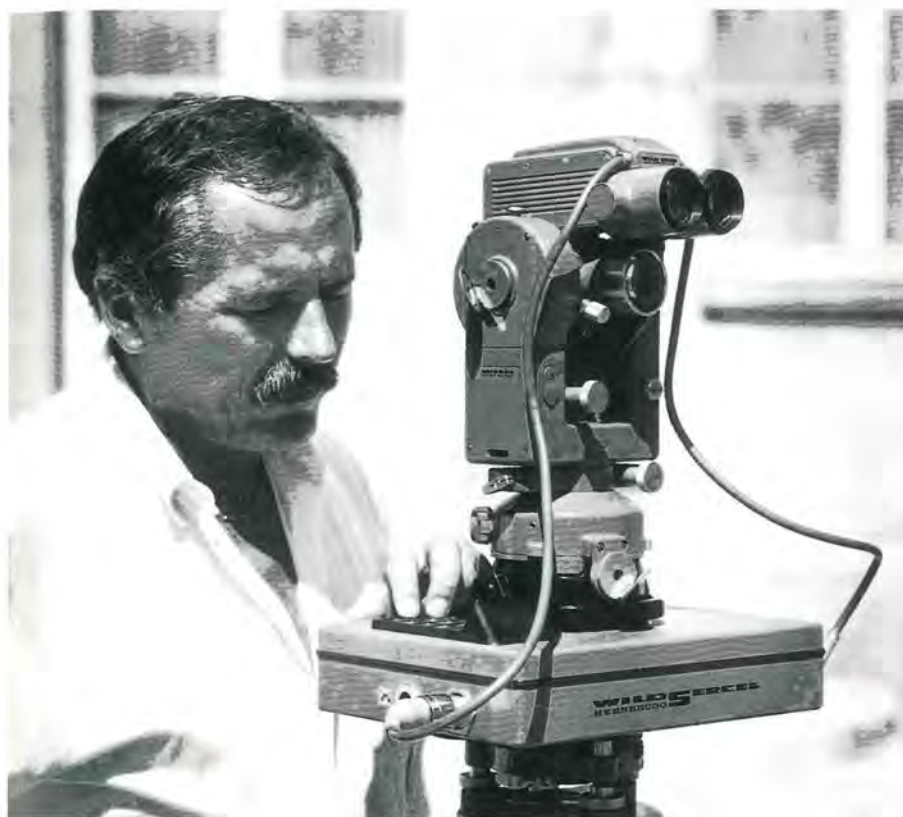
L'opération de chaînage doit respecter l'alignement entre [A] et [B] ; l'horizontalité du déplacement de l'étalon permet de connaître directement la distance AB : c'est le chaînage horizontal ; dans le cas contraire, le chaînage est effectué selon la pente [A][B] et la distance AB est obtenue par le calcul (en connaissant l'inclinaison de [A][B]).

L'instrument utilisé peut être soit un double-mètre rigide ou pliant, soit un ruban métallique ou en fibre de verre de 2 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m ou 50 m.²¹ La précision de la mesure est liée principalement au nombre de reports de l'étalon ; elle est de 1 à 2 cm pour une mesure égale ou inférieure à l'étalon (quelle que soit sa longueur) et de $[(1 \text{ à } 2 \text{ cm}) \sqrt{n}]$ pour une mesure nécessitant n reports de l'étalon (cf. Fiche 3).

La technologie moderne a mis au point un instrument, le distancemètre, qui mesure les distances par le comptage de fréquences de modulation d'ondes de lumière laser. La mesure est effectuée entre l'instrument et un réflecteur. Les mesures donnent la distance suivant la pente et calculent la distance horizontale et la différence de niveau. La précision est de l'ordre du demi-centimètre quelle que soit la distance mesurée. Le distancemètre permet la lecture des angles horizontaux



Pour mesurer les distances, le triangle à pendule de Philibert Delorme, Architecture, Paris, 1648.



*Distancemètre et théodolite;
Wild DI 3s et T2.*



*Théodolite électronique;
Wild Tachymat TC 1600.*

et verticaux, soit directement soit indirectement (par l'intermédiaire d'un théodolite). Son utilisation, liée au déplacement du réflecteur, apparaît limitée pour les relevés d'architecture mais riche de possibilités pour les opérations menées en terrain naturel (quadrillage de fouilles par exemple) ou nécessitant des points nodaux nombreux (opération photogrammétrique de grande importance).

Des théodolites automatiques enregistrent dorénavant, une fois la visée effectuée sur un réflecteur posé sur un point, distance oblique, dénivelée et distance horizontale d'une part, angles horizontal et vertical, d'autre part. Cet enregistrement est traité directement par des systèmes informatisés de calcul et de report graphique. L'inconvénient reste l'utilisation d'un réflecteur, ce qui limite les possibilités de mesurage aux points accessibles; dès à présent, des distancemètres fonctionnent sans réflecteur mais avec une précision plus faible et surtout plus aléatoire.²² En effet, le décalage qui existe sur la plupart des instruments, entre la lunette de visée et les lunettes d'émission et de réception de l'onde introduit une parallaxe qui fausse l'identification précise du point. C'est cette même imprécision dans la définition des origines de la mesure (et des orientations) qui rend les mètres ultrasoniques inefficaces pour le relevé régulier de l'architecture.²³

3.3.2. Mesure directe des distances verticales

La mesure directe de la distance verticale de deux points, situés ou non sur la même verticale, peut s'effectuer à l'aide du niveau de topographe et par lectures directes sur la mire (cf. 4.4.) : c'est le nivellement.

Pour les relevés d'architecture, cette mesure directe peut être obtenue au ruban tendu verticalement; mais le plus souvent elle reste impossible ou imprécise (hauteur d'une corniche, d'une clef de voûte...).

3.3.3. Mesure indirecte des distances horizontales

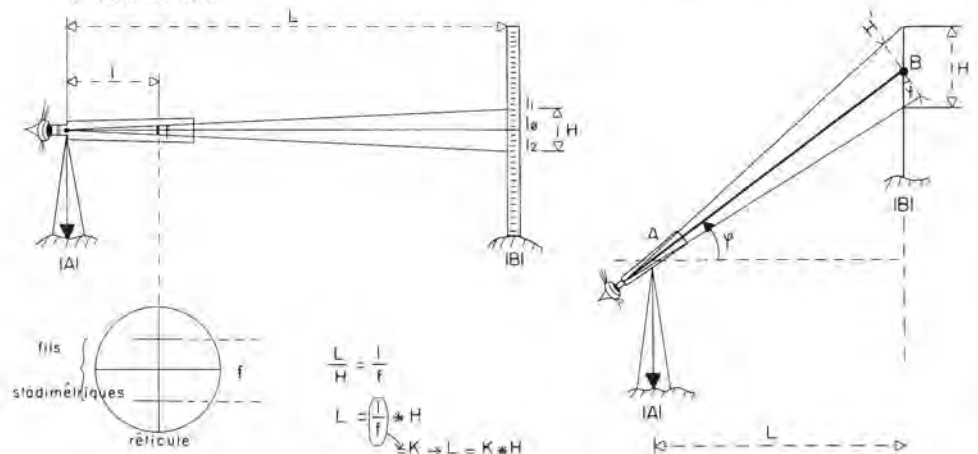
Mesure stadimétrique des distances horizontales

Un certain nombre d'appareils sont conçus pour mesurer indirectement les distances à partir de lectures effectuées sur une mire. La précision des mesures obtenues par ces instruments les destine généralement à des relevés à des échelles plus petites que le 1/500^e. Nous citons ces appareils pour mémoire puisqu'il n'est pas possible de les utiliser pour des relevés corrects d'architecture.

Le réticule de la lunette comporte, en plus de la matérialisation de l'axe de visée, deux traits gravés appelés traits stadimétriques qui découpent sur une mire parlante²⁴ une section que l'on peut mesurer par différence des deux lectures. L'intervalle entre les deux traits est fixé de façon telle que l'axe de visée étant perpendiculaire à la mire, la mesure de la longueur de visée [L] soit dans un rapport simple, K (50 ou 100) avec la longueur H mesurée sur la mire. On a [L] = K × H.

Mais sur le terrain, si la mire est tenue verticalement, la visée n'est pas forcément horizontale ; la réduction, perpendiculaire à la visée, du segment intersecté sur la mire et la projection à l'horizontale de la longueur de la visée sont nécessaires. Si φ est l'angle vertical mesuré entre la visée et l'horizontale de station, on obtient la distance L, projection horizontale de la longueur de la visée, par la formule²⁵ : $L = K \times H \times \cos^2 \varphi$.

Pour des visées inférieures à 100 m, il est possible d'estimer sur la mire jusqu'au millimètre ; la distance s'en déduisant par multiplication, par 50 ou 100. Il est facile de conclure que l'erreur sur les distances inférieures à 100 m ne peut être inférieure à 5 ou 10 cm.



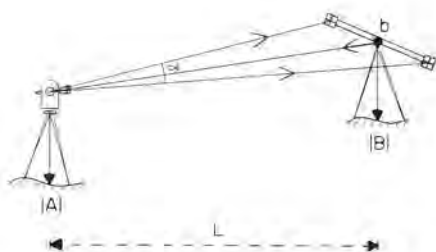
Mesure géométrique des distances horizontales

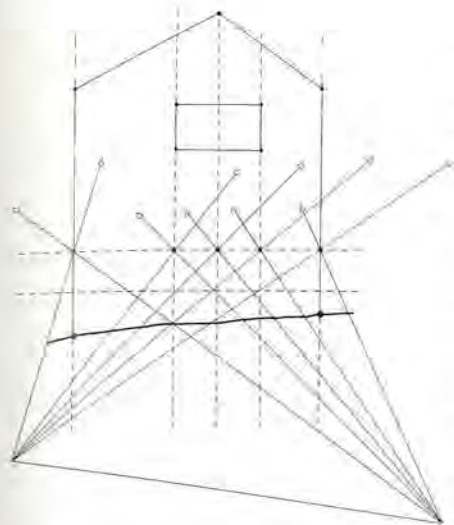
Avant l'apparition des distancemètres, le topographe à l'aide d'un théodolite mesurait l'angle horizontal correspondant aux extrémités d'une mire de longueur constante, la stadia disposée horizontalement au-dessus d'un point. La mire d'une longueur b, connue à 1/10^e de millimètre près, disposait d'un système de visée qui la rendait perpendiculaire à la distance à mesurer. Si l'on appelle α l'angle mesuré entre les deux voyants,

$$\text{on a la longueur } L = \frac{b}{2} \times \cotg \frac{\alpha}{2}$$

b étant le plus souvent égal à 2 mètres,

$$\text{on obtient : } L = \cotg \frac{\alpha}{2}$$





que l'on peut lire directement dans une table de valeurs naturelles. La précision de la distance est fonction de la précision de la mesure d'angle ; avec un instrument mesurant le décimilligrade (théodolite T2), l'erreur sur une longueur de 50 mètres est de l'ordre de 6 mm, sur une longueur de 100 m elle est de l'ordre de 25 mm (elle croît en fonction du carré de la distance mesurée).

Ce procédé devenu archaïque n'était pratiquement pas utilisable pour les relevés d'architecture en raison du stationnement nécessaire de la mire sur le point.

Par contre, les procédés topographiques utilisés pour mesurer la distance d'un point inconnu à des points connus par la mesure des angles et le calcul, par résolution trigonométrique de triangles, restent fort utiles pour le relevé d'architecture et notamment pour les élévations puisqu'ainsi, se trouvent fixés, dans l'espace, des points inaccessibles. Le procédé, par intersection, consiste à viser, de deux points connus, un point inconnu et à résoudre le triangle à partir des angles horizontaux et verticaux mesurés et de la longueur entre les deux points connus (cf. 4.5.).

Mesure télémétrique des distances

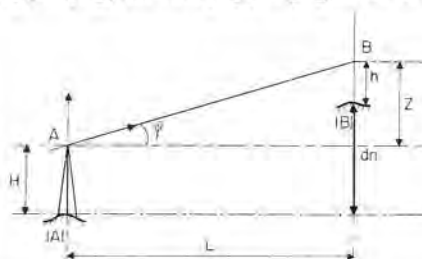
Les télémètres ne pouvaient être utilisés pour les relevés d'architecture ; en effet, malgré l'avantage qui résultait des possibilités offertes de mesures sur des points inaccessibles, leur précision était beaucoup trop faible ; l'apparition des théodolites automatiques et des distancemètres les a rendus caducs.

3.3.4. Mesure indirecte des distances verticales

La mesure indirecte de la distance verticale — la différence de niveau d_n — séparant deux points [A] et [B] s'effectue par le calcul à partir de la mesure de l'angle vertical sous lequel, à partir de [A] (ou [B]), on voit [B] (ou [A]) et de la distance horizontale L entre [A] et [B].

On a : $d_n = L \times \text{tg } \varphi$.

La valeur de la tangente variant de 0 à 1 quand l'angle varie de 0 à 50 grades puis de 1 à l'infini quand il varie de 50 à 100 grades, ce procédé est d'autant plus précis que la visée est proche de l'horizontale ; en effet, au-delà de 50 grades l'erreur commise sur la distance L est amplifiée par la tangente. Pour l'architecture, l'opération s'effectue d'une station 0 à l'aide d'un théodolite ; on rayonne sur une série de points [A], [B], [C], ..., pour lesquels on mesure l'angle vertical $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C, \dots$ et les distances horizontales L_A, L_B, L_C , qui séparent ces points de la station 0 (par mesure directe ou indirecte). La mesure des différences de niveau entre [A] et [B], [A] et [C], ... s'effectue par soustraction algébrique des différences de niveau calculées par rapport à l'appareil.



On a : $d_n B/A = L_B \times \text{tg } \varphi_B - L_A \times \text{tg } \varphi_A$.

Ce procédé est souvent le seul possible pour mesurer des différences de niveau entre points inaccessibles (cf. 4.5.).

Un certain nombre d'instruments — comme les clisimètres — reposent sur ce principe à la nuance que la valeur de l'angle est remplacée par sa tangente — sa pente — ; le produit par la distance donne donc la différence de niveau entre le point visé et l'observateur. L'imprécision de ces instruments, réservés aux levés à petite échelle, les proscrirent des relevés d'architecture pour lesquels ils ne pourraient donner que des indications grossières.

Les références du plan horizontal et de l'orientation

Tout relevé débute par la fixation de références : plans de projection et direction privilégiée servant d'origine à la mesure des angles.

Le plus souvent, lors des relevés d'architecture,³¹⁴ la fixation des plans de projection est tacite et implicite ; plans au sol, élévations s'appuient sur une surface non déterminée géométriquement et qui passe par les éléments significatifs.

Les références du plan horizontal et le nivellement général de la France

Pour le nivellement, un plan de référence strict doit être adopté à partir duquel s'effectueront les mesures d'écart vertical.

Pour un édifice, ce plan de référence doit être impérativement unique mais il peut être choisi arbitrairement ou de manière absolue.

De manière arbitraire, cela veut dire que le plan est donné comme passant par un point particulier de l'édifice qui sert d'origine.³¹⁵ Ce point doit être stable, facilement repérable et accessible ; stable, cela signifie qu'il ne risque pas d'être modifié dans le temps ou par des travaux, facilement repérable qu'il n'y a pas de doute sur son identité, et accessible qu'il est sans difficulté un point de départ pour des mesures ultérieures. Ce peut être un seuil³¹⁶ ou l'appui d'une baie basse, ..., ou un point matérialisé pour l'occasion.³¹⁷

Lorsque l'édifice comprend plusieurs bâtiments ou qu'il s'agit de repérer des bâtiments éloignés les uns des autres, il convient de fixer

le plan de manière absolue, c'est-à-dire en altitude repérée par rapport au nivellement général de la France ; l'origine, l'altitude "0" est fixée par le niveau moyen des océans au repos supposé prolongé sous les continents.³¹⁸

Des appareils analysent en permanence les variations de niveau de la mer ; médimarémètres et marégraphes enregistrent régulièrement les mouvements de marées et en déduisent un niveau moyen qui varie avec le temps et le lieu. Il a donc fallu adopter un niveau conventionnel qui est matérialisé à Marseille dans l'observatoire de l'anse Calvo et qui sert de repère fondamental pour la France depuis 1885.



400 000 repères répartis sur tout le territoire sont scellés notamment sur des édifices publics (églises, écoles, mairies, ...). Comme les opérations de nivellement général ont été faites à différentes époques,³¹⁹ les altitudes qui, parfois, figurent sur les repères, doivent être contrôlées en consultant à l'Institut géographique national les répertoires mis à jour des repères du Nivellement général de la France.



Graphomètre à échelle transversale; Langlois, 1780. IGN.

Les nords et les références azimutales

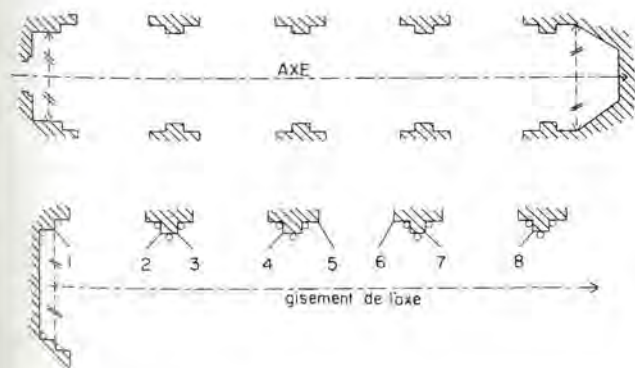
Parce qu'elle nous est donnée par la course du soleil qui désigne à midi la direction du sud, l'orientation par les points cardinaux apparaît d'une grande évidence derrière laquelle pourtant se dérobe toute une série d'ambiguïtés.

La détermination du nord géographique ne peut se faire, sur le terrain, que par des mesures astronomiques ou gyroscopiques complexes qui la rendent inutilisable pour un relevé d'architecture ordinaire.

Le nord "Lambert" présent sur la carte, la carte de France à 1/25 000 notamment, découle directement du système conique de projection adopté pour le relevé du territoire. Mais si les méridiens, qui indiquent la direction du nord géographique, y sont figurés par des droites convergeant non vers le pôle nord mais vers le centre de projection, le nord Lambert reste en tout lieu parallèle au méridien de Paris, quelle que soit la longitude ; il en résulte une déviation de plus en plus grande au fur et à mesure que l'on s'éloigne du méridien de référence qui est figurée en marge de chaque coupure. Evidemment des calculs relie la projection Lambert aux coordonnées géographiques, longitude et latitude.

Il reste le nord magnétique que désigne l'aiguille aimantée de la boussole mais si le nord géographique est unique et le nord Lambert une abstraction mathématique, le nord magnétique varie en fonction de la position sur le globe, de l'année (variation séculaire, la déclinaison), de l'heure du jour (variation diurne) mais également en fonction d'éléments aléatoires (clefs dans la poche, masse magnétique enfouie, ligne à haute tension, ...). Son repérage reste vague et l'orientation ne peut être qu'indicative (à 5 ou 10° près).

Pour un relevé d'architecture, ce seront les parois mêmes de l'édifice qui devront donner les directions axiales et, lors d'une polygonation, l'orientation par rapport à un axe fondamental du bâtiment peut être choisie par rapport au nu d'une façade ou par rapport à l'axe d'un vaisseau ; c'est souvent un moyen pour déceler, par le calcul et les différences d'une des coordonnées, de subtiles déviations. Dans le cas ou de multiples campagnes ont tordu insensiblement les implantations primitives, les points physiques ayant défini l'axe topographique retenu font l'objet de croquis et d'un commentaire (parallèle à la droite passant par deux points, gisement moyen défini par les orientations successives des piliers d'une nef).



La mise en station du théodolite et le calage des nivelles

Avant toute utilisation d'un instrument, il est nécessaire d'avoir lu et retenu le mode d'emploi de l'appareil ; il est conseillé de conserver ce mode d'emploi dans la bibliothèque du service mais de disposer sur le terrain d'un double photocopié. En cas de perte, il est possible d'obtenir une copie auprès du fabricant.

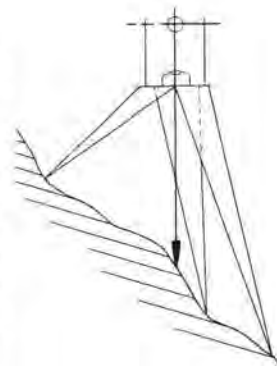
Bien que les principes généraux restent les mêmes, indiquons que le processus de mise en station que nous décrivons s'applique précisément à l'usage du théodolite Wild T2.

Nous ne reprendrons pas néanmoins les réglages de contrôle du fonctionnement de l'appareil, qui restent trop spécifiques du type d'instrument et de la marque ; chaque opérateur devra se référer au mode d'emploi pour vérifier régulièrement, notamment, la précision des collimations horizontale et verticale et du plomb optique.

La mise en station est exécutée par une seule personne à la fois : l'opérateur qui effectue les visées.

Le trépied

La hauteur de l'appareil, au moment des visées et des lectures, est une des conditions essentielles du confort de l'opérateur, donc de la qualité des mesures ; l'opérateur doit ainsi commencer par régler la longueur des jambes du trépied selon ses habitudes ; les trois jambes sont réglées semblablement si le terrain est plat, dans le cas d'un terrain en pente, deux jambes sont égales et plus longues que de coutume et la troisième plus courte.

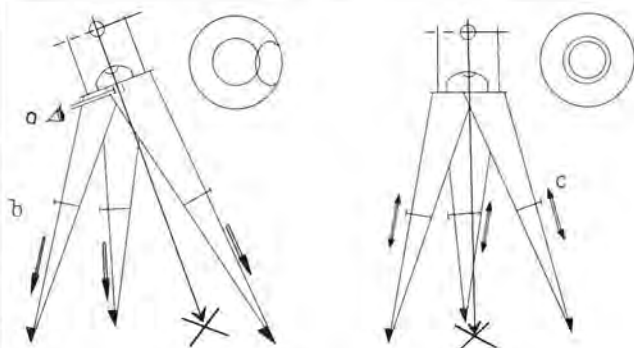


Le trépied est posé à l'œil, au-dessus du point de station, les pointes des jambes définissant un triangle proche de l'équilatéral pour assurer le meilleur équilibre à l'appareil ; sur un sol lisse, dallage de marbre par exemple, l'opérateur doit assurer la stabilité du trépied en utilisant les joints ou irrégularités des dalles ou en recourant à une étoile. Le plateau est disposé, dans le même temps, horizontal, à vue.

Ceci accompli, l'appareil est sorti de son étui³²⁰ ; les vis calantes sont réglées à mi-course, puis l'appareil est disposé sur le trépied en serrant modérément la vis de fixation. L'opérateur veille à ce que les miroirs d'éclairage des cercles soient orientés pour recevoir le maximum de lumière.

La mise en station

- L'opérateur soulève deux jambes du trépied et, l'œil dans la lunette du plomb optique, il amène, par rotation autour de la troisième jambe, la croisée du réticule sur le point de station ; durant cette manipulation, l'opérateur ne contrôle pas la bulle sphérique de l'embase et le plateau prend alors une position oblique.
- L'opérateur enfonce ensuite, parallèlement à elles-mêmes, les jambes du trépied en veillant à ne pas déplacer leurs pointes.

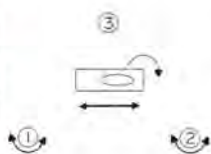


c) Enfin, il fait coulisser les jambes du trépied, de manière à amener la bulle sphérique concentriquement à son repère.

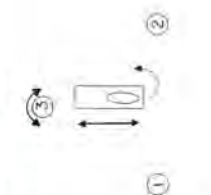
d) L'opérateur vérifie dans la lunette du plomb optique que le réticule est toujours centré sur le point de station ; en cas de fort déplacement, c'est qu'une des pointes du trépied a glissé et il recommence la mise en station (supra a). Habituellement, le décalage est de quelques millimètres, l'opérateur desserre légèrement la vis de fixation de l'embase et déplace l'instrument sur le plateau du trépied pour annuler le décalage. Il resserre la vis de fixation.

Le calage de la nivelle d'alidade

a) L'opérateur tourne le cercle alidade qui porte la lunette et la nivelle torique, de façon à amener celle-ci parallèlement à deux vis calantes ; il tourne simultanément ces deux vis en sens opposé (pouce contre pouce, index contre index) pour centrer la bulle entre deux repères symétriques.



b) Il fait de nouveau pivoter le cercle alidade et amène la nivelle dans une position perpendiculaire, donc dans la direction de la troisième vis calante sur laquelle il agit pour centrer la bulle.



c) Il ramène en sens inverse la nivelle dans sa position initiale et répète les calages (supra a et b) jusqu'à ce que la nivelle soit réglée.

Le réglage de la nivelle d'alidade

La nivelle étant dirigée vers une vis calante, elle est centrée très finement avec celle-ci ; par rotation à 180° de l'alidade, l'opérateur amène la nivelle dans une position symétrique ; il constate l'écart qu'il corrige, moitié avec la vis calante, moitié avec la vis de réglage de la nivelle d'alidade (cf. mode d'emploi de l'appareil). Il réitère l'opération, si besoin, et puis cale définitivement la nivelle (supra). La bulle doit alors rester centrée, quelle que soit la position de l'alidade.

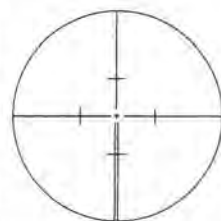
Visée et lectures

L'opérateur vérifie le centrage de l'appareil sur le point de station à l'aide de la lunette du plomb optique. Il parfait le centrage (supra) et vérifie une dernière fois le calage de la nivelle.

La hauteur de l'instrument (axe de tourbillonnement de la lunette) au-dessus du point de station est mesurée (au centimètre) et inscrite dans le carnet.

L'opérateur vise le ciel (sa partie la moins lumineuse) et il règle avec le tube oculaire la netteté des fils du réticule.

Il vise enfin le point avec les mouvements généraux (vertical et horizontal) ; il met au point la netteté de l'image puis, avec les vis de fin-calage, il amène la croisée des fils sur le point. Il effectue alors les lectures de l'angle horizontal ; avant la lecture de l'angle vertical, il assure la verticalité de la ligne 0-200 de la chiffraison en réglant la nivelle du cercle vertical ou en dégageant le mouvement pendulaire (cf. mode d'emploi de l'appareil).

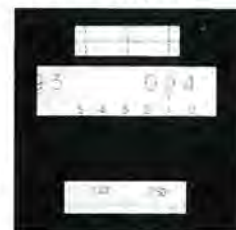


La lecture des angles (horizontaux et verticaux) s'effectue sur le théodolite Wild T2 par l'intermédiaire du même microscope ; il convient de disposer le bouton-commutateur des cercles dans la position correspondant soit au cercle horizontal, soit au cercle vertical (cercle horizontal teinté en jaune, cercle vertical teinté en blanc).

Dans le microscope apparaissent trois fenêtres ; dans la fenêtre supérieure apparaissent deux séries de traits verticaux séparées par une fine ligne horizontale qu'il convient de mettre en coïncidence à l'aide du bouton de calage du micromètre. L'opérateur lit alors dans la fenêtre médiane la valeur des grades puis, sous le petit triangle, la valeur des décigrades. Dans la fenêtre inférieure, il lit sur l'échelle graduée, barrée d'un fil d'index vertical, les centigrades et les milligrades, puis compte le nombre de graduations qui correspond aux décimilligrades.



Hz = 105,8224G

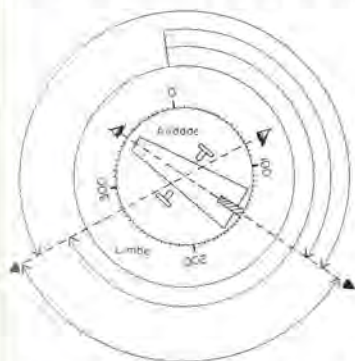


V = 94° 12' 44''

La lecture des angles

La lecture des angles horizontaux

Lorsque le théodolite est implanté sur un point de station, l'origine des graduations sur le limbe (0^G) du cercle horizontal se dispose dans une certaine orientation que l'opérateur ne peut directement repérer ; pendant toute la durée de la station, les visées sur les points à déterminer (points de station, points rayonnés, points intersectés, ...) vont s'effectuer par rapport à cette origine de position indéterminée.³²¹ L'opérateur effectuera donc des lectures qui



mesureront l'angle entre l'origine du limbe et la visée ; l'angle topographique sera donc le résultat de la différence entre deux lectures. L'angle entre deux demi-droites pouvant adopter deux valeurs (dont la somme est égale à 400^G), il convient de choisir le même sens de soustraction (sens des aiguilles d'une montre par exemple) pour obtenir des angles homogènes :

- dans un rayonnement par exemple, on choisit de calculer les angles à partir du premier point rayonné et les soustractions s'effectueront toutes de la même façon :

$$\text{lect.}/2 - \text{lect.}/1 \dots \text{lect.}/n - \text{lect.}/1$$

ou

$$\text{lect.}/1 - \text{lect.}/2 \dots \text{lect.}/1 - \text{lect.}/n^{322}$$

- dans une polygonation, on adopte un sens de parcours A, B, C, D, E, ... et les soustractions s'effectuent, par exemple, en N :

$$\text{lect.}/(N-1) - \text{lect.}/(N+1) \text{ ou } \text{lect.}/(N+1) - \text{lect.}/(N-1).$$

On obtient, suivant le sens de graduation du limbe, les angles internes ou les angles externes du polygone que l'on appellera les angles de droite (α_d) ou les angles de gauche (α_g), c'est-à-dire les angles balayés à main droite ou à main gauche en parcourant, selon un certain sens la ligne polygonale.

Dans une ligne polygonale fermée, la somme des angles internes est égale à 200^G que multiplie le nombre moins 2 des côtés :

- 200^G pour un triangle ; 400^G pour un quadrilatère ; et

- pour un polygone de n côtés :

$$\text{à partir des angles internes : } \Sigma \alpha_{\text{int.}} = (n-2) \times 200^G$$

$$\text{(pour les angles externes : } \Sigma \alpha_{\text{ext.}} = (n+2) \times 200^G).$$

Dans le cas où la somme est différente, mais d'un écart tolérable (cf. Fiche 3), chaque angle sera corrigé proportionnellement à l'inverse de la longueur de ses côtés : ce sont les angles dont les côtés sont les plus courts qui seront le plus corrigés, de façon à obtenir après cette compensation la somme convenable.

Les angles orientés - gisements ou orientations.

L'angle orienté est un angle mesuré dans un certain sens à partir d'une direction de référence. Dans le sens des aiguilles d'une montre, ces angles sont appelés gisements (G) ; dans le sens contraire, orientations.

La direction de référence peut être le Nord (cf. Fiche 4) ; le plus souvent, elle est une direction arbitraire et, notamment, l'axe Y d'un système de coordonnées.

Si l'on parcourt dans un sens puis dans l'autre une droite, ses gisements (ou leurs orientations) sont différents de 200^G (si je marche vers l'ouest, en rebroussant chemin, je marche vers l'est, je fais "demi-tour").

$$G_{N/N+1} = G_{N+1/N} + 200^G$$

Si le gisement obtenu dépasse 400^G , on soustrait 400^G , ce qui ne change pas la direction.

Pour obtenir dans une polygonation le gisement du côté suivant (N/N+1) par rapport au gisement du côté précédent (N-1/N) et à l'angle (α_d ou α_g) entre ces deux côtés, on applique la formule :

$$G_{N/N+1} = G_{N-1/N} + 200^G + \alpha_g [\text{ou } -\alpha_d] (-400^G)$$

Tous ces calculs excessivement simples sont rendus plus méthodiques par des tableaux, soit sur le terrain (carnets), soit pour les calculs.

La lecture des angles verticaux

Contrairement à l'origine du cercle horizontal, l'origine du cercle vertical occupe une orientation particulière. Après réglage, la ligne 0- 200^G est verticale et la lecture du cercle donne directement l'angle φ_0 par rapport à la verticale (en général, par rapport au zénith) ; suivant la position de la lunette "cercle à droite" ou "cercle à gauche," l'inclinaison de la visée par rapport à l'horizontale s'obtient par :

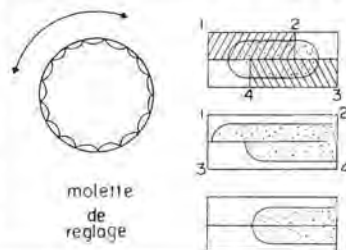
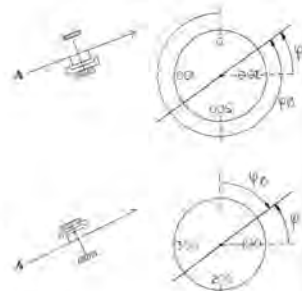
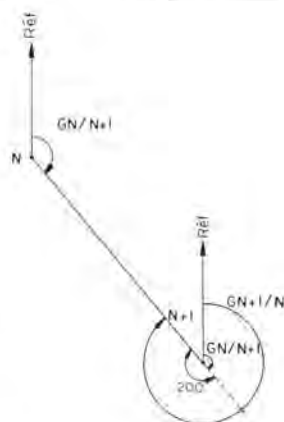
$$100 - \varphi_0 = \pm \varphi \text{ (si } \varphi_0 < 200^G)$$

ou

$$\varphi_0 - 300 = \pm \varphi \text{ (si } \varphi_0 > 200^G)$$

l'angle φ est algébrique (visée au-dessus ou au-dessous de l'horizon).

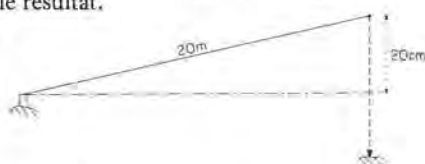
Le réglage de la collimation verticale s'effectue avant chaque lecture ; il est différent selon les appareils, il faut fréquemment régler une nivelle spéciale en amenant par exemple ses deux extrémités, vues dans un prisme, en coïncidence ou, en cas de collimation pendulaire, simplement appuyer sur un bouton dégageant le pendule.



Le chaînage

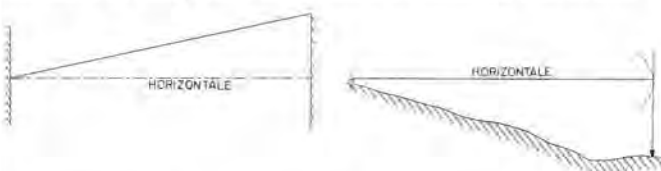
La mesure des distances au ruban s'effectue, sauf impossibilité matérielle, horizontalement. Dans le cas contraire, il convient de mesurer soit les altitudes respectives des deux extrémités, soit l'angle d'inclinaison ou la pente elle-même du chaînage.

L'horizontalité peut être assurée à l'œil à mieux que le 1/100^e (20 cm pour 20 m), ce qui est totalement suffisant³²³; il en est de même lorsque la distance à mesurer est plus longue que le ruban et qu'il faut aligner des points intermédiaires : ceux-ci peuvent être alignés à l'œil à 1/100^e près (20 cm pour 20 m) sans que soit modifié le résultat.



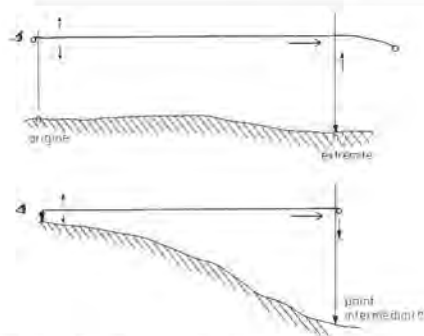
Le chaînage à plat (en laissant reposer la chaîne sur le sol ou en l'adossant à une paroi) peut être, malgré l'apparence, une source d'imprécision ; si le sol n'est pas plan ou s'il est encombré de végétation (si la paroi présente des ventres), la chaîne rendue sinueuse mesure une distance plus courte que la cote lue. En tout état de cause, il convient de ne pas "casser" la chaîne par un obstacle intermédiaire ni de faire des hypothèses d'identité entre des mesures sur des plans considérés comme parallèles.³²⁴

La mesure horizontale entre deux parois verticales, entre les deux verticales de fils à plomb est toujours la distance la plus courte.³²⁵



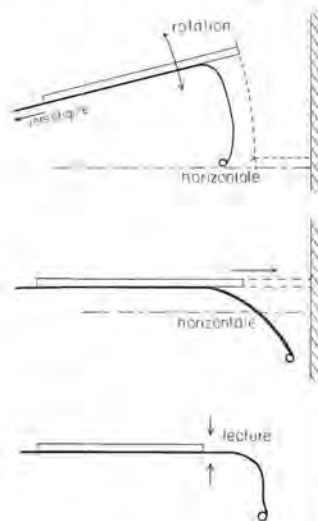
Entre deux points (les sommets d'une polygonale), le chaînage s'effectue le plus souvent en mode suspendu ou, en cas de pente, par cultellation à l'aide de fils à plomb (dans ce cas, le chaînage se fait toujours en descendant la pente). Par commodité, distinguons le chaîneur arrière sur le point origine de la mesure et le chaîneur avant qui se dirige vers l'extrémité de la mesure.

Le chaîneur arrière se place sur le point, c'est-à-dire qu'il descend l'origine de son ruban, à l'aide du fil à plomb sur l'origine de la distance (en cas de cultellation, il pose l'origine du ruban sur le point origine) ; il aligne le chaîneur avant et vérifie l'horizontalité du ruban ; il n'exerce aucune traction sur la chaîne mais résiste à la traction que le chaîneur avant exerce régulièrement (3 à 5 kg). Le chaîneur avant exerce une traction puis s'il définit un point intermédiaire (distance plus longue que l'étalon), il descend au fil à plomb l'extrémité du ruban, s'il est arrivé à l'extrémité de la distance, il plombe le point extrême et lit la mesure sur le ruban ; pour obtenir la distance, il rajoute — sans en oublier — le nombre de portées intermédiaires.



Toute la précision du chaînage (± 1 cm pour 20 m) repose dans la qualité du plombage et dans la fixation des points intermédiaires ; les opérateurs plombent à la hauteur la plus faible possible ; pour les points intermédiaires, le chaîneur avant nettoie la zone dans laquelle il se trouve avant de faire descendre le plomb (l'herbe est arrachée, la terre aplanie, ...) ; dans le sol naturel, il marque le point à l'aide d'une fiche métallique³²⁶ ; sur un sol cimenté, le bitume ou un dallage, il trace une équerre à la craie.

Dans le rayonnement, les distances rayonnées doivent être inférieures au ruban utilisé ; les points ont tous été visés, signalés d'une croix de craie et les angles mesurés ; l'opérateur arrière ne bouge pas ; il reste sur le point de station tandis que l'opérateur avant va parcourir les points dans le sens du tour d'horizon ; un excellent procédé, qui n'est pas toujours possible, est de rayonner les points, la lunette du théodolite étant quasiment horizontale.

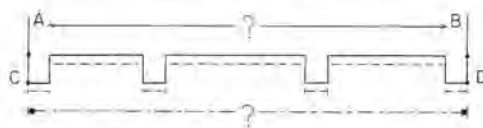


L'usage d'une latte (ou d'un mètre rigide pliant) associée au ruban permet d'améliorer la précision des mesures entre des points d'accès difficiles (angles de murs).

Le chaîneur arrière maintient l'origine du ruban tandis que l'opérateur avant tient solidement le ruban et la latte. Il décrit un arc de cercle pour trouver la direction horizontale, c'est-à-dire la mesure la plus courte.

Pour toucher l'extrémité du chaînage, il fait coulisser la latte, puis la bloque. Il dégage la chaîne et la tend sur la latte qui sert d'index de lecture.

Pour les cotes périmétriques, elles sont toujours mesurées en cumulé : le chaîneur arrière ne bouge pas, le chaîneur avant passe d'un point à l'autre arrêtant les mesures jusqu'à l'extrémité de la paroi ; ainsi une négligence sur un point ne fausse que le résultat de ce point et chaque mesure reste indépendante.



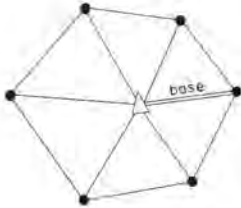
4. Méthodes du relevé topométrique

Il ne s'agit pas ici de présenter l'ensemble des méthodes topographiques mais de sélectionner un certain nombre de procédés à vocation archéologique. Les méthodes de relevés découlent de l'application d'un instrument donné permettant la définition du point dans l'espace.

On distinguera les méthodes visant à assurer la position planimétrique des points à relever, des méthodes destinées à assurer leur fixation altimétrique. Le principe de base de tout relevé consiste à aller de l'ensemble vers le détail, ce qui conduit à établir en premier lieu un canevas de référence à partir duquel seront relevés les détails de l'objet. Ce principe permet d'assurer l'homogénéité du relevé et sa qualité. Pour le relevé des points de détail, il conviendra de rendre indépendantes les mesures les unes des autres et d'assurer par leur surabondance des contrôles.



4.1. La reconnaissance et le croquis de relevé

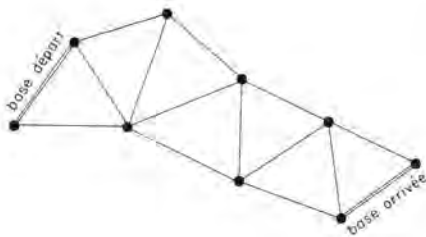


Chaque relevé doit faire l'objet en premier lieu d'une reconnaissance sur le terrain qui permet de fixer :

- le programme archéologique du relevé : relations architecturales à mettre en évidence, choix des plans de coupe (horizontaux ou verticaux), sélection des lignes significatives à relever, des détails archéologiques à positionner (planimétrie et altimétrie), des modes de représentation les plus adéquats...

- le choix des méthodes de relevés à employer et des instruments à utiliser.

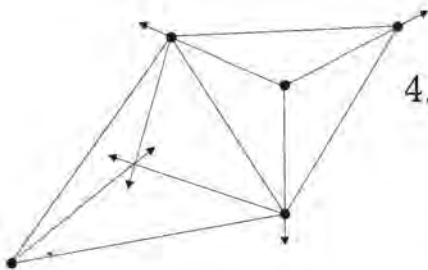
Cette reconnaissance, matérialisée par un croquis à main levée, prévoit l'ensemble des opérations de mesures et l'implantation des sommets du canevas.



Le croquis de relevé n'est pas un dessin à une échelle approximative comme l'est le relevé-croquis ; il est un document de taille suffisante pour que les détails à relever et les mesures puissent y figurer sans confusion possible ; il sera donc souvent nécessaire d'agrandir la taille des cellules restreintes au détriment des grands espaces de manière à ménager la lisibilité des inscriptions et des chiffres ; des détails pourront d'ailleurs être agrandis dans les marges du croquis pour maintenir cette clarté.

Néanmoins, un certain nombre de déformations devront être évitées qui pourraient ensuite créer des confusions : angle aigu pour angle obtus, coude rentrant pour coude saillant... (cf. Fiche 8 et Chapitre 8).

4.2. Le canevas de plan



L'établissement d'un canevas — appelé aussi polygonation — consiste à enserrer l'objet et le parcourir d'une série de droites qui définissent un polygone — ou un ensemble de polygones —. A partir de ces droites et des sommets du(des) polygone(s), les mesures seront effectuées sur les détails de l'objet lui-même.

4.2.1. Définition du canevas

Le tracé de ces lignes polygonales et la fixation des sommets sont imposés par les détails à relever ; dans la mesure du possible, chaque point de détail (ou série de points de détail) devra être relevé par rapport à ces sommets et ces lignes.

Le canevas devra donc offrir un choix de sommets assez nombreux et suffisamment bien placés pour pouvoir servir directement de cadre au relevé des points de détail mais cette fonction doit aller de pair avec le maintien d'une précision constante pour l'ensemble du relevé. Le canevas doit favoriser au maximum les lignes polygonales fermées dont le contrôle est immédiat (cf. 4.2.2.) ; dans le cas où la ligne polygonale ne peut être fermée, le contrôle s'effectue en répétant les mesures d'angles et de distances.

Les sommets du canevas sont choisis pour que les visées réciproques entre sommets soient aisées et la mesure des distances entre ces sommets facilitée (terrain relativement plat et dégagé) ; par ailleurs, les sommets sont choisis pour assurer des visées rayonnantes nombreuses sur l'objet tandis que les lignes joignant ces sommets resteront proches de l'objet (moins de 5 mètres si possible).

Les sommets du canevas — appelés aussi les stations — doivent être désignés, sur le croquis et dans les carnets de mesures, sans ambiguïté ; ils peuvent être identifiés par des lettres (A, B, C, ...) ou des chiffres (S₁, S₂, S₃, ...).

Sur le terrain, une fois le schéma du canevas défini, les sommets sont matérialisés (piquet dans le terrain naturel, clous et gravure sur la pierre, ...). Le théodolite mis

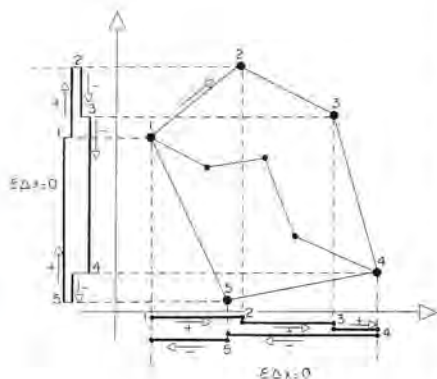
en station sur chaque sommet, des lectures sont faites sur les sommets voisins (ces lectures seront réitérées pour contrôle) ; les distances entre sommets sont mesurées deux fois et l'écart entre deux déterminations doit rester tolérable (cf. Fiche 3).

4.2.2. Contrôle du canevas

Le contrôle du canevas doit être strict aussi bien pour les mesures angulaires que pour les mesures de distances.

Le contrôle des angles est assuré pour les lignes polygonales fermées ; en effet, géométriquement la somme des angles d'un polygone de n côtés, et quelles que soient les longueurs des côtés, est donnée par la formule $(n - 2) \times 200^G$. Par exemple, la somme des angles d'un triangle est de $(3 - 2) \times 200^G = 200^G$; la somme des angles d'un polygone de 5 côtés sera $(5 - 2) \times 200^G = 600^G$.

L'ensemble du canevas, déterminé par des mesures de distances et d'angles, il est possible d'obtenir la position des sommets en coordonnées rectangulaires dans un système donné. Ce calcul de polygonation simple et facile avec les machines à calcul les plus élémentaires (cf. Fiche 2) permet de vérifier l'ensemble du canevas puisque dans un polygone les sommes algébriques en X et Y sont nulles ; mais il a aussi l'avantage de permettre le report graphique dans de meilleures conditions de précision (cf. Fiche 9). Le canevas offrant un réseau suffisamment serré (qui correspond aux grandes masses de l'objet à relever), les mesures de détail auront pour fonction de remplir les mailles.



4.2.3. Le canevas du relevé d'architecture

Le canevas doit créer un réseau de lignes qui entourent l'édifice mais également le pénètrent.

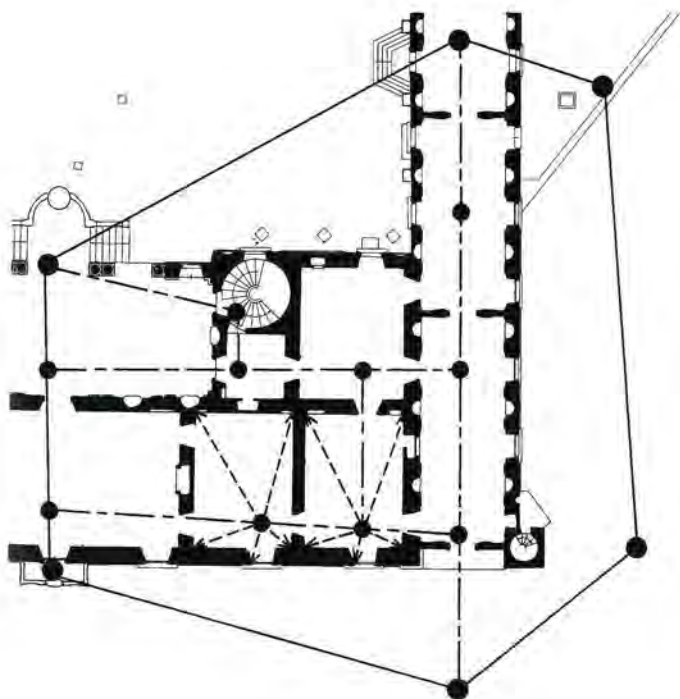
Ce réseau suffisamment dense pour que la plupart des mesures de points de détail s'y réfèrent est bien souvent difficile à mettre en place car l'opérateur se trouve affronté à des difficultés contradictoires :

- le circuit autour de l'édifice n'est pas toujours possible : l'opérateur veillera à établir malgré tout une ligne polygonale fermée, soit en englobant des bâtiments contigus qui ne seront pas relevés, soit en utilisant des lignes pénétrantes,

- les visées courtes sont angulairement les moins précises (cf. Fiche 3) mais souvent il est impossible de ne pas y recourir ; l'opérateur, dans le cas de ces visées courtes, assurera et contrôlera la précision des mises en station et des visées (matérialisation des points de station par des gravures ou des clous, visées réciproques par centrage forcé ou sur des signaux minces et bien stationnés),

- selon les méthodes de relevés des points de détail qu'il faudra choisir dès cet instant, les lignes devront frôler les structures à relever (relevés par abscisses et ordonnées) ou s'en éloigner pour dégager les visées (relevés par rayonnement).

La connaissance de ce canevas (conservée par le croquis ou la minute du report) constitue pour la détermination de la qualité du relevé un élément indispensable et primordial d'appréciation.



4.3. Relevé planimétrique des détails

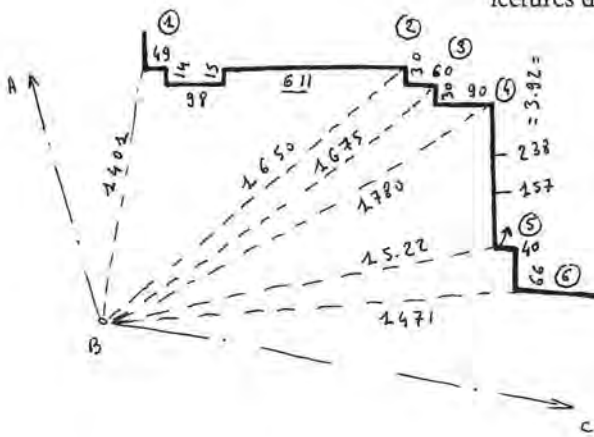
D'une manière générale, les détails devront être situés à moins d'une longueur de ruban des éléments de référence (stations ou alignements).

4.3.1. Le rayonnement

Ce procédé repose sur la pertinence des visées ; il s'emploie donc lorsque les points de détail sont particulièrement nets et que les visées par rapport aux éléments qu'ils définissent ne sont pas trop fuyantes. Le point de station doit être relativement éloigné des points de détail (entre 3 et 20 m).²⁶

A partir des sommets du canevas ou de points alignés sur les lignes du canevas, et à l'aide du théodolite, on vise les points significatifs de l'objet en effectuant les lectures d'angles horizontaux, d'abord sur le sommet précédent, puis sur les points de détail, enfin sur le sommet suivant ; les points visés sont identifiés sur le croquis par des chiffres. Sur un carnet sont notées, station par station, les lectures d'angles sur les stations adjacentes et sur les points numérotés ; les distances de la station aux points sont mesurées et reportées sur le carnet. Le contrôle des points rayonnés s'effectue en mesurant les distances qui les séparent les uns des autres (cotes périmétriques) ; les points visibles de plusieurs stations sont également contrôlés par visées réciproques.

Les points ainsi relevés sont définis par leurs coordonnées polaires et pourront être reportés à l'aide d'un rapporteur (cf. Fiche 9) ; dans certains cas, ces points pourront faire l'objet d'un calcul en coordonnées rectangulaires, ce qui permettra de vérifier l'orientation d'un certain nombre d'éléments : parallélisme, orthogonalité, alignement de murs par exemple (cf. Fiche 2).

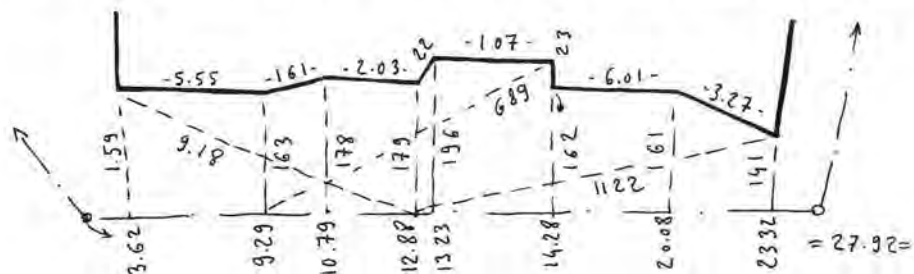


4.3.2. Relevé par abscisses et ordonnées et abscisses et quasi-hauteurs

Ces procédés s'emploient lorsque la ligne polygonale frôle un élément de l'objet à relever. A noter que ces procédés peuvent également permettre le calcul en coordonnées rectangulaires des points mesurés.

Relevé par abscisses et quasi-hauteurs

Le canevas ayant été implanté au théodolite, celui-ci est en station sur un sommet ; la lunette est pointée par un premier opérateur sur le sommet suivant. Un second opérateur parcourt la ligne d'opération et projette "à vue" sur cette ligne les points qu'il entend relever. Les projections sont parfaitement alignées sur la ligne polygonale à l'aide du théodolite et figurent l'abscisse approchée du point à relever ; ces points d'abscisses sont mesurés en cumulé à partir de la station ; on mesure également la distance, la "quasi-hauteur" qui les sépare des points à relever ; des



diagonales partant de la ligne d'opération et aboutissant aux points à relever et les distances entre ces points sont également mesurées. L'ensemble des mesures et des lignes de cotes est noté sur le croquis.

Les points sont définis par intersection de distances ; graphiquement, le report s'effectue à l'aide d'une règle graduée (cf. Fiche 9).

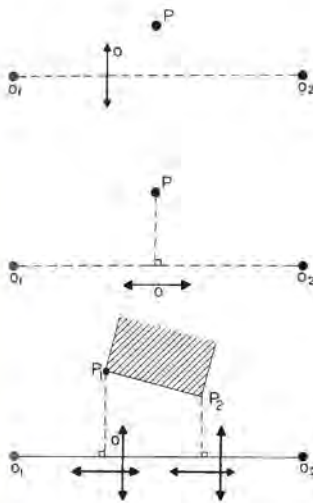
Le procédé est rapide et précis si les quasi-hauteurs sont de faible longueur et les diagonales d'un ordre de grandeur cinq fois plus grand.²⁷ Pour la conduite de ces opérations et pour éviter des reports de ruban, la ligne d'opération doit être à moins de 4 m des points à relever, les diagonales pouvant alors être inférieures ou égales à 20 m (aucun report de "chaîne").

Relevé par abscisses et ordonnées

Le canevas ayant été implanté au théodolite, on utilise l'équerre optique pour parcourir les lignes polygonales.

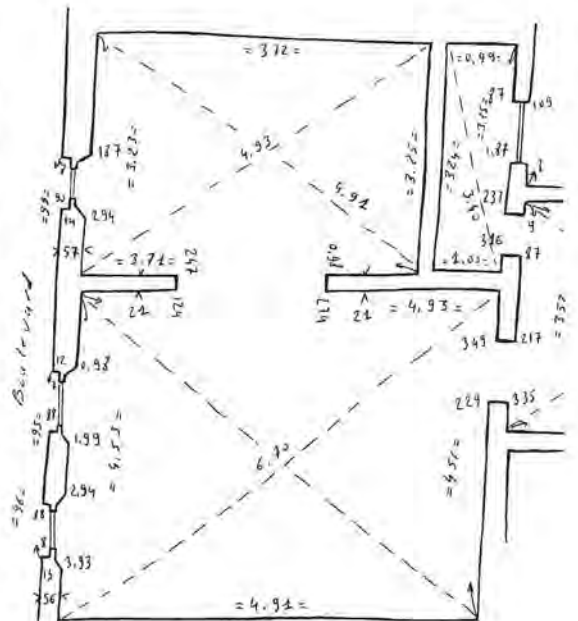
Les sommets de la ligne sont matérialisés par deux jalons et l'opérateur s'aligne entre ces deux jalons avec l'équerre optique et abaisse au fil à plomb (ou à la canne à plomber) la projection orthogonale des points de l'objet à relever ; chaque point de l'objet est donc repéré sur la ligne polygonale par sa projection. A partir d'une des stations, on mesure en cumulé (c'est-à-dire en conservant le point de station comme origine) les distances à ces projections : ce sont les abscisses des points ; on mesure ensuite les distances de projection entre la ligne polygonale et les points de l'objet, c'est-à-dire les ordonnées.

Le contrôle s'effectue par les mesures des diagonales aux extrémités et des cotes périmétriques entre les points de l'objet. L'ensemble des mesures et la figuration des lignes de cote sont notés sur le croquis. Le report graphique s'effectue à l'aide d'une règle graduée et d'une équerre (cf. Fiche 9). Le procédé est rapide et précis si les ordonnées sont de faible longueur (moins de 5 mètres pour éviter sur les diagonales une longueur supérieure à une portée de chaîne).



4.3.3. Relevé par trilatération

Le procédé repose sur l'intersection de mesures de longueurs ; il assure le positionnement des points par la mesure de proche en proche de points réunis en triangle d'où l'appellation courante mais impropre de "triangulation." Deux points sont pris comme base de départ ; on mesure la distance qui les sépare entre eux et leurs distances à un troisième point. Celui-ci, déterminé par intersection, sert de base avec un des premiers points à un nouveau triangle donc à la détermination d'un quatrième point, ... ainsi de suite, ... ; l'objet se trouve donc défini par une série de déterminations dépendantes qui s'enchaînent les unes aux autres ; les erreurs se composent entre elles et les fautes sont supportées par l'ensemble du relevé. Un



certain nombre de mesures surabondantes peuvent éviter les imprécisions trop flagrantes (diagonales supplémentaires) ; le procédé repose par ailleurs sur un grand nombre d'hypothèses bien souvent nécessitées par l'absence de canevas général (épaisseur des murs notamment, ...), aussi, le recours unique au procédé de "triangulation" doit être proscrit des relevés réguliers ; il n'assure aucune sécurité et ne peut servir de base à aucune déduction archéologique. Ce relevé expédié²⁸ ne pourra être employé qu'en l'absence totale d'autres possibilités techniques ou pour des édifices de structure simple et homogène (construction ne comportant qu'une seule cellule).

L'ensemble des mesures et lignes de cote est noté sur le croquis. Le report graphique s'effectue par intersection à la règle graduée (cf. Fiche 9).

4.3.4. Le relevé planimétrique de l'architecture

Les méthodes par rayonnement, par abscisses et quasi-hauteurs, par abscisses et ordonnées s'emploient seules ou en concurrence dans le même relevé.

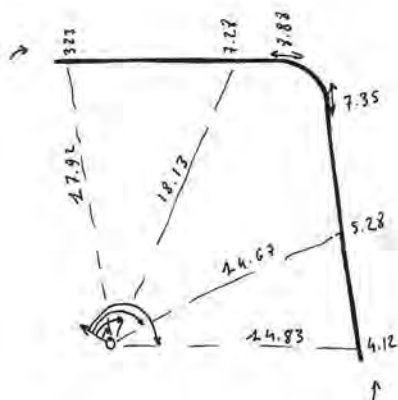
Il est conseillé de matérialiser légèrement — par de petites croix à la craie par exemple — les points de l'objet à relever ; cette précaution, d'autant plus nécessaire que l'objet est grossièrement défini (appareil de moellons, murs non verticaux, arêtes érodées, ...), assure la permanence et l'unité du point sur lequel convergent les mesures (visées, mesures de longueur, cotes périmétriques, ...).

Dans le même ordre d'idée, les points de l'objet doivent être choisis, de préférence au même niveau, et de manière à refléter sa structure même ; l'opérateur évite les éléments parasites (lambris, placard, ...) ou subsidiaires (pilastres, plinthes, moulures) et il n'interprète pas les mesures.²⁹

L'angle adouci entre deux parois n'est pas relevé directement ; on préfère relever les orientations de ces deux parois — par deux points sur chacune — et, au dessin, arrondir l'intersection.

Le choix de ces méthodes reste personnel mais il est évident que lorsque la ligne polygonale passe dans un espace resserré (couloir, ruelle, vaisseau étroit) et frôle ainsi les structures, l'opérateur choisit le mode par abscisses et quasi-hauteurs (ou par abscisses et ordonnées) pour éviter des visées de rayonnements trop fuyantes par rapport aux éléments à relever.

Le procédé de trilatération, parce que ses mesures ne sont pas indépendantes, est employé avant tout pour achever le relevé ; s'appuyant sur toute la série des déterminations précises et contrôlées, obtenues préalablement par les autres méthodes, il permet d'apporter une information complémentaire destinée en majeure partie à l'"habillage" du relevé (détails de piles, baies, niches, mouluration, ...), mise en place et relevé des immeubles par destination (autel, chaire, fonts baptismaux, manteau de cheminée). Quelles que soient la ou les méthodes employées, l'opérateur doit viser à une économie de moyens ; il s'agit de relever les éléments significatifs et de les contrôler avec le minimum de mesures ; l'abondance de mesures n'indique souvent que le manque de formation ou de discernement de l'opérateur sans augmenter pour autant la précision du relevé. Ainsi, deux points seulement sont nécessaires pour relever un alignement droit ; les détails de l'alignement (baies, collage de maçonnerie) sont saisis en cumulé lors du mesurage des cotes périmétriques³⁰ et jamais par rayonnement ou quasi-hauteur.



4.4. Relevé altimétrique des détails

Le relevé planimétrique de l'objet s'effectue dans un plan horizontal, le plus souvent arbitrairement défini : la multiplication sur un même document de coupes horizontales, effectuées à plusieurs niveaux, risque d'entraîner une perte

d'information ou, ce qui est plus grave, un risque de confusion ; c'est le cas d'édifices construits sur une pente : le plan intérieur risque d'être raccordé au plan extérieur, mesuré à un niveau différent, introduisant ainsi une vision probablement faussée des épaisseurs de murs.

Les changements horizontaux du plan de coupe ou les superpositions de plans de coupes doivent faire l'objet de transcriptions graphiques appropriées ou de figures séparées. En tout état de cause, ces changements de plan de coupe doivent être appuyés sur les mesures altimétriques.

La saisie d'un certain nombre d'informations altimétriques, en dehors de ces problèmes de transcription planimétrique, enrichit la connaissance archéologique d'un édifice. De la mise en relation altimétrique de certaines parties éloignées d'un édifice peut découler l'affinement d'une chronologie.

Il s'agit de mesurer les différences de niveau entre une série de points. Ces différences de niveau peuvent être rapportées à un plan de niveau arbitraire ou absolu comme le niveau de la mer (Nivellement général de la France par exemple) ; dans ces derniers cas, les différences de niveau sont converties respectivement en altitudes relatives ou absolues (cf. Fiche 4).

Le niveau topographique est mis en station de façon à permettre la lecture sur la mire que l'on placera sur les différents points ; position du niveau et altitude du plan horizontal de visée sont sans importance. Les lectures effectuées sont notées sur un carnet.

Deux cas peuvent se présenter selon que le point connu et le point (ou les points) dont l'altitude est à déterminer sont visibles d'une station ou non.

4.4.1. Station unique et rayonnement altimétrique

L'instrument est placé sensiblement à mi-chemin du point connu A et du point inconnu le plus éloigné (la distance maximum doit être de l'ordre de 100 m entre ces deux points).

L'opérateur ayant mis l'instrument en station effectuée pour le point connu A et pour tous les points inconnus B, C, D, ... les lectures sur mire. L'altitude des points inconnus est donnée par la formule suivante :

$$\text{Alt B} = \text{Alt A} + \text{lecture sur A} - \text{lecture sur B.}$$

Si les points inconnus sont nombreux, il y a intérêt à calculer la hauteur du plan horizontal de visée (PHV).

$$\text{PHV} = \text{Alt. de A} + \text{lecture sur A,}$$

puis à soustraire les lectures sur B, C, D, ...

$$\text{Alt. B} = \text{PHV} - \text{lecture sur B,}$$

$$\text{Alt. C} = \text{PHV} - \text{lecture sur C.}$$

4.4.2. Stations multiples et cheminements altimétriques

Le point connu A est trop loin des points inconnus B, C, D (plus de 100 m), ou ne peut être vu en même temps que les points inconnus.

L'instrument est mis en station à proximité du point connu ; on effectue une lecture sur mire sur le point connu (lecture arrière) puis on fixe dans la direction des points inconnus un point intermédiaire 1 que l'on repère ou matérialise et sur lequel on effectue une lecture (lecture avant). On a :

$$\text{Alt. de 1} = \text{Alt. de A} + \text{lecture arrière sur A} - \text{lecture avant sur 1.}$$

On déplace l'instrument dans la direction des points inconnus et l'on vise 1 (lecture arrière) puis 2, deuxième point intermédiaire (lecture avant).

On a :

$$\text{Alt. 2} = \text{Alt. de 1} + \text{lecture arrière sur 1} - \text{lecture avant sur 2.}$$

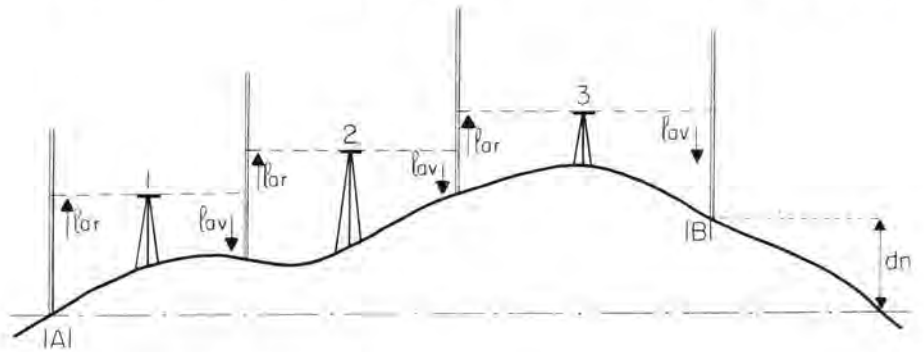
Ou encore :

$$\text{Alt. 2} = \text{Alt. de A} + \text{lecture arrière sur A} + \text{lecture arrière sur 1} - \text{lecture avant sur 1} - \text{lecture avant sur 2.}$$

On peut poursuivre ce cheminement jusqu'à ce que l'on puisse déterminer l'altitude des points B, C, D, ...

On aura :

$$\text{Alt. B} = \text{Alt. de A} + \text{somme des lectures arrières sur les points intermédiaires} - \text{somme des lectures avant sur les points intermédiaires} - \text{lecture avant sur B.}$$



Ce qui se simplifie en écrivant :

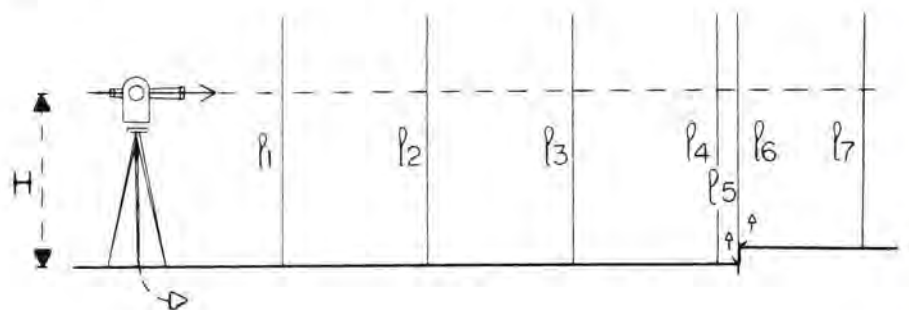
$$\text{Alt. B} = \text{Alt. A} + \text{somme des lectures arrières} - \text{somme des lectures avant.}$$

La position des stations intermédiaires et l'altitude des plans horizontaux de visée n'ont aucune incidence sur les résultats mais il convient de respecter approximativement l'égalité entre les visées (la mesure au pas est suffisante).

4.4.3. Relevés de profils altimétriques

Le profil d'un axe peut être parfois utile : nivellement de l'axe d'un vaisseau d'église, de l'axe longitudinal de l'extrados d'un voûtement... Dans ce cas, il est plus simple de positionner l'instrument sur l'axe lui-même de façon à n'avoir pas même à bouger la lunette (sauf la mise au point) ; l'axe peut être matérialisé par un double décimètre tendu au sol et ayant son origine en un point quelconque.

Selon la définition recherchée, on prendra alors des lectures en disposant la mire selon des intervalles réguliers ; on effectuera également des lectures sur des points



remarquables supplémentaires pour lesquels on notera la lecture sur le ruban (emmarchement, trou dans la voûte...).

4.5. Détermination de points en planimétrie et altimétrie

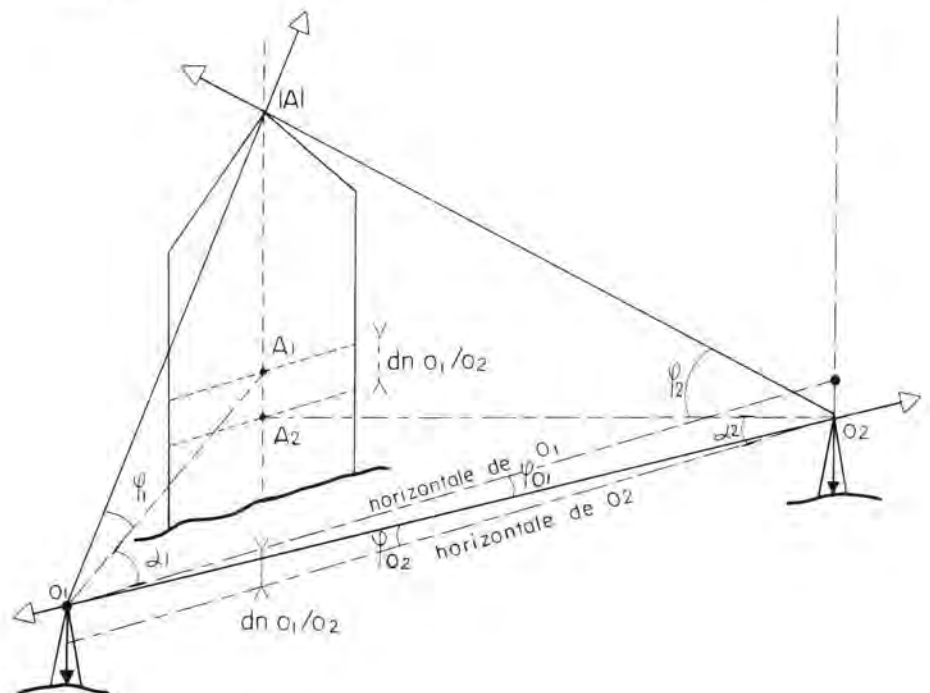
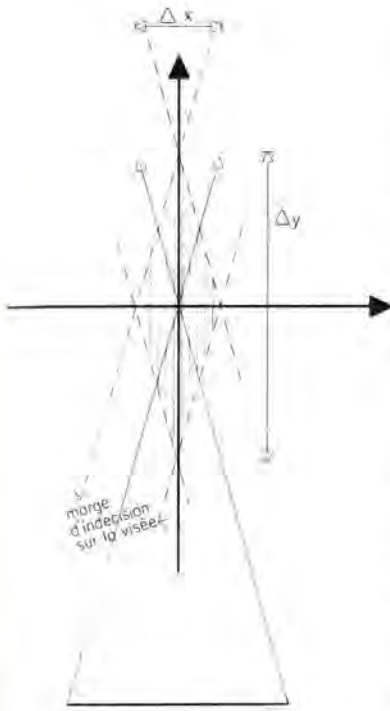
Cette détermination concerne des points inaccessibles ; elle passe par la mesure horizontale des distances séparant le point de station de ces points et par la mesure des angles horizontaux et verticaux. Le problème est plus ou moins ardu selon que l'on peut ou non mesurer directement les distances horizontales.

Dans le cas où la distance horizontale L peut être mesurée, on est ramené, pour la planimétrie, au rayonnement et l'altitude du point par rapport au plan horizontal de l'appareil est égale à $L \times \text{tg } \varphi$.

Dans le cas inverse, la détermination altimétrique du point va passer forcément par sa détermination planimétrique. Celle-ci sera assurée par l'intersection de deux visées dans l'espace.

La détermination ne sera précise que lorsque l'intersection des visées sera franche ; une trop grande obliquité des visées l'une par rapport à l'autre accroît l'indécision, surtout dans l'éloignement ; le point se trouve dans un losange. La meilleure figure d'intersection est le triangle équilatéral qui ne peut être respectée pour plusieurs points ; une base égale à l'éloignement offre une condition satisfaisante.

On place le théodolite sur deux stations O_1 et O_2 éloignées entre elles d'une distance sensiblement égale à celles qui les séparent du point $[A]$ à déterminer (ou des points) ; de chacune des stations, on vise l'autre station et le (ou les) point(s) à déterminer enregistrant pour chacune des visées la lecture de l'angle horizontal et l'angle vertical ; la distance entre les deux stations est mesurée. Le triangle, formé par la projection dans un plan horizontal des points $[O_1]$, $[O_2]$, $[A]$, est géométriquement défini puisque l'on connaît la distance O_1O_2 et les angles adjacents (α_1 et α_2).



Le déroulement de l'opération de relevé topométrique

Nous suivons les phases de cette opération au moment où le programme du relevé est parfaitement défini :

- problématique archéologique et architecturale,
- choix des figures et des éléments significatifs,
- choix de la précision, des instruments et méthodes.

Le croquis de "terrain"

L'établissement du croquis permet de prendre contact avec les difficultés du relevé ; l'analyse architecturale vient d'être faite, il s'agit ici de l'analyse topométrique et, durant cette phase, l'opérateur fixera par exemple la position des stations, précisera les parties relevées par rayonnement, intersection, ...

Le croquis de terrain n'est pas strictement une représentation de l'édifice car l'aspect formel n'est pas forcément respecté ; il s'agit prioritairement de figurer les lignes et les points qui feront l'objet des mesures,³²⁷ de façon qu'ils soient identifiables sans ambiguïté, mais de manière aussi que la place soit réservée aux cotes à mesurer.

La taille de l'image doit être suffisante et le trait comme les chiffres doivent être clairs et nets.³²⁸ Brouillon et mal tenu, un croquis devient la source de confusions, d'interprétations ; il entraîne de grandes pertes de temps au moment de la rédaction et multiplie les risques d'erreurs. La taille du croquis n'est qu'une échelle approximative liée à la clarté nécessaire ; il peut être important que le croquis ne présente pas de trop grandes déformations (angle très aigu pour angle très obtus, coude rentrant pour coude saillant, ...), mais il est souvent plus utile de diminuer l'échelle des grands espaces au profit des plus petits, afin de ménager l'inscription bien lisible des cotes³²⁹ ; il ne faut pas hésiter à agrandir certains détails dans les marges du croquis pour obtenir l'information nécessaire.

Il est nécessaire de coder un certain nombre de détails courants, par exemple, de la façon suivante :

- les lignes polygonales sont indiquées par un trait distinct (trait mixte) et les sommets par des cercles identifiés par des lettres,
- les mesures d'angles et de distances de la polygonale et des points rayonnés ne sont pas transcrites sur le croquis mais dans un carnet,
- les points visés sont pointés sur le croquis et désignés par un numéro (éventuellement dans un cercle),
- les cotes s'inscrivent en parallèle à la ligne mesurée sauf si elles sont prises en cumulé (c'est-à-dire d'une origine unique) ; dans ce cas, elles sont placées perpendiculairement à l'exclusion de la cote totale, inscrite entre deux doubles traits,
- les attaches, traits de rappel, flèches, sauf en cas de confusion, sont à proscrire ; les diagonales également quand cela est possible, sinon on les figure en tireté.

Enfin, comme toute figure, le croquis doit être légendé (désignation de l'édifice, de la figure, du niveau éventuellement) ; la date du relevé, le nom du croquiseur et des opérateurs y figurent également.

Le croquis constitue une phase exploratoire qui doit être menée totalement³³⁰ avant de débiter le mesurage proprement dit.

Le mesurage

Nous proposons ici quelques règles de bon sens, sans reprendre évidemment chaque méthode de relevé.

Les sommets de la polygonale doivent permettre entre eux des visées faciles et un mesurage en terrain facile. Ils doivent offrir des visées rayonnantes aisées³³¹ sur l'édifice ou alors les lignes elles-mêmes doivent frôler les parois pour des relevés par quasi-hauteurs.

Les sommets sont ensuite matérialisés (croix gravées, piquets, clous, ...) et les distances horizontales entre eux mesurées au double décimètre. Les points significatifs sont également matérialisés (croix légère à la craie).

L'instrument est alors mis en station sur chaque sommet et l'opérateur vise les autres sommets visibles et les points de l'édifice ; les distances de l'instrument à ces points sont ensuite mesurées suivant l'horizontale.

L'ensemble des sommets de la polygonation doit permettre la détermination de points, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur de l'édifice et leur densité est naturellement fonction de sa complexité. Une fois ce semis de points réalisé par rayonnements ou quasi-hauteurs, un complément par trilatération peut enrichir le relevé.

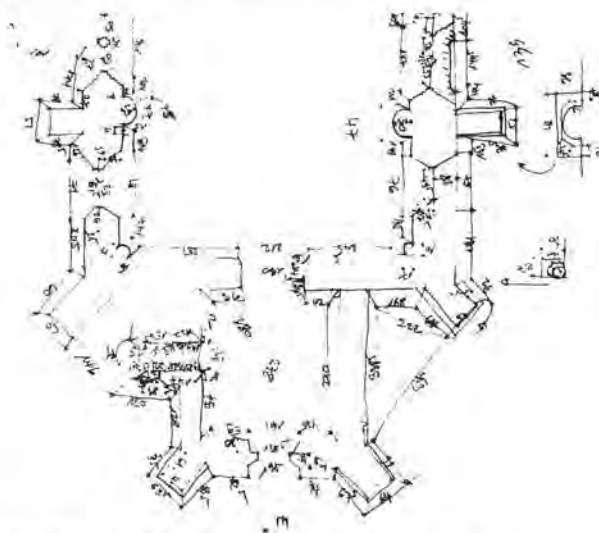
Il est conseillé de veiller à ce que les intersections de droites ou de cercles soient franches et à ce que les diagonales ne dépassent pas la longueur du ruban métrique utilisé. Chaque point qui reçoit deux mesures (ou plus) doit être marqué à la craie, de façon à éviter tout changement de position entre les deux mesures.³³²

Le chaînage en cumulé doit être arrêté à chaque décrochement ou coude et toutes les cotes sont prises au centimètre.

Enfin, le plan étant une coupe horizontale, il importe que tous les points à l'intérieur comme à l'extérieur soient sensiblement à la même altitude.

La rédaction

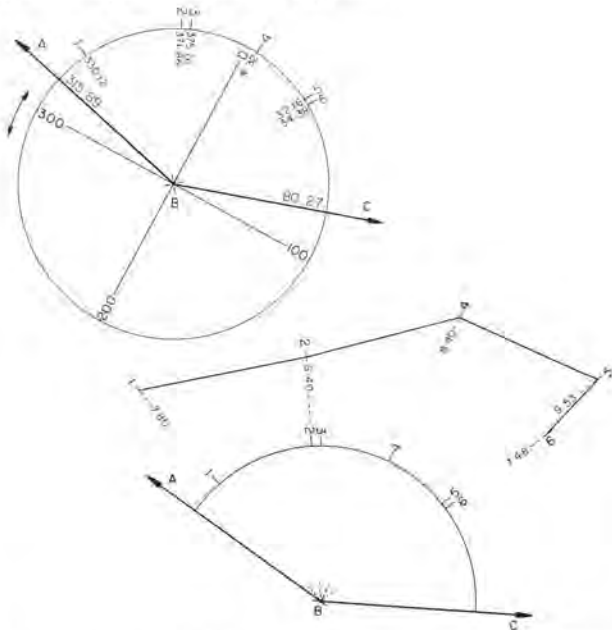
Pour bénéficier de la mémoire visuelle des opérateurs, ces derniers doivent rédiger le relevé dans les jours qui suivent.



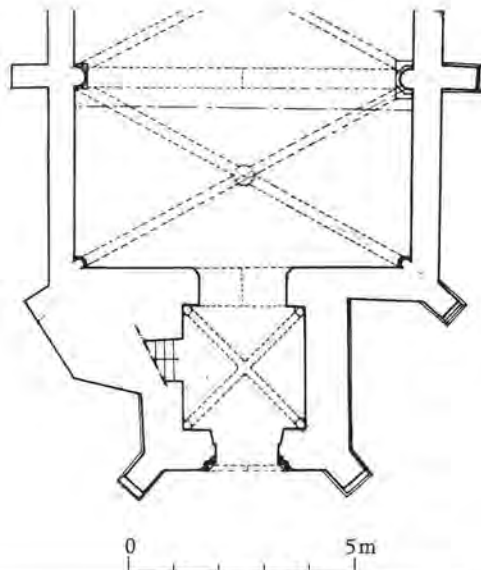
Brières (91), église Saint-Martin, croquis de relevé et dessin.

Report des points sur la minute

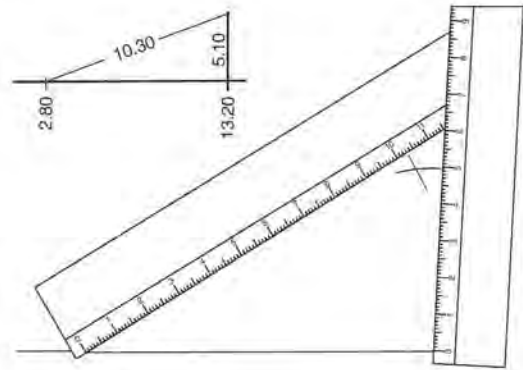
Report des points de détail rayonnés



Le dessinateur dispose d'un rapporteur circulaire. Il positionne le centre du rapporteur sur le point de station et tourne le rapporteur jusqu'à lire sur le côté de référence la lecture faite au théodolite ; si le point de station est une station de polygonale, il vérifie immédiatement la lecture sur le second côté. Une fois le rapporteur mis en place, il arrête sur le bord du rapporteur toutes les lectures faites et les identifiant par le numéro du point. Le dessinateur retire le rapporteur et reporte sur chaque visée la distance mesurée ; en contrôle, il vérifie les cotes périmétriques.



Report des points de détail intersectés (quasi-hauteurs, trilatération)



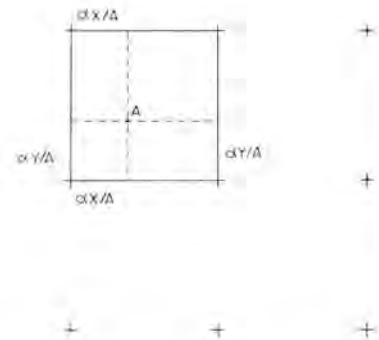
Le dessinateur utilise exclusivement le kutch pour réaliser les intersections ; dans le procédé des quasi-hauteurs, il reporte perpendiculairement à la base la hauteur approchée et trace un petit segment orthogonal au biseau puis il mesure la distance oblique ; soit l'intersection sur le petit segment est possible, soit l'opération est réitérée. Au fur et à mesure, les points intersectés sont identifiés et les cotes périmétriques servent au contrôle.³³³

Report des points par coordonnées rectangulaires

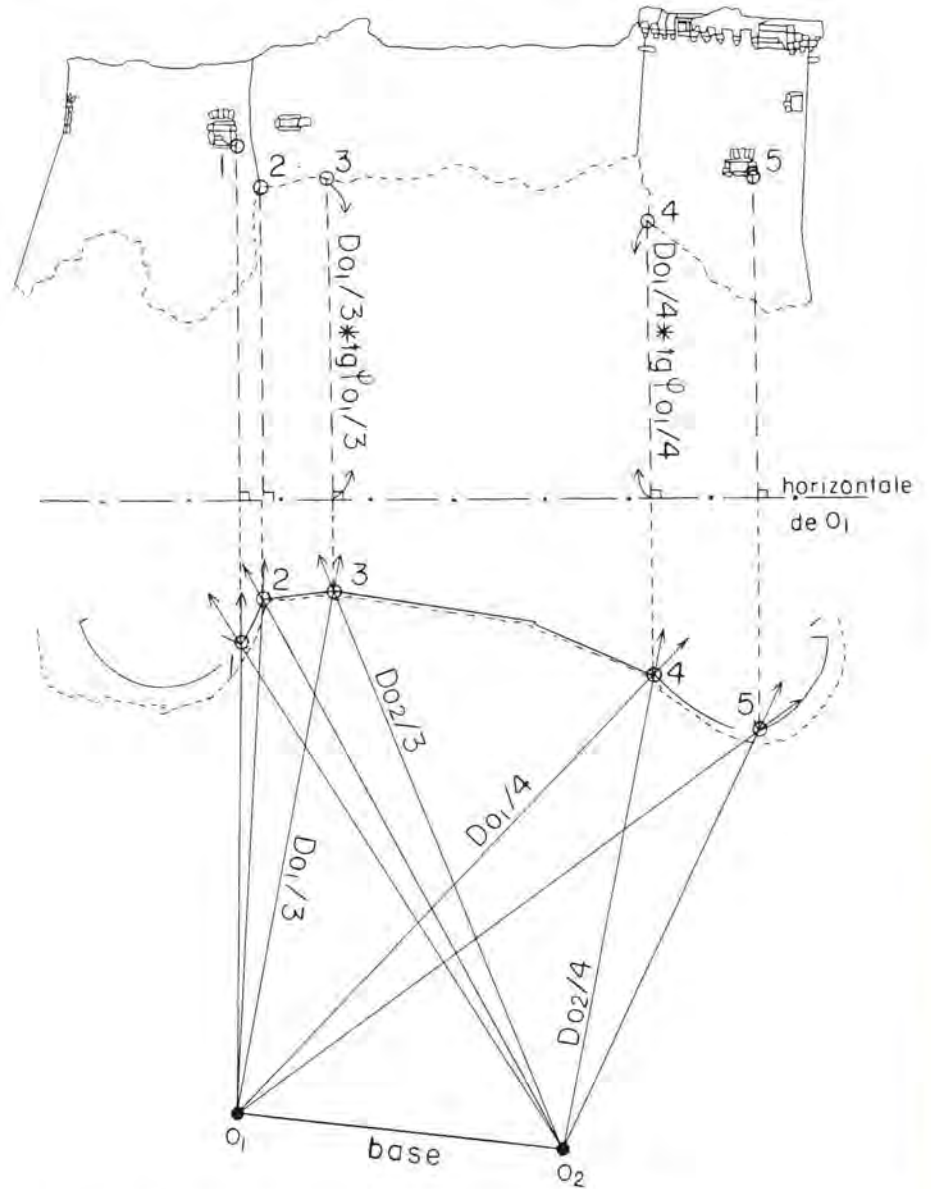
Il convient d'avoir sur sa minute un quadrillage parfait tous les 5 ou 10 cm. La meilleure façon est de faire dessiner, sur calque stable de format A0, à l'aide d'une table traçante, ce quadrillage. Le calque est conservé et sert de matrice pour réaliser par calquage la grille dont on a besoin.

Pour chaque point, on identifie le carré dans lequel il se trouve et l'on mesure sur les bords supérieur et inférieur, puis sur les bords droit gauche, respectivement les appoints en x et y ; on joint, l'intersection donne le point. Les cotes périmétriques (éventuellement les côtés de la polygonation s'il s'agit du report des sommets servent de contrôle.

Pour une polygonation, il s'agit du seul report convenable ; le tracé par les angles et la longueur des côtés de la polygonation aboutit à répercuter l'ensemble des erreurs inévitables de report sur le dernier angle et le dernier côté.



Par construction graphique ou par le calcul d'intersection, le triangle est résolu ; on en déduit les distances horizontales O_1A_1 et O_2A_2 qui, multipliées respectivement par les tangentes des angles verticaux mesurés en O_1 et O_2 , donneront les hauteurs A_1/A et A_2/A , du point [A] respectivement par rapport à l'axe de tourbillonnement du théodolite en O_1 et O_2 ; les angles verticaux mesurés en O_1 sur O_2 et en O_2 sur O_1 permettront de contrôler l'écart d_n ($A_1/A - A_2/A$) qui correspond à la différence de hauteur des axes des tourillons des deux appareils ($d_n O_1/O_2$).

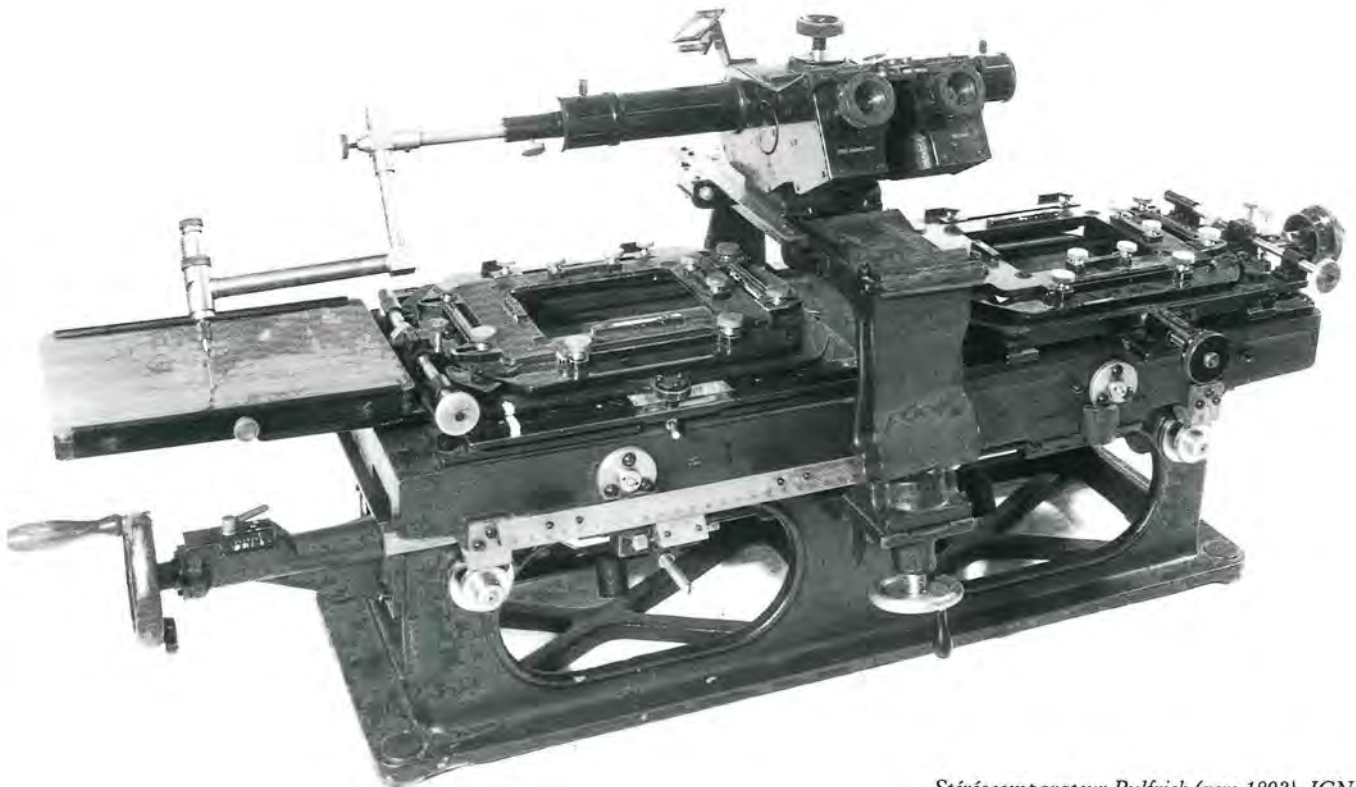


Ce procédé de détermination peut servir pour dresser des élévations ou des coupes mais, ponctuel, il oblige à mener de très longues opérations de terrain et des calculs complexes ; il ne sera utilisé que dans le cas de détermination très limitée et notamment pour "caler" certaines opérations photogrammétriques. Dans ce cas, ces déterminations de calage sont alors traitées exclusivement par le calcul afin d'obtenir dans un système approprié les coordonnées spatiales x, y, z (cf. Fiche 2).

5. Définition photogrammétrique de l'objet dans l'espace : les instruments

La photogrammétrie regroupe un ensemble de techniques qui permet, à partir de photographies d'objets — quelle que soit la dimension de ceux-ci — de rendre compte de leur forme, de mesurer leurs dimensions et de les situer dans l'espace. Ces mesures, dans certaines conditions, peuvent être traduites graphiquement en géométral, à une échelle voulue.

L'application la plus courante de la photogrammétrie porte sur la réalisation de cartes à partir de photos aériennes ; dans notre exposé nous ne développerons que l'usage de la photogrammétrie pour le relevé de l'architecture.



Stéréocomparateur Pulfrich (vers 1893). IGN.

5.1. Définitions

Nous ne définirons ici que les éléments strictement nécessaires à la conduite des relevés photogrammétriques terrestres.

5.1.1. Théorie de l'appareil photographique

L'appareil photographique se compose d'un objectif à travers lequel pénètre la lumière pour former sur le fond d'une chambre noire une image qui est recueillie sur une surface émulsionnée sensible à la lumière, le négatif.

L'objectif est un système optique complexe de lentilles dont les centres sont situés sur un axe appelé axe optique ; par simplification, nous admettrons qu'il est caractérisé par un seul point, le centre optique ou centre de projection O et par la distance focale de l'objectif f. On conviendra que l'axe optique est perpendiculaire au plan défini par le négatif.

Si l'on considère un point A situé sur l'axe optique à une distance a du centre optique, son image A' se formera à une distance a' telle que :

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$$

Pour chaque distance a correspondra donc une distance a'. Ainsi, pour un point situé à l'infini, la formule deviendra :

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{f}$$

c'est-à-dire que l'image se formera à une distance égale à la focale.

- Si cette équation n'est pas satisfaite, le point sera transcrit sur le négatif sous la forme d'une petite tâche circulaire, le cercle de diffusion, caractérisé par son diamètre z.

La formation de l'image d'un objet qui représente un certain volume nécessitera donc la mise au point du plan négatif de telle sorte que pour l'ensemble des points de l'objet les diamètres des cercles de diffusion restent admissibles : l'image sera alors dite définie ou nette.

Cette plage d'éloignement s'appelle la profondeur de champ ; elle augmente avec l'éloignement moyen à l'objectif et par la réduction de diamètre d'une pupille circulaire, le diaphragme, qui limite l'ouverture de l'objectif. Cette "ouverture," égale au rapport du diamètre de la pupille à la distance focale de l'objectif, s'exprime sous la forme 1/d (par exemple, 1/8, 1/11, ...). Plus l'ouverture sera réduite (c'est-à-dire d grand), plus la profondeur de champ sera grande.

Les distances a_v et a_h à l'objet, qui caractérisent la profondeur du champ pour une distance a, sont calculées à partir des formules suivantes³¹ :

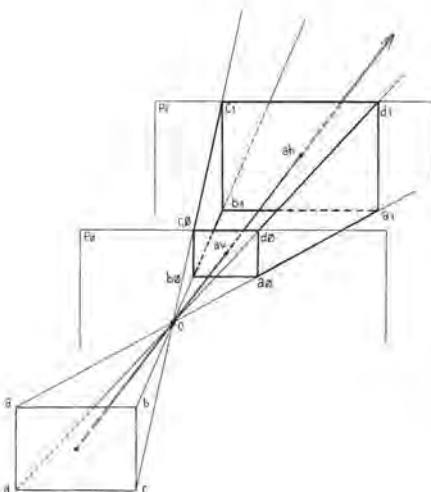
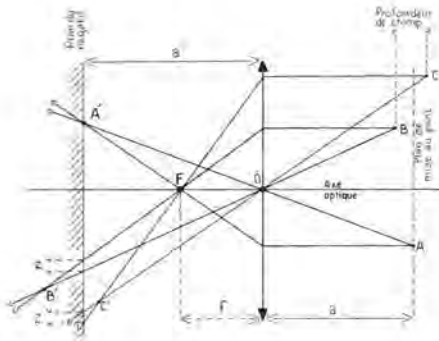
$$a_v, a_h = \frac{a \times f^2}{f^2 \pm (a - f) \times d \times z}$$

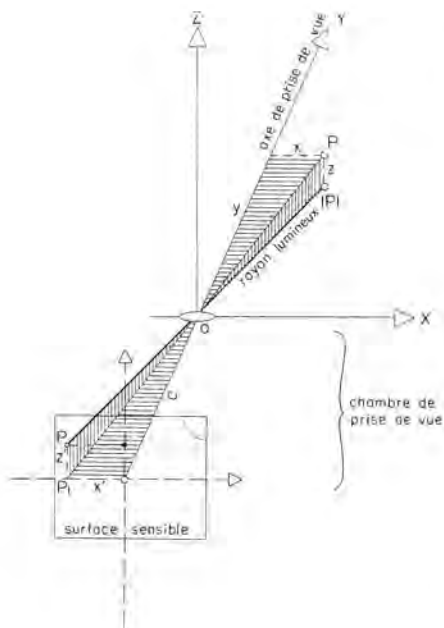
La distance hyperfocale (a_∞) est la distance de mise au point pour laquelle la profondeur de champ est maximum ; elle s'étend de a_∞ / 2 à l'infini. La distance hyperfocale est calculée par la formule suivante³² :

$$a_\infty = \frac{f^2}{d \times z}$$

- Le champ de l'objectif est la section de l'espace définie par l'ensemble des rayons lumineux qui pénètrent dans l'objectif et impressionnent la surface du négatif.

Schématiquement, ce champ pourrait être assimilé à un cône ayant pour sommet le centre optique O et pour génératrice l'ensemble des rayons issus de O qui passent à l'intérieur du cercle défini par la monture de l'objectif.





Cette gerbe de rayons définirait, dans le plan du négatif, une image circulaire ; c'est pourquoi le champ optique qui correspond à un format rectangulaire (ou carré) du négatif est assimilé à la pyramide ayant pour sommet le centre optique et dont les côtés s'appuient sur les bords du négatif.

En réalité, le champ photographique utile — tout au moins celui pour lequel l'image transcrite sera nette — correspond au tronc de pyramide résultant de l'intersection du champ optique par la plage de profondeur du champ.

La formation de l'image d'un objet placé dans le champ photographique est liée au rayonnement de chacun des points de cet objet (en nombre infini) ; parmi les rayons issus d'un même point, on distinguera le rayon principal qui passe par le centre de l'optique et poursuit — théoriquement — sa route en ligne droite. Cette distinction permet de considérer le centre optique comme sommet de deux gerbes de rayons homothétiques, l'une située dans l'espace-objet issue de l'ensemble des points de l'objet et l'autre située dans l'espace-image qui s'appuie sur les points-images (ou sur le centre des cercles de dispersion si l'objet n'est pas plan).

Ainsi la photographie transcrit le volume d'un objet sur le plan du négatif par l'intermédiaire d'une projection conique. La photographie d'un objet donne de celui-ci une image, et l'opération fixe dans l'espace une gerbe de rayons qui, partant de chaque point de l'objet, traversent en ligne droite l'objectif de l'appareil par son centre optique et viennent frapper la plaque sensible aux points-images. La prise de vue permet ainsi d'obtenir une image plane d'un objet volumétrique et d'enregistrer dans l'espace une gerbe de droites définies chacune par deux points connus, le point-image et le centre de l'objectif.

5.1.2. Théorie de la photogrammétrie

La prise de vue photogrammétrique permet ainsi l'enregistrement instantané de toute une série de rayons lumineux aboutissant aux points d'un objet.

Si l'on utilise une deuxième prise de vue photographique effectuée d'un autre point de vue, on obtiendra alors l'enregistrement d'une seconde gerbe de droites. Chaque point de l'objet aura donc déterminé sur les deux négatifs, deux points-images ; inversement, le point-objet se trouve à la convergence des rayons homologues partant des deux points-images et traversant les deux centres optiques.

Géométriquement, il apparaît alors possible de fixer dans l'espace chacun des points de l'objet à l'intersection des rayons homologues ; il suffit pour cela que la position et l'orientation des deux gerbes de rayons soient déterminées. L'appréhension des dimensions de l'objet est ainsi simplifiée puisqu'il suffit de mesurer, dans un système de référence unique, la position des deux centres de projections, O_1 et O_2 , centre des optiques, et les orientations relatives dans l'espace des deux axes de prise de vue.

Les deux prises de vue constituent un couple photogrammétrique.

5.2. Appareil photographique - chambres métriques

Certains phénomènes, liés aux lois physiques et à l'imperfection géométrique du matériel photographique, doivent être supprimés ou contrôlés dans les chambres de prise de vue photogrammétriques — ou chambres métriques — afin d'assurer la cohérence des intersections des rayons homologues.

La propagation de la lumière s'effectue selon un tracé ondulatoire qui varie en fonction de la longueur d'onde de la radiation ; l'image d'une source lumineuse ponctuelle sera donc une tache dont le rayon reste, en pratique, négligeable sauf

dans le cas d'ouvertures du diaphragme très petites (d supérieur à 30). Par contre, le système optique des appareils photographiques même de bonne qualité comporte un certain nombre d'aberrations non totalement corrigées qui altèrent la réception de l'image, dans des proportions insignifiantes pour une utilisation purement photographique mais qui faussent de façon conséquente la géométrie des gerbes de rayons si l'on doit les utiliser à des fins de mesurage.

5.2.1. Aberrations, distorsions

Ces aberrations de chromatisme, de sphéricité, d'astigmatisme et de distorsion, sont, pour les objectifs photogrammétriques, atténuées au maximum lors de la fabrication ; mais comme la correction ne peut être totale, il est nécessaire, par calibration et calcul, de posséder sur ces objectifs l'ensemble des données les caractérisant ; cet étalonnage doit faire l'objet de contrôles périodiques. Le système optique des chambres métriques comporte en général une dizaine de dioptries sphériques ou plans assemblés. Pour permettre l'utilisation d'émulsions noires et blanches, couleur et infrarouge, les objectifs des chambres métriques sont notamment corrigés pour l'ensemble du spectre jusqu'à environ 1000 nanomètres ; la distorsion maximum reste inférieure à 4μ et peut, le plus souvent, être négligée — la distorsion sur un appareil photographique professionnel mais classique atteint bien souvent près de 100μ —.

5.2.2. Distance principale

La netteté de l'image photographique dépend de la qualité de l'objectif mais également de la position plus ou moins correcte du plan/image par rapport à l'objectif. Pour assurer cette position dans les meilleures conditions, les chambres métriques fixent de façon rigide l'objectif par rapport au fond de chambre sur lequel l'émulsion sensible sera plaquée. La distance entre le fond de chambre et le centre de l'optique est appelée la distance principale c ; elle est calculée de manière à assurer une image respectant un diamètre maximum donné des cercles de diffusion pour des distances à l'objet, variable selon les cas. La distance principale est connue au $1/100^{\text{e}}$ de millimètre et la position du fond de chambre assure par exemple une image nette (avec z , diamètre du cercle de diffusion, inférieur à 5μ) pour des objets situés entre 5 m et l'infini (avec une ouverture de diaphragme de $1/22$).

5.2.3. L'axe optique

Le plan défini par le fond de chambre est constitué par un cadre ou par une glace à faces planes et parallèles ; il est, par construction, perpendiculaire à l'axe optique.

La trace de l'axe optique avec le fond de chambre, le point principal, est repérée ou matérialisée par des repères qui seront photographiés en même temps que l'objet. Ces repères définissent dans le plan du cliché deux axes (parfois un seul) qui se trouvent donc perpendiculaires à l'axe optique. La planéité du fond de chambre est assurée à quelques centièmes de millimètres et l'orthogonalité des axes assurée au demi-centigrade.

5.2.4. Le plan négatif

Il va de soi qu'une réception correcte de l'image ne peut se faire que sur un support sensible parfaitement stable et plan, c'est pourquoi, les chambres métriques terrestres nécessitent l'emploi de plaques de verre émulsionnées dont la planéité est assurée à 1 centième de millimètre ; dans les chambres aériennes le film stable est utilisé ; il est plaqué sur le fond de chambre par un système d'aspiration à vide ; ce

Décembre 1899.

TARIF RAISONNÉ
DES
PHOTOTHÉODOLITES
ET
PHOTOGRAMMÈTRES

DE
M. le Colonel LAUSSEDAT

MEMBRE DE L'INSTITUT
DIRECTEUR DU CONSERVATOIRE DES ARTS-ET-MÉTIERS

E. DUCRETET *

CONSTRUCTEUR

75, Rue Claude-Bernard, à PARIS

GRANDS PRIX AUX EXPOSITIONS UNIVERSELLES
PARIS 1889 - ANVERS 1894 - BRUXELLES 1897

Ces instruments ont été construits sur les indications de **M. le Colonel Laussedat** ; ils permettent, en appliquant la méthode imaginée par ce savant en 1850, de construire, d'après des vues de paysages photographiés, le **plan du terrain représenté** (*fig. de la couverture*).

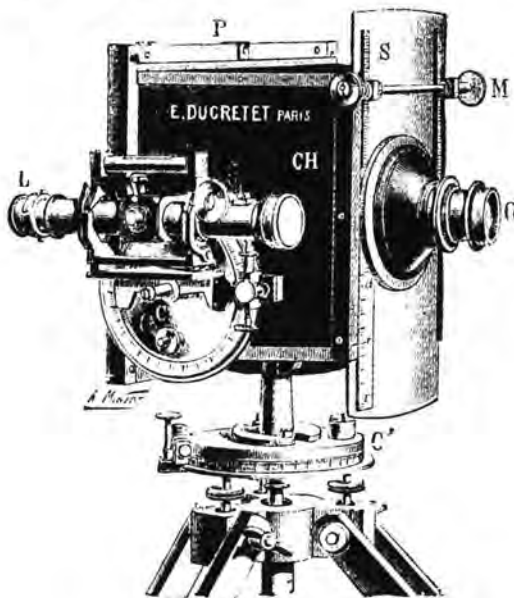


Fig. 1

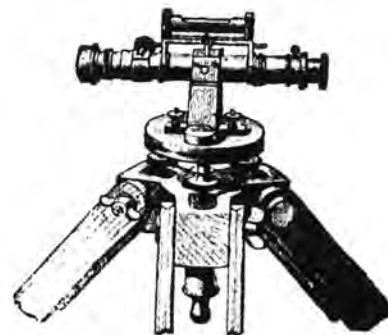


Fig. 2

Cette méthode peut rendre les plus grands services aux **géomètres, topographes, ingénieurs militaires et civils, explorateurs.**

système, qui alourdit considérablement les chambres, est utilisé par exception sur une chambre métrique terrestre.³³ Certaines chambres métriques terrestres disposent de la possibilité d'utiliser des films — ou des plans films — mais les clichés ne peuvent être utilisés sans précaution à des fins métriques ; ils constituent une documentation complémentaire en permettant notamment le recours à des émulsions — couleur ou infrarouge — qui n'existent pas sur plaque de verre.

5.2.5. La netteté

La netteté de l'image photographique obtenue est caractérisée par le pouvoir séparateur du système optique qui atteint souvent plus de 100 lignes au millimètre pour les chambres métriques (le pouvoir séparateur des appareils photographiques classiques étant d'environ 50 à 60 lignes).

5.2.6. Les chambres semi-métriques

L'introduction de l'ordinateur, avec ses possibilités d'effectuer rapidement des calculs complexes lors des processus de traitement et d'analyse des perspectives photographiques, atténue, dès à présent, l'obligation d'utiliser en photogrammétrie des chambres métriques. Des chambres semi-métriques ont fait leur apparition ces dernières années ; ce sont des appareils photographiques classiques étalonnés, dont le négatif est plaqué sur une glace portant une série de repères qui sont enregistrés en même temps que l'objet photographié. Des mesures faites sur ces repères avant l'analyse servent à éliminer les erreurs liées à la déformation des images.

5.2.7. Les appareils photos numériques

La formation résulte, comme dans l'image photo classique des réactions d'un capteur soumis à un flux lumineux traversant un objectif. Les modifications du capteur, confondu avec la pellicule, étaient permanentes avec l'image argentique ; elles sont provisoires avec le senseur (en anglais CCD : charge coupled device) situé derrière l'objectif et qui est constitué par un damier régulier de microcapteurs photosensibles. A chaque exposition les cellules analysent la lumière et transfèrent les charges électriques des photons, mesurées et codées sous forme d'une suite de bits binaires, sur un support d'enregistrement.

Evidemment la définition de l'image est liée au nombre de cellules qui compose le senseur ; ce type d'appareils photo (Canon Ion RC260) dispose fréquemment de 400 000 cellules (la définition actuelle de la télévision, 720 lignes \times 640 colonnes). Mais, dès à présent, des dos numériques offrent une définition plus grande : 1 300 000 pts pour le DCS de Kodak qui fonctionne avec un Nikon F3 et même 32 000 000 avec le Rollei 6000. Nous ne faisons pourtant qu'approcher la finesse d'une image argentique : à raison d'une information tous les 5 μ , il y a sur un 24 \times 36 mm plus de 34 millions d'informations (4800 \times 7200) et sur un 6,5 \times 9 cm, 234 millions (13000 \times 18000).

L'intérêt de ces photos numériques, immédiatement disponibles sans processus chimiques d'obtention, n'est pas lié, pour le moment, à leur définition mais à la grande souplesse des manipulations informatiques qu'autorisent les données numériques, en pixels. Des recherches, menées depuis 1985, mettent en évidence leur usage potentiel pour la photogrammétrie d'architecture, notamment en ce qui concerne les redressements et assemblages photographiques ; la précision encore toute relative des traitements stéréophotogrammétriques est en amélioration constante.

5.3. Influence des données photographiques dans l'obtention des clichés photogrammétriques

5.3.1. Les émulsions

Les émulsions noir/blanc sont constituées, par une suspension dans la gélatine, de cristaux de sels d'argent qui ont la propriété de réagir à la lumière.

L'opération photographique crée, au moment de l'exposition par insolation sur le support sensible, une image latente — c'est-à-dire invisible — qui va être "révélée" par un processus chimique ; développement, fixage, lavage et séchage du cliché transforment l'image latente en une image stable mais négative — c'est-à-dire où les valeurs lumineuses seront inversées — ; la répétition des opérations à partir de ce négatif permet d'obtenir sur un autre support une épreuve positive dont la photogrammétrie ne fait pas directement usage.

5.3.2. Le grain

Certains phénomènes liés à l'obtention de l'image photographique influent sur la netteté de l'image, par conséquent sur la définition de la gerbe perspective. On peut les classer en deux catégories : la première agit sur le "grain photographique," c'est-à-dire sur la taille de la définition ponctuelle :

- les cristaux de sels d'argent noyés dans la gélatine constituent par leur taille la limite absolue de finesse de l'émulsion et de définition des points ; leur taille croît de 0,8 micron à 4 microns en même temps que leur sensibilité — c'est-à-dire la rapidité à être impressionnés par la lumière —,
- l'absence de choix dans les émulsions sur plaque de verre (un seul type de plaque est aujourd'hui disponible en France) ne permet pas de graduer le souci de précision en utilisant des films plus ou moins lents,
- des phénomènes d'irradiation et de halo apparaissent liés à des zones de forts contrastes sur l'objet ; cet accroissement de l'impact de la lumière est ralenti et supprimé en partie par l'existence d'une couche anti-halo au dos des plaques,
- le révélateur peut accroître le "grain" de l'émulsion s'il est trop énergique ; le choix d'un révélateur plus dense, de type "grain fin," permet de conserver la définition à l'image.

5.3.3. La migration du grain d'argent

La seconde catégorie porte sur les déplacements isotropes ou non des cristaux d'argent, c'est-à-dire sur une déformation de l'image :

- le séchage de l'émulsion puis l'influence de divers facteurs (température, humidité, ...) peuvent entraîner des glissements et contractions de la gélatine et la "migration" des cristaux d'argent ; ces déplacements peuvent être amoindris en faisant sécher à température ambiante les clichés et en observant les règles de conservation,
- la variation dimensionnelle du support est évitée en grande partie avec les plaques de verre (stabilité 0,03°/°) et même avec les supports films type Estar (stabilité 0,1°/°).

5.3.4. Les pratiques opératoires

L'ensemble de ces phénomènes est encore mal connu ; leurs effets peuvent ne pas être négligeables pour des opérations de grande précision (quelques microns) et pourraient être mis en évidence — et donc compensés — par le doublement ou le triplement des prises de vue.

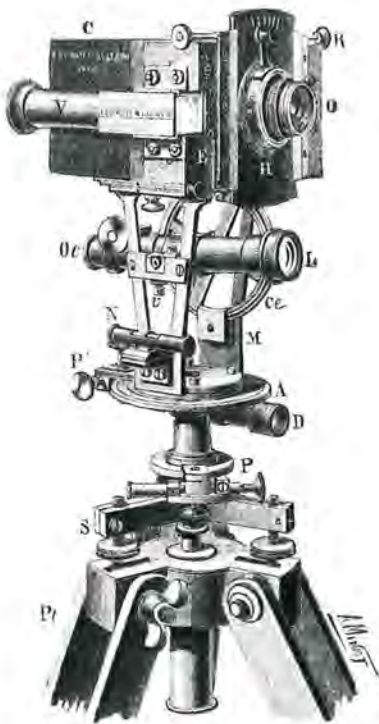


Fig. 3



Fig. 4

5.3.5. La qualité photogrammétrique

Pour terminer, il faut ajouter que la photographie du photographe et celle du photogrammètre doit présenter des différences dans la lisibilité. Le cliché photogrammétrique doit présenter de l'objet une image entièrement visible ; les contrastes trop forts ou les ombres trop denses sont à proscrire sauf si elles permettent d'accentuer un modelé délicat. Bien que l'objet puisse être considéré comme composé d'une infinité de sources émettant des lumières de coloration et d'intensité diverses, il doit être photographié de façon à permettre la lecture de l'ensemble de la gamme chromatique. En cas de contraste trop violent, le doublement des prises de vue avec la modification des conditions photographiques peut permettre d'assurer cette définition intégrale de l'objet en deux fois (temps de pause pour les ombres et temps de pause pour les fortes lumières).

5.4. Détermination du système de référence des gerbes perspectives

5.4.1. Le bloc de la chambre

La chambre forme un bloc rigide identifié par un point, le centre optique O_1 et ordonné autour de trois axes : l'axe de prise de vue et deux axes qui lui sont perpendiculaires dans le plan du cliché (les médianes des côtés courts et des côtés longs du cliché). La gerbe perspective rayonnante autour du point O_1 constitue un ensemble cohérent, partie intégrante du bloc rigide de la chambre et lié dans le même système. Par convention, on appelle, en photogrammétrie terrestre, Y l'axe de prise de vue, et X et Z les axes parallèles aux médianes du cliché et passant par O_1 . Un système global X, Y, Z sert de référence à un ensemble de gerbes perspectives ayant chacune leur système particulier ; c'est le cas en photographie aérienne.

5.4.2. Les paramètres du système

Chacune de ces gerbes particulières se trouve définie dans le système adopté par les coordonnées de son centre de projection et par les composantes angulaires de rotation autour de ce point. On aura donc pour un couple photogrammétrique à connaître les données suivantes :

- coordonnées des stations O_1 et O_2 (centres des optiques des chambres) ;

$XO_1, YO_1, ZO_1; XO_2, YO_2, ZO_2$

Les coordonnées de la deuxième station O_2 déterminent la base de prise de vue ; on les remplace plus généralement par les différences de coordonnées que l'on appelle les "composantes de base" b_x, b_y, b_z .

- écarts angulaires des systèmes trirectangulaires des chambres au système de référence :

φ_1 et φ_2 = rotation autour de l'axe des Z (convergence)

ω_1 et ω_2 = rotation autour de l'axe des X (site)

κ_1 et κ_2 = rotation autour de l'axe des Y (déversement)

- ces données sont obtenues par des mesures topométriques.

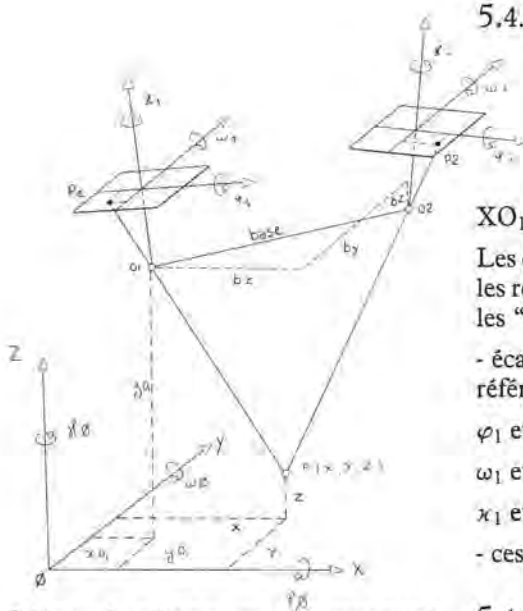


Schéma de référence en photogrammétrie aérienne.

5.4.3. Les dispositifs d'orientation

En photogrammétrie terrestre, le point de vue est généralement stable ; de façon à simplifier les problèmes de relation entre deux gerbes photographiques, la chambre de prise de vue est complétée par des nivelles et un système d'orientation. Les nivelles assurent l'horizontalité d'un ou de deux axes (X_1 ou X_1 et Z_1) ; le système

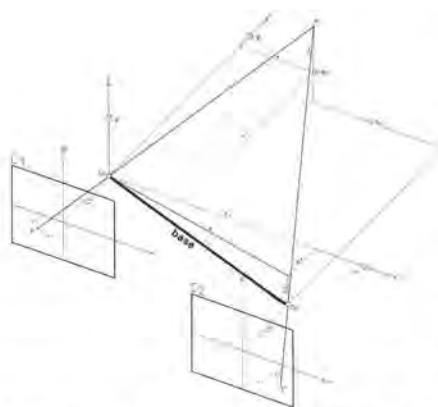


Schéma de référence en photogrammétrie terrestre.

d'orientation fixe l'axe de prise de vue (Y_1) par rapport à une référence (la droite joignant les deux points de vue O_1 et O_2 en général).

En pratique, on choisit le plus souvent le cas dit "normal" pour lequel les axes de prises de vue sont parallèles et perpendiculaires à la base ; c'est le cas réalisé par construction pour les chambres doubles.

Pour les chambres simples, la pratique opératoire est relativement peu complexe ; en chaque station O_1 et O_2 à l'aide de la nivelles (ou des nivelles), l'opérateur assure l'horizontalité des axes X et Y et le système d'orientation, bien souvent une simple équerre optique, lui permet de rendre l'axe X parallèle au plan vertical passant par les deux stations O_1 et O_2 . Les axes Y de prise de vue pour lesquels on assure la même inclinaison seront alors perpendiculaires à la base O_1O_2 ; les systèmes particuliers des deux gerbes seront aux translations et erreurs près identiques. Au moment du traitement, le système de référence de l'une des prises de vue sera choisi comme système de référence du couple photogrammétrique (en général la chambre gauche).

5.5. Les types de chambres terrestres

Les caractéristiques optiques et les formats des chambres sont fort diverses ; les distances principales varient entre 45 mm et 300 mm et les formats entre 6,5 cm × 9 cm et le 13 cm × 18 cm. Nous ne retiendrons ici que les chambres utilisées par le Service de l'Inventaire général qui présentent un éventail varié des types de matériel existant à l'heure actuelle.

Un élément fondamental leur est commun : les axes X et Z matérialisés par les repères du fond de chambre et l'axe de prise de vue Y forment un système qui est lié, par construction, aux nivelles de mise en station des chambres ; le plan défini par les axes X et Z peut être rendu vertical, l'axe des Y devient alors horizontal.



Chambre simple Wild P32.

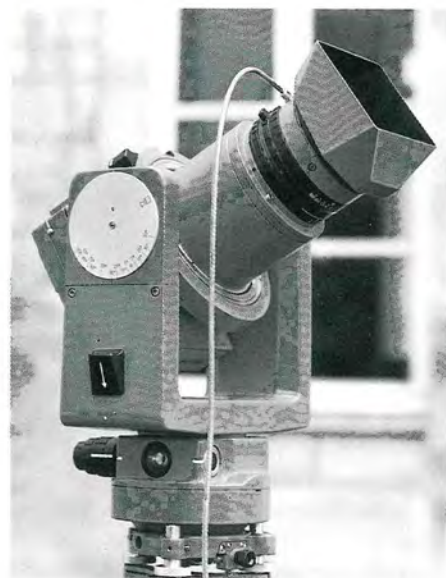
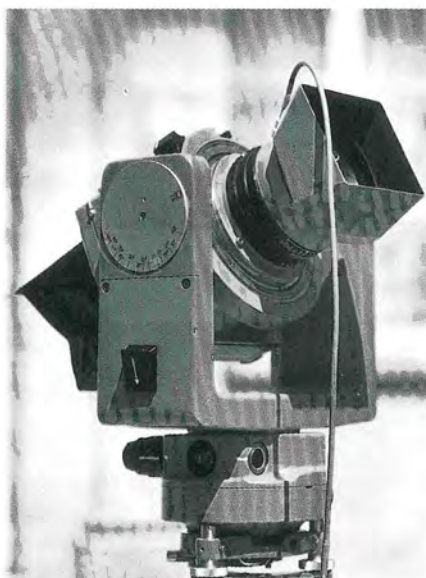
5.5.1. Les chambres photogrammétriques

Les photothéodolites

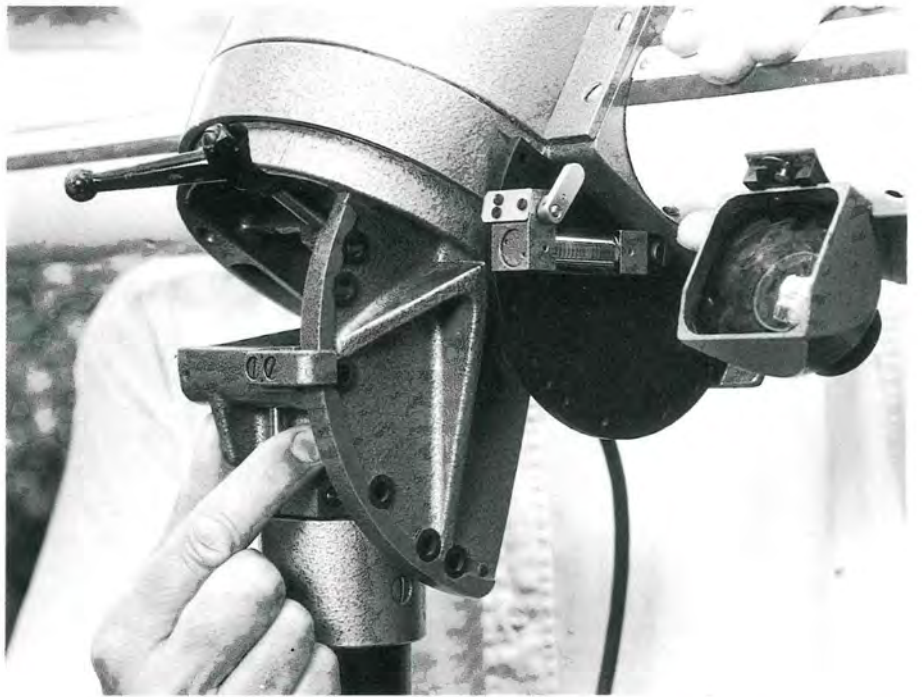
Ces chambres sont utilisées en liaison avec un théodolite qui permet d'enregistrer les données d'orientation et de fixer l'horizontalité du plan de référence.

Firme	Type		Format utile		Champ (en grades)		Distance principale en mm	Format des plaques	Champ approché pour une distance D
			Hauteur	Largeur	Hauteur	Largeur			
Zeiss	SMK 120	stéréométrique	50+50	40+40	44+44	37,7+37,5	60	9×12 cm	2D/3+2D/3 3D/4+3D/4
Zeiss	TMK 60	simple	50+50	40+40	44+44	37,5+37,5	60	9×12 cm	
Wild	C120	stéréométrique	40+20	40+40	35,6+19,3	35,6+35,6	64	6,5×9 cm	D/2+D/2 D/2+D/4
Wild	P32	simple	40+20	40+40	35,6+19,3	35,6+35,6	64	6,5×9 cm	
Wild	P31/100	simple	62+31	62+62	32,7+16,5	33,75+33,75	100	4×5" (10×12,5 cm)	D/4+D/4 D/4+D/8
Wild	P31/200	simple	53,5+29,5	58+58	16,6+9,3	18+18	200	4×5" (10×12,5 cm)	

La chambre Wild P32 de format 6,5 cm × 9 cm a une distance principale de 64 mm. Elle repose directement sur la lunette d'un théodolite ; par fixation — qui doit être contrôlée — l'axe Y de prise de vue est parallèle à l'axe optique du théodolite ; l'axe



Chambres simples Wild P31, distances principales 100 et 200 mm.



Chambre stéréométrique Wild C120, le dispositif de basculement.





Chambre simple Zeiss TMK.



Chambre stéréométrique Zeiss SMK.



Deux chambres Wild P32 montées en couple sur Variobase.

des X est parallèle à l'axe de tourbillonnement de la lunette ; l'axe des Z décrit un plan vertical et devient vertical lorsque la lunette est horizontale.

La mise en station du théodolite entraîne l'horizontalité de l'axe des X ; le tourbillonnement de la lunette dans le plan vertical entraîne l'inclinaison de l'axe Z et la rotation de la lunette autour de son axe principal permet l'orientation de l'axe de prise de vue par rapport à la base de prise de vue.

Les chambres simples

Elles sont pourvues d'un système de calage des plans de référence et des orientations de l'axe de prise de vue. La chambre repose sur une embase fixée à un trépied et qui comporte nivelle et lunette d'orientation ; par construction, l'axe principal de l'embase passe par le centre de perspective de la chambre ; lorsque la nivelle est réglée, l'axe X est horizontal. Le système d'orientation est, par construction, parallèle au plan défini par les axes X et Z de la chambre ; il suffit donc de viser l'autre station pour assurer l'orthogonalité de l'axe de prise de vue sur la base (le cas normal du couple photogrammétrique), l'inclinaison sur l'horizontale de l'axe de prise de vue s'effectue selon des angles fixes. Dans cette catégorie, on trouve : la chambre Zeiss TMK 60 de format 9 cm x 12 cm et de distance principale 60 mm ; la chambre Wild P31 de format 4 x 5 inches et pour laquelle existent trois cônes objectifs ayant comme distances principales respectivement 45 mm, 100 mm et 200 mm.

5.5.2. Les chambres doubles ou stéréométriques

Les chambres doubles consistent simplement dans l'assemblage de deux chambres de même type liées de part et d'autre d'un tube-support de longueur fixe matérialisant la base de prise de vue ; les axes de prise de vue réalisent avec cette base le cas normal. Le tube-support est fixé par son milieu sur un trépied ; il comporte un système de nivelles qui permettent de rendre horizontale la base, c'est-à-dire l'axe X et éventuellement l'axe Y. Un dispositif de crans, correspondant à des angles fixes, permet d'incliner l'axe de prise de vue par rapport à l'horizontale (30, 60, 90° ou 30, 60, 100°).

A ce type, appartiennent chez Zeiss la SMK 120, de format 9 x 12 cm et de distance principale 60 mm, et chez Wild la C120, de format 6,5 x 9 cm et de distance principale 64 mm. La base de ces chambres est de 1200 mm. Elles ont toutes deux la possibilité d'être utilisées, base horizontale (axes des X et Y horizontaux, axe des Z vertical) ou base verticale (axe des X vertical, axes de Y et des Z horizontaux).

5.6. Détermination photogrammétrique

Les caractéristiques des chambres métriques étant connues et les données d'orientation relatives des deux prises de vue mesurées, il devient alors possible d'imaginer la résolution de l'intersection des rayons homologues.

5.6.1. Détermination graphique (cas normal)

Cette détermination, en raison de la faible taille des clichés terrestres mais surtout de la base relativement faible (par rapport à la profondeur de l'objet), reste aujourd'hui plus théorique que pratique. Historiquement, elle a été utilisée durant tout le XIX^e siècle, dès l'avènement de la photographie, et au XX^e siècle des architectes comme Deneux l'ont pratiquée avec succès.

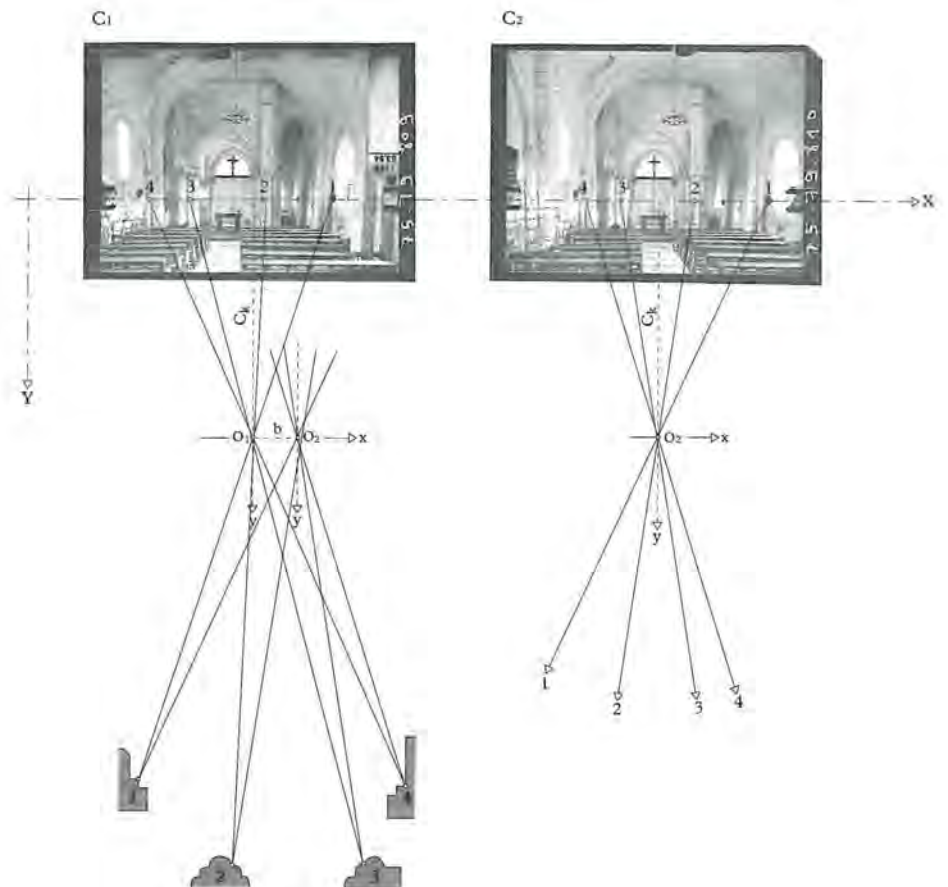
La détermination la plus simple est planimétrique (base, axes de prise de vue, c'est-à-dire X, Y). Les points dont on veut effectuer le report sont tout d'abord projetés sur l'axe X des clichés.

Sur un support transparent, on reporte à l'échelle désirée (1/100^e; 1/50^e; ...) les deux centres optiques O_1 et O_2 qui matérialisent la base, puis l'orientation des axes de prise de vue (dans le cas normal, ces axes sont reportés perpendiculairement à la base). Sur ces axes, et à partir des centres, on reporte pour chacune des chambres, la distance principale ou, dans le cas d'agrandissement des clichés, la distance principale multipliée dans le même rapport : en effet, dans ce cas, la configuration des faisceaux perspectifs — donc de leur intersection — ne changera pas.

Aux extrémités des distances principales correspondent les points principaux des clichés (traces des centres optiques des clichés sur les négatifs). Perpendiculairement à l'axe optique, on trace un axe qui représente l'axe des X du cliché.

On fixe alors de façon précise le cliché gauche C_1 de manière à ce que son point principal et ses axes de X et Z coïncident avec le point principal, l'axe des X et l'axe de prise de vue (sur lequel se trouve rabattu l'axe des Z). Puis, à l'aide d'une règle et d'un crayon, on trace sur le support transparent les rayons perspectifs des points que l'on veut reporter en traçant la droite qui joint le centre optique O_1 à la projection sur l'axe des X des points désirés.

On réitère l'opération en fixant le cliché droit C_2 . Les rayons homologues s'intersectent en des points qui représentent la projection horizontale des points cherchés. Cette détermination graphique ponctuelle est longue ; l'identification des points homologues sur les clichés reste imprécise et le tracé des rayons rend la construction bien vite hasardeuse mais elle éclaire les possibilités d'analyse et de traitement des perspectives photographiques.



5.6.2. Détermination par le calcul (cas normal)

Dans le système d'axes définis par la chambre métrique, mise en station, un point-objet P de coordonnées X, Y, Z a pour image un point p de coordonnées x_1, c, z_1 ; dans l'homothétie de centre O, on peut écrire :

$$\frac{X}{x_1} = \frac{Y}{c} = \frac{Z}{z_1} \text{ ou } \frac{X}{Y} = \frac{x_1}{c} \text{ et } \frac{Z}{Y} = \frac{z_1}{c}$$

La distance principale de la chambre, c, est donnée par le fabricant ; x_1 et z_1 peuvent être mesurés sur le négatif lui-même. La valeur (x_1/c) représente la tangente de l'angle horizontal de la visée O_1P , la valeur (z_1/c) représente la tangente de l'angle vertical de la visée O_1P .

A partir d'une deuxième station repérée topographiquement par rapport à la première, le deuxième cliché permettra le calcul des angles horizontal et vertical d'une deuxième visée. Le point P sera donc déterminé par l'intersection de ces deux visées dans l'espace.

Dans le cas normal (axes de prise de vue parallèles et perpendiculaires à la base b), les deux prises de vue étant effectuées avec des chambres ayant les mêmes caractéristiques (ou la même chambre), on constate si l'on adopte comme système de référence le système de la chambre de gauche :

$$\frac{Y}{c} = \frac{X}{x_1} = \frac{Z}{z_1} \text{ (première chambre)} \quad \frac{Y}{c} = \frac{(X - b)}{x_2} = \frac{Z}{z_2} \text{ (deuxième chambre)}$$

$$\text{soit donc : } \frac{Y}{c} = \frac{b}{x_1 - x_2}$$

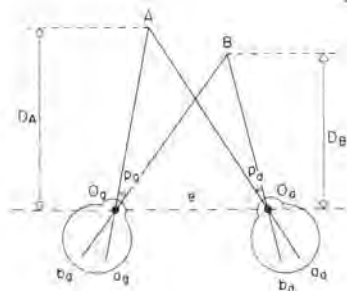
On pose $x_1 - x_2 = p$ que l'on appelle la parallaxe et l'on obtient :

$$Y = \frac{c \times b}{p} \quad X = \frac{x_1 \times Y}{c} = x_1 \times \frac{b}{p} \quad Z = \frac{z_1 \times Y}{c} = z_1 \times \frac{b}{p}$$

Dans le cas "normal," la détermination de la position des points-objets P, Q, R, ... (en nombre infini), qui ont donné lieu, chacun à deux points-images, peut s'effectuer, en connaissant la distance principale de la chambre, c, à partir des strictes mesures de la base b sur le terrain et des coordonnées des points-images relevées sur les deux clichés.

Des instruments, les comparateurs, équipés d'optiques de grossissement, permettent la détermination précise des coordonnées-image ; celles-ci, ajoutées aux données du terrain et de la chambre sont traitées sur ordinateur à l'aide de programmes appropriés. La liste de points connus en coordonnées peut ensuite servir de base à une rédaction graphique sur table traçante ou à des traitements appropriés (par l'intermédiaire d'un ordinateur et d'un logiciel).

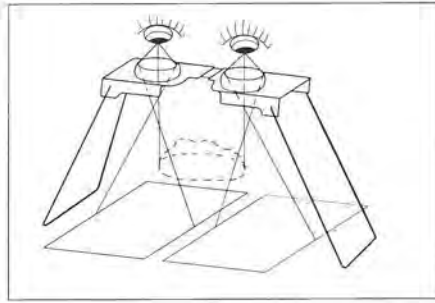
5.7. La stéréoscopie



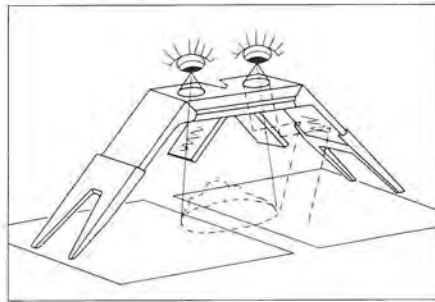
L'homme observe l'espace simultanément à l'aide de ses deux yeux ; le même objet n'est pas vu sous le même angle par chacun des yeux et forme sur les rétines deux images différentes dont le cerveau opère la fusion, créant du même coup l'impression de relief. Ainsi, c'est la parallaxe angulaire qui permet à l'homme d'appréhender les dimensions et les distances relatives des formes les unes par rapport aux autres et d'identifier l'espace dans lequel il se meut.

Cette parallaxe est mise facilement en évidence en observant avec l'œil gauche seul puis l'œil droit seul la variation de position, sur un paysage lointain, d'un crayon tenu à bout de bras.

Stéréoscope ; SRPI Morin.



Stéréoscope à miroirs ; Wild ST4.

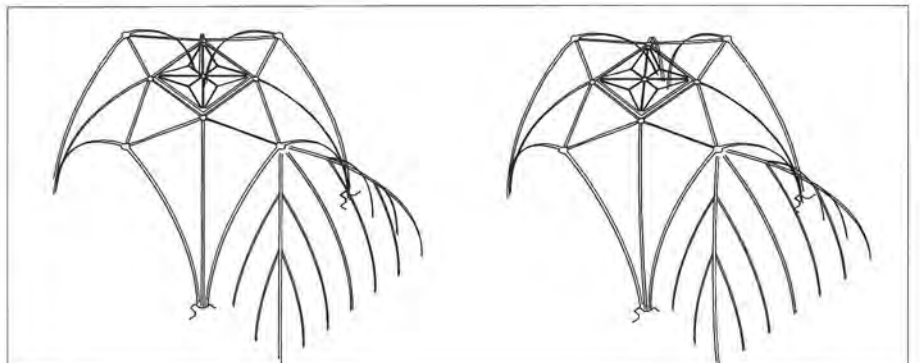


7. ALGER — Vue de la Casbah

Vues Stéréoscopiques



Le Vésinet (78), église Sainte-Marguerite, dessin stéréoscopique des voûtes obtenu par photogrammétrie.



L'impression du relief s'obtient également à partir de deux représentations perspectives légèrement différentes, graphiques ou photographiques. Ces deux perspectives doivent naturellement respecter les conditions de la vision humaine : elles doivent être sensiblement à la même échelle et avoir des orientations proches. C'est-à-dire respecter le cas normal. Les deux perspectives sont fusionnées en une image spatiale, le modèle virtuel. L'effet de profondeur est augmenté artificiellement si l'on observe les images sous grossissement et si la distance entre les deux centres perspectifs est supérieure à l'écart interpupillaire des yeux (hyperstéréoscopie).³⁴

Plusieurs procédés facilitent l'examen stéréoscopique de deux images ; ils visent à séparer les faisceaux oculaires de manière à ce que les images gauche et droite soient vues respectivement par les yeux gauche et droit.

L'impression — ou la projection — en couleurs complémentaires (rouge et vert par exemple) des deux images, observées à l'aide de lunettes teintées (rouge et vert par exemple) provoque la vision en relief appelée "anaglyphes." Les deux images peuvent également être projetées et observées en lumière polarisée croisée, ce qui autorise la vision en relief d'images en couleur. D'autres techniques peuvent être utilisées comme des lunettes à diaphragmes synchronisés qui obturent la vision gauche puis droite devant des images projetées alternativement et au même rythme mais le stéréoscope reste encore l'instrument le plus simple et le plus efficace.

Il s'agit d'une loupe binoculaire sous laquelle on dispose les deux images ; pour faciliter la vision des images de grand format (photos aériennes), celles-ci peuvent être tout d'abord réfléchies par des miroirs ou des prismes ; il s'agit alors de stéréoscopes à miroir.

L'acuité visuelle stéréoscopique, définie par la plus petite parallaxe pour laquelle l'observateur distingue une différence de profondeur entre deux points, est de l'ordre de 6 milligrades soit une valeur d'acuité cinq fois plus forte que l'acuité visuelle monoculaire.

L'hyperstéréoscopie facilite l'identification des points homologues sur les deux images ; elle permet de voir des détails inappréciables de visu, c'est-à-dire devant l'objet lui-même et de saisir la complexité de volumes que la vision naturelle lointaine aurait tendance à "aplatir."

La permutation des deux perspectives inverse le relief et, en "cassant" les systèmes de références habituelles, facilite l'observation de phénomènes particuliers.³⁵

La simple "lecture" stéréoscopique augmente considérablement les possibilités qu'offre l'analyse de photographies ; les microscopes classiques ou électroniques sont depuis longtemps fréquemment stéréoscopiques pour bénéficier de la finesse de cette acuité. L'analyse stéréoscopique de photos aériennes, pour interpréter des sites urbains ou archéologiques, s'avère courante mais, pour l'architecture et la sculpture, la pratique est assez inexistante. Pourtant, par stéréoscopie, la forme de l'objet, sa "texture," ses subtiles ruptures de plan, sont appréhendées et permettent, mieux qu'à l'œil nu, d'affiner des typologies de structures (études de voûtements, de plis par exemple), de saisir le sens ou le sujet de motifs de faibles reliefs ou érodés (iconographie ou dates de chronogrammes, lecture d'un appareil complexe, ...).

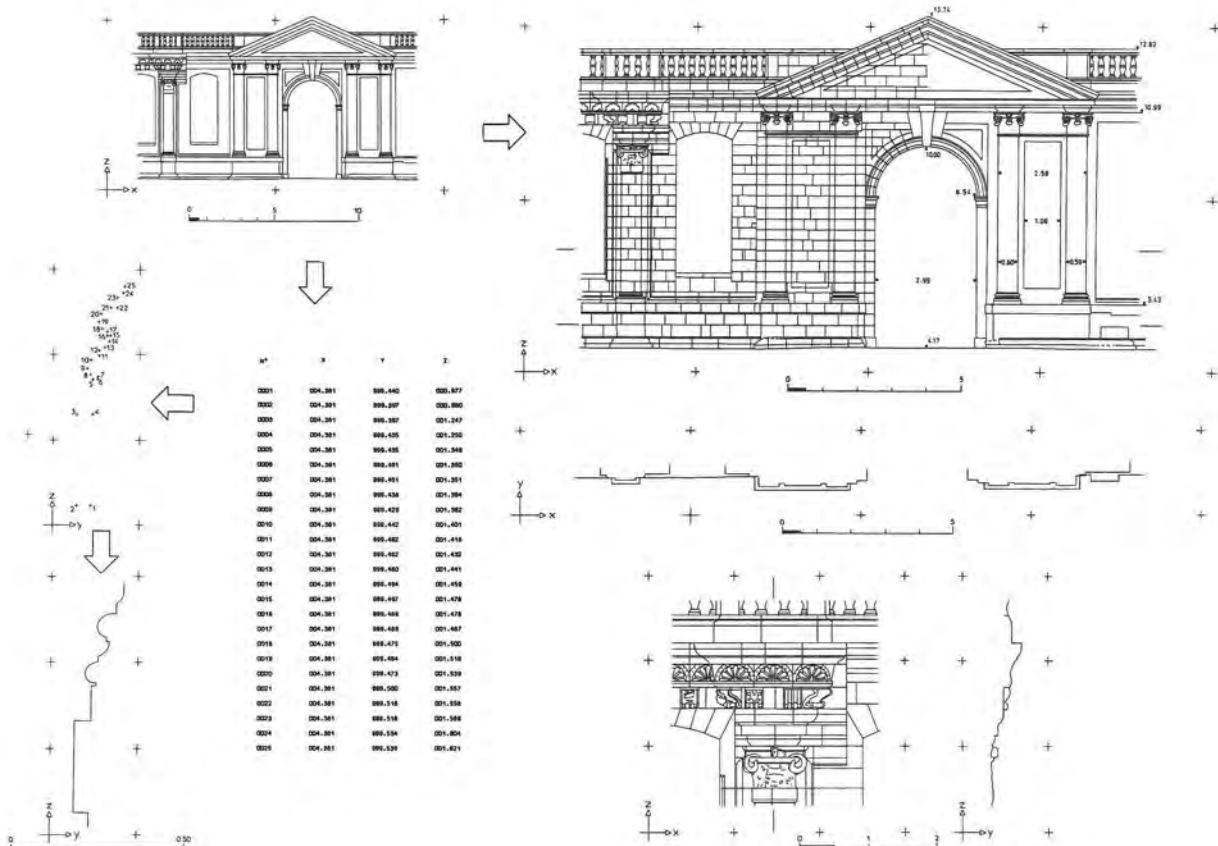
5.8. La stéréophotogrammétrie

La stéréophotogrammétrie va traiter l'intersection des deux rayons homologues par l'intermédiaire de l'observation stéréoscopique. L'identification des deux points homologues est réalisée avec une extraordinaire sensibilité et permet la construction d'un premier appareil imaginé par l'allemand Pulfrich en 1901 qui va mesurer, dans le plan de la photographie, les coordonnées x_1 , z_1 et x_2 et z_2 des



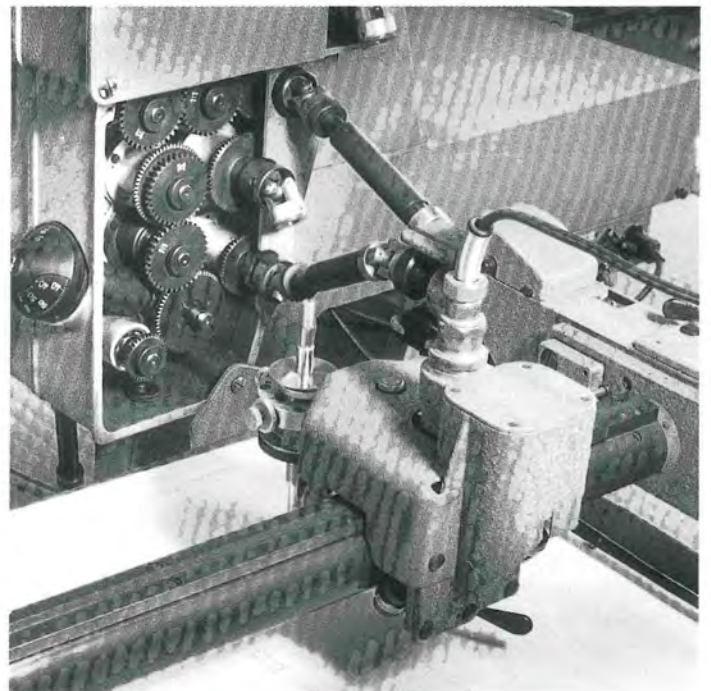
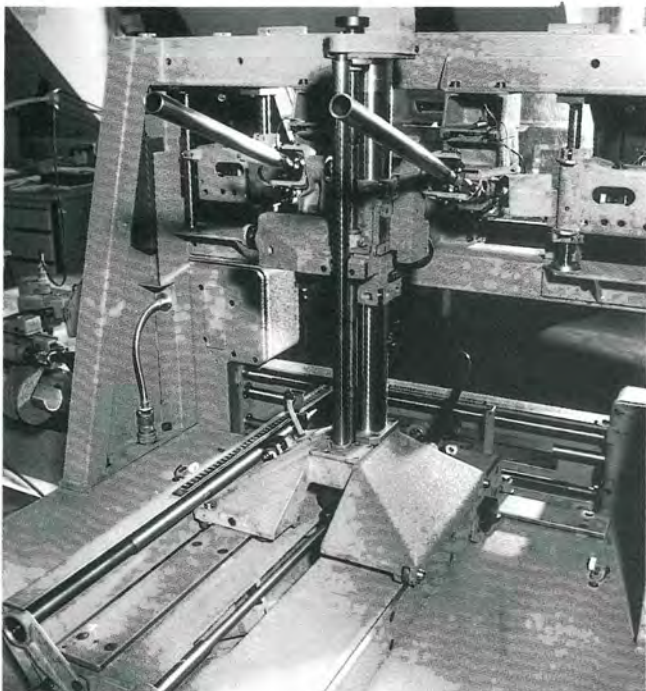
0 5m

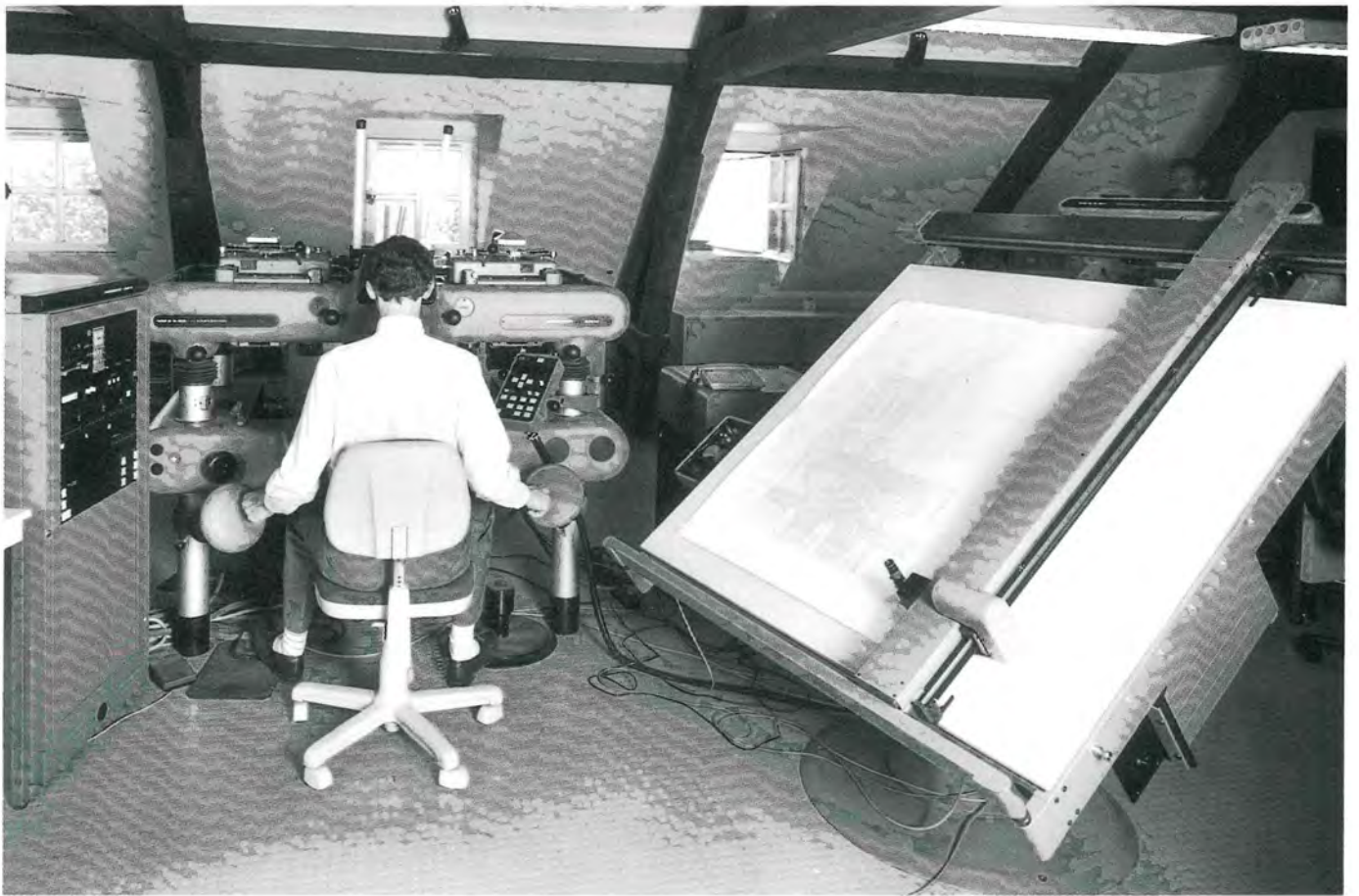
Chambord (41), château, porte royale. Le couple photogrammétrique, le photoplan et les possibilités de traitement des mesures.





Restituteur Wild A40. La mécanique reproduit le phénomène purement optique de l'intersection dans l'espace des rayons qui se trouvent matérialisés par les deux tiges au premier plan. Des engrenages assurent la transmission des mesures à la table à dessin.





Restituteur Wild Aviomap AMU. Le calculateur assure principalement la transmission à une table traçante. Les angles de rotation des clichés l'un par rapport à l'autre et dans l'espace sont introduits réellement par l'intermédiaire de compteurs.



points-images. Les coordonnées dans l'espace en sont déduites par le calcul ou des tracés. Quelques années plus tard, l'autrichien von Orel (et l'anglais Thompson) mettent au point un instrument dit "analogique" ; celui-ci reconstitue mécaniquement l'intersection des rayons lumineux des points-images vers le point-objet et permet à l'observateur de suivre dans le modèle virtuel, à l'aide de l'index-repère, les lignes de l'objet. Les coordonnées spatiales XYZ des points successifs qui définissent les contours sont mesurées directement sur des échelles graduées liées à trois chariots et complétées par trois verniers. Les déplacements pour explorer l'objet sont commandés par trois volants, deux manivelles et une pédale reliés par des engrenages à une table qui va tracer en continu les lignes parcourues et ainsi transcrire l'objet, en géométral, dans un plan sélectionné — XY ou XZ ou YZ —. A partir de deux photos l'opérateur peut ainsi saisir non seulement des positions de points significatifs dans un espace référencé mais définir la forme de lignes ; la description précise et effective de l'objet, ainsi rendue possible, met en évidence la structure et ses déformations comme les moindres détails du décor. L'interpolation entre les points mesurés qui était la règle absolue de toutes les méthodes précédentes (y compris la photogrammétrie) est supprimée au profit d'une reconstitution dont la fidélité est assurée. La continuité objective de l'information photographique et sa densité remplacent la discontinuité sélective du relevé ponctuel. L'invention de l'avion, en rendant possible les couvertures aériennes et la réalisation par photogrammétrie des cartes, développa et perfectionna l'instrumentation tout en respectant, jusque dans les années 80, le même schéma analogique.

Le restituteur stéréophotogrammétrique, constitué de tiges, de cardans, de chariots et d'engrenages, constitue forcément une machine complexe mais limitée, guidée dans ses "mouvements" par la rigidité de la mécanique, par la taille de ses éléments. Il est adapté, pour ces raisons, aux spécificités de la carte. Ainsi, la terre, la "surface terrestre" et l'expression est sans équivoque, s'exprime par des dimensions planimétriques en kilomètres et une dimension altimétrique en mètres ; la longueur réduite du chariot des altitudes (ou de la profondeur) reflète cette hétérogénéité qui n'est pas sans poser de problèmes lors du traitement d'une architecture dont les dimensions sont homogènes, du même ordre de grandeur en longueur, largeur et hauteur.

L'introduction de l'ordinateur, pour gérer les fichiers numériques et la table à dessiner de l'instrument analogique, puis pour animer totalement l'instrument analytique, a fait disparaître une grande partie de ces inconvénients (mais le parc de matériel analogique demeure encore pour l'instant le plus important).

En effet, l'ordinateur introduit une réelle souplesse dans le restituteur analytique d'une part en éliminant les limites strictement mécaniques de la machine, qui réduisaient les paramètres possibles de la prise de vue et, d'autre part, en lui faisant jouer complètement son rôle de machine à mesurer l'espace que ses fonctions trop explicites de dessin avaient eu tendance à totalement masquer. Le restituteur analytique accepte tous les formats de clichés et quelles que soient leurs focales ou les conditions d'orientation ; les paramètres assurant la vision stéréoscopique doivent néanmoins être respectés.

L'appareil analytique remplace le mesurage spatial direct par un mesurage limité aux deux dimensions des clichés ; ces données sont envoyées à l'ordinateur qui, à partir des éléments d'orientation des chambres et de leurs étalonnages, va calculer en temps réel les trois dimensions x, y, z, pour les communiquer à la mémoire de l'ordinateur et/ou à la table à dessin.

Machine à mesurer l'espace photographié, le restituteur retrouve même l'origine de ses racines avec l'actualisation du monocomparateur de Pulfrich repris par les systèmes semi-métriques (Rollei ou Leica-Elcovision) : l'opérateur pointe successi-



Le DVP de Leica.

vement le même détail sur deux photos disposées sur un digitaliseur et l'ordinateur, en fonction des données des chambres de prises de vues et de points de calage, oriente les faisceaux perspectifs et calcule les intersections spatiales.

L'avantage est de pouvoir réaliser l'intersection à partir de faisceaux quelconques — non stéréoscopiques — et nombreux ; les inconvénients tiennent dans l'absence de l'examen stéréoscopique qui ne permet pas de calculer des points non identifiés (sur la courbe d'une nervure ou d'un arc non clavé, par exemple) et dans la lenteur du processus de double pointé. De plus, la précision des points retenus pour analyser l'édifice dépend de la qualité et du nombre des points d'appui ; ceux-ci sont indispensables et l'opération de terrain qui gagnait à être menée avec des appareils photos légers (24×36 ou 6×6) est ralentie et alourdie par la topographie. Ainsi ces systèmes se révèlent lents si l'on veut obtenir les fichiers de points abondants nécessaires pour que les logiciels graphiques (type AutoCAD) fabriquent des dessins qui ne théorisent pas la forme effective de l'édifice.

Dans un esprit tout différent, il faut noter les recherches menées, ces dernières années, par l'université Laval à Montréal (Québec). Le résultat en est ce digital-véo-plotter, le DVP distribué aujourd'hui par la firme Leica. Celui-ci fonctionne sur un ordinateur de type PC équipé d'un simple système d'observation stéréoscopique (stéréoscope à miroirs). Cette station élémentaire de stéréorestitution fonctionne à partir de photos numérisées visualisées sur l'écran ; le logiciel permet de leur superposer les points et les lignes saisis. Les photographies originales sont stéréoscopiques et la précision du pointé varie avec la résolution de la numérisation mais atteint 70% de la taille du pixel (50 microns pour 400 dpi). Les fichiers obtenus sont transférés dans les formats compatibles avec des logiciels d'édition graphique (Arc/Info, AutoCAD...). Correspondant au même investissement que les stations semi-numériques, le DVP présente l'avantage de la stéréoscopie et d'une convivialité plus grande ; le mixage à l'écran de la photo et des points et lignes saisis en fait un outil pédagogique qui pourrait permettre à l'utilisateur, architecte, archéologue ou historien de répondre lui-même à un grand nombre de ses besoins



Le DVP de Leica permet de renvoyer en superposition à la photographie, l'analyse dessinée introduite dans un mode perspectif.



Restituteur Wild BC3. Le fichier numérique est affiché en temps réel sur le moniteur, sous forme graphique.

en relevés. Malgré la modicité actuelle de sa précision, le faible coût et surtout la capacité d'une analyse directe par le spécialiste assurent une excellente adéquation aux besoins d'étude et de conservation de l'architecture.






Avec la dernière génération des appareils stéréorestituteurs de grande précision, l'ordinateur joue également un rôle prépondérant. D'autant plus qu'il conduit à diminuer les coûts d'investissement : les logiciels photogrammétriques spécifiques se limitent aux tâches de calibration, d'orientation, de calcul et de stockage des coordonnées objet XYZ. En aval, les applications peuvent se trouver confiées à des logiciels banalisés. Les appareils actuels présentent nettement moins de pièces mécaniques et plus de fonctions intelligentes.

Les appareils analogiques n'échappent pas à cette informatisation puisqu'il suffit de récupérer, par des codeurs linéaires, le mesurage spatial pour les faire échapper aux lourdeurs mécaniques des limitations en focale et en basculement qu'ils subissaient. L'appareil Wild BC1 de l'Atelier de photogrammétrie de l'Inventaire a été transformé en BC3 par l'échange de quelques cartes électroniques et de la dernière version du logiciel. Organe indispensable des premiers restituteurs analytiques, la table traçante qui servait au contrôle de la saisie et limitait les stockages dans la mémoire de l'ordinateur, est remplacée par l'écran ; elle devient ainsi le périphérique commun de plusieurs appareils.

Le vocabulaire lui-même change et entérine ces bouleversements : le SD2000 de Leica n'est plus un restituteur mais un stéréodigitaliseur. La compacité de



Le Leica SD2000. Le stéréodigitaliseur se trouve en amont de tout un environnement informatique qui va gérer, traiter, adresser les données numériques issues des photos.

-  Porte-clichés.
-  Binoculaire d'observation.
-  Ordinateur (gestion des tâches photogrammétriques de base).
-  Interface graphique.
-  Ordinateur principal (logiciels d'application).

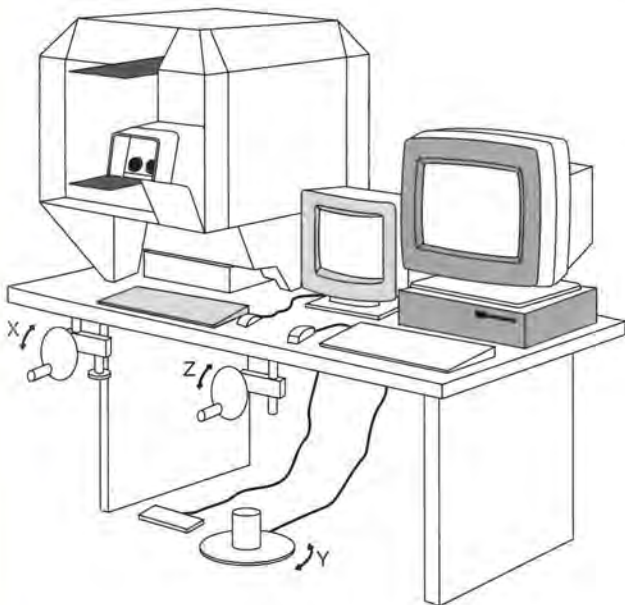


l'appareil est due en grande partie à la superposition des deux clichés sur la gauche de l'appareil ; avec cette superposition disparaît le dernier signe analogique — cliché gauche, cliché droit — qui subsistait. Deux cartes électroniques contrôlent la quasi-totalité des fonctions optomécaniques. Le logiciel tourne sur un PC et contrôle toutes les phases de l'opération de l'analyse jusqu'au transfert des données vers des logiciels d'application.

Des possibilités nouvelles qui ne sont pas encore aujourd'hui toutes exploitées se sont révélées notamment par l'analyse de l'architecture ; ainsi, à partir de fichiers numériques qui décrivent l'objet et réalisent une maquette numérique visionnable à chaque instant sur table traçante ou sur un moniteur, des logiciels élaborent des représentations sophistiquées qui se prêtent à de multiples simulations techniques ou pédagogiques (cf. Chapitre 9, 9.2., 9.3.).

L'univers des ingénieurs-mécaniciens, des Pulfrich, des Von Orel, des Poivilliers, des Roussilhe et des Wild dont le génie se jouait de la virtualité des phénomènes physiologiques du relief fait place à ce monde étrange dominé par des puces. Le technicien photogrammètre, l'opérateur-restituteur ont dû suivre, en dix ans, les bouleversements technologiques qui les ont pris dessinateurs et cartographes et les laissent ingénieurs en informatique.

Dans le domaine de l'architecture, il reste pourtant un pas à franchir, celui qui réintroduira, dans les linéaments si justement saisis par la photogrammétrie, l'aquarelle et le lavis. Un pas que les palettes graphiques sont dès à présent en état de dépasser non seulement par l'artifice des couleurs mais aussi par le recours à la séduction de la photographie incorporée et posée comme un épiderme dans la rigueur de l'épure.



Utilisation graphique de photographies isolées

La photographie comme base directe du dessin

Croquis

La photographie apporte une information globale et dense sur laquelle une analyse faite par ailleurs est difficilement superposable.

Lorsque le mode de représentation n'est pas important, il est possible, par simple calquage, de saisir les lignes suffisantes pour décrire l'objet et de plaquer par l'intermédiaire de trames, de lettres de rappel, des données complémentaires. Ce type d'utilisation convient particulièrement à des croquis explicatifs, des schémas d'organisation spatiale, ...

Perspective

La photographie inscrivant une perspective automatiquement sur le négatif, il serait vain, lorsque le point de vue est stationnable, de réaliser la perspective d'un objet autrement que par ce média. Evidemment, la perspective photographique peut être calquée pour éliminer certains détails anachroniques par exemple et donner, avant l'adjonction d'un corps de bâtiment, l'allure de l'édifice.

Complètement

Enfin, lorsque la photographie est prise d'une distance suffisamment grande par rapport à la taille de l'édifice ou plutôt d'un de ses détails, l'image perspective (quelle que soit la focale utilisée qui n'intervient que sur la grandeur relative de représentation) est très proche du géométral. La photographie peut ainsi être utilisée pour compléter l'information d'un relevé en donnant, par exemple, l'image d'une file de balustrades³³⁴ qui, mise à l'échelle, sera dessinée sur son socle et sous son appui qui, seuls, auront été relevés. La photographie doit naturellement adopter le même plan de référence que celui de la planche à compléter.

La décomposition perspective de la photographie

Henri Deneux, l'architecte en chef des Monuments historiques qui a restauré vers 1930 la cathédrale de Reims, a beaucoup exploité les informations que pouvaient lui donner des photos anciennes de parties bombardées de l'édifice.³³⁵

Chaque photographie est un cas d'espèce et l'exploitation, qui repose évidemment sur une série d'hypothèses plus ou moins valides, et ne fournira fréquemment qu'une information métriquement imprécise mais formellement très enrichissante sur l'histoire de l'édifice ; notamment, si les dimensions demeurent bien souvent relatives, les rapports de proportions sont exacts.

Avec des phototypes qui ne sont pas mathématiquement des perspectives,³³⁶ il s'agit de définir des alignements, des intersections qui permettent de retrouver les conditions de prise de vue (l'orientation interne de la photogrammétrie), puis les lois géométriques qui régissent dans un espace donné les objets photographiés (orientation relative et absolue).

La photographie sert directement de support au tracé des lignes pour ne pas perdre en précision ; le tracé sur calque même stable enlève de la lisibilité au cliché et crée une parallaxe infime qui risque néanmoins de déplacer les positions d'intersections.

Schémas de perspectives à tableaux verticaux à un ou deux points de fuite.

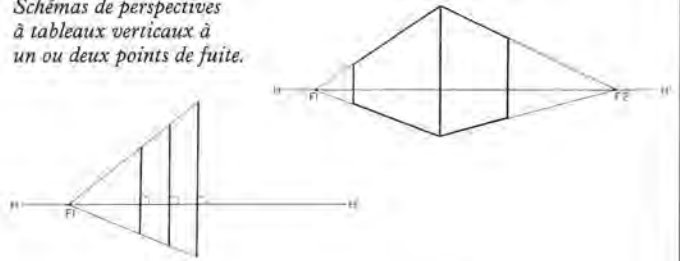
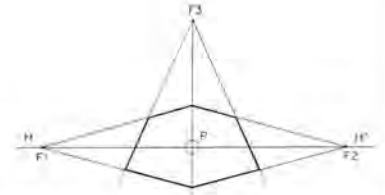
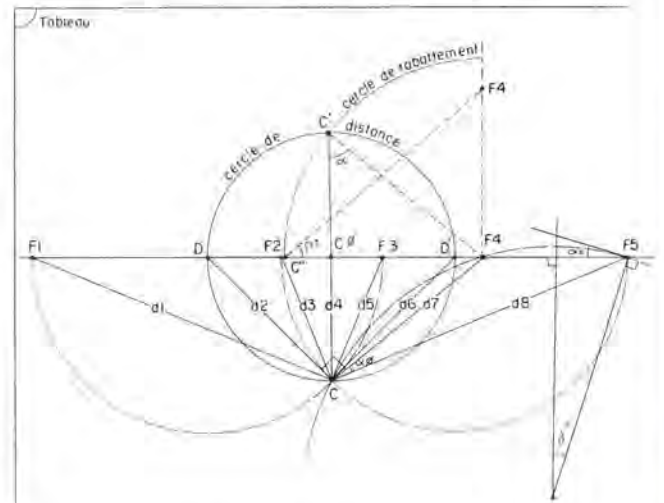


Schéma d'une perspective à tableau oblique à trois points de fuite.



Toutes les constructions s'appuient sur des théorèmes fondamentaux de la perspective concernant l'image des droites : L'image d'une droite est donnée par son point de rencontre avec le tableau et le point de rencontre, avec le tableau, de la parallèle menée par le centre de perspective (le point de fuite).



Détermination du centre de perspective par la méthode des cercles capables.

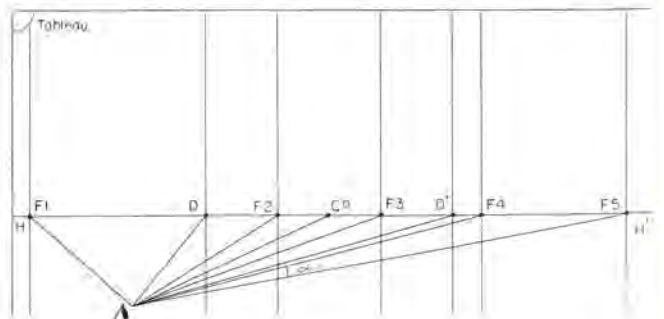


Schéma montrant la position des lieux des points de fuite des droites contenues dans des plans verticaux.

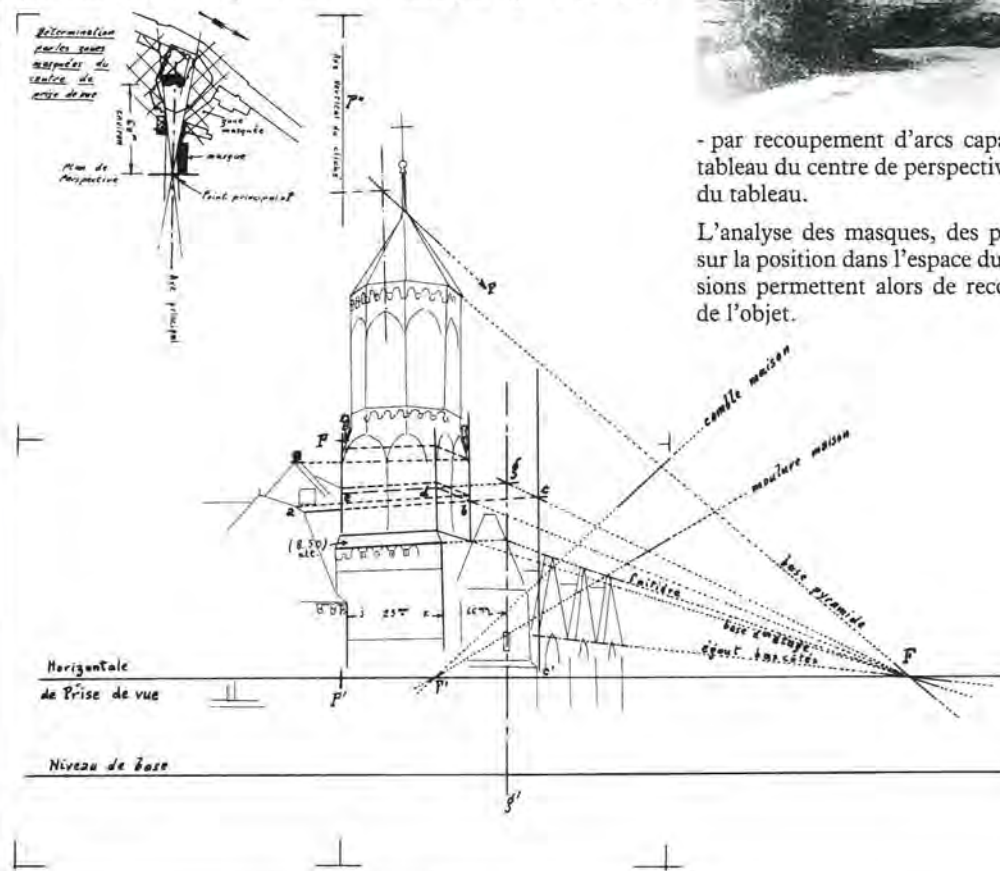
Toutes les droites de même orientation passent donc par ce point de fuite ; toutes les droites horizontales ont des points de fuite situés sur l'horizontale ; plus l'angle de convergence par rapport à un tableau sera petit, plus le point de fuite sera éloigné : l'horizontale parallèle au tableau sera une horizontale. Les verticales auront pour unique point de fuite le point de rencontre de la verticale issue du centre avec le tableau : lorsque le tableau sera vertical, le point de fuite sera rejeté à l'infini et les verticales seront parallèles.

Si deux droites horizontales forment entre elles un angle α , le centre de perspective se trouve sur l'arc capable de l'angle α sous lequel est vu le segment défini sur le tableau par les deux points de fuite ; en particulier, si deux droites sont perpendiculaires, leurs points de fuite définira le diamètre (le centre du cercle capable sera sur l'horizontale du tableau). Le cercle de distance constitue un cercle particulier des horizontales perpendiculaires entre elles et faisant 45° de convergence avec le tableau : en effet, le centre de ce cercle est l'image sur le tableau du centre de perspective.

Toutes les droites parallèles d'un même plan vertical se coupent avec un tableau vertical selon les points de fuite qui définissent une verticale (qui passe évidemment par le point de fuite des horizontales contenues dans ce plan).

La restitution perspective consiste alors à sélectionner sur la photographie des lignes d'orientation repérées sur l'objet de manière à obtenir :

- par intersections de parallèles horizontales, la ligne d'horizon,



- par recouplement d'arcs capables, la position rabattue dans le tableau du centre de perspective C_0 et donc la trace de la verticale du tableau.

L'analyse des masques, des parties vues et masquées renseigne sur la position dans l'espace du point de vue ; une ou deux dimensions permettent alors de reconstituer les grandeurs apparentes de l'objet.

Il ne faut pas s'illusionner sur la précision du procédé qui repose sur des hypothèses (horizontalité ou verticalité des droites) et sur des prolongements graphiques de petits fragments de la même droite.

Tracy-le-Val (60), église Saint-Eloi, photo E. Benoît, vers 1840.

Schéma de l'analyse perspective de la photo de Benoît. Cette analyse renseigne sur les hauteurs des chapelles latérales aujourd'hui disparues.

Photographie redressée, photoplans

La perspective donne, des plans parallèles au tableau, des images homothétiques.

Les plans architecturaux sont, par contre, bien souvent des pseudo-plans : les murs les moins complexes comportent fréquemment des bandeaux qui les recoupent et peuvent masquer retraits ou surplombs ; les corniches, les voussures et les ébrasements, s'ils appartiennent architectoniquement au même plan, créeront des aberrations perspectives liées à leur position par rapport au centre de projection et des aberrations de taille liées à des différences d'échelle.

La mise à l'échelle consiste à rechercher, pour le plan considéré, l'échelle du cliché puis à la modifier par agrandissement pour obtenir l'échelle de représentation.

Le redressement du cliché, si celui-ci n'est pas parallèle au plan considéré, est une opération complexe qui nécessite un équipement sophistiqué puisqu'il doit reproduire les conditions de prise de vue (théorème de Scheimpflug : les plans du cliché et de l'objet ainsi que le plan principal de l'optique doivent s'intersecter selon une droite). La plupart des agrandisseurs ne permettent pas ces basculements ou, s'ils l'autorisent, c'est avec fort peu de garanties.

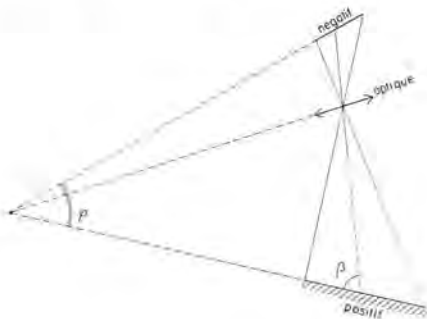


Schéma du redresseur photographique respectant le théorème de Scheimpflug.

Redresseur photogrammétrique Wild E4.

Des agrandisseurs utilisés pour la photo aérienne et appelés "redresseurs" exécutent l'opération avec toute la précision nécessaire mais, malheureusement, ils sont très limités angulairement (7 à 10°) alors qu'en architecture, les inclinaisons en site sont fréquemment de 30° ou de 60°³³⁷

Nous ne traiterons ici que de la mise à l'échelle, considérant la photo comme parallèle au plan de l'objet, à la prise de vue ou par redressement postérieur³³⁸ ; la mise à l'échelle, évidemment, ne concernera qu'une partie du phototype, le plan architectural retenu.

L'échelle originale du plan e s'obtient par le rapport de la distance principale de l'appareil (la focale f) à la distance D , séparant du centre optique le plan considéré ; si l'on connaît la mesure d'un élément de ce plan L , son rapport à la mesure effectuée sur le phototype ℓ donnera également l'échelle et la contrôlera :

$$e = \frac{f}{d} = \frac{\ell}{L}$$

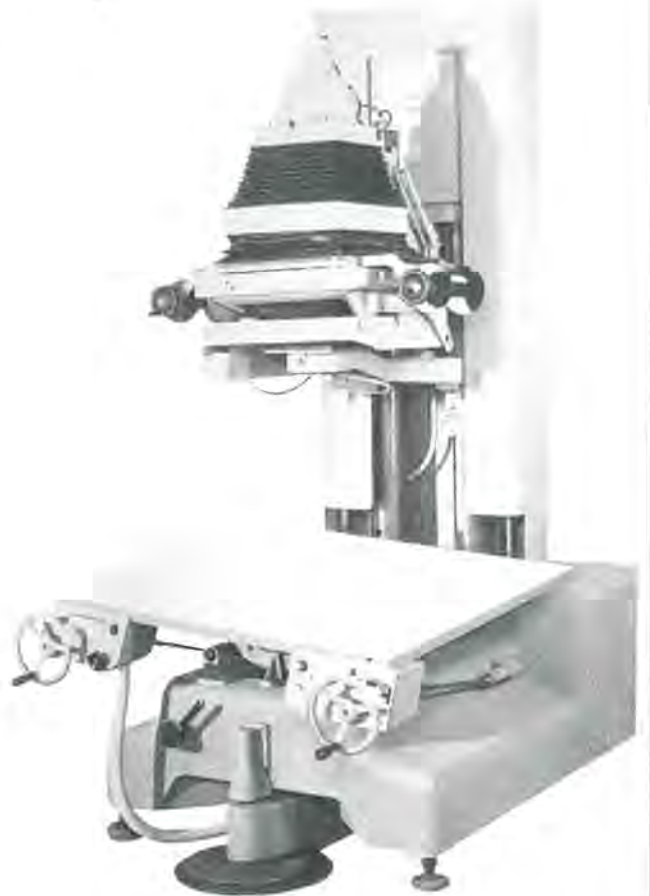
L'échelle de la représentation E s'obtiendra à partir du rapport K d'agrandissement obtenu par le rapport des deux échelles :

$$K = \frac{E}{e}$$

Pour faciliter le travail dans l'agrandisseur, on pourra utiliser une pige (photo d'un double décimètre par exemple) agrandie en même temps que la photographie (si celle-ci n'est pas métrique) ou utiliser (pour les clichés photogrammétriques) les croix repères dont l'écartement p est donné par le fabricant.

Cette dimension p devra donc être agrandie par K pour obtenir P lu sur le plateau de l'agrandisseur :

$$P = p \times \frac{E}{e}$$



Par exemple :

$$f = 60,68 \text{ mm} ;$$

$$D = 17,06 \text{ m} ;$$

$$\ell = 49,8 \text{ mm} ;$$

$$L = 14,01 \text{ m} ;$$

$$p = 76,2 \text{ mm} ;$$

$$E = \frac{1}{100}$$

$$e = \frac{f}{d} = \frac{\ell}{L} = \frac{1}{282} \quad \text{On aura : } P = \frac{76,6 \times 282}{100} = 214,2 \text{ mm}$$



Valpuseaux (91), église Saint-Martin, photo-plan de la face antérieure réalisée à partir de deux mises à l'échelle, sur la façade proprement dite et sur la face de la tour; relevé photogrammétrique.

Le cliché mis à l'échelle, le photoplan,³³⁹ pourra être traité soit directement sur papier (cf. supra), soit sur film positif stable quand plusieurs films devront être assemblés.

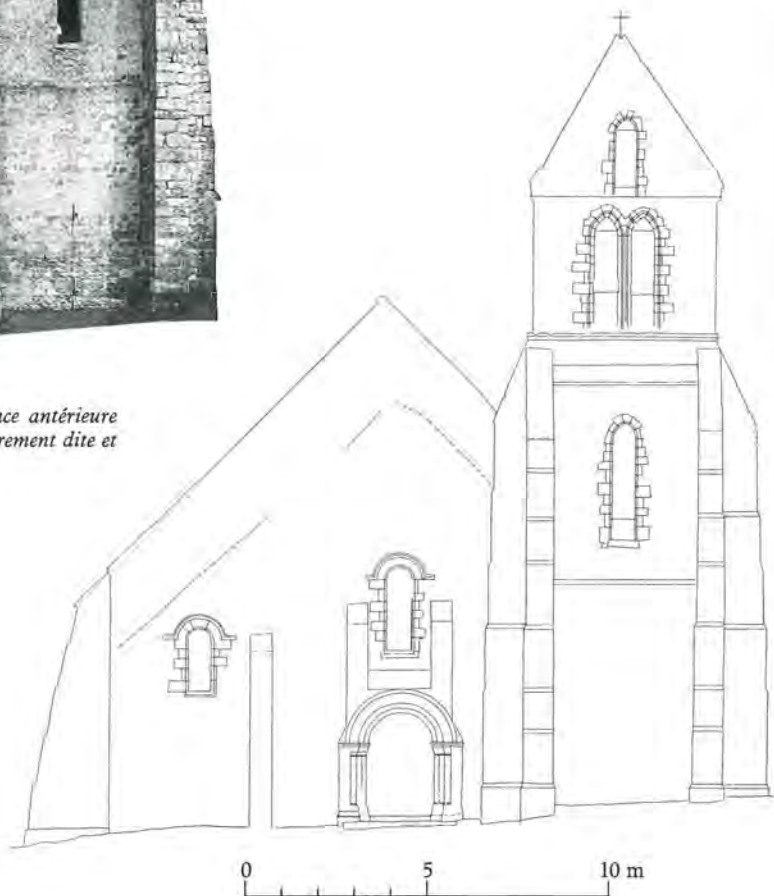
Relativement rapide quand il s'agit simplement de mettre à l'échelle un cliché, l'opération devient très vite délicate et complexe lorsqu'il s'agit de réunir plusieurs photoplans et/ou de les intégrer dans un dessin au trait. De multiples opérations photographiques et de subtiles montages et maquillages alourdissent alors considérablement l'opération :

- les différents films mis à l'échelle sont assemblés,
- l'assemblage au châssis par contact repasse en négatif,
- le négatif est détourné des parties inutiles, nettoyé des traces d'assemblage, ...
- il est éventuellement monté dans des fenêtres pratiquées dans une couche à graver sur laquelle viennent des compléments de dessin, les écritures, l'échelle, le cartouche et le cadre.

Si la reproduction prévue du document passe par un calque et des tirages ozalid, il faut en plus tramer les photoplans pour passer de demi-teinte en trait.

La multiplicité des manipulations, leur complexité, réduisent de façon significative la précision du document.³⁴⁰

La simplicité apparente du processus de départ est remise fondamentalement en cause et il n'y a pas de gain par rapport à une restitution photogrammétrique. Il reste que l'opération peut être nécessaire s'il s'agit d'informer sur un sujet strictement plan et dont l'analyse par le restituteur risque d'être contestable ou d'introduire des problèmes d'interprétation (peintures murales par exemple).



L'orthophotographie

Depuis une vingtaine d'années, l'orthophotographie s'est considérablement développée pour l'établissement de documents cartographiques ; brièvement et schématiquement, nous pouvons dire que la photo va être assimilée à une mosaïque régulière constituée de petits fragments rectangulaires — jusqu'à une taille minimum



Moulins (03), chapelle du collège des Jésuites, photo-plan du plafond portant en surcharge le tracé de courbes de niveau obtenu par photogrammétrie.

de 3 mm×0,1 mm — qui sont redressés, mis à l'échelle et assemblés à partir des données issues de l'analyse, par profils d'un stéréomodèle numérique.

Malheureusement, le procédé repose sur l'hypothèse de la continuité du modèle ; toute brutalité du relief, falaise, gorge fluviale, zone urbaine, est maltraitée et a priori toute architecture.³⁴¹

Quand l'objet est plan (ou considéré comme tel), qu'il est développable (cylindre) ou assimilable à une surface développable (portion de sphère remplacée par portion de cône par exemple), le procédé peut être utilisé avec succès.

La technique repose sur la saisie préalable d'un modèle numérique des parties concernées de l'objet donc sur une analyse stéréophotogrammétrique³⁴² et l'usage d'un équipement lourd (stéréorestituteur analogique avec sortie numérique ou stéréorestituteur analytique et instrument de fabrication des orthophoplans).

Le procédé peut se révéler intéressant lorsque, par exemple, la restitution demande, pour l'opérateur photogrammétrique, une interprétation délicate (peinture, bas relief, calligraphie, ...) de la surface. En témoignent les résultats obtenus dans ce domaine par quelques instituts photogrammétriques à l'étranger : mosaïque de la coupole des baptistères de Néon de Ravenne,³⁴³ peinture de la coupole de l'église Saint-Charles de Wien.³⁴⁴

Un travail moins sophistiqué techniquement puisqu'il n'a pas utilisé d'orthophotographies mais l'assemblage de photographies redressées illustre pourtant dans cette catégorie l'intérêt de l'alliance de traitements numériques et de la richesse de l'information photographique : il s'agit du relevé exécuté par l'Inventaire général sur le plafond peint de la chapelle de l'ancien collège des Jésuites de Moulins (actuellement salle du Tribunal).

La numérisation des photos

L'ordinateur et les logiciels de traitement d'image les plus élémentaires permettent ce qu'il est convenu d'appeler du faux 3D c'est-à-dire de déformer mathématiquement, d'anamorphoser certains éléments de l'image pour les faire apparaître comme en perspective. Appliqué à une photographie ce type de calcul produit un redressement ; si l'on ajoute certaines fonctions courantes de logiciels graphiques comme "découper" et "coller" nous pouvons imaginer un outil qui n'existe pas encore et qui, à partir de photographies numérisées par un scanner permettrait de découper virtuellement l'image pour définir les différentes facettes assimilables à un plan, les redresserait et les recollerait pour livrer un assemblage photographique.

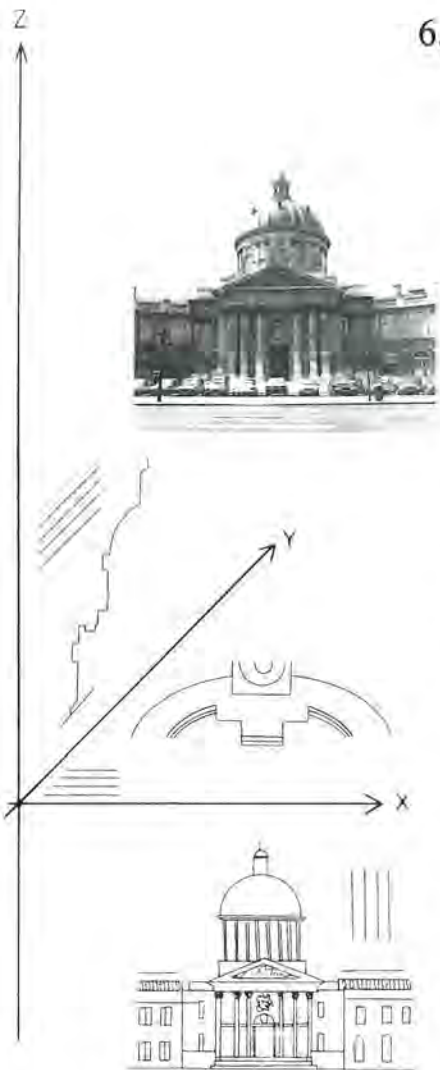
Dans cet esprit, la station Arkéoplan, mise au point par des archéologues (O. Buchsenschutz et l'UMR 126) sur Macintosh procède directement, sur le chantier, à l'enregistrement de relevés de fouilles à partir d'images saisies par une caméra CCD. Cette image, mise à l'échelle, sert de support à l'interprétation graphique et à la structuration des données.

Le digital-vidéo-plotter -DVP- fonctionne à partir de photos numérisées (cf. 5.8.) et permet de superposer sur écran, les points et les lignes à l'image photographique. Des développements ultérieurs pourraient lui adjoindre les possibilités d'une palette graphique pour obtenir des images combinant photographies redressées et assemblées, et lignes. L'impression de ces documents "bitmap" est dès à présent possible sur imprimante vidéo ou copieur couleur.

6. Méthodes de la prise de vue photogrammétrique

Ce serait une erreur grave de croire que l'opération de prise de vue photogrammétrique peut s'appliquer sans une connaissance archéologique préalable de l'objet ; malgré sa haute technicité mais surtout à cause de l'espèce de blanc-seing donné à la "restitution" qui va suivre, elle impose que la délégation au technicien soit parfaitement contrôlée et passe par une commande détaillée. Comme dans le relevé traditionnel, l'équipe de terrain la plus compétente mobilisera toujours le demandeur du relevé.





Le système de représentation géométrale de l'architecture : plan, coupe, élévation.

6.1. Le système de l'objet architectural

Issu d'une théorie préalable plus ou moins complexe et aboutie, l'édifice construit se réfère implicitement ou explicitement à des définitions géométriques mais se soumet également aux lois de la physique ; l'édifice s'articule ainsi à partir de paramètres qui restent lisibles sur sa structure : le mur reflète la verticale, il épouse une forme qui échappe rarement au plan ou au cylindre ; sol et plafond matérialisent des plans horizontaux et les couvrements eux-mêmes n'échappent pas à la règle en se référant à des cylindres (voûte en berceaux, voûte d'arêtes, ...) à des sphères ou des ellipsoïdes (coupole, cul de four, ...).

Evidemment, les procédés de construction, la vétusté et, plus encore peut-être, les multiples campagnes qui remanient, reconstruisent, restaurent les édifices que nous analysons, altèrent cette organisation.

Les systèmes géométraux de représentation graphique mais aussi, dans une moindre mesure, les systèmes perspectifs avec tableau vertical, et les axonométries orthogonale ou oblique reprennent ce parti théorique en instituant des axes horizontaux et perpendiculaires qui définissent le plan et qui, combinés séparément avec l'axe des hauteurs, génèrent coupe et élévation.

L'édifice se trouve ainsi enfermé dans une cage rectangulaire, ou mieux, dans un carroyage spatial hérité une fois de plus du pavement perspectif du quattrocento.

En stricte théorie, ce carroyage est matérialisé par les parois architecturales ; mais si celles-ci, à des déviations près dues bien souvent à la vétusté, restent verticales, elles s'orientent horizontalement de manière beaucoup plus complexe. Les pans-coupés, le terme est explicite, les formes circulaires, mais surtout les campagnes de construction souvent espacées de plusieurs siècles, bousculent l'unicité du système et multiplient des axes effectifs dont il faut tenir compte si l'on veut décrire ou analyser l'œuvre architecturale.

Par les modes traditionnels ou topographiques, le repérage de ces orientations est bien souvent éludé et la paroi sert de support physique à la mesure qui est ramenée de cette façon à une détermination en deux dimensions.

Au contraire, le couple photogrammétrique enregistre avec subtilité les plus faibles déviations dans un espace défini par les axes que matérialisent le cliché et l'axe optique. L'indépendance du système de mesurage par rapport à l'objet, s'il accroît la précision, n'est pas, néanmoins, sans poser alors le problème délicat du plan de projection tandis que la multiplication des prises de vue assurant la couverture de l'édifice introduit l'obligation d'un système de référence absolu dans lequel se réduisent par mesurage les systèmes relatifs de chacun des couples.

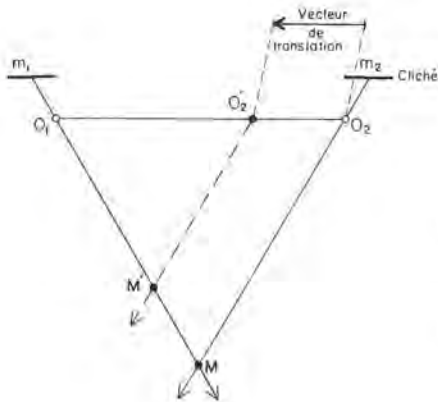
6.2. Les principes fondamentaux de la stéréophotogrammétrie

Nous avons vu que les deux clichés, outre l'image plate de l'objet photographié, fixent deux gerbes de rayons homologues.

Si nous considérons deux rayons homologues, ils se coupent sur le point M mais ont la particularité d'être situés dans un même plan qui contient, outre les deux points-images homologues m_1 et m_2 et le point-objet M , les deux centres perspectifs O_1 et O_2 ; la droite O_1O_2 , la base, appartient ainsi à l'ensemble des plans que définissent les rayons homologues.

Ainsi, la base, les deux gerbes et l'objet lui-même constituent un ensemble rigide et indéformable que l'on peut assimiler à un solide.

Réciproquement, lors de l'orientation interne (I), les deux gerbes sont exactement reconstituées à partir des données de l'appareil de prise de vue — notamment la



distance principale — ; elles ne donneront stéréoscopiquement une image à trois dimensions que lorsque l'ensemble des rayons homologues s'intersecteront deux à deux : il y aura formation du modèle virtuel, de l'image plastique, quand les orientations des deux gerbes seront celles des conditions de prise de vue ; mais si l'on déplace l'une des gerbes d'un mouvement de translation parallèle à la base, chacun des rayons se déplacera selon la même translation et dans son plan d'origine en réalisant une intersection qui recréera un solide homologue.

Ainsi, la reconstitution du modèle virtuel à la taille près peut s'établir en partant du système de référence de l'un des clichés (celui de gauche en général) par des rotations successives apportées à l'autre gerbe. Il faut déterminer cinq paramètres :

- bz/bx et by/bx qui amènent le second centre perspectif sur la droite de base O_1O_2 à sa position O'_2 ,
- $d\varphi$, $d\omega$ et $d\kappa$ autour des axes des Z, des X et des Y.

Cette détermination pourra se faire, par des pratiques opératoires répétitives ou par le calcul, à partir d'observations sur 5 points homologues des clichés (6 points pour contrôle) mais sans que ces points aient besoin d'être connus dans l'espace-objet (donc sans relevé préalable de ces points au moment des prises de vue).

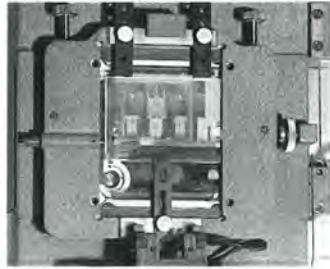
A partir du moment où ces paramètres sont déterminés, "l'orientation relative" (II) du couple est obtenue ; le modèle est indéformable mais il reste à lui donner sa taille en assurant la "mise à l'échelle" (III) et à le déplacer dans l'espace, c'est-à-dire à réaliser l'orientation absolue dans un système de références horizontal-vertical qui sera celui des mesures et des déterminations.

L'image plastique sera mise à l'échelle par la connaissance de la base ou, mieux, par une dimension bien plus longue mesurée dans l'objet et dans le modèle.

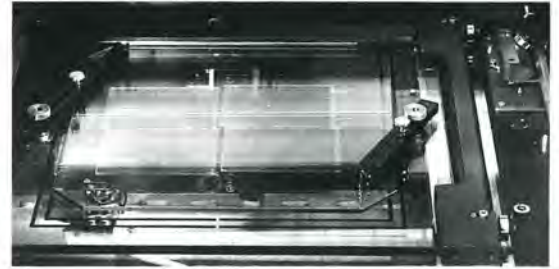
L'orientation absolue va conduire à déterminer tout d'abord l'orientation des verticales (IV) par rapport à l'axe des Z, puis à fixer éventuellement l'altitude ou le niveau de référence ; dans une deuxième phase, il faudra assurer le parallélisme ou l'orthogonalité de certaines horizontales (ou plans verticaux) avec l'orientation azimutale (V) des axes de mesure X et Y.

Phases		Facteurs	Résultats
Orientation interne	I	Paramètres de la chambre de prise de vue	Chaque gerbe est reconstituée
Orientation externe	II	Lecture de cinq points homologues (6 pour contrôle)	Le modèle virtuel est formé (gerbes + objet virtuel)
• relative			
• absolue	III	La base ou (et) une dimension de l'objet ou deux points de l'objet (en X, Y, Z)	Le modèle virtuel est à l'échelle.
- Mise à l'échelle			
- Orientation des verticales et/ou des horizontales	IV	Une horizontale et une verticale de l'objet ou 3 points non alignés (en X, Y, Z)	Le modèle virtuel est repéré dans un système horizontal-vertical
- Orientation azimutale dans un système d'axes tri-rectangulaires (X, Y, Z)	V	Une horizontale orientée ou deux points de l'objet (X, Y, Z)	Le modèle virtuel est repéré dans un système général.

En somme, il suffit de connaître dans l'espace-objet trois points non alignés pour assurer la mise en place du couple (pour assurer des contrôles, nous préférons 5 points) et pouvoir exploiter alors l'ensemble des informations qu'il contient³⁶; cette "légèreté" de calage des photographies doit tenir compte des possibilités des chambres photogrammétriques terrestres, des modes opératoires et de l'objet architectural.



1



2



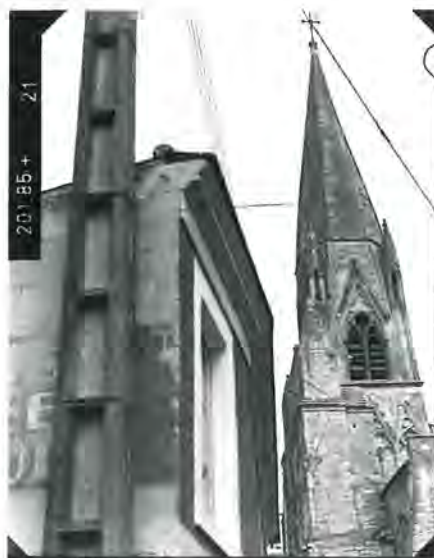
3

Le centrage des clichés sur les appareils analogiques Wild A40 (1) et Wild Aviomap AMU (3) et leur disposition sur l'appareil analytique Wild BC3 (2).

De même qu'en photogrammétrie aérienne, l'orientation interne (I), c'est-à-dire la reconstitution de la gerbe perspective, ne pose pas de problème avec les équipements de prise de vue actuels dont la distorsion est absente et la distance principale connue au 1/100^e de millimètre; notons toutefois que cette reconstitution n'est jamais dénuée d'erreurs du fait qu'il faut préciser la position du point principal (projection du centre optique sur la photo), soit en "centrant" le cliché dans les appareils analogiques, soit en relevant la position des croix-repères dans les appareils analytiques.

L'orientation relative (II), de même, c'est-à-dire en raison des modes opératoires, n'est jamais réalisée parfaitement mais certains clichés "terrestres" accroissent les difficultés de formation du modèle. Certaines images ne remplissent qu'imparfaitement le format du cliché, le ciel occupant la plus grande place³⁷; la photo de la flèche d'une tour donne un très bon exemple d'un modèle difficile à former puisque les 5 ou 6 couples de points homologues devront être pris sur une surface restreinte du cliché.

La nature de l'image architecturale rend parfois difficile la formation du modèle : Le Puy-Notre-Dame (49), collégiale Notre-Dame, couple photographométrique de l'une des tours de la face antérieure.



Plus proche d'une hypothèse d'école, la formation d'un modèle épousant la forme d'une quadrique réglée³⁸ reste liée malgré tout à des structures architecturales relativement courantes (voûtes en berceau notamment) ; dans ce cas, dit d'exception, cette formation ne pourra être assurée qu'à partir de données mesurées sur l'objet (les orientations relative et absolue sont conduites en même temps). Cette confusion des deux orientations, impérative ici, peut faciliter également la formation du modèle dans le cas de modèles incomplets.

Les conditions particulières de prise de vue en photogrammétrie terrestre, si elles ne facilitent pas toujours les orientations interne et relative des clichés, vont par contre pouvoir simplifier l'orientation absolue du modèle.

Dans l'idéal, si les orientations interne et relative des chambres étaient parfaites, la simple connaissance de la longueur de la base serait suffisante pour la mise à l'échelle du modèle (III). Dans la pratique, ce procédé ne sera utilisé que pour des prises de vue rapprochées (moins de 10 mètres), lorsque les mesures sur l'objet sont impossibles ou difficiles ; la préférence sera alors accordée à une chambre stéréométrique pour obtenir la meilleure précision.³⁹ Dans les autres cas, il conviendra d'être plus prudent et de mesurer au moins une longueur, la plus grande possible, sur l'objet⁴⁰ et dans un plan parallèle voisin de celui de la photographie ; une mesure dans la profondeur de l'objet pourra contrôler cette mise à l'échelle mais assurer également la vérification des orientations interne et relative. Ces longueurs obtenues avec le double décimètre sont, naturellement, excessivement plus rapides que la mesure dans l'espace de 2 ou 3 points qui nécessite le théodolite.

La stabilité des prises de vue terrestres, repérée par des nivelles qui assurent l'horizontalité et la verticalité des axes et matérialisée par les croix-repères de la photographie, assure pour la plupart des relevés un calage suffisant du couple (IV) ; bien que plus aléatoire et sujet à d'éventuelles interrogations sur la stabilité de l'édifice, le réseau des lignes architecturales elles-mêmes constitue une référence commune⁴¹ ; il faut parfois savoir affiner cette orientation en introduisant, par exemple dans le volume de l'objet, un fil à plomb⁴² ou en mesurant au théodolite la position spatiale de 3 points non coplanaires.

La dernière orientation, l'orientation azimutale (V) est, en photogrammétrie d'architecture, la plus délicate ; il s'agit de sélectionner un plan vertical dont l'orientation sert de référence pour la réalisation des géométraux en élévation ou en coupe. La frontalité de la prise de vue assure ce choix mais fréquemment avec une

certaine grossièreté par rapport à la délicatesse volumétrique de l'objet. Considérons, par exemple, un édifice à vaisseaux ; ceux-ci ne sont pas forcément parallèles les uns aux autres et le choix de l'un se fait au détriment de tous les autres ; l'analyse qui s'effectue dans l'espace de l'image plastique est à même de préciser les orientations relatives des plans entre eux et leurs orientations absolues par rapport au plan de référence, mais la traduction graphique et géométrale, comme nous le verrons (cf. 7.2.6.) sera altérée pour tous les plans non sélectionnés. Ceci devient fondamental lorsque l'on passe du couple unique à l'assemblage des nombreux couples nécessaires le plus souvent pour enregistrer l'objet.

Or, les nécessités de la précision du mesurage, de la taille de l'image et des rapports entre base et éloignement, mais aussi la faible diversité des équipements (distances principales et formats) et les conditions individuelles de prise de vue (limitation en éloignement dans les rues étroites, par exemple), vont conduire l'opérateur à multiplier les prises de vue : très vite, l'enregistrement de l'objet le plus simple nécessitera 8 ou 10 photographies qui formeront un puzzle, mais un puzzle particulier. Il se développera dans l'espace unique de l'objet, à travers les "prismes déformants" que le système particulier de chaque couple introduit. L'organisation de la saisie, qui doit pallier à la diversité des enregistrements et l'uniformiser, repose soit directement sur l'objet par l'intermédiaire des parties communes à plusieurs couples, soit sur le principe d'une référence absolue et unique pour la totalité de l'objet et dans lequel sont fixés, en coordonnées, des points dits de calage assez nombreux pour assurer l'orientation de chaque couple. Suivant les nécessités de l'analyse, les besoins en précision, la complexité de l'objet et le nombre des couples, des méthodes mixtes sont graduellement envisageables.

6.3. La précision du couple photogrammétrique

Reprenons la formule de calcul des coordonnées d'un point-objet (cf. 5.6.2.)

$$Y = c \times \frac{b}{p} \quad [1]$$

$$X = x_1 \times \frac{b}{p} = x_1 \times \frac{y}{c} \quad [2]$$

$$Z = z_1 \times \frac{b}{p} = z_1 \times \frac{y}{c} \quad [3]$$

où x_1 et z_1 , x_2 et z_2 sont les coordonnées respectives des deux points-images ; b , la base, c , la distance principale et p , la parallaxe (c'est-à-dire, $x_1 - x_2$). L'exactitude peut être déterminée principalement par l'erreur commise sur y .

En différenciant [1], on obtient (après avoir remplacé $\frac{1}{p}$ par sa valeur extraite de [1], c'est-à-dire : $\frac{y}{b \times c}$) :

$$d_y = \frac{d_c}{c} + \frac{d_b}{b} - \frac{y \times d_p}{b \times c}$$

où d_c , d_b et d_p constatent l'écart-type sur c , b , p

$$\text{soit un écart-type } m_y = \pm y \sqrt{\frac{b^2 \times m_c^2 + c^2 \times m_b^2 + y^2 \times m_p^2}{b^2 \times c^2}}$$

Dans les instruments modernes, les déterminations des coordonnées image et de la parallaxe (m_p) se font avec des erreurs du même ordre ± 5 à 10μ que celle affichée par les fabricants sur la distance principale (m_c) ; posons :

$$m_p \text{ et } m_c = m \# 10 \mu;$$

l'expression de l'écart-type devient :

$$m_y = \pm \frac{y}{b \times c} \sqrt{m^2 (b^2 + y^2) + m_b^2 \times c^2} \quad [4]$$

Par des calculs analogues, on pourrait obtenir :

$$m_x = \pm \frac{y \times m}{c} \sqrt{1 + \left(\frac{2x - b}{2b}\right)^2} \quad [5]$$

$$m_z = \pm \frac{y \times m}{c} \sqrt{1 + \left(\frac{z}{b}\right)^2} \quad [6]$$

Le calcul donnera, pour une caméra Wild C120 et un point situé à 12 m, en sachant que l'écart-type (m_b) sur la base fixe est de $\pm 10 \mu$:

$$m_y = \pm 18 \text{ mm}$$

$$m_x \# m_z = \pm 10 \text{ mm}$$

En fait, pour ces caméras stéréométriques, comme $m_b = m$, on peut transformer [4] pour obtenir :

$$m_y = \pm \frac{y \times m}{b \times c} \sqrt{y^2 + b^2 + c^2}$$

b^2 et surtout c^2 sont relativement petits par rapport à y^2 ; on peut écrire :

$$\sqrt{y^2 + b^2 + c^2} \# \sqrt{y^2} \# y$$

$$m_y = \pm \frac{y^2 \times m}{b \times c} \quad [7]^{43}$$

Des abaques facilitent le calcul. Pour les chambres simples, l'écart-type m_b sur la mesure de la base descend difficilement en-dessous de 5 mm (même avec des méthodes topographiques relativement sophistiquées), soit 500 fois la valeur de l'écart m de la parallaxe ou de la définition de la distance principale ; l'expression ($m_b^2 \times c^2$) devient alors l'expression prépondérante sous le radical (dans [4]).

Reprenons l'exemple précédent en utilisant cette fois la chambre simple Wild P32 et en posant que l'écart-type sur la mesure de la base est de ± 5 mm ; le calcul nous donne⁴⁴ :

$$m_y = \pm 53 \text{ mm}$$

A partir de ces deux calculs, considérons l'expression [4], on s'aperçoit que l'erreur croît proportionnellement à la profondeur Y (à partir de l'expression [7], on pourrait même dire du carré de la profondeur) mais également qu'elle est inversement proportionnelle à la longueur de base et à la distance principale.

Cela met en évidence :

- l'avantage des chambres simples avec lesquelles on peut varier la base,
- l'intérêt de travailler avec des clichés à grande échelle (c/y exprime l'échelle du cliché pour la profondeur y)⁴⁵

Par ailleurs, la base ne joue pas de rôle dans la formation du modèle mais strictement dans sa mise à l'échelle qui peut être réalisée à partir d'une dimension de l'objet.

Aussi l'écart-type restant sensiblement le même quelle que soit la longueur ℓ mesurée, l'écart sur la base sera proportionnel au rapport de la base à la longueur mesurée sur l'objet, soit :

$$m_b = \pm m_\ell \times \frac{b}{\ell}$$

Ainsi, pour une base de 2 m et une longueur de 12 m mesurée sur l'objet, avec une précision de ± 5 mm, on aura $m_b = \pm 0,8$ mm.

Effectuons une série de calculs que nous résumons dans un tableau ; les facteurs les plus déterminants restent l'erreur sur la base⁴⁶ et le rapport de la profondeur sur la base $\frac{y}{b}$.

$$m_y = \pm \frac{y}{b \times c} \sqrt{m^2(b^2 + y^2) + m_b^2 \times c^2}$$

m_b (en mm)	c (en mm)	b (en mm)	$\frac{y}{b \times c}$	$m^2(b^2 + y^2)$	$m_b^2 \times c^2$	m_y (en mm)	$\frac{y}{b}$
± 5	64	1 200	0,156	14 544	102 400	± 53	10
	100	1 200	0,156	14 544	250 000	± 51	10
	64	2 000	0,094	14 800	102 400	± 32	6
	64	3 000	0,063	15 300	102 400	± 22	4
	100	2 000	0,060	14 800	250 000	± 31	6
	100	3 000	0,040	15 300	250 000	± 21	4
± 0.8	64	2 000	0,094	14 800	2 621	± 12	6
	100	2 000	0,060	14 800	6 400	± 9	6

Ces calculs donnent un ordre de grandeur et ne concernent que les résultats de mesure sur un couple.

La multiplication des couples introduit des nouveaux types d'erreurs liées à l'orientation absolue de chacun des systèmes particuliers ; les erreurs de déterminations dans le système du couple vont se composer avec les erreurs résultant des nécessités de permanence de l'échelle et des orientations verticale et azimutale.

Schématiquement, si l'ensemble des couples est calé dans un réseau unique et sur une constellation de points mesurés, l'erreur absolue dans la détermination photogrammétrique d'un point de l'objet sera du même ordre de grandeur que l'écart sur l'un des points de calage. Dans le cas contraire, la détermination de la précision sera excessivement complexe à établir ; elle s'appuiera surtout sur le réseau des lignes architecturales et donc sur l'importance des recouvrements (des parties communes) de couple en couple. Des processus informatiques de calcul, pondérant les éléments connus et mesurés, peuvent aboutir à des résultats excellents (aérotriangulation de modèles indépendants et compensation polynomiale par blocs).

Un juste équilibre, entre le temps de terrain nécessaire à l'obtention de points ou de mesures de calage et les possibilités de calcul des ordinateurs, doit pour chaque cas de figure initier la méthode la plus légère pour aboutir à la précision recherchée.

6.4. Le couple stéréophotogrammétrique

Bien que l'exploitation de deux clichés quelconques, présentant une zone commune, reste possible,⁴⁷ nous bornerons notre propos au couple stéréophotogrammétrique dont l'exploitation, fondée sur la stéréoscopie, s'avère la plus précise et la plus riche en possibilités.

Pour être vu en stéréoscopie, le couple doit répondre à trois exigences : zone de recouvrement, parallélisme des axes de prise de vue et échelle identique des images ; les procédures opératoires satisfont ces exigences avec une tolérance suffisante⁴⁶ et c'est pourquoi nous ne traiterons que de ce cas, dit normal.

6.4.1. Le champ du couple photogrammétrique

Le champ d'une prise de vue est, nous l'avons vu, défini par une pyramide de base égale au négatif et dont le sommet est le centre de l'optique O_1 ; il peut être défini par deux angles correspondant aux angles de la pyramide, mesurés dans les plans définis par le sommet et chacune des deux médianes du négatif.

Sa valeur est donnée ordinairement par le fabricant mais peut être aisément calculée à partir de la distance principale de la chambre et des largeurs h_1 h_2 et hauteurs v_1 v_2 du cliché. Constatons que le point de rencontre des médianes, P_1 , correspond à la projection du centre O_1 , c'est-à-dire que P_1 marque la trace sur le négatif de l'axe de prise de vue. Lorsque le cliché sera vertical, c'est-à-dire que l'axe de prise de vue sera horizontal, ces deux angles seront horizontal Ω_h et vertical Ω_v .

Le champ de la chambre métrique TMK de Zeiss est ainsi défini par la distance principale de 60 mm et par une largeur de 80 mm et une hauteur de 100 mm du cliché ;

on déduit des valeurs des tangentes $\frac{\Omega_h}{2} = \frac{40}{60} = \frac{2}{3}$ et $\frac{\Omega_v}{2} = \frac{5}{6}$

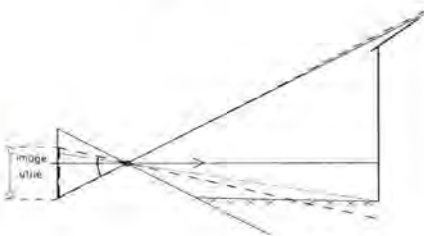
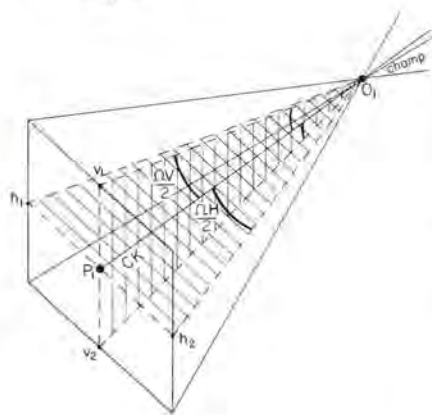
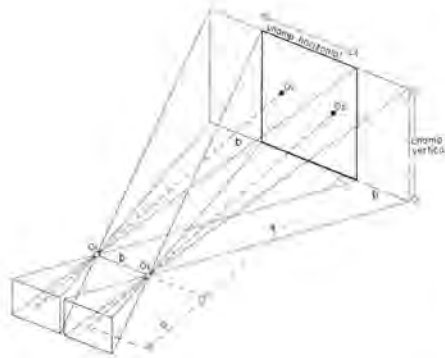
des angles $\frac{\Omega_h}{2} = 37,4334^\circ$ et $\frac{\Omega_v}{2} = 44,2284^\circ$,

de part et d'autre de l'axe optique, qui correspondent aux angles $\Omega_h = 75^\circ$ et $\Omega_v = 88^\circ$.

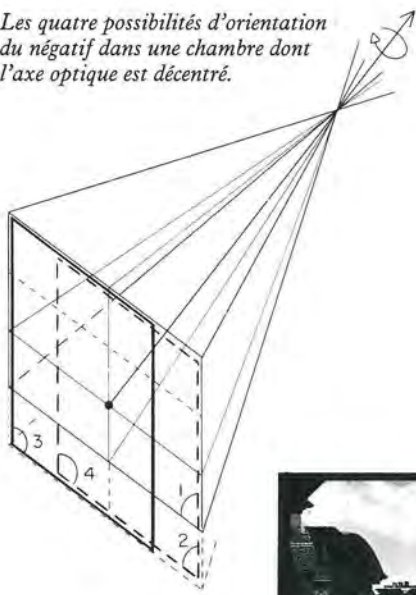
Dans certaines chambres, l'un des angles de champ n'est pas symétrique ; c'est-à-dire que la trace du centre optique n'est pas à la rencontre sur le négatif des diagonales mais décentrée. Les chambres Wild C120, P32, P31 (distances principales 100 et 200 mm) présentent ce décalage du centre optique qui tient compte de la fréquente dissymétrie de l'image en photogrammétrie terrestre et permet d'obtenir, sur un format plus petit, une image utile équivalente. Lors de la prise de vue, il convient alors de bien sélectionner l'orientation (en haut, en bas, à gauche, à droite) du champ restreint, en faisant pivoter la chambre autour de son axe de prise de vue.

Par rapport à l'objet, ce champ va devoir être orienté de manière à offrir la meilleure couverture, c'est-à-dire non pas, comme en photographie classique, le cadrage le plus suggestif mais celui qui donnera sur l'objet l'information la plus complète. Il s'agit donc d'obtenir la photographie où la perspective introduira sur l'image les masques les plus faibles ; comme ces masques croissent en fonction du relief de l'objet, mais aussi de l'obliquité des rayons, la prise de vue "frontale"⁴⁹ assure la meilleure orientation mais il faut savoir jouer sur des translations verticales ou horizontales pour éviter la disparition de détails importants. Pour les objets convexes au modelé continu, la photographie ne pourra donner que le contour apparent qui ne sera pas forcément significatif ; le contour apparent sur un dôme sphérique sera une portion d'ellipse.

La transcription photogrammétrique d'un haut-relief ou d'une sculpture en ronde-bosse, mais également celle de volumes complexes (cylindres, sphères, ...), poseront ainsi des problèmes qu'il faut minimiser par des choix judicieux de prise de vue. Dans tous les cas de figure, l'éloignement du point de vue diminue les masques mais, contrairement, diminue la taille de représentation de l'objet et donc les possibilités de finesse d'analyse photogrammétrique.

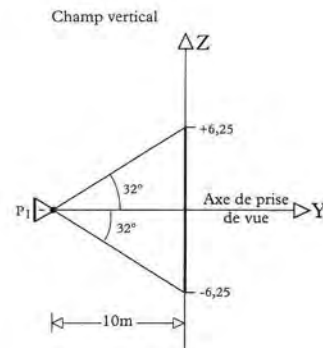
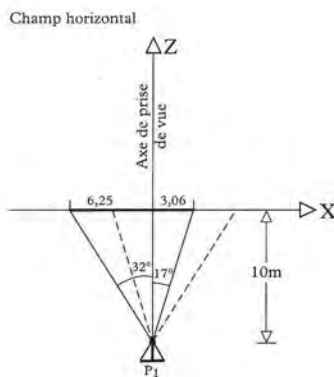
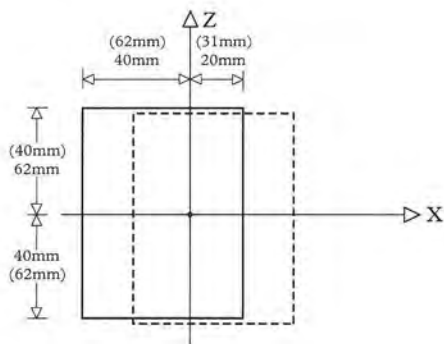


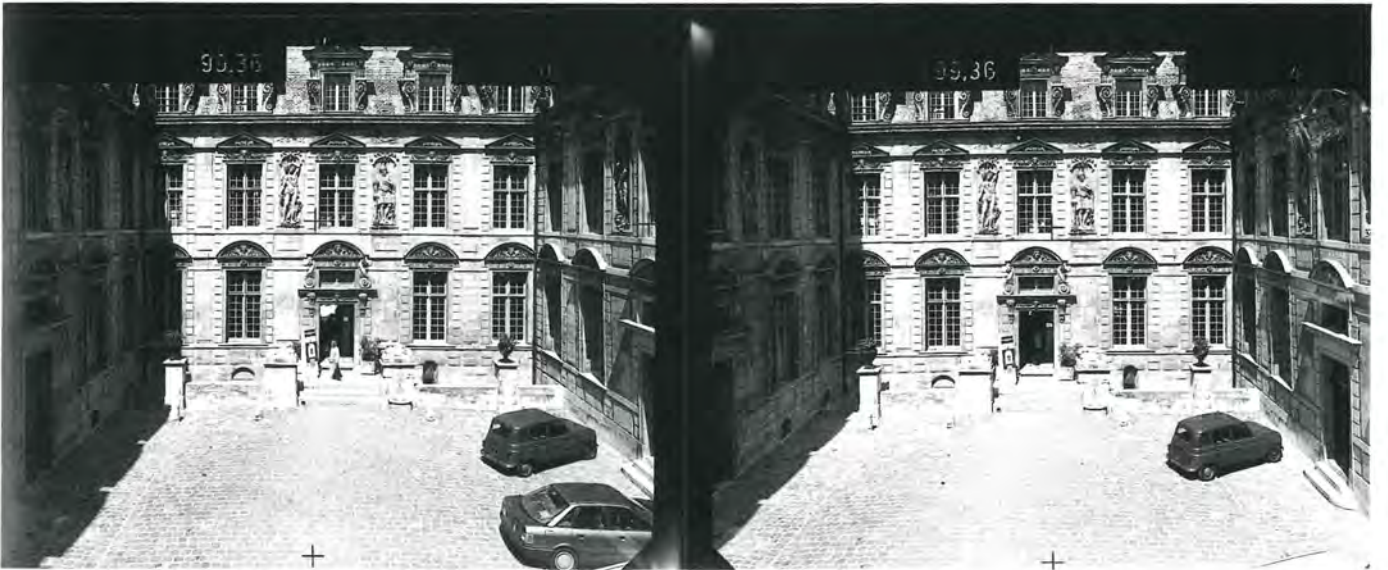
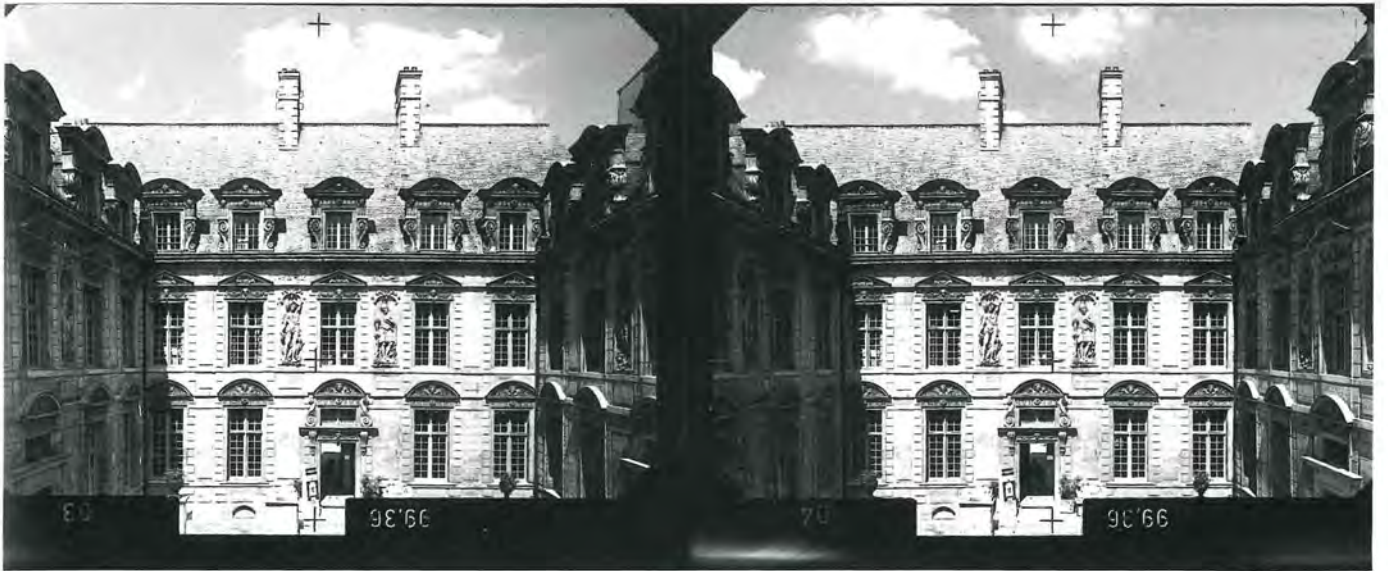
Les quatre possibilités d'orientation du négatif dans une chambre dont l'axe optique est décentré.



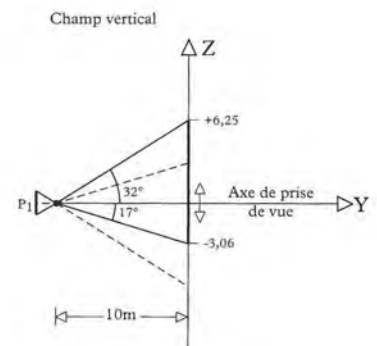
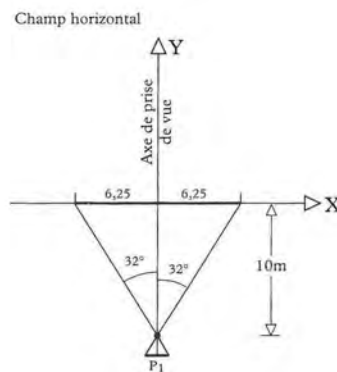
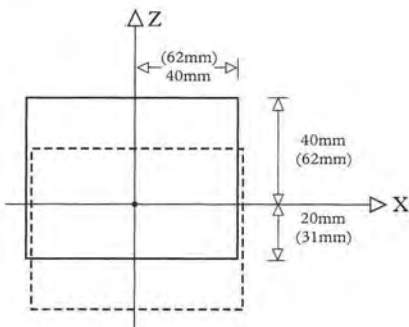
Le décentrement du centre optique permet de sélectionner la position la plus favorable pour enregistrer l'édifice, et notamment éliminer ou diminuer les zones hors-sujet (par exemple les sols). Chambre Wild P31, clichés réduits.

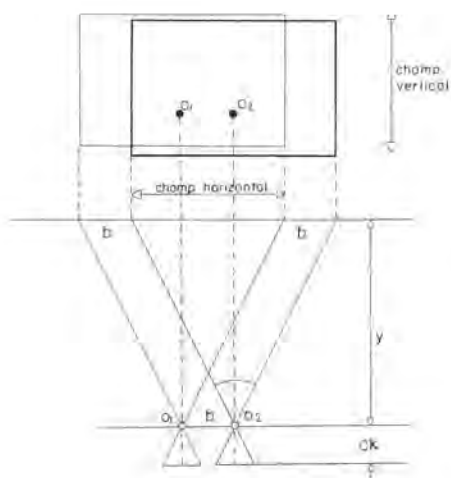
Chambres Wild C120, P32, P31-100 mm, schémas des champs horizontaux et verticaux, paramètres angulaires et linéaires.





Clichés utilisés en format horizontal.





Le champ stéréophotogrammétrique correspondant à la zone commune à deux photographies et la prise frontale étant adoptée,⁵⁰ il est plus commode alors de définir ce champ non plus angulairement mais au moyen de longueurs.

Le champ stéréophotogrammétrique est égal au champ d'un cliché pour le champ perpendiculaire à la base (bien souvent le champ vertical) ; pour le champ parallèle à la base et aux deux points de vue (bien souvent le champ horizontal) il se déduit aisément par soustraction de la base.

Si l'on considère le cas le plus complexe, avec décentrement du point de vue, en appelant l'angle horizontal de champ, α , les angles verticaux, φ_1 et φ_2 , la base, b ; pour une distance à l'objet, D ,

$$\text{le demi-champ horizontal, } \frac{l}{2} = D \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \frac{b}{2}$$

et les demi-champs verticaux h_1 et $h_2 = D \times \operatorname{tg} \varphi_1$ et $= D \times \operatorname{tg} \varphi_2$.

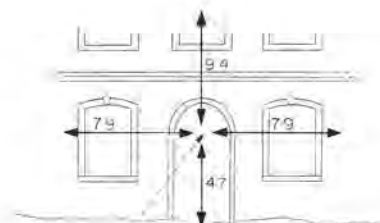
Prenons l'exemple de la P32 de Wild (cf. tableau), à 15 m avec une base de 3 m, nous aurons :

$$\frac{l}{2} = 15 \times \operatorname{tg} 35,6 - \frac{3}{2} = 7,9 \text{ m}$$

$$h_1 = 15 \times \operatorname{tg} 35,6 = 9,4 \text{ m}$$

$$h_2 = 15 \times \operatorname{tg} 19,3 = 4,7 \text{ m}$$

Ce qui veut dire qu'à 15 m d'une façade que nous photographions frontalement, nous couvrirons une zone horizontale de 7,9 mètres, de part et d'autre de l'axe de prise de vue, avec, verticalement 9,4 mètres et 4,7 mètres de part et d'autre du plan horizontal passant par les centres optiques ; c'est-à-dire qu'en orientant le petit champ vers le haut, nous photographierons (inversion de la perspective) 9,4 m au-dessus du point de vue et 4,7 m en-dessous. Des abaques ou des tableaux peuvent faciliter cette connaissance du champ.



Les chambres Wild C120, P32 et P31-100 mm ayant des angles de champ très voisins de 30° nous pourrions, lors du repérage d'une opération et pour simplifier, considérer que les axes de prise de vue étant horizontaux, le champ est horizontalement défini par la distance de prise de vue au plan de l'objet sélectionné et verticalement par la moitié de la distance et le quart de la distance, de part et d'autre de l'axe de prise de vue ; pour une P32 à 18 m d'éloignement, le champ couvert sera horizontalement 9 m de part et d'autre de l'axe et, verticalement, 9 m et 4,50 m de part et d'autre de l'axe.

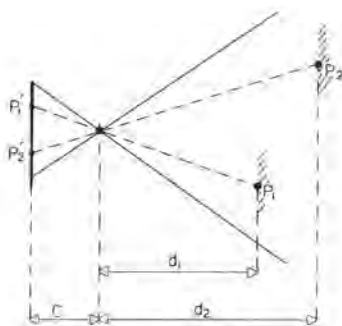
Il apparaît évident que la façon linéaire de définir le champ repose sur la définition d'un plan de référence ou de plans de référence parallèles — ou sensiblement parallèles — au plan vertical passant par la base. Si l'objet présente un volume accentué, plusieurs calculs seront nécessaires pour connaître la zone enregistrée.

6.4.2. L'échelle du cliché

Quoique le terme soit consacré par l'usage en photogrammétrie aérienne, lorsque l'objet est un volume, l'échelle est un terme aberrant puisqu'il y a autant d'échelles de représentation que de profondeurs différenciées. Si l'on pose que les échelles e_1 et e_2 de représentation sur le cliché de deux détails p_1 et p_2 , situés respectivement à des distances d_1 et d_2 de l'objectif,

s'expriment par les quotients $\frac{c}{d_1}$ et $\frac{c}{d_2}$

nous voyons que e_1 est à e_2 comme d_2 est à d_1 ,⁵¹ c'est-à-dire que les échelles de représentation sont inversement proportionnelles aux distances. Deux détails semblables — 2 balustres ou 2 unités — seront représentés, l'un le double de l'autre, si d_1 est la moitié de d_2 .





Si nous changeons de chambres de prise de vue — et donc si c change —, sans que nous changions de station, les échelles de représentation varieront dans un rapport égal au rapport des distances principales : si nous doublons la distance principale, nos deux balustres doubleront de taille mais le rapport entre le plus proche et le plus éloigné restera le même.

Si, par contre, nous nous éloignons ou nous nous rapprochons de l'objet à photographier avec la même chambre, la taille de représentation diminuera ou, respectivement, augmentera pour chacun des détails, proportionnellement à l'accroissement ou la diminution des éloignements ; mais le rapport des échelles variera en tenant compte de la distance ℓ entre les deux détails ; si l'on pose $d_2 = d_1 + \ell$

on a :

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{d_1 + \ell}{d_1} = 1 + \frac{\ell}{d_1}$$

ℓ étant fixe, les deux détails tendent à une représentation à des échelles voisines lorsque d_1 croît et l'écrasement apparent du modèle ne contribue pas à faciliter l'analyse de l'objet.

La taille du détail significatif dans la photographie assure sa lisibilité, donc la qualité des pointés stéréoscopiques lors de l'analyse des clichés ; le rapport de l'échelle des clichés à l'échelle du document graphique reste fondamental mais il reste également subordonné à la densité de l'information indispensable pour rendre compte de l'objet et à la nature de l'objet. La granulométrie de l'appareil architectural — moellons, appareil régulier, ... —, les lignes émoussées par l'érosion seront des facteurs dont il faudra impérativement tenir compte au moment du choix des stations de prise de vue.

Dans le cas d'analyse photogrammétrique, conduisant à des représentations en géométral, l'échelle dans les clichés des zones à traiter pourra être d'un rapport K , cinq à six fois plus petit que l'échelle du géométral mais il faudra tenir compte évidemment de l'épaisseur de la zone à représenter.

Pour traiter en géométral au $1/E$ une façade et la faîtière de couverture qui la surmonte, nous partirons de la distance ℓ qui les sépare ; par exemple, ℓ étant égale à 5 m, la distance maximum, d , de prise de vue entre la façade et une chambre de 60 mm se calculera par la formule :

$$d = c \times E \times K - \ell$$

soit, pour un géométral au $1/100^e$: $d = 0,06 \times 100 \times 6 - 5 = 31$ m.

6.4.3. La base du couple photogrammétrique

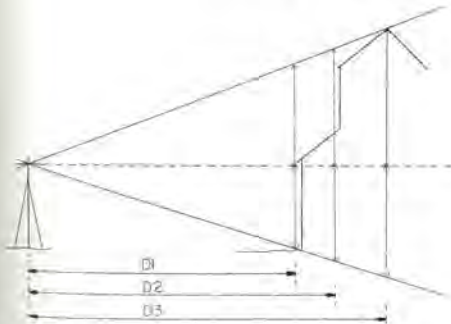
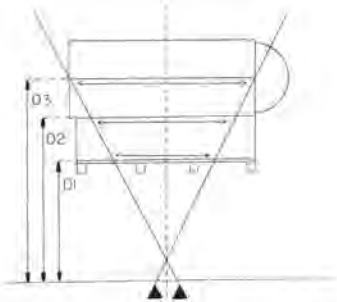
L'analyse photogrammétrique repose sur l'intersection topographique ; aussi, le rapport de la base à la distance du détail ne doit en aucun cas dépasser $1/15$.

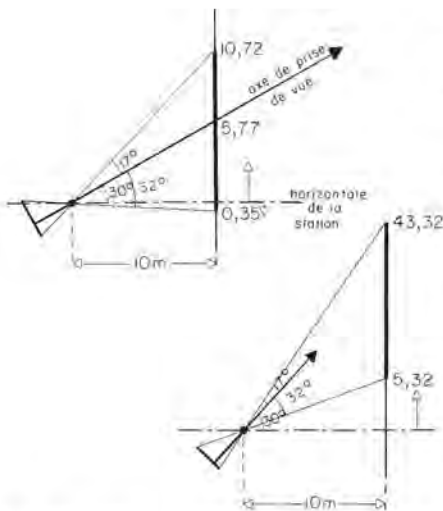
Le rapport optimum est de l'ordre de $1/8$; il pourra être porté à $1/3$ dans le cas d'objets présentant de faibles saillies. L'augmentation de la longueur de base diminue l'écart-type dans la détermination des coordonnées de l'objet (cf. 6.3.) mais elle diminue d'autant le champ de prise de vue.

Pour reprendre l'exemple précédent, la distance de la prise de vue étant d'environ 30 m, nous choisirons une base de 4 m, soit un rapport de $4/30$, c'est-à-dire environ $1/8$.

6.4.4. Les couples basculés

Dans de nombreux cas, le champ vertical est insuffisant pour couvrir l'ensemble de la hauteur de l'édifice ; il est alors possible de basculer les chambres, autour de l'axe





Les possibilités d'inclinaison des chambres terrestres : les inclinaisons à 30° et 60° des chambres Wild C120, P32, P31.

des X (la base). Lors de l'analyse des clichés, on tiendra compte de ces inclinaisons fixes, prévues par le fabricant, de l'axe de prise de vue.

La couverture est alors obtenue par plusieurs couples réalisés à partir des mêmes stations et d'une même base horizontale.

Par exemple, un premier couple, dont l'axe de prise de vue est horizontal, couvrira la partie basse de l'édifice ; un second couple, dont l'axe est incliné de 30° par exemple, couvrira la partie médiane et un troisième couple incliné de 60° couvrira la partie haute.

Ces couples présentent des images perspectives dont les verticales sont évidemment fuyantes et où les masques sont importants. Leur usage doit être limité au cas où il n'est pas possible de s'élever ou de reculer pour obtenir l'enregistrement total de l'objet.⁵² Un cas particulier de ces basculements consiste à disposer les axes de prise de vue verticaux, la base restant horizontale ; ceci permet notamment la photographie de couvertures et de plafonds. Les clichés se trouvent alors dans un plan horizontal défini par les axes des X et des Y.

En dehors des clichés à axes verticaux dont la précision et l'usage restent du même ordre que pour les clichés à axes horizontaux (il y a simplement intervention des axes), les clichés inclinés présentent des difficultés de traitement (obliquité de l'analyse en profondeur) qui diminuent la précision.⁵³

6.5. La reconnaissance et le schéma de prise de vue

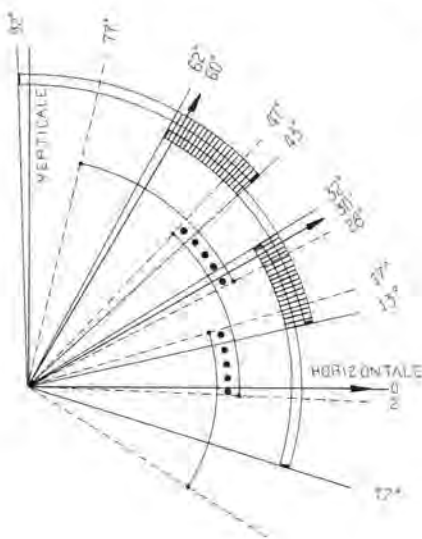
La demande archéologique étant exprimée, la reconnaissance a pour objet l'implantation des stations de prise de vue qui assureront l'enregistrement des zones concernées. Sans devenir forcément exhaustive, la couverture photographique doit être "généreuse" afin de permettre de compléter l'analyse et de répondre à des questionnements ultérieurs.

La première démarche consiste à saisir les articulations de la structure architecturale, à décomposer l'objet en faces dont sont repérées grossièrement la taille et l'orientation mais aussi la densité de l'information ; l'enregistrement et l'analyse ultérieure d'une face se trouvent facilités par son parallélisme à un des plans du trièdre XYZ de prise de vue. La frontalité (XZ) s'impose, dès que l'objet présente une densité d'information, une complexité de lignes ou de surfaces ; la perpendicularité ou l'obliquité ne sont pratiquées que pour des faces planes où la saisie sera minimum.

La frontalité ne peut être absolue puisque l'orientation des faces n'est qu'appréciée par l'opérateur⁵⁴ mais elle le sera d'autant moins que l'on imposera un nombre limité d'orientations à l'ensemble des prises de vue. La rigidité mécanique des restitueteurs analogiques et celle théorique — mais ô combien prégnante — des représentations graphiques géométrales, en imposant des plans de projection uniques ou trop peu diversifiés, relativisent cette frontalité (cf. 6.1.).

Simultanément, les paramètres de la prise de vue sont repérés : possibilités de recul et d'élévation (largeur des voies, présence de fenêtres ou de balcons sur les édifices voisins, ...), appréciation des masques parasites (arbres et végétations ; constructions, véhicules et circulation, ...).

Le positionnement des stations débute alors, plan de projection par plan de projection, en tenant compte, dans l'ordre, du champ horizontal, de la base liée à la distance de prise de vue, des recouvrements de champ de couple à couple ; puis, si les parties hautes de l'édifice ne sont pas couvertes, il faut prévoir soit une nouvelle bande de stations à plus grande hauteur (des fenêtres, balcons de l'édifice en face ou, par l'intermédiaire coûteux d'échafaudage, d'élévateurs, ...), soit une série de couples inclinés.



Les possibilités de recouvrement de vues successives prises de la même station.

Le positionnement débute toujours par les zones de recul restreint ou présentant des limitations. La position au sol de chaque station est matérialisée grossièrement (craie, piquet, cairn). La frontalité sera assurée soit par la mise en parallèle, couple après couple, au plan repéré de l'objet,⁵⁵ soit par alignement topographique sur une ligne de référence implantée ou sur des segments parallèles.⁵⁶

Le positionnement définitif est arrêté après avoir vérifié qu'aucun détail significatif de l'objet ne sera omis dans l'enregistrement et après avoir éliminé ou limité les masques dans les plans horizontal et vertical par des décalages⁵⁷ — latéraux, en profondeur, en hauteur —. Ce positionnement définitif a souvent lieu au moment de la prise de vue par commodité. L'ensemble des informations est rassemblé sur un schéma en plan de l'édifice et de son contexte environnant (un plan de situation agrandi à main levée du cadastre se révèle bien souvent utile), la position des stations et le type de prise de vue sont indiqués par des symboles (cf. Fiche 11) ; la base pour les chambres simples est exprimée en chiffre rond. Il faut se rendre compte que multiplier les couples élimine les masques mais augmente de façon considérable, et le temps de terrain en nécessitant des calages de plus en plus sophistiqués, et le temps d'analyse. Une réflexion doit être conduite avant chaque relevé pour minimiser le nombre de prises de vue tout en maintenant les exigences de précision et de définition.

6.6. La mise en station photogrammétrique

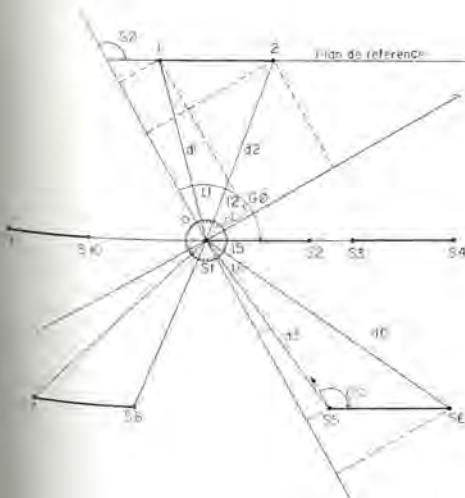
Une fois le point de vue arrêté,⁵⁸ c'est-à-dire la distance de prise de vue et la longueur de base retenue, il reste, pour mettre en station, à réaliser :

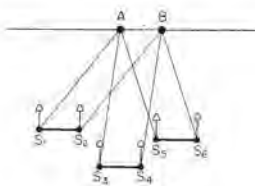
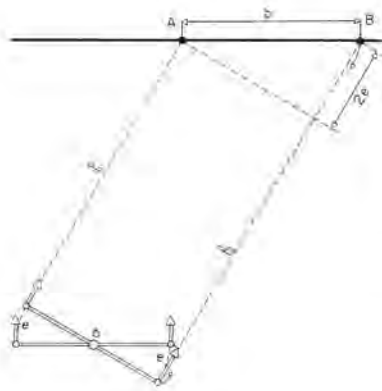
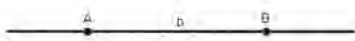
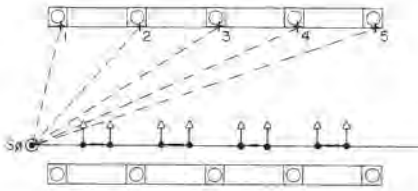
6.6.1.L'orientation azimuthale de la base

Cette orientation est choisie parallèlement au plan principal de l'objet. L'orientation azimuthale, avec les instruments de restitution analogiques optico-mécaniques, est, insistons bien, une nécessité puisque le traitement graphique ne s'effectue, à quelques grades près, que dans le plan du cliché et les plans orthogonaux passant par les médianes ; la condition de frontalité qui assure le meilleur enregistrement de l'objet serait angulairement beaucoup moins exigeante mais il convient de tenir compte des équipements actuels des ateliers de photogrammétrie,⁵⁹ ce qui implique le respect de cette orientation. L'implantation se réalise de trois manières, d'inégale précision.

Le théodolite

Il est stationné à un endroit quelconque S_1 en vue et à proximité de l'objet et des points de vue ; l'opérateur vise deux points 1 et 2 de l'objet qui définissent l'orientation du plan principal et mesure angles horizontaux et distances. Il calcule alors, à l'aide d'une calculette, les coordonnées et le gisement G_0 des deux points qui sont obtenus dans le système fixé par le limbe du théodolite. Si la station du théodolite est une station de prise de vue, il fait tourner la lunette jusqu'à la lecture G_0 (et/ou $G_0 \pm 200^G$) et, sur la ligne de visée, implante la deuxième station S_2 à la distance correspondante à la base ; de cette manière, il peut implanter toute une série de points de vue alignés (S_3, S_4, \dots). Si la station du théodolite n'est pas une station de prise de vue, ou s'il convient d'implanter des bases supplémentaires à d'autres distances de l'objet, l'opérateur vise l'un des points de vue S_5 , mesure l'angle et la distance, puis calcule ses coordonnées ; à l'aide de la base et du gisement G_0 , il obtient les coordonnées de la seconde station S_6 , le gisement S_1/S_6 et la distance $S_1 - S_6$. Il fait pivoter la lunette jusqu'à lire l'angle correspondant au gisement S_1/S_6 et implante sur la ligne de visée, à la distance $S_1 - S_6$, la station S_6 .⁶⁰





La méthode sera également utilisée pour définir un plan de référence moyen ; après avoir visé un certain nombre de points, 1,2,3,4, ... N, N+1, on calcule les gisements entre ces points dont la moyenne correspond au plan moyen :

$$G_0 = \frac{G_{1/2} + G_{2/3} + G_{3/4} + \dots + G_{N/N+1}}{N}$$

Ceci est souvent très utile pour définir l'orientation moyenne de l'axe longitudinal d'une église et les désorientements de chaque travée. Dans ce cas particulier, il est intéressant de saisir ces points sur la même horizontale, celle de l'instrument, et de les baliser pour qu'ils soient visibles sur les couples photographiques dont ils assureront en partie le calage.

La méthode du théodolite est précise, surtout si les distances mesurées sont toutes inférieures à une portée de chaîne ; elle convient particulièrement à l'implantation des chambres simples.

La mesure des longueurs

Beaucoup moins précise mais plus rapide est la méthode par simples mesures de longueurs ; le principe est celui du parallélogramme — un quadrilatère dont les côtés opposés sont égaux est un parallélogramme —.

L'opérateur mesure sur l'objet, dans le plan de référence, une longueur horizontale AB égale à la base de prise de vue à implanter ; de l'extrémité gauche A, il mesure la distance l au point de vue gauche O_1 , puis respectivement de ce point de vue et de l'extrémité droite B, il réalise une intersection de deux cercles de rayons égaux à la base et à l qui définira le point de vue O_2 ; O_1O_2 doit être horizontal mais pas nécessairement de niveau par rapport à AB. Dans le cas d'une chambre stéréométrique, l'opérateur plante à vue la base (après l'avoir rendue horizontale) mesure les distances l_1 et l_2 respectivement des points de vue gauche et droit aux extrémités gauche et droite d'une longueur AB égale à la base et située dans le plan de référence. Il fait ensuite pivoter autour de son axe la base de prise de vue de la moitié de l'écart :

$$l_1 + \frac{l_2 - l_1}{2} = l_2 - \frac{l_2 - l_1}{2};$$

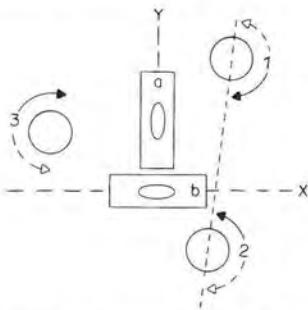
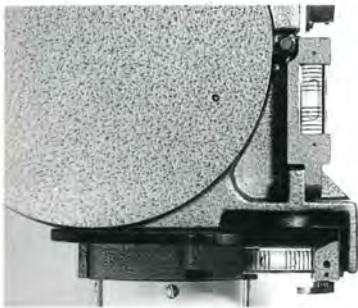
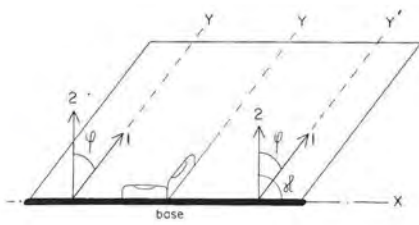
la base est alors orientée.

Dans le cas de plusieurs couples, il est préférable, pour garder le même plan de référence, d'assurer le parallélisme des bases à partir d'une seule distance AB.

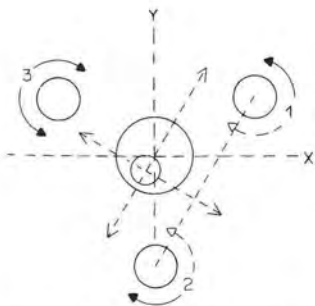
Malgré sa simplicité, le procédé permet d'assurer un parallélisme au grade près lorsque les distances sont inférieures à une portée de chaîne.⁶¹

La mesure à vue

La troisième méthode est beaucoup plus aléatoire puisqu'elle repose d'une part sur l'hypothèse de l'horizontalité d'une ligne d'architecture (bandeau, corniche, ...) contenue dans le plan de référence⁶² et, d'autre part, sur la superposition établie à l'œil de cette ligne avec la base (rendue auparavant horizontale) ; en effet, dans la perspective décrite par l'œil, ces deux horizontales ne pourront avoir la même représentation, c'est-à-dire ne pourront se masquer l'une l'autre que si elles sont parallèles. Le procédé est relativement convenable avec la chambre stéréométrique ; l'opérateur, ayant calé la base horizontalement, la fait pivoter pour qu'elle vienne masquer la ligne d'architecture ; il est quasiment inapplicable avec la chambre simple.⁶³ Pourtant, aussi imprécis soit-il, ce procédé est souvent le seul applicable lorsque le plan de référence est inatteignable sauf à réaliser des orientations longues et difficiles⁶⁴ qui ne s'imposent réellement plus lorsqu'on dispose d'instruments de restitution analytiques.



Manipulation des vis calantes pour le calage des nivelles croisées d'une chambre double Wild C120.



Manipulation des vis calantes pour le calage de la nivelle sphérique d'une chambre double Zeiss SMK 120.

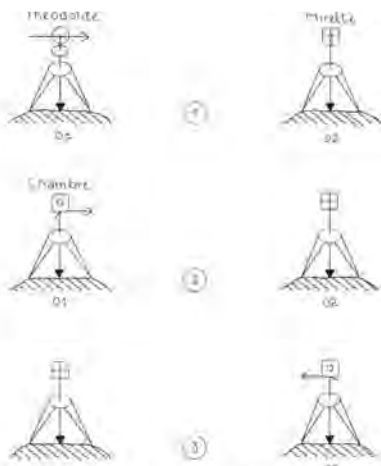
6.6.2. Le calage de la chambre

L'opération a pour fonction de définir avec précision la position des médianes du cliché (axes x et y) et de l'axe optique (axe y') par rapport à un plan horizontal et à la verticale.⁶⁵ Les chambres de prise de vue terrestres sont équipées de nivelles de bonne précision dont les directrices sont repérées par rapport à ces lignes qui sont, rappelons-le, matérialisées sur le négatif.⁶⁶ La chambre de prise de vue stéréométrique Wild C120 est équipée de 2 nivelles "croisées," c'est-à-dire

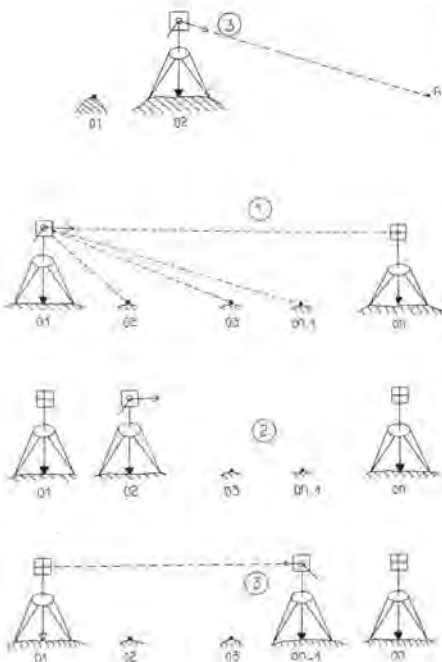
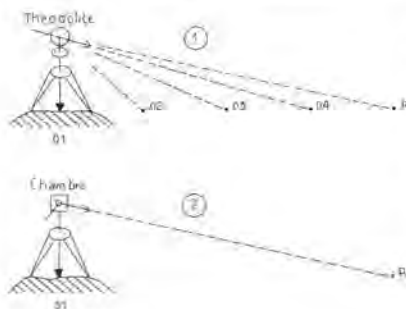


perpendiculaires l'une à l'autre ; leur réglage simultané assure l'horizontalité d'un plan passant par la base qui contient l'axe optique quand celui-ci est horizontal et qui le repère quand celui-ci est incliné⁶⁷ par rapport à l'axe y maintenu artificiellement horizontal.⁶⁸

Le trépied qui supporte la double caméra étant en place, les vis calantes de l'embase sont disposées de façon quelconque par rapport aux nivelles croisées ; l'opérateur



Orientation au théodolite d'une base unique (ci-dessus) et de bases multiples (ci-dessous).



Orientation à la chambre simple de bases multiples alignées.

choisira deux des vis calantes, dont la direction est proche d'une des nivelles pour régler celle-ci,⁶⁹ et la troisième vis calante pour régler la deuxième nivelle.

Dans la chambre stéréométrique Zeiss SMK 120, les nivelles croisées sont remplacées par une bulle sphérique (de précision identique) ; le calage reste le même : deux vis calantes règlent, dans une direction, le mouvement de la bulle, la troisième règle le mouvement de la bulle dans une direction perpendiculaire. Le calage des chambres stéréométriques doit impérativement être effectué avant l'orientation azimutale (cf. 6.1.). Le calage des chambres simples s'effectue en chaque point de vue de la même manière que pour le théodolite, c'est-à-dire en faisant pivoter la nivelle, portée par la chambre, dans deux directions où l'on effectue par réitération le réglage à l'aide des vis calantes (cf. réglage de la nivelle du théodolite - Fiche 5).

6.6.3. L'établissement du cas normal

Par construction, les deux axes des appareils photographiques des chambres stéréométriques réalisent le cas normal — axes optiques parallèles et perpendiculaires à la base — avec une grande précision. Des photographies d'étalonnage en assurent le contrôle périodique sur les appareils de restitution ; l'observation d'écarts significatifs entraînera le retour à l'usine pour réglage. L'établissement du cas normal avec les chambres simples consiste, après avoir matérialisé la base de prise de vue (ou, pour le moins, sa direction) à assurer la perpendicularité de l'axe optique à cette direction en chacun des points de vue. Hormis le cas des appareils de restitution simplifiés, du type Wild A40, qui ne tolèrent aucun écart au cas normal,⁷⁰ il faut se rappeler que l'orientation relative dans le restituteur fixe les paramètres exacts (d_ω , d_φ et d_x) des prises de vue.

Deux possibilités sont à envisager : le couple isolé et les couples alignés.

Le couple isolé

La méthode la plus précise consiste à travailler avec deux trépieds par calage forcé.⁷¹ L'orientation de la base est réalisée au théodolite (cf. 6.6.1.). Celui-ci est posé sur le point de station gauche — ou droite —⁷² et détermine le point de station droite — ou gauche — matérialisé par le trépied surmonté de l'embase à vis calantes et d'une mirette.⁷³ Le théodolite est remplacé sur l'embase par la chambre de prise de vue dont l'opérateur oriente, après calage, la lunette vers la mirette de la station droite ; l'axe de prise de vue est alors perpendiculaire à la base.⁷⁴ Après les opérations de prise de vue (cf. 6.6.4.), la chambre et la mirette sont interverties et l'opérateur vise la mirette pour orienter le second axe de prise de vue, perpendiculairement à la base ; celle-ci sera mesurée à la hauteur des embases.

Les couples alignés

L'alignement étant défini, l'opérateur a pris la précaution de prolonger l'alignement sur un repère lointain, au-delà des points de station ; ce repère est matérialisé pour rester immuable durant toutes les opérations de prise de vue.⁷⁵ La chambre de prise de vue est installée successivement sur chaque station et la lunette permet l'orientation de l'axe de prise de vue par rapport au repère, c'est-à-dire assure la perpendicularité des axes de prise de vue par rapport à l'alignement, donc aux bases successives. Ce procédé permet de réduire les écarts d'orientations de l'axe de prise de vue résultant des erreurs de mise en station et de visée (cf. Fiche 3).⁷⁶ Pour augmenter la précision, il sera bon, là encore, de travailler avec plusieurs trépieds en calage forcé : la mesure de la base étant effectuée d'embase à embase (ce qui n'exclut pas comme contrôle une mesure en cumulé de l'ensemble des points de station — non compris le repère, s'il ne joue aucun rôle dans le reste de l'opération —).

Dans le cas d'une implantation impossible d'un repère lointain, l'opérateur se servira alternativement des deux stations extrêmes en visant, pour chaque station,

la plus éloignée ; trois trépieds facilitent le travail, deux étant implantés aux extrémités et restant fixes, tandis que le troisième parcourt, l'une après l'autre, les stations intermédiaires.

6.7. L'opération de prise de vue photographique

La séquence photographique durant l'opération photogrammétrique est primordiale ; c'est de la qualité des photographies que dépendra presque exclusivement la précision des résultats. Or, si l'on considère les paramètres qui font la qualité d'une prise de vue, nous nous apercevons, qu'en photogrammétrie, nous n'en sommes pas réellement maîtres.

6.7.1. L'émulsion

La nécessité d'émulsions reposant sur des glaces planes limite considérablement les choix ; actuellement, en France, seuls trois fabricants (aucun français)⁷⁷ proposent des plaques photographiques. Si la planéité est assurée, la sensibilité n'est qu'indicative. Sa valeur nominale, donnée par le fabricant, peut décroître considérablement et il convient de la tester avant toute opération.

6.7.2. La mise au point

Nous l'avons vu, il n'y a pas de mise au point dans la chambre photogrammétrique ; la distance minimum doit être strictement respectée si l'opérateur veut éviter des images floues, c'est-à-dire avec des cercles de diffusion d'un rayon incompatible avec la précision.

6.7.3. Le diaphragme

Pour un même diamètre de cercle de diffusion, l'augmentation ou la diminution de la taille du diaphragme peut diminuer ou augmenter la profondeur de champ.

Avec la Wild P31-100 mm, focalisée à 25 m, pour un diamètre de cercle de diffusion de 0,05 mm, la profondeur du champ varie de 12 m à l'infini avec $f/8$ et de 6,50 m à l'infini avec $f/22$.

Avec la Wild C120, focalisée à 10 m, pour un diamètre de cercle de diffusion de 0,02 mm, la profondeur de champ varie de 5 m à 30 m avec $f/8$ et de 2,70 m à l'infini avec $f/32$.

Le diaphragme permet ainsi de conserver toute la netteté nécessaire en fonction de l'épaisseur de l'objet photographié. Lorsque ce problème ne se posera pas, l'opérateur choisira le diaphragme moyen $f/11$ qui assure la meilleure qualité de l'image.

6.7.4. La vitesse

C'est le seul élément sur lequel l'opérateur pourrait jouer. La faible sensibilité des films conduit souvent à travailler en pose ; ce n'est gênant que lorsque l'appareil risque de bouger parce qu'il est instable (plancher, échafaudage, ..., mais aussi proximité de circulation routière ou ferroviaire intense, ...).

La pose de longue durée risque, malgré tout, de compromettre la qualité de l'image en accentuant les contrastes et en rendant, par surexposition, les parties les plus éclairées, illisibles (fenêtres hautes d'une élévation interne d'église par exemple). En définitive, nous nous apercevons que, la plupart du temps, dans les prises de vue d'intérieur notamment, nous devons fixer également la vitesse en la limitant à une pose courte et en travaillant en lumière artificielle.

6.7.5. L'éclairage

L'image photogrammétrique doit être lisible sur toute la surface. C'est un pari qu'il est bien souvent difficile de tenir pour les extérieurs avec un soleil trop brillant qui va accentuer le rendu du modelé brutal de l'architecture ; pour éviter les ombres trop noires, il faut avoir la patience d'attendre que le soleil soit masqué par un nuage ! pour un objet relativement plat, un éclairage faible et rasant sera parfois utile lors de l'analyse des clichés.

Les prises de vue en intérieur nécessitent souvent des éclairages ; des flashes puissants (type Balcar 5000 joules) sont à préconiser, soit pour éclairer la totalité de l'objet, soit, plus souvent, pour équilibrer zones sombres et lumineuses. L'opérateur travaille alors en "open flash," c'est-à-dire éclaire de flashes dirigés et successifs les parties obscures.

6.7.6. Le laboratoire

Les émulsions des plaques photogrammétriques sont pratiquement toutes panchromatiques. Leur développement dans le noir absolu conduit ainsi à devoir, en premier, tester des échantillons de chaque campagne photogrammétrique.

L'opérateur sur le terrain doit tenir compte de ces problèmes en étiquetant les photos en grandes catégories qui permettront au photographe d'obtenir les meilleurs résultats (intérieur, intérieur-open-flash, extérieur-soleil masqué, extérieur-lumière vive, ...). Le photographe, lors des opérations de développement, fixage et rinçage, évitera les trop importantes différences de température des bains (qui font migrer le grain d'argent) ; le séchage sera effectué à la température du laboratoire.

L'opération photographique se présente ainsi comme une démarche particulièrement délicate. L'assistance d'un photographe expérimenté est fortement conseillée ; il ne s'agit pas pour lui simplement de déclencher la prise de vue après un vague mesurage, à la cellule, de la vitesse mais de contrebalancer la simplicité apparente de l'équipement par toutes les ressources de son métier.⁷⁸

6.8. Le calage des prises de vue et le complètement

Comme nous l'avons vu, les mesures de calage ont avant tout pour fonction d'éliminer, en photogrammétrie terrestre, les erreurs dues aux modes opératoires lors de la prise de vue et lors de la restitution des clichés.

Aussi, ces mesures sont d'autant plus nécessaires que doivent être répétés les modes opératoires ; c'est dire que ces mesures augmentent en fonction du nombre de couples.

Nous posons naturellement pour principe que toutes les opérations sont conduites "parfaitement," donc qu'elles ne présentent pas de fautes : les nivelles sont justement calées, l'orthogonalité des axes à la base, l'orientation de celle-ci, sa mesure et les mesures en général sont assurées au mieux en fonction des instruments utilisés et ne reflètent donc que les erreurs instrumentales et opératoires, tolérables.

L'erreur sur la mesure de la base de prise de vue à la chambre simple varie de ± 2 mm à ± 5 mm pour des bases respectivement inférieures à 2 m et à 10 m⁷⁹ ; l'erreur sur des longueurs mesurées au double décimètre sera de l'ordre du centimètre ; de même que les erreurs commises dans la détermination, par le calcul, en x, y, z de points obtenus par rayonnement ou intersection.⁸⁰

6.8.1. Les points de calage

Nous appellerons indistinctement points de calage, les points matérialisant les extrémités d'une longueur et les points déterminés dans l'espace.

La perception photographique des points de calage : il est évidemment essentiel qu'ils soient parfaitement distincts sur les photographies.

Il est indispensable, sur le terrain, d'imaginer précisément l'image photographique du point. L'opérateur tient compte de trois facteurs, éclairage, contraste et couleur :

- le point ne doit pas être dans une zone trop sous-exposée ou surexposée,
- le clair gagne toujours sur le sombre : un point "noir" dans une zone trop éclairée (paratonnerre sur le ciel, par exemple) risque d'être grignoté ou aboli totalement sur l'image photographique ; au contraire, un point blanc sur fond noir sera magnifié,
- les couleurs du spectre visible sont transcrites sur les surfaces sensibles par une gamme entre noir et blanc ; de trop subtiles variations de gris peuvent, sur la photographie, gommer totalement un point parfaitement visible dans la lunette du théodolite ou à l'œil nu.

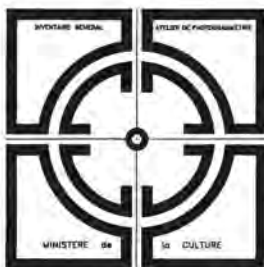
La nature des points de calage : contrairement aux points sélectionnés pour établir topographiquement un relevé d'architecture, les points de calage ne sont pas forcément des points significatifs, des points architecturaux caractéristiques. Par ailleurs, le point est une fiction géométrique qui n'existe ni sur l'édifice, ni sur la photographie : le grain de la pierre, comme le grain d'argent, émoussent toujours les détails naturels les plus nets ; il s'agit donc de sélectionner les "facettes" minimales. La désignation doit pourtant être sans ambiguïté lors du mesurage de terrain comme lors de l'analyse.

Pour être identifiés sans erreur, l'opérateur choisit des détails parfaitement "dessinés" (éléments de décor, tiges de fer, clous, boulons, ...) ou définis (rencontre de deux barlotières, ...).

Les détails répétitifs (angles de parement, "œil" de chapiteau ...), s'ils ne peuvent être évités, doivent faire l'objet immédiat d'un croquis de repérage afin d'éviter d'être interchangés entre deux visées au théodolite ou entre le terrain et la restitution.⁸¹

L'opérateur doit également garder à l'idée la distance au point naturel, c'est-à-dire son échelle sur la photographie qui pourrait, si elle s'avérait trop petite le faire disparaître.

Ainsi, le point artificiel, la mirette de papier collé, la croix à la craie⁸² ou au ruban adhésif répondent mieux aux nécessités de signalisation mais leur mise en place est longue, parfois impossible.



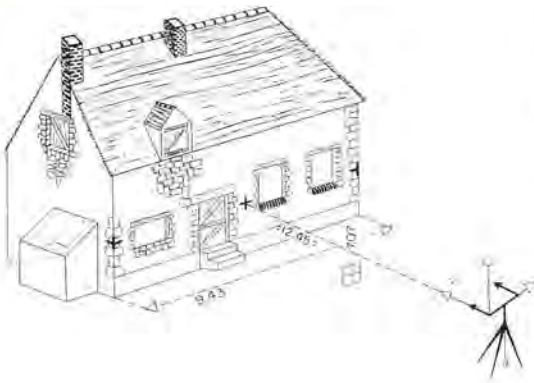
Mirette pour point de calage.

6.8.2. La méthode "expédiée"

Le calage est effectué par de simples mesures de longueur : longueurs de l'objet, longueurs entre l'objet et les pupilles des chambres...

La méthode suppose la perfection de l'équipement, l'inexistence des erreurs dues aux modes opératoires et la rigueur de l'objet car l'enchaînement des couples s'établit à partir de rotations effectuées sur les parties communes à deux couples successifs. Résumons ces hypothèses (cf. chapitres précédents).

- Chambre de prise de vue parfaite :
 - optique totalement corrigée, distorsion inexistante,
 - construction rigide assurant la perpendicularité absolue de l'axe de prise de vue sur le fond de chambre et le repérage précis du point principal de l'optique,



- pour les chambres stéréométriques, construction rigide assurant la perpendicularité des axes de prise de vue de la base,
- planéité rigoureuse du support sensible.
- Maîtrise et respect totaux des principes d'utilisation des chambres :
 - rapport de la base de prise de vue à l'éloignement du sujet ; rapport de la base à la profondeur du sujet lui-même,
 - rapport de l'échelle du cliché à l'échelle du relevé désiré,
 - conditions photographiques optimales de lisibilité des clichés (éclairage, ombre, densité, ...).
- Mode opératoire sur le terrain scrupuleusement respecté :
 - mise à l'horizontale de la base et des axes de prise de vue,
 - parallélisme de chaque couple au plan de référence choisi sur l'objet,
 - perpendicularité des axes de prise de vue à la base (chambres simples),
 - mesures rigoureuses des bases de prise de vue, des distances en éloignement et sur l'objet lui-même.

Il va sans dire que ces conditions idéales ne sont jamais absolument respectées, ni en ce qui concerne les équipements qui atteignent pourtant une "perfection" relative, ni surtout en ce qui concerne les modes opératoires et le respect des limites de l'équipement.

En effet, l'opérateur "moyenne" les différents critères antagonistes⁸³ pour aboutir au résultat le plus cohérent, compte tenu des conditions de terrain et de la nature de l'objet.⁸⁴

Nous dirons que ce calage expédié est aléatoire, que sa précision décroît en fonction du nombre de couples mais nous pourrions invoquer deux types d'arguments pour maintenir la nécessité impérieuse d'y recourir :

La masse documentaire

Nous sommes confrontés à un patrimoine considérable en nombre et particulièrement fragile et menacé par la vitalité même de notre existence ; il s'agit donc de le documenter rapidement et la photogrammétrie enregistre, d'une part, globalement, une masse considérable d'informations et, d'autre part, permet des relevés plus précis (ce qui n'est pas toujours une nécessité) que la plupart des relevés établis par d'autres méthodes.

Les procédés itératifs de calcul

L'imprécision provient plus de la liaison des couples dans un système unique que de la nature des couples eux-mêmes⁸⁵ ; il est donc possible ultérieurement, à l'occasion, par exemple, d'une autre demande, de réduire les erreurs, soit par des procédés itératifs de calcul sur ordinateur,⁸⁶ soit par retour sur le terrain et des mesurages complémentaires.

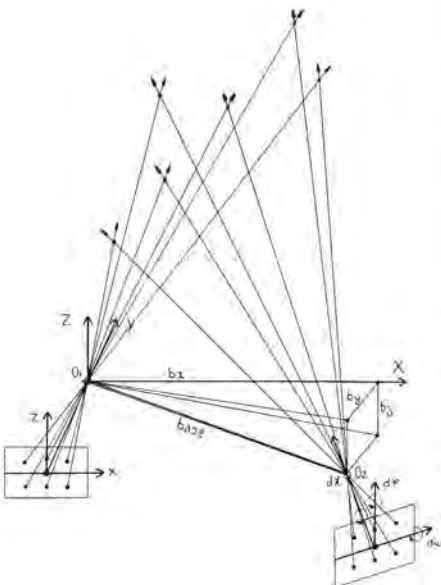
6.8.3. La méthode régulière

La méthode régulière, par semis, dans le modèle, de points connus en coordonnées spatiales, est la seule qui assure la plénitude des possibilités de mesurage par photogrammétrie. Elle est la seule qu'il faut utiliser lorsque l'étude tente de déceler, à travers l'analyse photogramétrique, de subtiles déviations de l'architecture pour, par exemple, établir un diagnostic sanitaire ou apporter des indices de chronologie relative, ... Suivant la complexité du volume, 3 à 5 points par couple doivent être mesurés dans un système unique.

Ces données vérifieront les modes opératoires, assureront une seule échelle et une orientation unique pour l'ensemble des modèles.

La distribution des points de calage

Les points de calage sont distribués, par couple, dans l'ensemble de la zone restituable, c'est-à-dire commune à deux clichés, mais ils encadrent moins l'image



photographique qu'ils ne soulignent l'amplitude du volume photographié ; pour un relevé comportant plusieurs couples, les points sont naturellement définis dans un seul système trirectangle.

Le mesurage s'opère à partir de lignes d'opérations polygonales, par rayonnement pour les points accessibles et par intersection pour les points inaccessibles (cf. 4.5.).

Le calcul des points de calage

L'ensemble des calculs, sans être d'une grande difficulté théorique, nécessite une méthode rigoureuse et il sera pratique de recourir à des logiciels de calcul sur ordinateur. En traitant l'intersection des visées directement dans l'espace et non par rabattements successifs (calcul dans le plan horizontal puis calcul des niveaux), le calcul sera plus efficace et ménagera le contrôle des écarts⁸⁷.

En contrepartie de sa qualité, le calage régulier est long⁸⁸ et, dans la pratique, sera modulé en fonction des exigences de la demande.

6.8.4. La pratique du calage

En fonction de la rigueur de l'objet (régularité apparente des faces, homogénéité chronologique, ...), du degré de complexité du volume, de la demande exprimée (simple élévation de façade plane, coupe traversante, extérieur, intérieur, ...) et de la précision requise, l'opérateur recourt au calage expédié, au calage régulier strict ou à un calage mixte. Bien souvent, c'est le nombre de couples qui sera l'élément de décision.

Le couple unique

Si un seul couple enregistre l'objet, un calage succinct s'avère possible. Notamment, si l'objet est directement inaccessible (voûte par exemple), nous pourrions nous contenter de la mesure de la base pour assurer l'échelle ; les nivelles et le modèle lui-même (les parois, ...) assureront l'orientation.

Il est malgré tout préférable de mesurer une longueur de l'objet dans un plan parallèle à la base et aux clichés et une profondeur qui contrôlera la formation du modèle (orientation relative).

L'opérateur choisit dans le plan de référence, le plan auquel se réfère l'orientation de la base, une distance la plus longue possible,⁸⁹ horizontale ou verticale, dont il repère les extrémités et qu'il mesure. Partant du centre optique de la chambre, la chambre gauche, il mesure, selon la direction approximative de l'axe optique, une longueur sur un point repéré de l'objet ou, mieux, sur deux points repérés et alignés sur cette direction.

Un fil à plomb, présent dans la photographie,⁹⁰ valide l'information donnée par les nivelles des chambres.

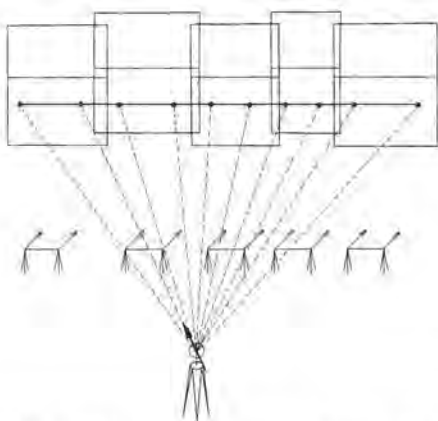
Les couples enchaînés en site

D'une même station, il est possible de prendre plusieurs photographies, basculées les unes par rapport aux autres, d'angles fixes prévus par le fabricant. C'est une possibilité fréquemment utilisée pour enregistrer une façade plus haute que large ce qui est le cas de figure le plus courant en situation urbaine.

Il est possible de ne caler que le couple inférieur — que l'on réfère à des axes de prise de vue horizontaux —. Si l'objet se développe en hauteur, à la dimension horizontale, l'opérateur substituera une dimension verticale parcourant l'ensemble des clichés avec deux points successifs repérés sur chaque cliché et mesurés en cumulé. De même, le fil à plomb est mis en place sur toute la hauteur de l'édifice et n'est pas déplacé avant que toutes les prises de vue soient réalisées.

Les couples multiples

Bien souvent, l'enregistrement de l'objet passe par la multiplication des photographies enchaînées à la fois horizontalement et verticalement. L'enregistrement



Mise en place d'une horizontale commune à plusieurs couples.

peut aussi être discontinu sur le même objet ; ainsi, on photographie une travée externe de la nef, une travée du chœur, l'ensemble du chevet puis, à l'intérieur, trois travées du vaisseau principal de nef. L'idéal serait de ne pas introduire de solution de continuité dans le calage mais, dans le cas, au niveau de l'analyse, où les clichés restent distincts, cette nécessité peut être supprimée pour alléger le temps de terrain⁹¹.

Si l'objet se développe selon un plan, au sens géométrique du terme (corps de rue par exemple), le calage le plus simple est de considérer chaque couple isolément, la liaison de l'information s'effectuant à partir des parties communes ; dès que l'objet présente quelque irrégularité, ce qui est bien souvent la règle, l'homogénéité de la précision de l'information s'évapore⁹².

Le calage est considérablement amélioré si tous les couples à axes horizontaux sont reliés par la mesure, en cumulé, d'une dimension les parcourant tous et repérée sur chaque couple par deux points. Cette détermination peut s'effectuer par chaînage direct mais aussi par toute autre méthode (par quasi-hauteur ou par rayonnement). L'usage en rayonnement, du théodolite et la mesure pour chaque point des angles horizontaux et verticaux, assure un contrôle des dénivelées fort utile dans le cas de pente du sol d'appui⁹³.

La coupe traversante — intérieur, extérieur — est très difficile à réaliser dans de bonnes conditions de précision, sans points de calage saisis dans un système unique ; cela signifie bien souvent une polygonaion complexe faisant le tour de l'édifice et le pénétrant. Lorsque la zone opaque forme un plan unique, un mur par exemple, il est possible de faire l'hypothèse, qui restera à vérifier, du parallélisme des nus du mur, à mesurer son épaisseur par une ouverture et à caler, transversalement et en hauteur, les coupes en admettant symétriques et concentriques les profils internes et externes des baies ; la présence de baies vitrées matérialisant un plan unique (parce que mince) et commun favorise ce genre de liaison dont la précision dépend malgré tout de la validité d'hypothèses que seuls des points de calage peuvent infirmer ou confirmer.

Cet exemple montre, qu'à l'occasion d'analyse complexe d'un objet architectural, le calage trop léger d'une opération photogrammétrique aboutit à réintroduire des hypothèses sur la nature et la forme de l'objet que l'on veut étudier. La limite du procédé est donc vite atteinte si l'on veut conserver à l'analyse photogrammétrique son pouvoir objectif.

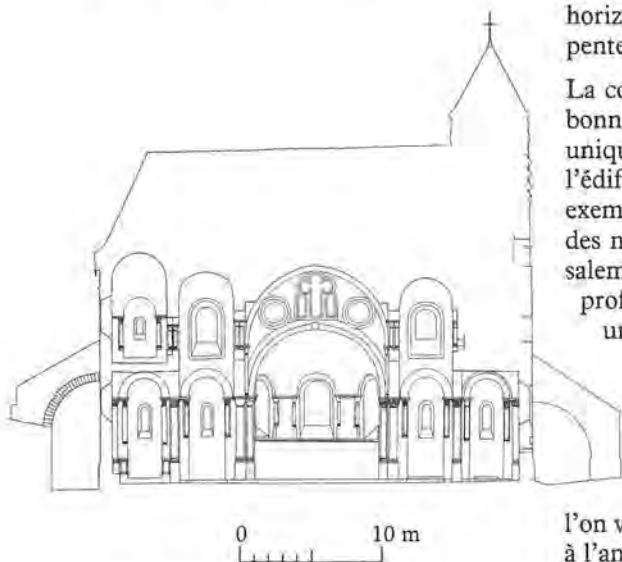
Remarquons, malgré tout, la modicité des hypothèses de ces calages succincts par rapport à celles que déploie, sans aucun contrôle, le relevé traditionnel ; en effet, la multiplicité des informations photogrammétriques mais aussi leur structure formelle, si elles n'apportent pas une confirmation totale des hypothèses, introduisent des indices qui les corroborent, des présomptions supplémentaires⁹⁴.

6.8.5. Les méthodes calculées de calage

Nous venons de le voir, les systèmes de calage tentent avant tout de rompre le phénomène d'accumulation des erreurs qui se compose avec la multiplication des couples.

Chaque couple, pris indépendamment, jouit d'une précision que nous pourrions considérer comme satisfaisant à la plupart de nos exigences. C'est l'enchaînement non contrôlé dans une référence unique qui fait dégénérer le processus⁹⁵.

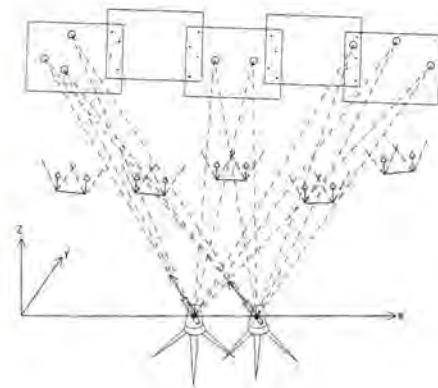
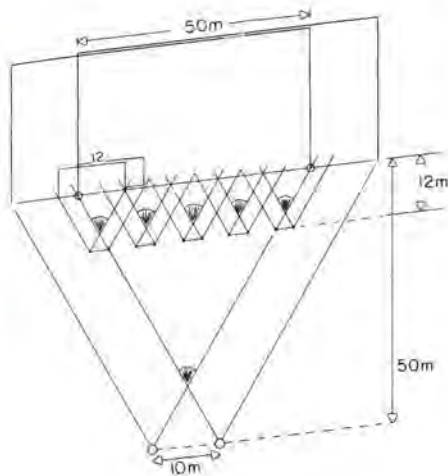
Malheureusement, cette référence unique coûte cher ; en temps sur le terrain, elle double ou triple facilement la durée du relevé et nécessite une équipe technique avertie menant avec méthode des opérations, sinon complexes, du moins délicates.



Saint-Chef-l'Abbaye (31), église Saint-Theodère, coupe transversale sur le chœur (relevé par photogrammétrie).



L'assemblage des couples peut être assimilé au montage d'un mur de moellons.



L'ordinateur, introduit aujourd'hui dans le processus de restitution photogramétrique, assure avec rapidité et aisance des calculs complexes qui nécessitaient des semaines de travail.⁹⁶ Des logiciels existent déjà qui permettent d'alléger sur le terrain les opérations de calage tout en assurant une égale précision.⁹⁷

Le "survol"⁹⁸

La méthode consiste à enregistrer à deux échelles l'objet ; à l'échelle la plus petite, celui-ci est enregistré sur un unique couple. Une première analyse de ces photographies va générer une série de points connus dans un système unique sur laquelle viendront se caler les couples nombreux et à grande échelle qui assureront l'analyse, dans le détail, de l'édifice.

Le procédé est simple et élégant, rapide sur le terrain ; il ne nécessite pas des calculs complexes mais il n'est pas toujours réalisable. D'une part, parce qu'il n'est pas souvent facile, faute d'éloignement possible, de réaliser ce survol et, d'autre part, parce que la précision à obtenir sur la couverture à petite échelle et pour les points de calage doit être supérieure à la précision que l'on désire dans l'analyse détaillée.

Pour fixer les avantages du procédé, proposons un exemple : un couple à la chambre P31-100 mm, réalisé avec une base de 10 m, sur un objet situé à 50 m et calé sur 5 points connus en coordonnées, sera suffisant pour caler 8 couples réalisés avec la même chambre à partir de 4 bases de 2 m (4 couples horizontaux, 4 couples inclinés) et éloignés de l'objet de 12 m.

Il n'est pas toujours possible d'obtenir ces conditions mais le couple à petite échelle ne peut offrir qu'une couverture lacunaire sur l'objet ; il permet néanmoins de créer des points de calage répartis sur l'ensemble des couples à grande échelle.

L'"aerotriangulation"

Chaque couple donne lieu à une première exploitation dans son système propre ; les modèles sont dits indépendants mais ils servent à générer, dans les zones communes à deux couples consécutifs, des points communs connus dans les deux systèmes. Aux deux extrémités de cet enchaînement, on connaît, dans un système de référence unique, les coordonnées spatiales de points de calage.

L'ordinateur va basculer le modèle 1 dans le système de référence et notamment les points de passage avec lesquels il bascule le modèle 2, puis 3, ..., puis le dernier modèle qui permettra d'identifier les écarts sur les points de calage. Une compensation complexe, par transformation spatiale de similitude, s'effectue alors, qui tient compte non seulement des points de calage mais des mesures dans chaque couple.⁹⁹

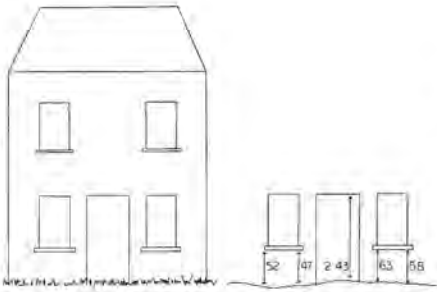
Conclusion provisoire

S'il est difficile actuellement d'utiliser ces méthodes, faute de logiciel adapté à la structure architecturale, nous pouvons considérer sans faire aucune hypothèse hasardeuse que cet allègement sera, dans un proche avenir, réalisable avec un minimum de conditions. Les collections de photogrammes déjà réalisés, et dont le calage est expédié, pourront ainsi faire l'objet d'exploitations nouvelles dans de bien meilleures conditions de précision (cf. 6.8.2.).

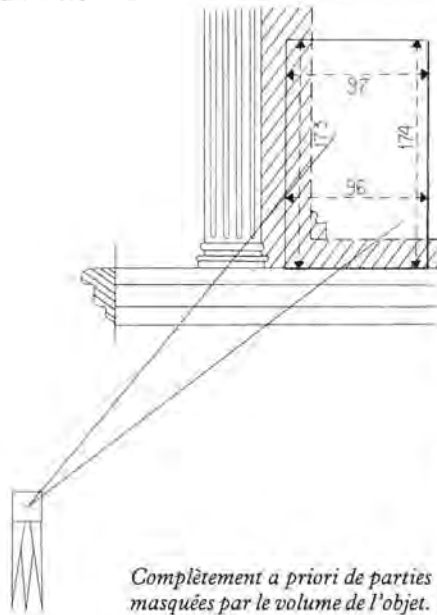
6.8.6. Le complètement

L'opérateur doit contrôler, pour éviter des pertes d'informations trop importantes, les lacunes inévitables que crée le principe perspectif d'enregistrement des images.

L'exploitation des photographies n'étant possible que dans la zone commune, les masques devront disparaître des deux photographies ou ne devront masquer que des zones neutres (mur nu par exemple). La position des chambres se joue parfois au décimètre pour éviter la projection d'un masque sur une ligne fondamentale de



Complètement a priori de la partie basse d'une photographie.



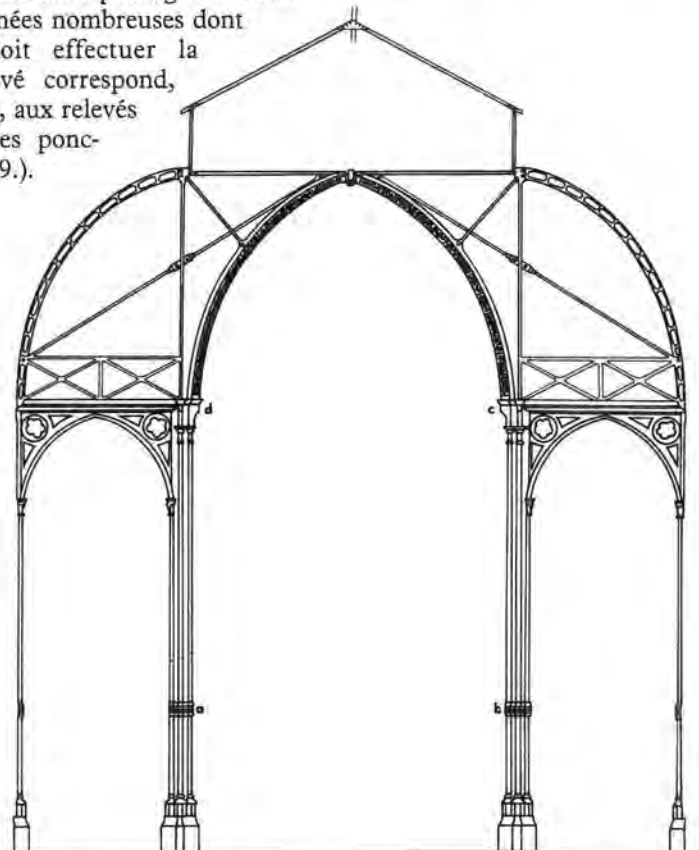
Complètement a priori de parties masquées par le volume de l'objet.

l'objet. Un faible recul de la chambre, son surhaussement feront apparaître la faîtière de l'édifice ; un décalage latéral écartera le masque de l'arbre sur la façade en le projetant en dehors.

L'expérience crée chez l'opérateur ce type de réflexe mais la totalité des masques ne peut être supprimée ; la moindre corniche, le moindre pilastre, la pelouse la mieux entretenue provoquent la suppression de l'appui de fenêtre, de son piédroit, de la ligne de sol. Le "complètement" dans ces cas élémentaires s'effectue au moment de la prise de vue par la mesure de quelques dimensions qui réintroduisent la ligne masquée à partir de lignes vues.

Mais la "suppression des parties cachées"¹⁰⁰ atteint souvent des éléments complexes. Les colonnes, les coupes, certaines surfaces¹⁰¹ sont enregistrées par leur seul contour apparent qui masque les profils diamétraux ; le complètement s'effectue lors de la restitution graphique photogrammétrique à partir de relevés de profils qui autorisent la reconstitution de la totalité de la forme. Ainsi, sur une coupole hémisphérique, un ou deux profils horizontaux¹⁰² déterminent l'axe polaire de la sphère dont le profil vertical fixe le rayon ; le rabattement dans le plan de projection et l'extrapolation s'effectuent avec des hypothèses minimales.¹⁰³ Il en est de même pour des lignes définies en "pointillé" ; les arêtes masquées par de la végétation, par exemple, sont interpolées à partir des éléments restituables.¹⁰⁴

La restitution graphique effectuée, le retour sur le terrain pour des compléments ne s'impose que lorsque les masques perturbent la lecture ou l'analyse du document. Dans ce cas, le relevé graphique incomplet donne l'ossature générale lors des travaux de complètement ; ceux-ci, presque toujours, se réduisent à des mesures de longueur. Le relevé de l'édifice couvert de végétation constitue un cas particulier et extrême où la photogrammétrie enregistre des données nombreuses dont le dessinateur doit effectuer la synthèse ; ce relevé correspond, quoique accidentel, aux relevés photogrammétriques ponctuels (cf. Chapitre 9.).



Complètement a posteriori de la coupe transversale obtenue par photogrammétrie sur l'église Sainte-Marguerite du Vésinet : l'extrados dessiné est rapporté sur l'intrados mesuré.

Le déroulement de l'opération de prise de vue photogrammétrique

Les figures ont été définies archéologiquement ; ainsi, l'équipe qui va effectuer l'opération sait quels besoins elles sont appelées à satisfaire et connaît les éléments significatifs de l'édifice qu'il importe de relever et avec quel souci de détail chacun d'entre eux doit être saisi.

La représentation a été sélectionnée et son échelle.

Le choix des points de vue et des bases

Remarques préliminaires

Les points de vue — les stations de prise de vue — sont implantés en fonction de l'éloignement au sujet qui donne l'échelle du cliché (par exemple, à 15 m avec une chambre de 100 mm, l'échelle sera de

$$\frac{100}{15000} = \frac{1}{150}$$

mais également de manière à ne pas omettre, dans le champ commun aux deux clichés du couple, de ligne ou de détail significatifs.

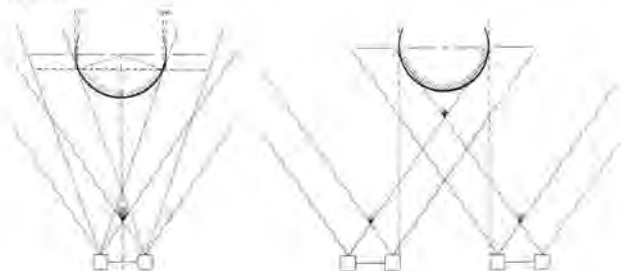
L'échelle du cliché pour un plan considéré ne doit pas être inférieure à 5 fois l'échelle du document que l'on veut obtenir.

La base du couple doit être de l'ordre de 1/8 de la distance ; il en résulte que la distance idéale à l'objet avec une caméra stéréométrique de 120 cm est de 10 m et ne doit pas dépasser 15 m (rapport de base/éloignement = 1/12).

Le repérage se fait tout d'abord grossièrement, au pas, en utilisant en premier lieu les champs linéaires horizontaux (par exemple $D/2 + D/2$ pour la caméra Wild C120).

Il faut se souvenir que l'éloignement diminue les masques horizontaux ou verticaux, augmente le champ et réduit donc le nombre de prises de vue mais, qu'à contrario, l'échelle de représentation des détails significatifs est fondamentale : l'opérateur doit donc jouer de ces deux exigences opposées ; il n'hésitera pas à varier, pour une même figure, les échelles des couples successifs, éloignant ou rapprochant les points de vue en fonction de la densité d'informations à traiter ; de même, il n'hésitera pas non plus à rajouter un couple supplémentaire pour obtenir une couverture présentant de bons recouvrements entre couples ou de manière à saisir une ligne caractéristique (raccord entre deux corps de bâtiment).

Enfin, en surhaussant la chambre, il diminuera les masques verticaux.



Avec un seul couple, l'objet de plan circulaire n'est vu que sous son diamètre apparent ; deux couples espacés du diamètre sont indispensables.

Au fur et à mesure que la couverture horizontale est prévue, l'opérateur envisage la couverture verticale, station par station, choisissant soit d'incliner l'axe de prise de vue, soit de reculer si cela est possible, soit d'élever le point de vue (à partir de fenêtres ou de balcons, de triforium ou de la tribune d'un vaisseau ou parfois par le moyen artificiel d'un échafaudage, d'un camion-élévateur ou d'une grue).

Pour une même figure, l'opérateur pourra, s'il en a la possibilité, choisir de travailler avec plusieurs types de chambre ; par exemple, les parties basses seront traitées avec une chambre double, les parties hautes avec une chambre simple disposée à un plus grand éloignement.

L'opérateur préférera toujours les couples à axes horizontaux aux couples à axes obliques et il assurera un large recouvrement entre les prises de vue horizontales et obliques (en jouant notamment, dans le cas de champs dissymétriques, sur les retournements du champ).

L'ensemble des prises de vue sera envisagé avant de poursuivre l'opération ; un croquis de positionnement des stations, avec l'ordre de grandeur des bases, évite d'oublier des prises de vue, permet de se rendre compte de la cohérence, puis de suivre l'avancement des travaux ; chaque station est numérotée et ce numéro, quand la chambre dispose d'un système de numérotation, sera inscrit au moment de la prise de vue.

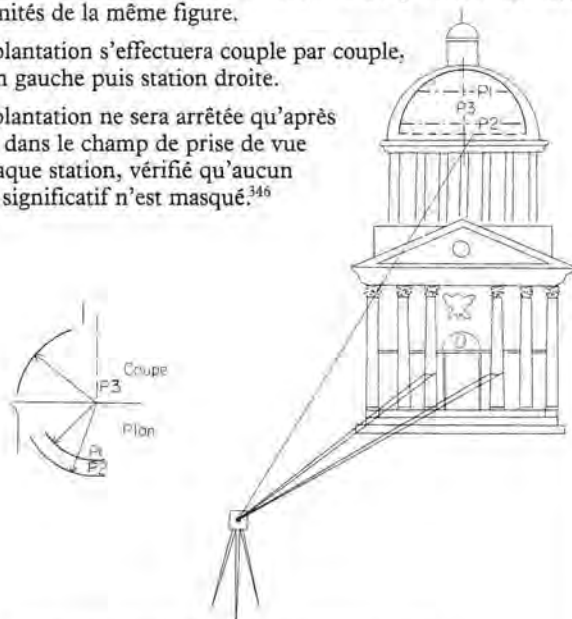
La couverture photographique doit être abondante sans exagération ; au moment de la rédaction du document, il vaut mieux quelques couples qui ne seront pas utilisés³⁴⁵ que de se retrouver avec une solution de continuité qui nécessite un retour sur le terrain.

Points de vue définitifs

Le travail sera conduit de façon logique ; figure après figure, d'une extrémité à l'autre. Si deux équipes travaillent en même temps, elles choisiront deux figures différentes ou partiront des deux extrémités de la même figure.

L'implantation s'effectuera couple par couple, station gauche puis station droite.

L'implantation ne sera arrêtée qu'après avoir, dans le champ de prise de vue de chaque station, vérifié qu'aucun détail significatif n'est masqué.³⁴⁶



Phénomène du contour apparent dans le relevé d'un objet.

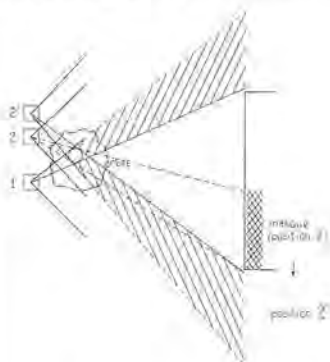
Mise en station et mode opératoire

Nous ne rappelons que l'ordre des manipulations et renvoyons pour l'explication détaillée au Chapitre 6.

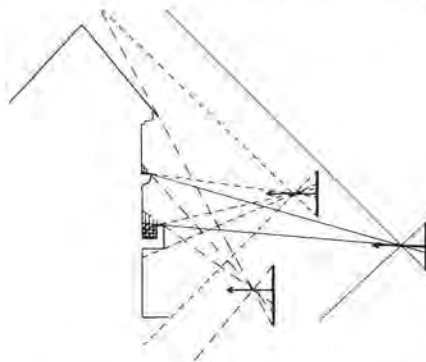
Chambre stéréométrique

Une seule station par couple.

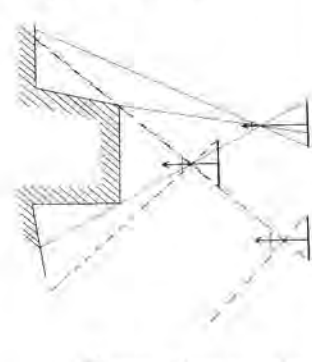
- 1 - Mise en place du trépied et réglage de la bulle sphérique.
- 2 - Installation de la chambre.
- 3 - Réglage des nivelles croisées (Wild C120) ou de la grosse nivelle sphérique (Zeiss SMK 120).
- 4 - Orientation de la base, parallèlement au plan de référence :
 - mise en parallèle à vue,
 - méthode du parallélogramme,
 - orientation au théodolite.
- 5 - Orientation en site,³⁴⁷
- 6 - Matérialisation et croquis éventuels des éléments de mise à l'échelle du couple (mirettes ou points architecturaux).
- 7 - Mesure des éléments de mise à l'échelle (distance à la chambre gauche et mesure d'une distance sur l'objet au minimum).
- 8 - Chargement des châssis.
- 9 - Mesure du temps de pose sur le sujet principal et réglage du diaphragme et de la vitesse d'obturation.
- 10 - Vérification du calage des nivelles.
- 11 - Déclenchement.³⁴⁸
- 12 - Déchargement des châssis.
- 13 - Chargement de châssis vierges (pour un archivage de sécurité).
- 14 - Dans le cas d'un traitement sur un appareil de restitution simplifié — type Wild A40 — qui n'autorise aucune rotation, il importe d'identifier le premier couple de sécurité³⁴⁹ : pour les couples horizontaux, adjonction dans le champ photographié d'un objet — petit — (boîte de châssis par exemple) et pour les couples inclinés, modification entre les deux prises de vue de la hauteur des chambres à l'aide de la crémaillère — 10 à 15 cm —.³⁵⁰
- 15 - Vérification des orientations de la base (dans le cas d'inversion de champ) et du site.
- 16 - Réglage des nivelles.
- 17 - Reprise éventuelle du temps de pose et déclenchement.
- 18 - Déchargement des châssis.



Masque créé par un objet intermédiaire.



Masque créé par l'altitude de prise de vue.



Masque créé par un volume saillant de l'objet lui-même.

Chambre simple

Deux stations par couple.

- 1 - Mise en place du trépied et de l'embase ; réglage de la nivelle sphérique.
- 2 - Installation de la chambre.
- 3 - Réglage de la nivelle³⁵¹ — torique pour la Wild P31, sphérique pour la Zeiss TMK —.
- 4 - Orientation de la base ; c'est-à-dire fixation de la deuxième station :
 - méthode du parallélogramme,
 - orientation au théodolite.
- 5 - Mise en station du deuxième trépied, de l'embase et d'une mirette ; réglage de la nivelle sphérique.
- 6 - Fixation au sol des deux points de station.³⁵²
- 7 - Matérialisation, croquis éventuels des éléments de calage du couple et mesures — des points de calage mesurés et calculés en X, Y, Z sont préférables —.
- 8 - Chargement du châssis — en cas d'usage préalable du dépoli, ne pas omettre de refermer l'objectif auparavant —.
- 9 - Introduction en site de l'axe de prise de vue.
- 10 - A l'aide du dispositif d'orientation azimutale, orientation de l'axe de prise de vue perpendiculairement à la base par visée sur la mirette du second trépied.
- 11 - Orientation en site de l'axe de prise de vue.
- 12 - Mesure du temps de pose sur le sujet principal et réglage du diaphragme et de la vitesse d'obturation.
- 13 - Vérification de l'orientation de l'axe de prise par rapport à la base, du réglage de la nivelle (sur deux positions et en terminant dans la direction de prise de vue).
- 14 - Déclenchement.
- 15 - Déchargement du châssis.
- 16 - Chargement d'un châssis vierge (pour un archivage de sécurité).
- 17 - Reprendre de 12 à 15.
- 18 - Interspersion des positions respectives de la chambre et de la mirette.³⁵³
- 19 - Vérification des stations de prise de vue sur les points au sol.
- 20 - Refaire dans l'ordre 3, puis 8 à 17.
- 21 - Mesurer la base à la hauteur des points de vue.³⁵⁴

7. Rédaction du document graphique

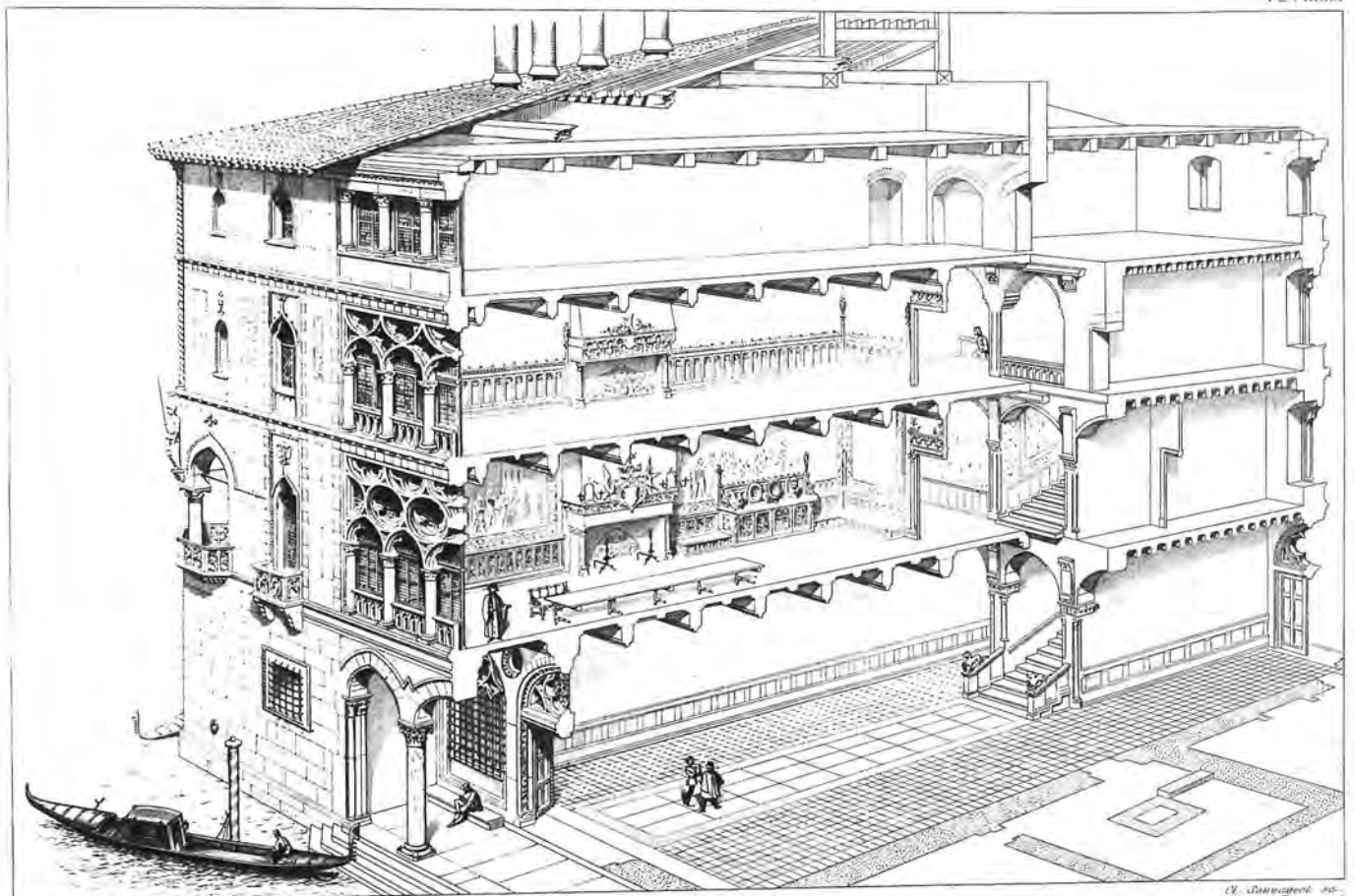
Le document graphique constitue l'aboutissement le plus fréquent du relevé d'architecture ; mais, comme il ressort de conventions nombreuses et souvent implicites, d'artifices inavoués, il offre un univers dont l'ambiguïté demande à être éclairée.

Viollet-le-Duc, Cours d'architecture, Paris, 1866.

Nous proposerons dans ce chapitre un vocabulaire et des règles qui puissent dissiper les malentendus dans l'observation du document graphique.

COURS D'ARCHITECTURE

PL. XXXII



COUPÉ PERSPECTIVE D'UN PALAIS DE VENISE

7.1. La taille de l'image, l'échelle de la représentation

Le passage de l'édifice au dessin suppose la réduction des dimensions réelles aux dimensions de la feuille de papier ; cette réduction n'est pas sans risque puisqu'elle ne doit pas affecter la lisibilité de l'information significative. Autrement dit, c'est cette impérative nécessité qui doit fixer le coefficient de réduction sans que soit pour autant abolie toute contingence de format qui exclurait la manipulation du support.

On songe à cette fable de Borgès où les "cartes demesurées" coïncident avec le territoire point par point.¹⁰⁵

Si le format manipulable donne l'échelle la plus grande, l'œil donne la limite du rapetissement puisqu'il ne distingue pas deux détails s'ils ne sont pas séparés d'au moins 1/10^e de millimètre ; c'est donc cet écart des plus proches détails significatifs qui fixe le choix du format et qui préside au découpage de l'objet si celui-ci est trop grand pour tenir dans un format maniable. Cet écart de 1/10^e de mm s'appelle l'erreur graphique. L'échelle résulte alors du rapport de dimensions entre la figuration et l'élément réel. L'échelle s'exprime par une fraction, 1/E qui signifie qu'une unité sur le dessin représente E unité dans la réalité ; sur un document à 1/250, 1 cm vaut 250 cm. Plus rarement, c'est l'objet qui donne la référence et l'on dira, par exemple, 4 cm par mètre pour dire qu'un mètre sur l'édifice mesure 4 cm sur le dessin.

L'échelle peut être figurée graphiquement par un segment gradué indiquant directement les dimensions réelles ; l'échelle graphique est préférable à toute autre expression numérique parce qu'elle matérialise les unités utilisées¹⁰⁶ lors du report graphique et conserve les rapports, quels que soient les jeux du support.¹⁰⁷

L'échelle, dans des documents précis, doit être complétée par un carroyage régulier, matérialisé autour de la figure par de petites croix régulièrement espacées (tous les 5 ou 10 cm suivant la grandeur de la figure) ; ce carroyage établit la permanence de l'échelle et permet de mesurer le jeu du papier mais, également, il sert de pige lors de la reproduction photographique (cf. Chapitre 10.).

L'échelle du document introduit une relation directe et fondamentale avec le mesurage et sa précision : sur un document à 1/100, la mesure d'une longueur sera erronée du fait de l'erreur graphique d'environ 2/10^e de millimètre,¹⁰⁸ soit 2 cm ; il est donc illusoire d'imaginer lire à mieux de 2 cm les dimensions de l'édifice. Inversement, sur le terrain, le mesurage s'effectue pour respecter cette condition avec une précision de 1 cm ; par ailleurs, la mesure d'éléments de moins de 10 cm est illusoire, d'une part parce que leurs limites se trouvent espacées sur le dessin de moins d'un millimètre¹⁰⁹ et, d'autre part, parce que la lecture à ± 2 cm près conduit à une très faible précision relative — rapport de l'erreur de mesurage à la longueur mesurée — (le lecteur peut ainsi estimer l'élément de 5 cm, par exemple, entre 3 et 7 cm !).

Cette notion de précision relative, excessivement importante montre l'ambiguïté d'un dessin d'architecture où se trouvent consignées les dimensions d'éléments exprimés en mètre et d'éléments exprimés en centimètre.

Le dessinateur et le lecteur doivent tenir compte de cette évidence en admettant de ne relever, pour des figures générales, qu'avec parcimonie les détails — notamment les modénatures — dont la précision resterait illusoire. Il convient de localiser ces éléments sur les figures générales et de les figurer en détail à des échelles beaucoup plus grandes (1/10^e, 1/5^e) s'ils apparaissent nécessaires au questionnement (cf. Chapitre 8.).

Nous pouvons fixer ces notions dans un tableau.

Document dessiné		Terrain	Document dessiné				
Echelle 1/E	Erreur sur la mesure $2/10 \text{ mm} \times E$	Précision de mesurage sur le terrain supérieure à	Précision relative sur un élément architectural de				
			5 cm	1 m	5 m	10 m	50 m
1/10	$\pm 2 \text{ mm}$	2 mm	1/25	1/500	1/2500	1/5000	—
1/20	$\pm 4 \text{ mm}$	4 mm	2/25	1/250	1/1250	1/2500	—
1/50	$\pm 10 \text{ mm}$	1 cm	1/5	1/100	1/500	1/1000	1/5000
1/100	$\pm 2 \text{ cm}$	2 cm	—	1/50	1/250	1/500	1/2500
1/200	$\pm 4 \text{ cm}$	4 cm	—	1/25	1/125	1/250	1/1250

La précision relative introduit enfin l'importance de l'homogénéité des échelles lorsqu'il est nécessaire de comparer entre eux des documents graphiques et leurs informations. Visuellement, déjà, la comparaison ne s'établit qu'avec des documents de même taille ; s'il faut, de surcroît, mesurer des formes, en déduire des tracés, l'échelle identique de la série s'avère une nécessité.

En tenant compte de l'erreur graphique et d'une précision moyenne (entre 1 et 2 cm), l'échelle de 1/100^e apparaît comme l'échelle la plus adéquate pour rendre compte des vastes corpus que l'Inventaire a mission de documenter. La taille de l'image limite, de manière drastique, l'information des figures générales et la circonscrit aux grandes lignes de l'architecture. Cette échelle a également l'avantage de "faire tenir" dans des formats archivables,¹¹⁰ dans les meubles à plans suspendus, la plupart des édifices (moins de 120 m de long).

Le passage à une échelle plus grande sera réservé à des figures de détail lorsque la surabondance des éléments significatifs et leur proximité rendraient le dessin et sa lecture illusoire ; on choisira alors une échelle "ronde" (1/10^e, 1/20^e) pour faciliter la mesure et, de préférence, celle dont l'erreur graphique se rapproche le plus de l'erreur de mesurage.

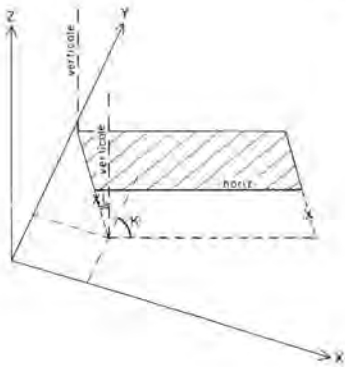
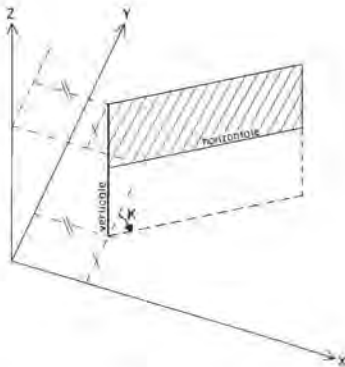
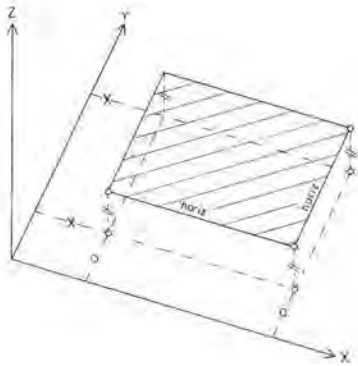
7.2. L'homographie : représentations géométrales et volumétriques

Le volume de l'objet architectural résulte de l'assemblage de polyèdres multiples dont les faces se trouvent dans des orientations variables entre elles et par rapport au plan que définit le support du dessin.

Aussi, la transcription du volume sur le plan de la feuille de papier, "la projection" introduit toute une série de transformations qui modifie l'apparence de l'objet et ses proportions. L'homographie regroupe en mathématiques l'ensemble de ces systèmes projectifs ; le principe de base est unique : d'un centre O, des rayons rectilignes divergent vers tous les points d'un objet. L'ensemble de ces rayons forme une gerbe que l'on intersecte par un plan appelé tableau.¹¹¹ Ce tableau garde la trace de tous les points qui donnent ainsi une certaine représentation de l'objet. Plusieurs paramètres sont variables, qu'il va falloir définir pour fixer les différents modes de projection.

7.2.1. L'éloignement du centre de projection

L'éloignement du centre de projection jusqu'à l'infini va créer deux grandes classes, la projection centrale et la projection affine ; dans la projection affine, le centre étant à l'infini, c'est-à-dire à une distance infinie de l'objet, tous les rayons sont parallèles.



7.2.2. L'orientation du tableau

L'orientation du tableau par rapport au système spatial dans lequel s'inscrit l'objet ; nous avons vu que ce système, pour l'architecture, est défini par deux axes horizontaux (X et Y) et un axe vertical (Z), et nous distinguerons donc trois possibilités :

- tableau horizontal, c'est-à-dire contenant des parallèles à X et Y,
- tableau vertical, c'est-à-dire contenant une parallèle à Z,
- tableau oblique, c'est-à-dire ne contenant ni parallèles à X et Y¹¹² ni parallèle à Z.

Le tableau matérialisant la feuille de papier, donc en général un rectangle, ses bords pourront, dans le cas du tableau horizontal, être ou non parallèles aux axes X et Y ; dans le cas du tableau vertical, l'un des bords sera en général parallèle à l'axe des Z (l'autre bord étant une horizontale) ; dans le cas du tableau oblique, l'un des bords sera en général parallèle à une horizontale (l'autre bord matérialisant la trace d'un plan vertical perpendiculaire à cette horizontale).

L'orientation du tableau devra être précisée pour les tableaux verticaux et obliques ; pour le tableau vertical, il faudra connaître l'angle K fait par l'horizontale du tableau, soit avec les axes du référentiel, soit avec un plan particulier de l'édifice ; pour le tableau oblique, en plus de cette orientation K, il faudra fixer l'obliquité L par rapport à la verticale, de la trace du plan vertical.

7.2.3. L'orientation des rayons de projection

Lorsque le centre de projection est à l'infini, tous les rayons sont parallèles ; ils peuvent être perpendiculaires ou obliques au plan du tableau et il faudra distinguer des rayons verticaux (L = 0 ; K quelconque), des rayons horizontaux (L = 100G ; K quelconque), des rayons obliques (L et K quelconques).

Lorsque le centre de projection est à une distance finie, chaque rayon a une orientation particulière et le rayon perpendiculaire au tableau est appelé rayon principal ; son orientation horizontale, verticale ou oblique définit la perspective lorsque l'on connaît la position du centre de perspective.

7.2.4. Les différentes projections

Position du centre et type	Orientation du tableau	Orientation des rayons/tableau		Appellation	
A l'infini	oblique	orthogonaux	K = 50G L = 39,18G	Isométrie	Axonométrie orthogonale
			K = 50G L quelconque	Dimétrie	
			K L quelconques	Trimétrie	
Projection affine	vertical	orthogonaux (horizontaux)		Élévation Coupe	Géométral
	horizontal	orthogonaux (verticaux)		Plan	
	horizontal	obliques	L = 50G K quelconque	Perspective militaire	Axonométrie oblique ¹
	vertical	obliques	K quelconque L = 100G	Perspective cavalière	
A distance finie (XO, YO, ZO) Projection centrale	vertical	rayon principal orthogonal au tableau et	horizontal	Perspective ²	
	horizontal		vertical		
	oblique		oblique (K, L)		

1. On peut imaginer une axonométrie oblique où le tableau serait, de surcroît oblique.
2. La perspective sur un tableau oblique est rarement obtenue par dessin direct ; par contre, elle est fréquente en photographie et par tracé à l'ordinateur.

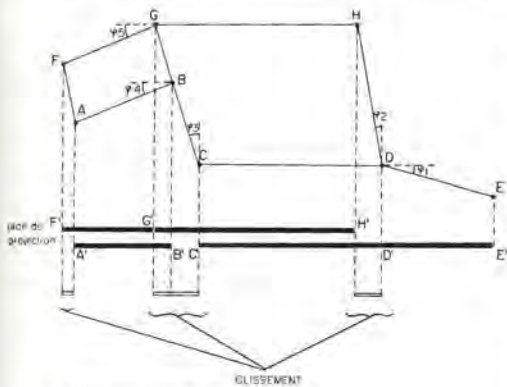
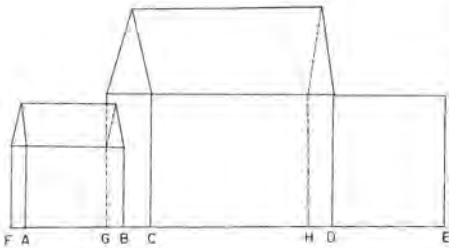
7.2.5. Les propriétés du tableau

La translation du tableau entre le centre de perspective et l'objet ne modifie pas la figure de l'objet, mais homothétiquement sa taille dans le rapport des éloignements.¹¹³

Les détails de l'objet, situés dans un certain plan parallèle au tableau, seront projetés selon une figure homologue dont l'échelle sera donnée par le rapport des distances au tableau et à ce plan ; ainsi, toutes les projections sur un tableau horizontal conserveront¹¹⁴ la trace en "plan" de l'objet, et toutes celles sur un tableau vertical, la trace en "élévation" des faces qui seraient parallèles.¹¹⁵

En particulier, dans une perspective sur un tableau vertical, tous les segments verticaux de l'objet seront traités à une échelle en rapport inverse à leur éloignement et apparaîtront parallèles.

Pour la maîtrise des procédés de construction graphique, nous renvoyons à des ouvrages spécialisés,¹¹⁶ nous bornant aux incidences que ces projections suscitent sur la représentation.



Glissements et raccourcis.

7.2.6. Les géométraux

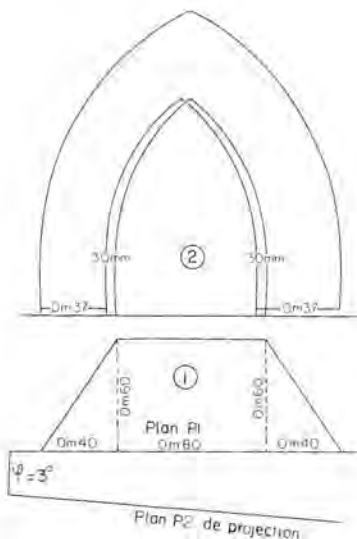
Il est courant de croire que le géométral "représente un objet avec ses dimensions exactes"¹¹⁷ ; en fait, la projection affine orthogonale conserve tous les éléments des plans parallèles au tableau ; elle les représente à une certaine échelle tandis qu'elle annule la représentation des plans perpendiculaires.

Sur un objet idéal, les faces de l'objet vont s'ordonner autour de directions en nombre limité ; les faces seront parallèles ou orthogonales et la définition classique du géométral pourra se révéler absolue. Avec les édifices sur lesquels nous travaillons, les campagnes de construction échelonnées sur plusieurs siècles, les restaurations, la vétusté générale ont suscité de subtiles variations des orientations et des assemblages de faces, de blocs, qui témoignent, par leur irrégularité, de l'histoire de la construction. Avec l'outil photogrammétrique, il en résulte que si les plans parallèles seront évidemment traités à l'échelle, les longueurs dans les plans quasi parallèles seront réduites et les plans quasi orthogonaux introduiront des glissements entre les faces en s'introduisant en raccourci. Si la réduction des longueurs est proportionnelle au cosinus de l'angle, donc insignifiante jusqu'à 5 grades (3 mm par mètre), par contre les raccourcis et les glissements jouent avec le sinus et sont importants dès 1 grade (15,7 mm par mètre).

Considérons une baie située sur une face désorientée de 3 degrés (ce qui, à l'œil, est invisible) ; les ébrasements sont réguliers et symétriques, avec 1,60 m d'ouverture à l'extérieur, 0,80 m d'ouverture à l'intérieur, et une épaisseur de la paroi de 60 cm. La réduction des ouvertures sera illusoire (1,598 pour 1,60 et 0,799 pour 0,80) mais le glissement apparent des deux nus introduira une dissymétrie très nette de la représentation des ébrasements (0,43 m pour 0,37 m).¹¹⁸

Ces remarques, au sujet d'une représentation apparemment sans histoire,¹¹⁹ montrent exemplairement toute l'ambiguïté que le système de projection risque d'introduire dans le traitement du relevé le mieux conduit et le plus précis. Dans la réalité, ces distorsions de la forme architecturale, qui pourraient constituer des indices pour l'analyse par exemple de la chronologie de l'édifice, se trouvent travesties et risquent de se prêter à des interprétations fautive ; la baie risque d'être considérée avec un ébrasement dissymétrique alors que la cause restera invisible.¹²⁰

C'est pourtant en géométral que sont le plus souvent représentés les relevés d'architecture et il est probable que la facilité de passer de la mesure au dessin explique, mieux que les aspects "conservatoires", la prédominance de ce mode de représentation dont l'usage pourrait être remis en cause par l'ordinateur.



Trois catégories sont distinguées pour lesquelles nous renvoyons aux définitions du Vocabulaire de l'architecture.¹²¹

Eglise de Vézelay, plan, coupe, élévation.
Viollet-le-Duc, Cours d'architecture, Paris,
1868.

• Plan :

au sens strict, représentation graphique d'un bâtiment selon une section horizontale : certaines parties du bâtiment, situées au-dessus ou au-dessous du niveau

de la section, peuvent être représentées sur le plan par projection orthogonale. La section est généralement placée au-dessus du niveau des appuis des baies. Dans le plan au sol, la section est au niveau du sol ; sauf précision contraire, le plan au sol est un plan au niveau du sol naturel. Plan au sol du premier étage.

• Elévation :

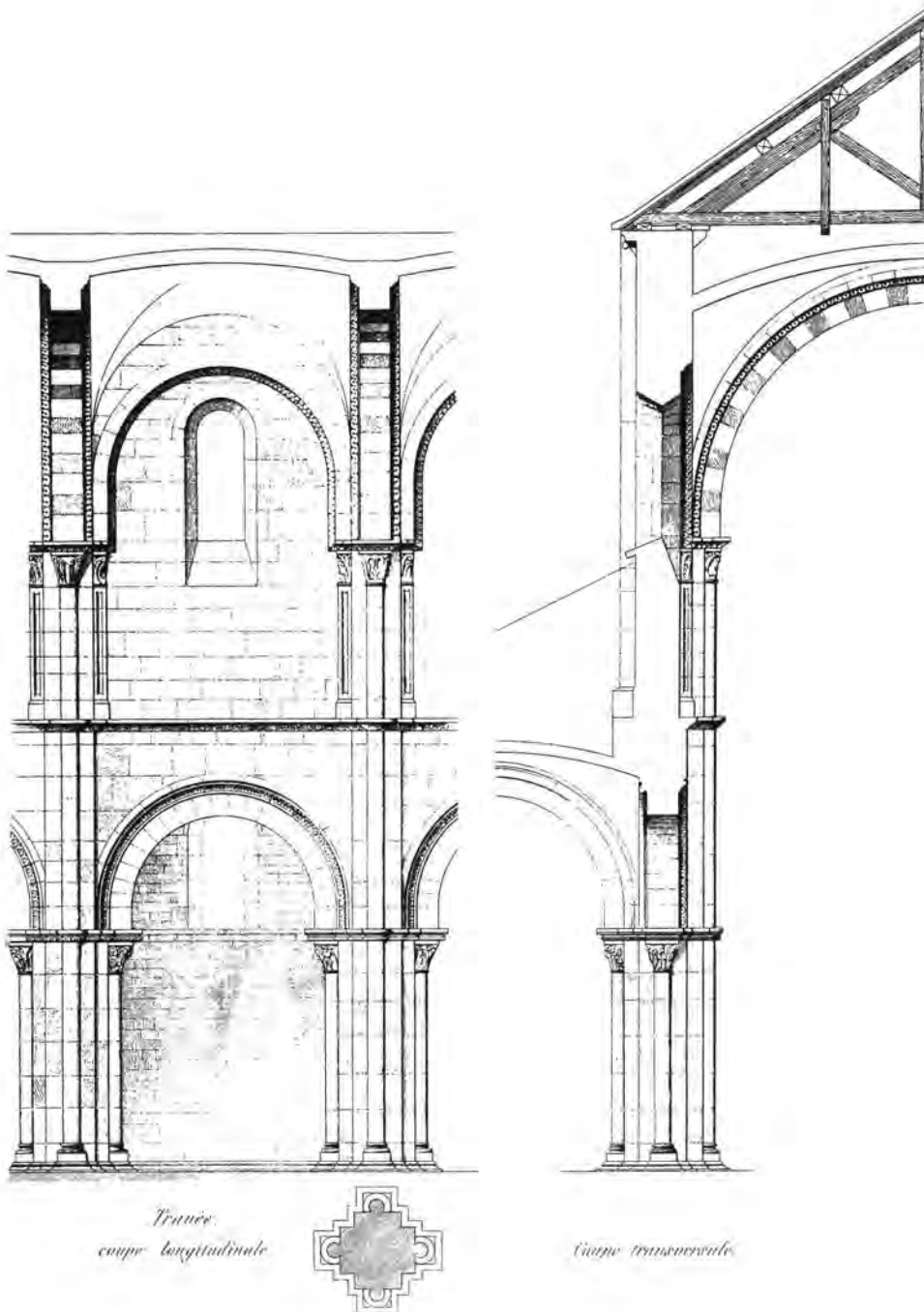
représentation graphique d'une des faces verticales, intérieure ou extérieure, d'un bâtiment ou d'un corps de bâtiment.

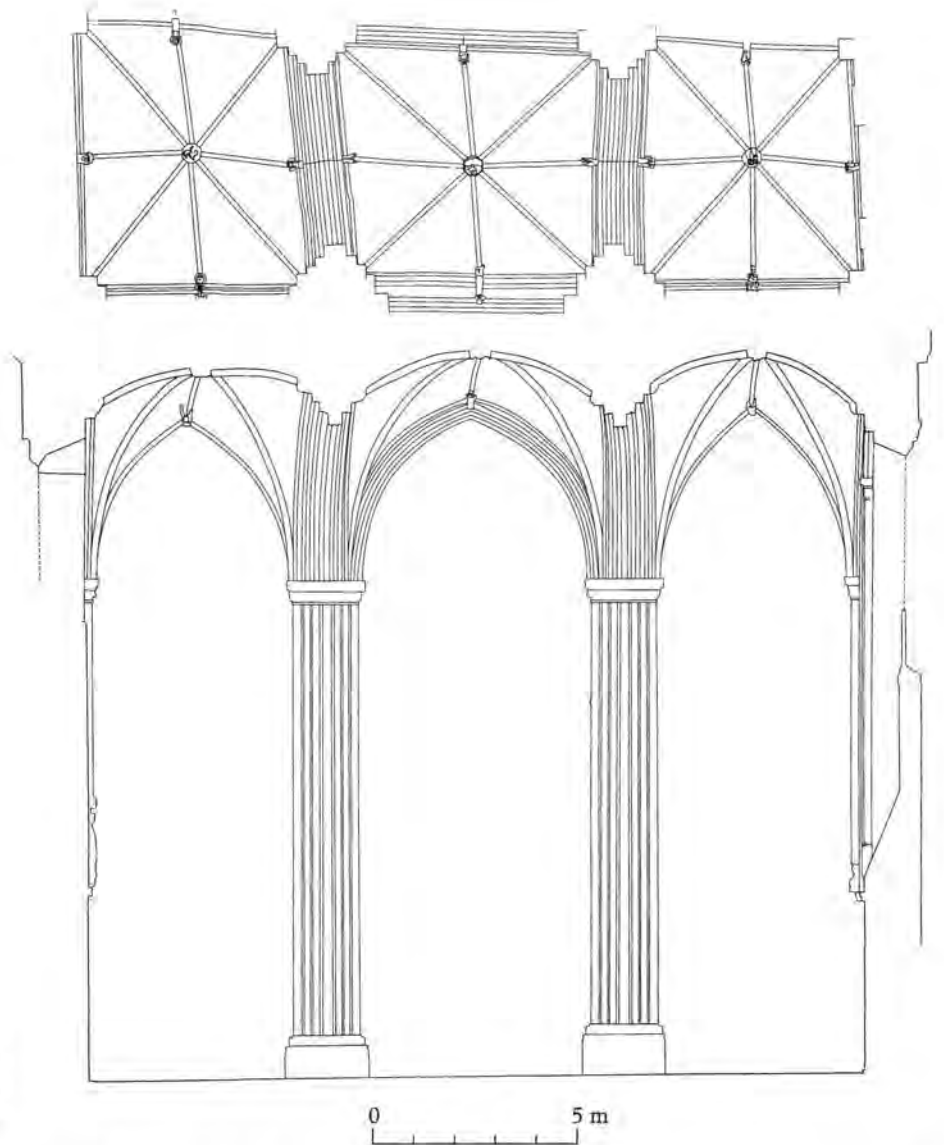
• Coupe :

représentation d'un bâtiment selon une section verticale. La coupe longitudinale correspond à une section dans le sens de la longueur du bâtiment ; la coupe transversale, à une section dans le sens de la largeur. Les parties intérieures, découvertes par la section, figurent habituellement sur la coupe en géométral.¹²²

Comme les plans, les coupes et les élévations sont habituellement traitées en géométral, nous ne précisons ces termes que lorsque nous aurons affaire à des plans ou des élévations en perspective, à des coupes en axonométrie,...

Dans ces figures, le plan de référence, en théorie unique, est bien souvent dédoublé quand ce n'est pas démultiplié ; il est nécessaire de conserver la trace de ces choix, soit par une note qui sera annexée aux croquis et mesures, soit par une mention qui restera sur la minute ou sera portée en légende sur les calques de reproduction.





La lecture du dessin : les plans architecturaux et le plan de projection : Candes-Saint-Martin (41), collégiale Saint-Martin, plan et coupe sur la première travée de nef (relevé par photogrammétrie).

La multiplication des “sauts de plan,” “sauts de coupe,” le développement des faces d’une élévation répondent au pragmatisme de l’architecture bâtie et supplée ses écarts à une logique toute abstraite. Il ne vient pas à l’idée, dans la coupe d’un couvrement, de passer par d’autres axes que ceux que donnent les clefs, quand bien même cette ligne de coupe affirme son irrégularité par rapport à l’élévation.

A la multiplication pourtant de ces fractures dans une seule image générale, il faut préférer la multiplication de figures, face par face, qui lèvent l’ambiguïté et que l’observateur réunit du regard, sans difficulté mais avec un peu d’attention.^{123 124}

7.2.7. Les représentations volumétriques

La perspective comme les axonométries, au contraire de la vision à plat des géométriques, introduisent le souci du volume architectural ; ces représentations, par les déformations visuelles qu’elles infligent à l’édifice, assurent moins facilement la “conservation” des formes, des angles et des orientations, des rapports de longueurs ou de surfaces.

Par ailleurs, la construction graphique traditionnelle de ces modes de projections s'avère longue et difficile sans que soient assurés, jusqu'au dernier coup de crayon, le résultat et sa capacité de dire l'objet.

La révolution informatique, que ce soit par la facilité de calculs complexes ou par l'apparition de logiciels graphiques, bouleverse le parti pris géométral comme elle risque à long terme de rendre caduc tout le processus d'élaboration graphique de la représentation d'architecture à partir du relevé d'architecture.

Bien que ce ne soit pas une nécessité stricte, la totalité de ces projections se déduit de géométraux pré-existants.

La perspective

Traditionnellement, la perspective s'établit sur un tableau vertical (parfois horizontal), ce qui simplifie la construction graphique et facilite le repérage spatial ; ce n'est plus une nécessité pour la photographie qui offre, avec souplesse et rapidité, un substitut commode.

Aussi, il est évident que nous ne nous imposerons graphiquement une perspective que lorsque le point de vue sera inaccessible.

Dans tous les autres cas, le calquage de la photographie assure la sélection de l'information, la mise en évidence des masses du volume et, à partir de quelques constructions graphiques simples, il est aisé d'introduire des parties disparues ou des restitutions archéologiques.

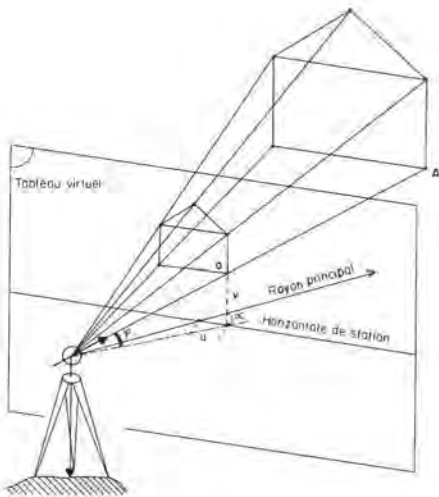
Une représentation perspective, établie à partir d'une photographie prise d'un point de vue particulier (bien souvent aérien) facilite la lecture chronologique d'un grand édifice en individualisant les corps de bâtiment.

En l'absence de photographie, la construction d'une perspective peut s'établir par le relevé topographique, d'un certain point de vue, d'une gerbe perspective, sur les points significatifs de l'objet. Chaque rayon de la gerbe est défini par l'angle horizontal α et l'angle vertical φ , respectivement mesurés par rapport à une direction horizontale assimilée au rayon principal et au plan horizontal de station.

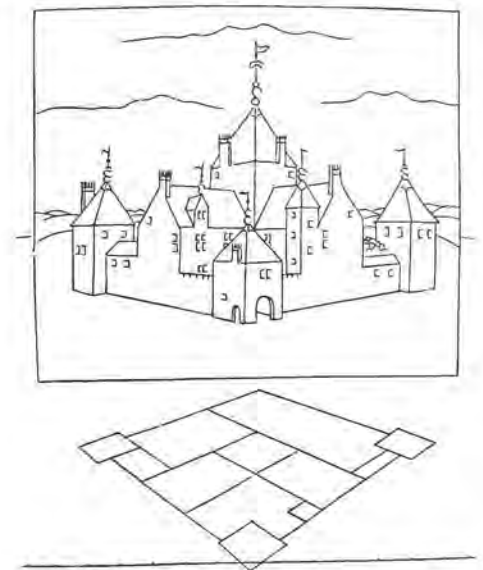
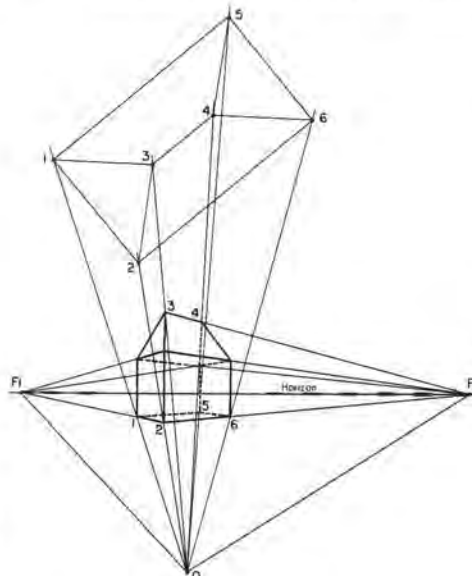
Sur la perspective, le point sera mis en place par ses coordonnées cartésiennes U et V avec

$$U = K \times \operatorname{tg} \alpha \text{ et } V = K \times \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \alpha}$$

où K sera seulement un coefficient de grandissement de l'image.



Construction d'une perspective à partir de mesures au théodolite.



Construction d'une perspective à deux points de fuite. Jean Pélerin, *De artificiali perspectiva*, 1505.

Construction d'une perspective à partir des géométraux et par rabattement.

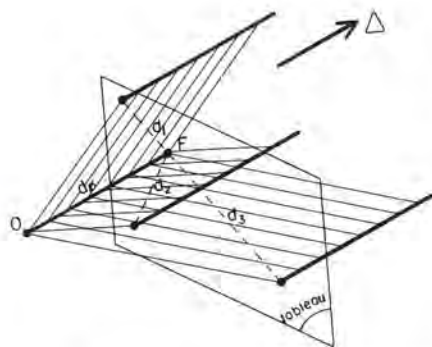
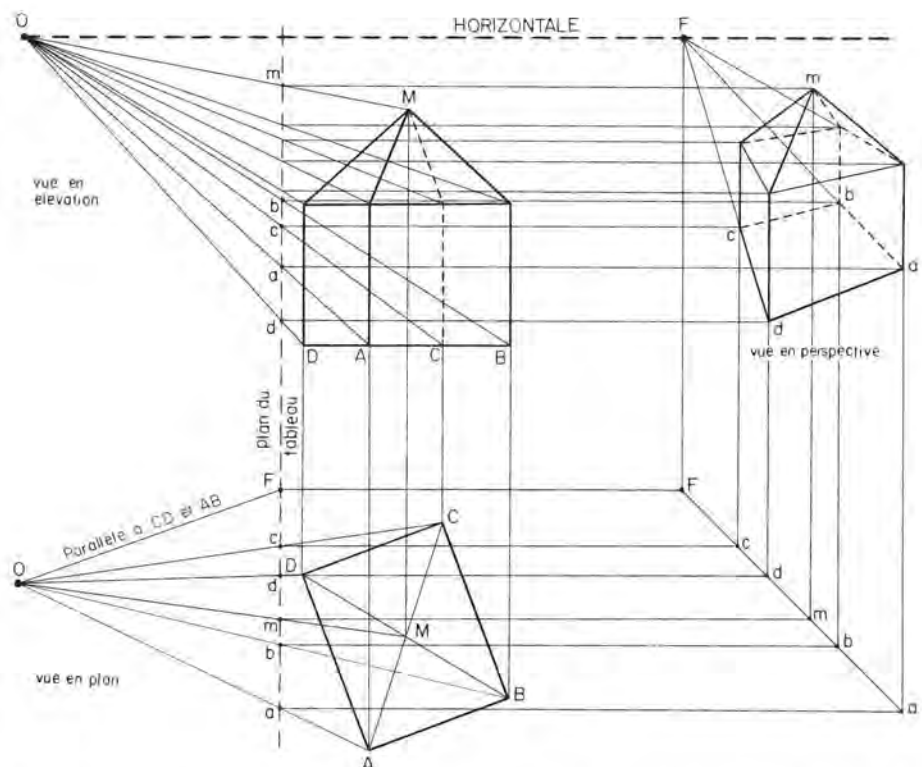


Schéma pour la démonstration de la position du point de fuite d'une famille de droites.

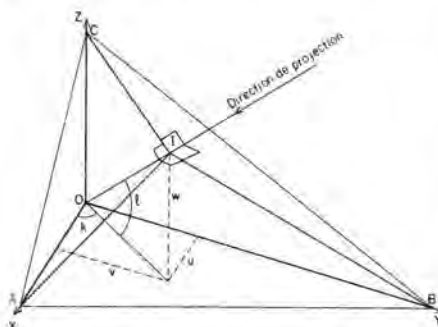


Schéma de l'axonométrie orthogonale : un plan de projection oblique par rapport au référentiel et une direction de projection qui lui est orthogonale.

Cette construction angulaire, si elle illustre la simplicité des calculs qui préside à la mise en perspective par l'ordinateur d'une banque de données numériques décrivant un objet,¹²⁵ ne correspond pas aux méthodes héritées du quattrociento et reposant soit sur la détermination des points de fuite, soit sur l'usage simultané des plan et coupe de l'objet.

Toutes les images des droites de même direction Δ , donc parallèles, vont sur le tableau converger en un point fixe F qui correspond à la trace de la droite d_0 issue du centre perspectif et de direction Δ ¹²⁶ ; pour les horizontales, les points de fuite seront disposés sur l'horizontale du centre de perspective. La construction de perspectives, à partir de rabattements successifs dans les plans horizontal et vertical, aboutit évidemment au même résultat mais ces constructions, longues et fastidieuses, sont à éviter, sauf dorénavant par l'intermédiaire de logiciels de calcul.¹²⁷

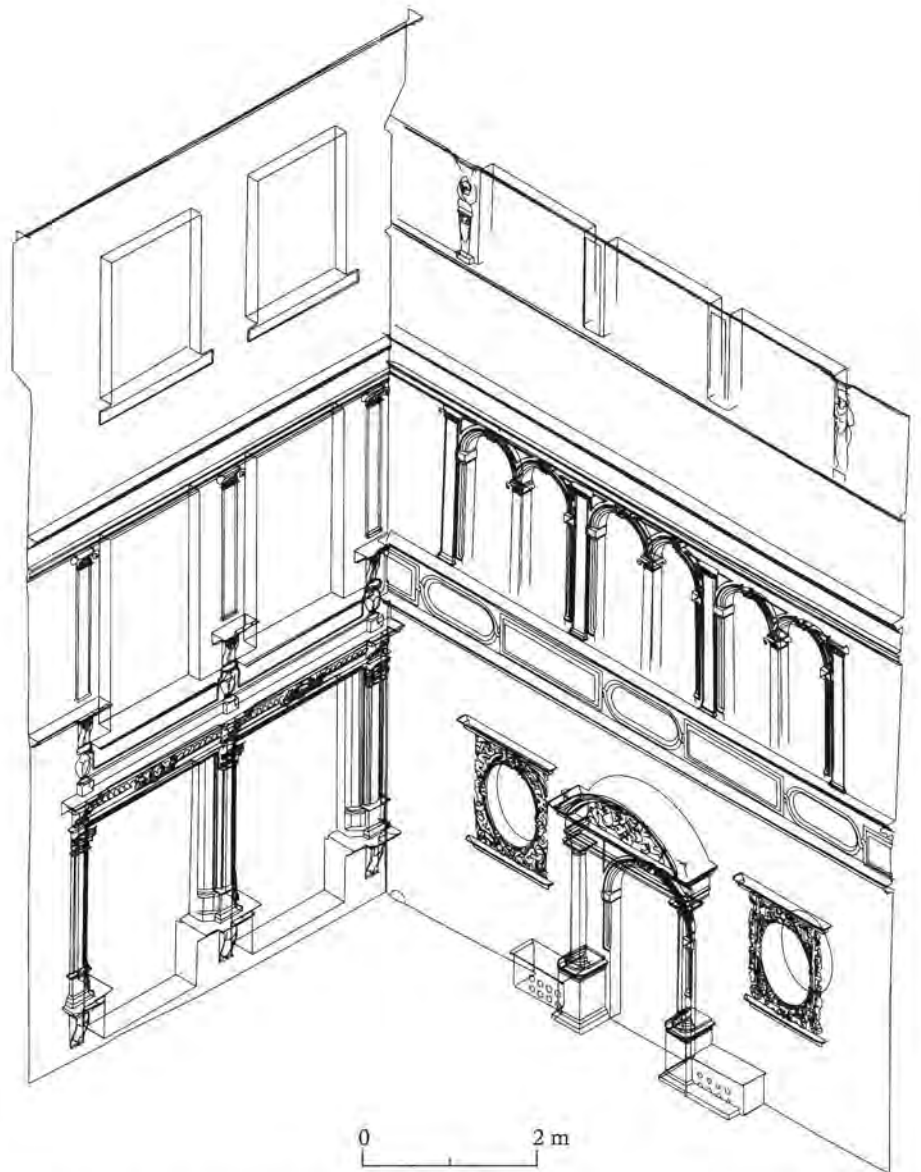
L'axonométrie orthogonale

La construction graphique repose sur le choix préalable de l'orientation des trois axes de l'espace cartésien avec, pour chacun d'eux, une échelle particulière.

Plus que tout autre mode de projection, celui-ci montre le poids d'une théorie architecturale géométrique où l'orthogonalité est la loi ; pour l'architecture bâtie, si l'on voulait respecter les écarts d'orientation, cela conduirait à des constructions excessivement complexes dont nous devons nous passer.

Par contre, cette axonométrie est réalisable directement sur les tables traçantes des appareils de restitution puisqu'elle est une projection orthogonale ; il suffit de définir le plan de projection en sélectionnant, par exemple, trois points particuliers des axes.

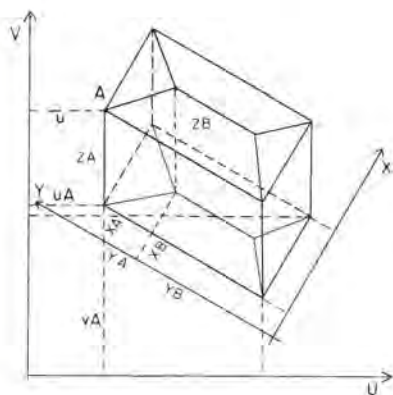
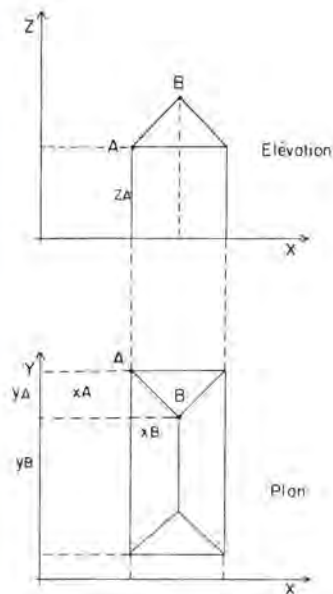
Le choix de ce plan fixe les échelles sur chacun des axes mais peut être quelconque puisqu'il ne concerne en général aucun plan architectural particulier. Des rapports calculables existent entre les orientations du plan et les échelles des axes comme



Axonométrie orthogonale, isométrie : Riom (63), hôtel Arnoux de Maison-Rouge, faces sur cour (relevé par photogrammétrie).

l'orientation sur la feuille de papier ; la nature de l'objet et la volonté de mettre en évidence l'une ou l'autre des dimensions conduiront le choix mais surtout le résultat graphique puisqu'il sera possible et très rapidement, d'effectuer, à partir des fichiers numériques, de multiples sorties.

Pour une isométrie, c'est-à-dire une représentation où les images des trois axes sont à la même échelle et écartées l'une de l'autre de 120° (133^G 333, ...), le plan devra passer par trois points situés sur chaque axe à la même ordonnée a , ...¹²⁸ et l'orientation des rayons de projection sera verticalement de $39,18^G$ (L) et 50^G (K) horizontalement. On posera donc un plan passant par trois points A ($a, 0, 0$), B ($0, a, 0$), C ($0, 0, a$). Au contraire, si nous prenons une projection d'orientation $K = 25,5^G$ et $L = 49,36^G$, nous obtiendrons une trimétrie où les images des axes X et Y seront respectivement écartées de $37,07^G$ et $80,14^G$ de l'image de l'axe Z et les échelles, pour les axes X, Y, Z, seront respectivement de 761, 954, 714 pour mille unités ; le plan sera défini par les points A ($1,542 ; 0 ; 0$), B ($0 ; 3,344 ; 0$) et C ($0 ; 0 ; 1,429$).¹²⁹



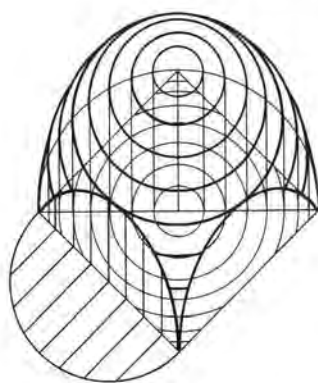
Schémas de l'axonométrie oblique : un plan de projection horizontal et une direction de projection écartée de 50° de la verticale.

L'axonométrie oblique

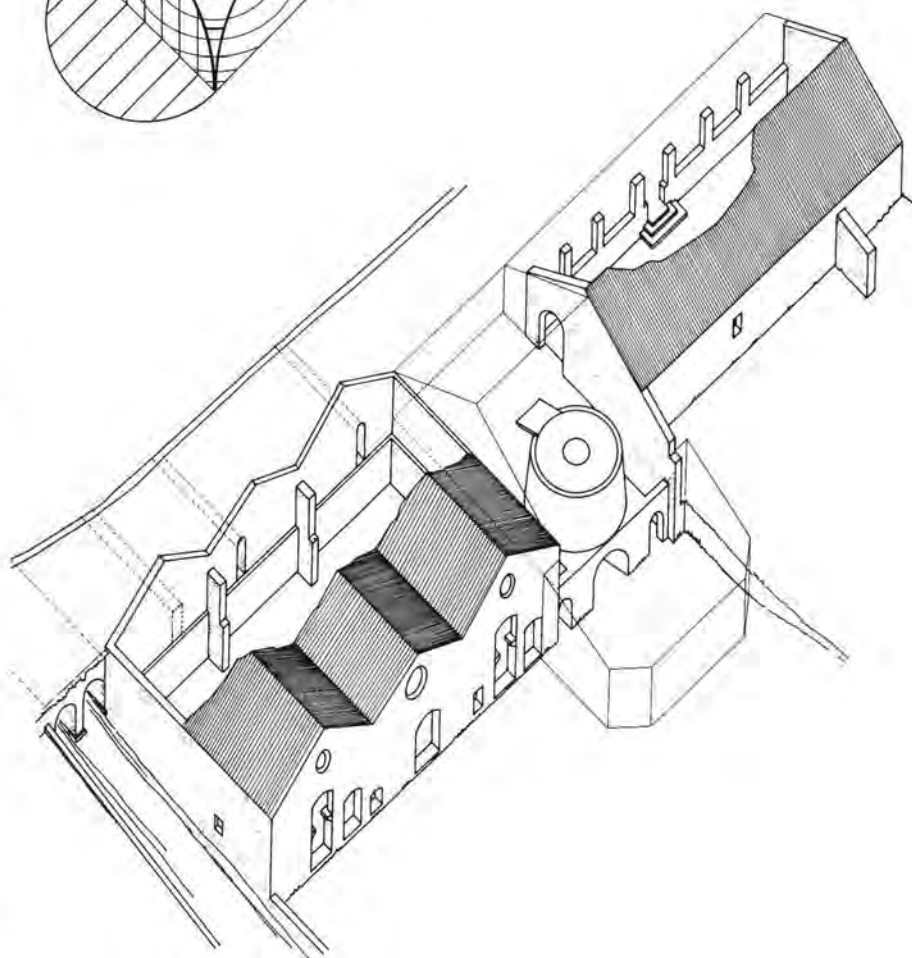
Cette représentation est beaucoup plus aisée à dessiner puisqu'il suffit d'orienter le plan de l'édifice par rapport aux bords de la feuille de papier puis à lancer les verticales parallèles entre elles et à l'un des bords. L'échelle des verticales peut être l'échelle en plan ou une échelle différente.

Pour le calcul, l'axonométrie se définira par une direction de projection où K sera quelconque et L sera maintenu à 50° si l'on veut une échelle identique pour les dimensions verticales. Le fichier (x, y, z) subira une rotation, autour de l'axe Z , d'un angle K pour l'amener dans l'orientation désirée sur la feuille de papier (u, v) et chaque point aura pour coordonnées u et $(v + z)$.¹³⁰

La simplicité du procédé permet la réalisation de certaines figures particulières comme les éclatés.



Axonométrie oblique : voûte en pendentifs assisée.



Axonométrie oblique : Allondrelle-la-Mal-maison (54), usine métallurgique de Buré-la-Forge.

7.3. Les supports et les formats

Le support doit préserver la précision du relevé et assurer sa reproduction.

En tenant compte de ces deux facteurs, il est préférable de dessiner sur un support stable transparent ; les calques polyester et les couches à graver assurent en plus, de par leur solidité, la protection de l'information.¹³¹

Nous réserverons l'usage des supports opaques (papier dessin, bristol, papier) aux dessins effectués à partir de relevés schématiques et aux croquis, à condition qu'ils soient de petits formats (inférieur à A3) et puissent ainsi être démultipliés par photocopies.¹³²

Les formats doivent tenir compte impérativement des conditions d'archivage (meubles à plans) et de classement (gestion topographique dans le dossier). En dehors des strictes raisons économiques,¹³³ les formats minimum seront préférables pour faciliter la manipulation de gestion ou de reproduction photographique. Sauf dans le cas de très petites figures réunies pour des raisons de cohérence, chaque figure fera l'objet d'un support. Le format minimum sera donné par le rectangle d'encadrement de la figure agrandi de marges et complété d'un cartouche.

Pour les figures très petites, le format minimum sera néanmoins A4. Au-delà, si il n'y a pas nécessité de respecter les formats normalisés (A4, A3, A2, ..., A0, ...) le rappel par des amorces (cf. 7.5.) reste une obligation qui facilite le pliage au format A4 des dossiers.

7.4. Les outils du report

7.4.1. La table à dessin

La taille du plateau doit être supérieure aux formats de dessin les plus grands (150 cm × 100 cm) ; sa surface doit être plane et régulière et il est préférable de la choisir avec un revêtement lamifié. Une table à dessin ne doit servir qu'au dessin et, notamment, elle ne peut être utilisée comme table à découper (sauf à interposer, pour protéger sa surface, une feuille de zinc ou de plastique). L'horizontalité ou l'inclinaison du plateau reste un choix personnel du dessinateur et il est donc justifié de choisir une table permettant l'inclinaison.

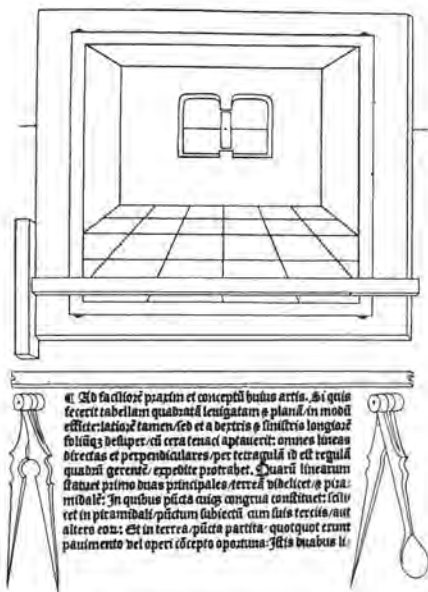
Par contre, les tables "à dessiner" qui comportent des règles orientables à déplacements parallèles ne constituent, pour le dessin de l'architecture bâtie, avec ses irrégularités, qu'un luxe utile qui facilite le tracé du cadre des supports et assure la régularité des amorces de pliage.

7.4.2. Règles et kutchs, équerres, pistolets

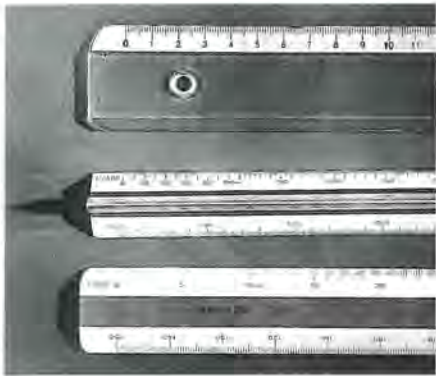
Ce matériel ne doit servir qu'au dessin et surtout pas à guider lames de rasoir ou cutter qui détruiront inmanquablement la rectilinéarité des bords.

Le matériel en plexiglass non coloré est préférable ; sa transparence facilite le report et la propreté des raccords ; la stabilité du matériau conserve la qualité des échelles graduées et celle des droites, courbes et angles.

Il est nécessaire de posséder plusieurs jeux de tailles différentes de ce matériel qui comprendra impérativement une règle plate à talon et un seul biseau gravé d'une échelle en centimètres et millimètres¹³⁴ et deux équerres, l'une avec des angles de 30° et 60°, l'autre, isocèle, avec des angles de 45° (au minimum, deux jeux de longueurs respectives de 30 cm et d'au moins 50 cm pour les dimensions de la règle et des hypoténuses des équerres). Ces jeux de tailles différentes permettent d'adapter les outils au moment du report (lignes générales et dessins des détails).



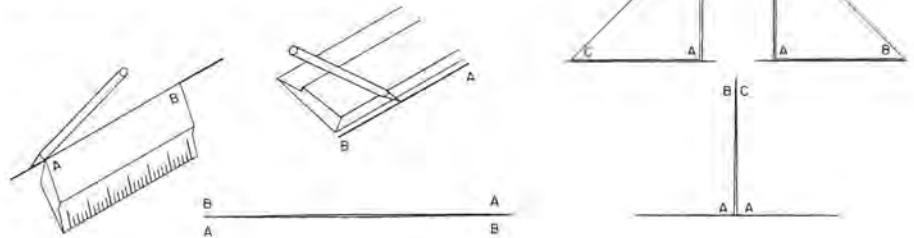
Jean Pèlerin, *De artificiali perspectiva*, 1505.



Les règles à échelles, appelées kutchs,¹³⁵ facilitent le report sans erreur de dimensions à des échelles différentes des multiples décimaux du décimètre (1/10, 1/100, 1/1000, ...); les règles plates comportant deux biseaux gradués de deux échelles différentes (par exemple, 1/20 et 1/50) sont préférables aux règles de sections triangulaires qui présentent 6 échelles mais introduisent une certaine parallaxe de lecture.

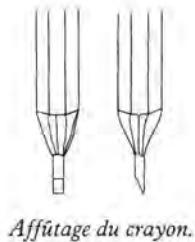
Les pistolets facilitent, en dessin industriel, le tracé des courbes. Pour le dessin relevé d'architecture, ils présentent l'inconvénient de théoriser la forme ou de la régulariser; il convient de le savoir et de leur préférer le tracé par superposition de deux équerres qui demande un certain apprentissage.¹³⁶

Le contrôle de la règle et de l'équerre.



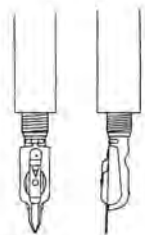
7.4.3. Les outils du traçage : crayons, tire-lignes, pointes à graver

Les outils de traçage vont dépendre du support utilisé (papier, calque, couche à graver, ...) mais bien plus des phases du report (construction de la figure et mise au net) et de la volonté de pérenniser ou non le tracé.



Affûtage du crayon.

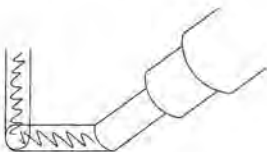
La construction de la figure, à partir des éléments du relevé, s'effectue au crayon dont on choisira la graduation en fonction du support (dur — 6 ou 7H — sur bristol et papier à dessin, moyen — 3H — pour le calque et la couche; éviter les mines trop tendres — HB, B, ... — qui s'écrasent et salissent le support). Les fabricants proposent aujourd'hui des stylomines à mines très fines (jusqu'à 0,2 mm) auxquels les crayons-mines sont toujours préférables (type critérium) en affûtant la mine en biseau.¹³⁷



Plumes tire-ligne.

Le travail à l'encre ne s'effectue plus aujourd'hui à la plume ou au tire-ligne mais avec des stylos-réservoirs sur lesquels on adapte des plumes spéciales; sans tenir un discours rétrograde, il faut, malgré tout, convenir que la finesse des traits et la propreté des raccords ne sont plus ce qu'ils étaient avec les outils anciens confiés à des mains expérimentées.

Parmi les stylos, il faut préférer ceux qui proposent des plumes tire-lignes (Graphos avec plume type A, à partir de 0,1 mm); les plumes tubulaires¹³⁸ assurent un dépôt moins régulier de l'encre (surtout sur support plastique), un trait plus épais¹³⁹ et des raccords moins propres.¹⁴⁰



Raccord des traits à la plume tubulaire.

La correction du crayon comme de l'encre s'effectue à la gomme ou à l'aide d'instruments tranchants (lame à rasoïr ou vaccinostyle). Sur le calque, les gommages plastiques dissolvent l'encre de chine par voie chimique sans endommager la surface du support¹⁴¹; pour les corrections délicates sur des traits très rapprochés, pour des finitions ou des raccords de traits, le dessinateur emploiera de préférence le vaccinostyle.¹⁴²

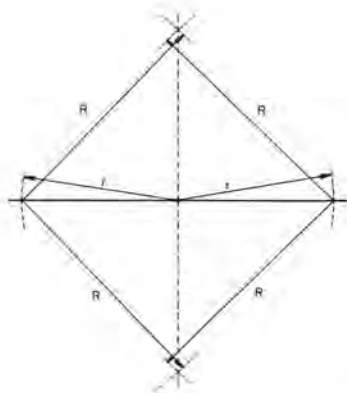
Le choix des encres de chine doit se faire par référence aux supports utilisés et aux instruments de traçage; le trait doit présenter le même contraste sur toute sa

longueur et toute sa largeur ; les bords particulièrement doivent être nets. L'encre, avec le temps, ne doit pas varier d'intensité ni craqueler.

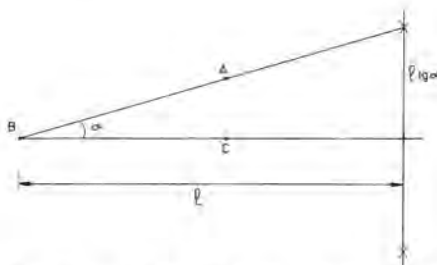
Ces conditions impératives garantissent la reproduction optimum des figures et, notamment, règlent les possibilités de réduction photographique pour des publications.

La gravure s'effectue sur la couche à graver à l'aide d'une pointe à graver d'un type semblable à celles utilisées sur les tables à dessin (mécaniques ou automatiques) des appareils de restitution ; ces pointes autorisent des épaisseurs de traits inférieures à 1/10 de mm (8 centièmes).

Elles s'emploient comme les autres outils de tracé mais produisent une image négative sur laquelle les corrections sont plus délicates ; effectuées par bouchage à l'aide, soit de vernis opaque, soit de crayon gras, elles se révèlent très délicates dès qu'il y a une trop grande proximité de traits. La gravure sur couche est très répandue en cartographie ; pour les travaux photogrammétriques, elle permet d'assurer avec une même qualité de trait le "complètement" (cf. Chapitre 6.). Cette technique se révèle fort utile lorsqu'il s'agit de réaliser des dessins à l'échelle de diffusion (insertion dans un dossier ou publication) ; un simple tirage par contact photographique donnera, en effet, une image positive d'une très grande qualité.¹⁴³



Construction au compas de deux lignes perpendiculaires.



Construction d'un angle par le moyen de la tangente.

7.4.4. Le compas, le rapporteur, le coordinatographe

Dans le dessin du relevé d'architecture, le compas doit avant tout être considéré comme un instrument permettant des constructions géométriques et non comme l'outil de traçage de courbes architecturales.¹⁴⁴

Le compas reste l'outil privilégié pour élever une longue perpendiculaire,¹⁴⁵ obtenir des angles particuliers (45° , 60° , ...), réaliser des polygones réguliers ; notamment, c'est au compas, et dans le cas de grands formats, au compas à verge, qu'est tracé le cadre sur un support.

De même, pour le report d'angles mesurés sur le terrain (polygonation), le dessinateur n'utilise le rapporteur que lorsque la direction à fixer est d'une longueur inférieure au rayon de ce rapporteur. Dans le cas contraire, la construction par la tangente, à la règle et au compas, assure une bien meilleure précision.

Sur le côté de référence, éventuellement prolongé, on marque un point distant d'une cote ronde l (20, 40, 50 cm) du sommet de l'angle à construire ; à l'aide du compas, on élève en ce point une perpendiculaire sur laquelle on reporte la valeur de la tangente de l'angle multipliée par l ; le point obtenu définit l'ouverture de l'angle.

Dans le cas de report de points par coordonnées rectangulaires, il est impératif de construire, en préalable, un carroyage régulier qui peut être établi au compas et à la règle ; ce travail est délicat et il est préférable d'obtenir le tracé du quadrillage et, éventuellement, le report des points en recourant à un coordinatographe automatique.¹⁴⁶ La grille étant réalisée, le dessinateur repère dans quel carré se trouve le point et mesure sur chacun de ses côtés les appoints en x et en y ; le point est défini par l'intersection de deux droites.



Le compas à verge. IGN.

7.5. Les références : horizontale, verticale, coordonnées, cadre

Dans le relevé d'architecture, l'opérateur saisit les formes et les mesures de l'édifice en s'appuyant sur des horizontales et des verticales de référence (sur des plans horizontaux et/ou verticaux de référence) ; il convient, lors du report, de figurer en premier lieu ces références sur lesquelles le dessinateur s'appuiera.

Horizontales et verticales seront fixées par une série de lignes orthogonales et régulièrement espacées (5 ou 10 cm) dont on matérialisera les rencontres par des croix tracées à l'encre sur le calque (ou gravées) et encadrant la figure. Dans le cas de relevés établis en coordonnées, ces lignes seront confondues avec le réseau du système de coordonnées.

En plus d'un souci de repérage des orientations fondamentales et d'un renvoi à des coordonnées, cette figuration assure la conservation, comme nous l'avons vu, de l'échelle (cf. 7.1.). Parallèlement à ce carroyage, le dessinateur établit l'échelle graphique puis un cadre pour arrêter le support et faciliter le pliage ; ce cadre ménage l'espace du cartouche dans lequel sont indiquées les légendes essentielles de la figure (cf. 7.8.).

7.6. Les points, les lignes, les surfaces

Le dessin du relevé d'architecture va devoir rendre compte de l'épiderme de l'édifice. Les points mesurés par les méthodes topographiques et les lignes saisies par photogrammétrie vont aboutir à délinéer l'objet, fixant les fractures de ses plans et les contours des espaces homogènes (plein, vide ou zone d'un même matériau ou d'une même époque).

Sur la minute de report, par ailleurs, le processus constructif fait place nette des éléments mesurés pour les livrer confondus avec les éléments interpolés ou simplement figurés.

La ligne va ainsi matérialiser des notions quasi contradictoires dont l'ambiguïté doit être supprimée par le seul travail du trait. En effet, les parti-pris de reproduction du graphique, de réduction liée à l'insertion dans les dossiers et à la publication mais aussi l'importance du corpus architectural à documenter interdisent le recours séduisant aux aplats de couleur et aux traitements par ombre portée dont les architectes du XVIII^e et surtout du XIX^e siècle ont tiré des effets sémiologiques qui éclairent la définition des surfaces et du volume.

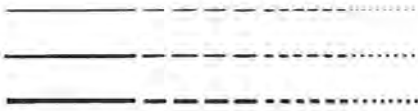
Les variations possibles du trait sont limitées à son épaisseur et à sa continuité. Le lecteur du document original ne pourra distinguer qu'un nombre limité d'épaisseurs, d'autant plus que, pour garder la définition et la pertinence de l'information, le dessinateur évitera des traits trop épais (supérieurs à 0,4/0,5 mm). Nous préconisons l'emploi de trois épaisseurs espacées de 0,10 à 0,15 mm soit 0,10/0,15 ; 0,20/0,30 ; 0,40/0,50.

L'important n'est pas tant le respect de la valeur nominale de l'épaisseur du trait, qu'il est difficile d'assurer même avec des plumes calibrées, que l'intervalle entre les épaisseurs qui permettra de les distinguer. En fonction de l'abondance des tracés, le dessinateur choisira des gammes plus ou moins fines en gardant à l'esprit la réduction du document avec les risques d'amalgame des traits entre eux et de confusion d'épaisseurs.¹⁴⁷

Il est également possible d'opposer le trait continu au trait discontinu ; les variations dans la discontinuité sont très faibles car le dessinateur s'en sert plus souvent pour cerner de petits éléments que pour définir des grandes lignes. Selon la taille des informations, un trait pointillé et un ou deux traits tiretés sont possibles.



Encyclopédie, Paris, 1767.



Le dessinateur a donc à sa disposition une dizaine de traits différents pour rendre compte de la complexité de l'édifice ; la finalisation du relevé conduit déjà à sélectionner l'information, la rédaction du dessin débutera par l'organisation de cette information selon une hiérarchie et des catégories bien délimitées.

En tout état de cause, quels que soient les questionnements archéologiques, il importe de distinguer, en considérant strictement le volume :

- les lignes qui incisent l'édifice selon un plan vertical ou horizontal abstrait (lignes de coupe),
- les limites entre plein et vide (tracés de baie),
- les lignes qui marquent une rupture brutale de plan et un décalage important en profondeur (ligne de contour d'un plan architectural),
- les lignes qui marquent des ruptures progressives de plan ou des ruptures brutales avec faible décalage (modénature, pilastre, bandeau, ...), les lignes qui zonent des masques, des interruptions de lisibilité (zone de crépi, de végétation, objets parasites, ...),
- les lignes qui tracent les effets de surface, les solutions dans la surface (décor, lignes de joints et d'assises, ...).

En analysant l'architecture, il convient également de différencier :

- les lignes de la structure (éléments de stabilité, bossages, refends, arcs de décharge, ...),
- les lignes de rupture dans la construction (collage, arêtes, ...),
- les lignes des appareils (zones d'appareil homogène, assises et joints, ...),
- les lignes de décor (décor plaqué ou de haut-relief, ...).

Ce dénombrement n'est pas limitatif ; certaines lignes peuvent s'inscrire dans plusieurs registres (ligne d'arête et joint, ...) introduisant des incertitudes supplémentaires. Si l'on veut rester clair, il convient de simplifier au maximum la vocation de chaque figure en limitant le nombre d'informations et en éliminant celles qui peuvent être présentées plus simplement par d'autres documents (photos par exemple).

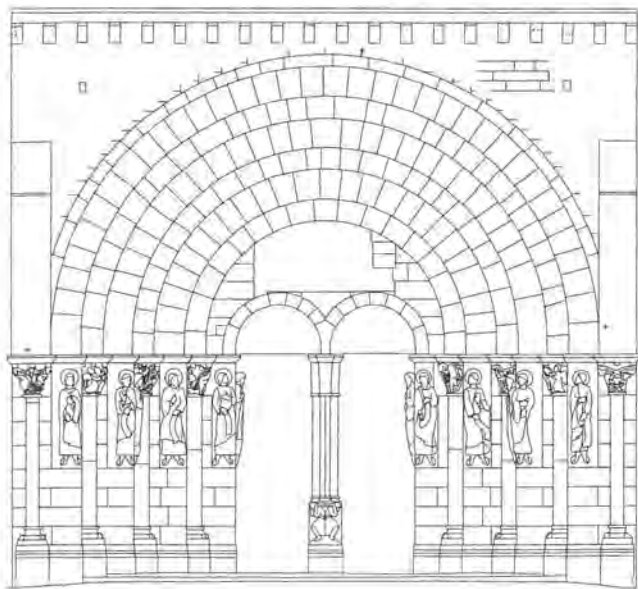
Le dessinateur joue également, si cela est nécessaire, sur la démultiplication à même échelle ou à des échelles différentes (figure générale à 1/100 des lignes de structures avec détail de l'appareil d'une baie à 1/50 et éléments du décor de la voussure à 1/20).

En tout état de cause, le dessin d'un relevé se gardera de toute interprétation et de toute restitution, si évidentes soient-elles (entablement brisé, clef de voûte manquante, ...). Si cette interprétation ou la restitution est nécessaire, elle s'effectue sur une planche séparée explicitée par la légende (restitution de la façade au XVII^e siècle par exemple).

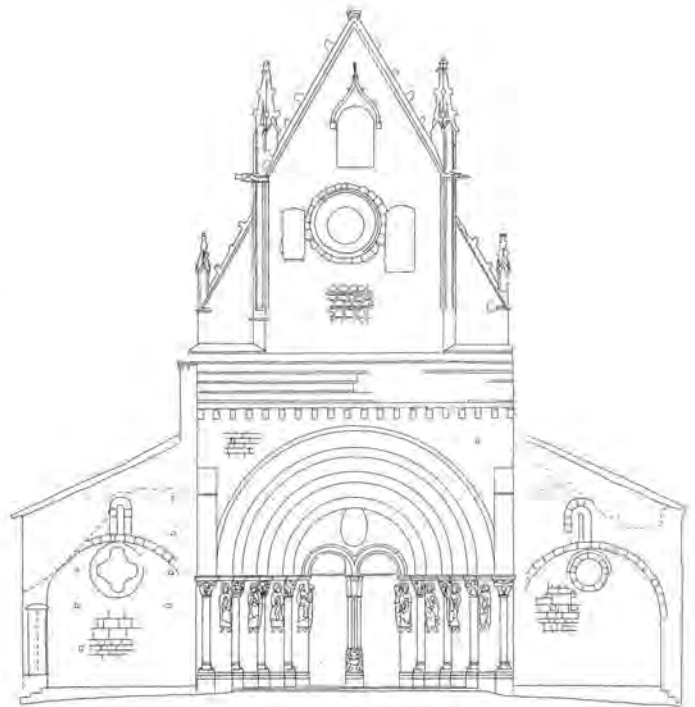
7.7. Les codes, les symboles, les poncifs

Le choix des figures de substitution (plan, coupe, élévation), la sélection des éléments significatifs, la réduction des formes aux points, les hypothèses formelles acceptées sous contrôle, avaient codifié, dans l'opération de relevé, l'appréhension de l'objet. Tout au contraire et, curieusement, le dessin qui en procède ne se présente que comme une image réduite dans tous ses détails (ou dans un certain nombre de ses détails).

L'image restituée, avec les déficiences liées à sa petitesse, et avec une minutie qui se voudrait exhaustive, la prolixité du bâti. Devant certains dessins, particulièrement

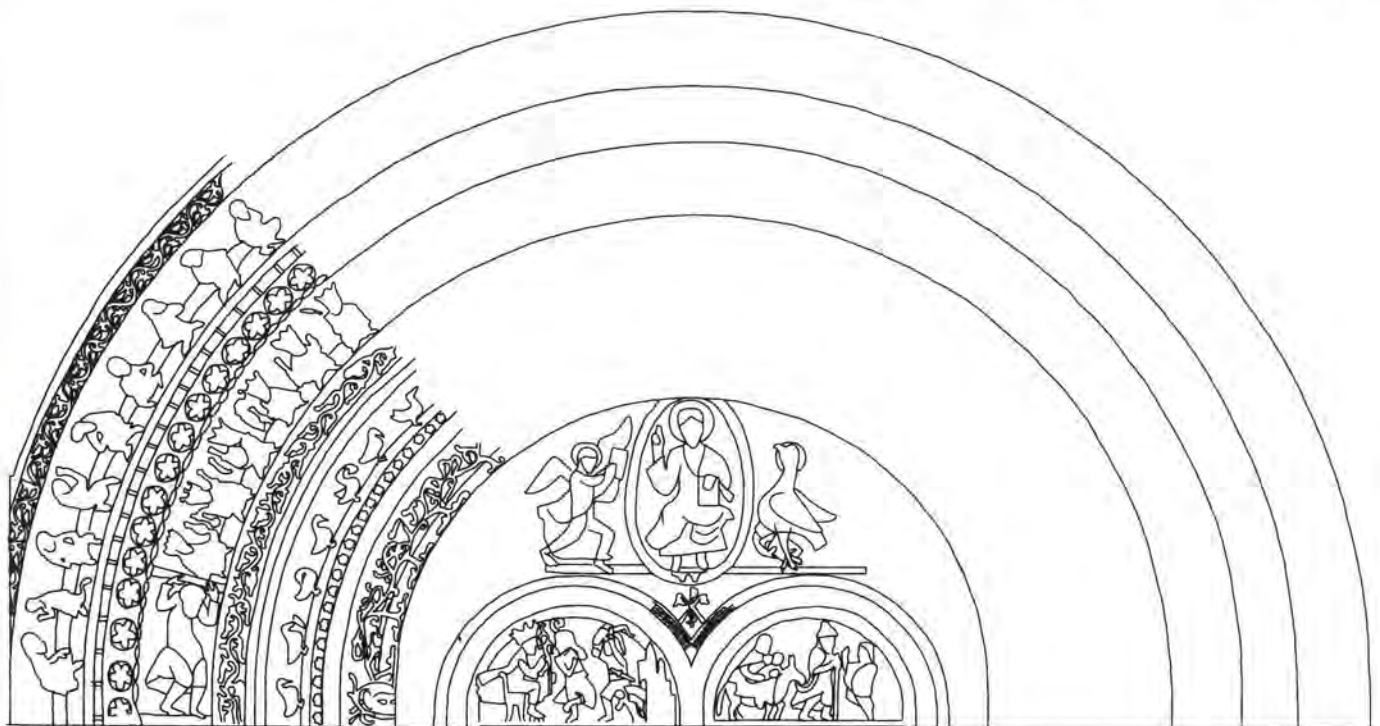


0 5 m

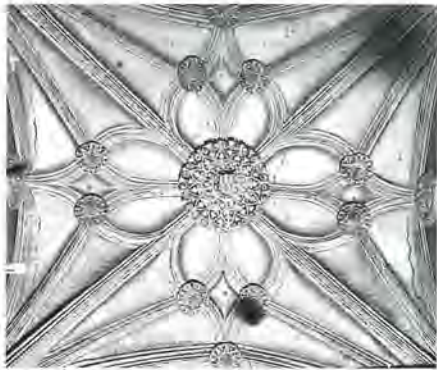


0 5 m

Morlaas (64), église Sainte-Foi, face antérieure (relevé par photogrammétrie). La décomposition de l'information sur plusieurs figures permet de varier l'échelle en fonction de sa densité et la finalisation réelle du relevé.



0 2 m



Zaragoza, cathédrale, voûte du vaisseau principal de nef.

d'architectes du XIX^e siècle, on pourrait ironiser et dire qu'il ne manque pas une herbe entre les joints des assises et que la vétusté de l'édifice — si vétusté il y a — est traitée comme un portrait réaliste de vieillard.

Nous sommes en-deçà du code, dans un système d'écriture analogique, pictographique qui ressort, dans ses pratiques, des conventions de l'art plastique et qui, d'évidence, va à l'encontre du caractère de constat que doit offrir la représentation du relevé. Pourtant, souvent, nous allons nous trouver dans une figuration conventionnelle implicite ; tacitement, nous admettons que ne soient pas relevés — c'est-à-dire, ici, strictement mesurés — mais représentés les joints de l'appareil si il est régulier et, bien plus encore, s'il est de moellons noyés dans le mortier.

De même, seront codées, sans que cela soit dit, les projections de couvrements que les méthodes traditionnelles de relevé sont dans l'incapacité de saisir.

Le contrôle des procédures du relevé se révèle ainsi inefficace et même inutile si la représentation adopte un parti ambigu qui ne révèle pas l'écart entre la saisie formelle et métrique et la restitution de visu par reconnaissance analogique.

Les codes devront être explicites, c'est-à-dire soit admis au titre de normes prescrites et univoques, soit légendés sur la planche même.

L'apparition du symbole sur le dessin s'inscrit, nous l'avons montré, dans les registres de la restitution ou de l'interprétation ; il en est de même de l'usage des poncifs et, principalement, des trames.¹⁴⁸

Bien qu'une trame simple (hachures fines et distantes) puisse améliorer le rendu du dessin de relevé quand des équivoques subsistent (dans le cas d'habitations troglodytiques, matérialisation de la roche, par exemple), le plus fréquemment, l'usage des trames sera réservé aux dessins d'interprétation (nature des matériaux de construction, chronologie des campagnes, ...).

Symboles, poncifs et trames seront rapportés, non sur l'original du dessin, mais sur un double que nous pourrions d'ailleurs très souvent réduire ; ils seront dessinés à l'envers, sur la face verso du calque (la face recto restant occupée par l'information relevée), de manière à permettre d'éventuelles corrections.

Les trames hachurées, à l'équerre à hachurer, sont préférables aux trames adhésives, ou transfert, dont la conservation n'est pas assurée.¹⁴⁹ S'il y a nécessité à employer un grand nombre de trames (et donc des trames ponctuelles adhésives ou transfert), les documents font l'objet d'une immédiate reproduction photographique par contact.¹⁵⁰

Afin d'éviter des phénomènes de moirage, les documents interprétés par trame pour l'édition sont réalisés soit directement à l'échelle de publication, soit par l'imprimeur à partir de tirages commentés et d'un fond vierge (plan chronologique par exemple).

7.8. La légende, les cotes, l'écriture

Pour les écritures, bien qu'elles soient moins élégantes que la lettre classique, nous préconisons la lettre antique (ou bâton) car l'exécution, sans pleins et déliés, est plus facile. D'une épaisseur uniforme, elles s'effectuent à l'aide de stylo-réservoirs à plume tubulaire en s'aidant de trace-lettres. On pourra recourir à des caractères droits ou penchés, en capitale (majuscule) et romain (minuscule) et l'on jouera également sur la hauteur et l'épaisseur du plein (pour une même hauteur, la lettre antique supporte facilement des variations de 1/16 à 1/6) pour augmenter la lisibilité ou donner de l'importance à l'écriture.



La légende du dessin a pour fonction d'identifier l'édifice, sa localisation, et la figure, de dater le relevé,¹⁵¹ de nommer l'auteur, d'informer brièvement sur les modes de relevés, de donner son échelle, et la légende proprement dite des codes utilisés (s'ils ne sont pas des normes prescrites).

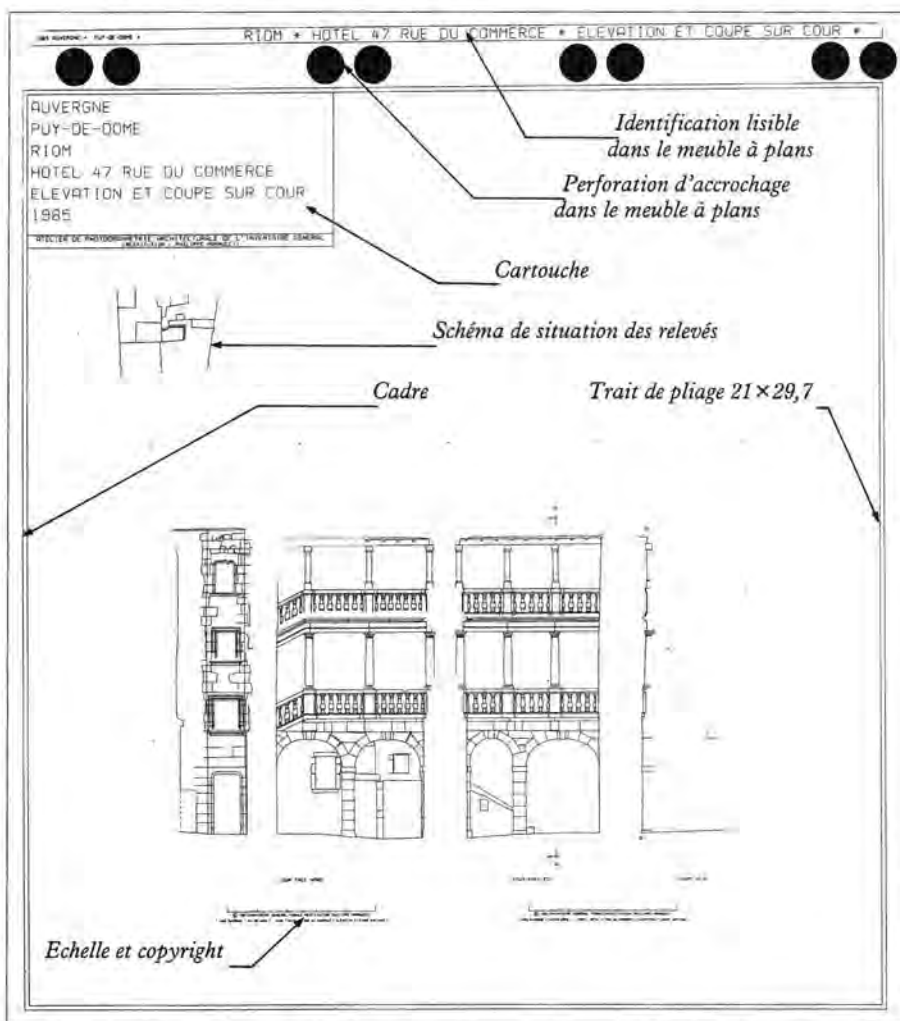
Comme pour le document cartographique, elle est indispensable à la compréhension sans ambiguïté de la figure et donc indissociable de la figure.

Elle est pourtant supprimée lors de la reproduction photographique qui ne conserve que l'échelle et la figure afin d'assurer la taille maximum sur le négatif.^{152 153}

La légende comporte le cartouche d'identification, l'échelle et la légende proprement dite.

7.8.1. Le cartouche d'identification

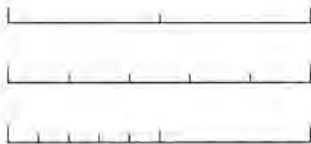
Il comprend l'adresse topographique (région, département, commune, rue éventuellement et numéro), la dénomination de l'édifice et l'appellation de l'édifice (selon le lexique informatique et telle qu'elle figure dans le bordereau d'architecture), le titre (ou les titres) de la figure,¹⁵⁴ l'auteur (ou les auteurs),¹⁵⁵ la date et la nature du relevé¹⁵⁶; après reproduction photographique, il sera ajouté le(s) numéro(s) d'immatriculation du (des) cliché(s).



Le cartouche se présente sous la forme d'un rectangle encadré large de 21 cm, disposé dans l'angle supérieur gauche du cadre général ; la planche étant orientée, le bord d'accrochage vers le haut. Les lignes d'écriture sont parallèles à ce bord ; elles s'étendent sur 20 cm maximum et sont margées à gauche.¹⁵⁷ La hauteur du cartouche peut varier avec l'abondance des informations (adresse, dénomination, ...).

7.8.2. L'échelle

L'échelle graphique est placée, sous la figure, le plus près possible mais sans risque de confusion ; elle matérialise une horizontale dans le cas d'une élévation ou d'une coupe ; dans un plan, elle est parallèle à un axe de l'édifice ou à l'un de ses alignements fondamentaux. Elle définit l'orientation de l'un des côtés du rectangle d'encombrement de la figure (donc son orientation en cas de publication) et c'est par rapport à elle que seront disposées les écritures à l'intérieur de la figure.



La barre d'échelle est longue de 10 cm. Les graduations, régulièrement disposées, définissent un nombre d'intervalles en relation avec l'expression fractionnaire ; deux intervalles (3 graduations) pour l'échelle à 1/20 ; cinq intervalles (6 graduations) pour l'échelle à 1/50 ; cinq intervalles puis un intervalle de longueur égale aux cinq premiers intervalles (7 graduations) pour l'échelle du 1/100.

Cette normalisation permet éventuellement de ne pas chiffrer les graduations et de les utiliser sans confusion pour des documents à des échelles dix fois plus grandes ou plus petites (1/20 donne 1/2 ou 1/200 ; 1/50 donne 1/5 ou 1/500 ; 1/100 donne 1/10 ou 1/1 000). Sous la barre d'échelle peut figurer la mention du copyright qui sera conservée sur la photographie de reproduction (cf. note 153).

7.8.3. La légende et les écritures de la figure

Le texte doit être court mais il doit exclure l'ambiguïté des signes du dessin (non l'interprétation de l'objet dessiné). La fonction des différents types de traits, de trames, de symboles doit être indiquée mais aussi le (ou les) plan(s) de projection de la figure s'il est particulier,¹⁵⁸ les omissions volontaires (dans un plan, suppression de la porte pour faire apparaître la projection d'une baie haute).

Dans le cas de cassures du plan de coupe, elles seront repérées sur le plan horizontal ou éventuellement sur un schéma de plan.

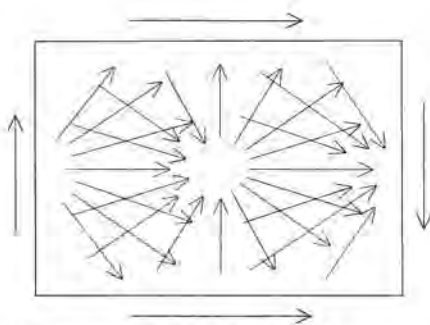
Le schéma de plan apparaît aussi dans le cas de relevés photogrammétriques pour que puissent être indiquées les prises de vues réalisées lors du relevé. Ces schémas de plan, complémentaires de l'information principale, sont traités à la plus petite échelle possible et figurent sous le cartouche.

Pour assurer la liaison de la figure au texte de la notice ou à des photos, le renvoi d'une figure à l'autre (plan/coupe ; figure générale/détail), pour identifier des détails ou la nature des pièces et la distribution, le dessinateur a recours à des renvois par lettres qui apparaissent sur la figure et seront identifiées dans la légende.

Les lettres majuscules, de A à U, désigneront les corps de bâtiments, les parties constituantes et les distributions ; les minuscules marqueront l'emplacement de détails et les majuscules V, W, X, Y, Z désigneront le passage des coupes.

Les cotes significatives, si elles s'avèrent indispensables, seront indiquées sans lignes de rappel ou, si pour des raisons de confusion cela était impossible, avec des lignes les plus discrètes possibles.

Le dessinateur veillera à ce que ces lettres et ces chiffres ne touchent pas les traits du dessin, de façon à pouvoir être supprimés par retouche photographique.¹⁵⁹

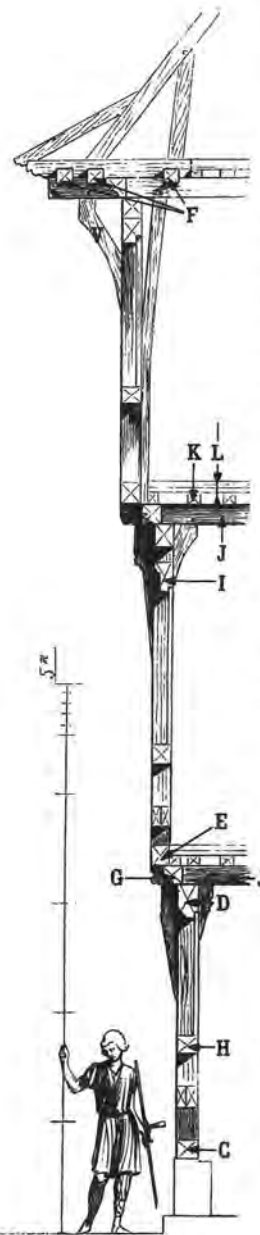
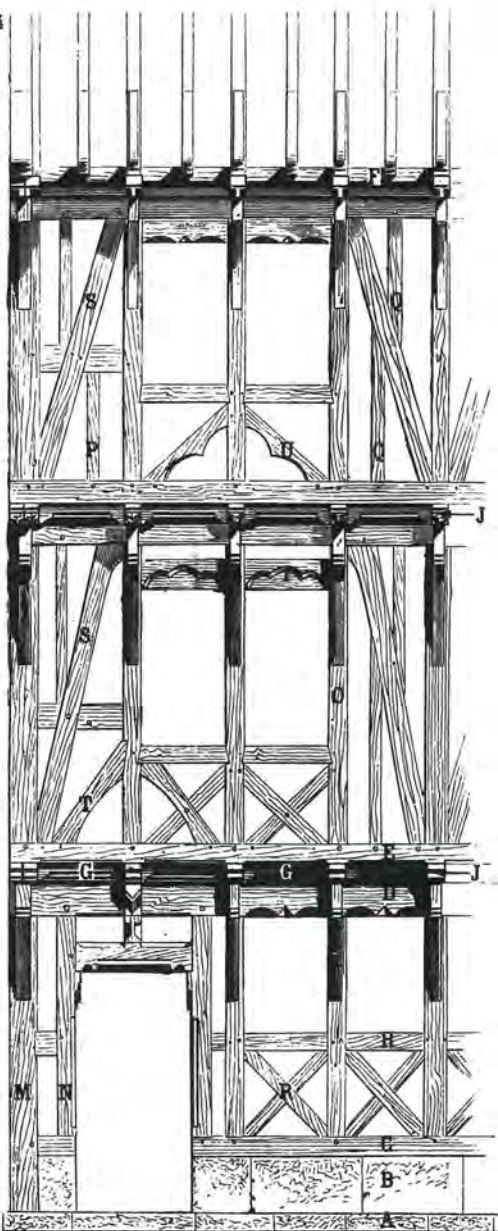


Disposition de l'écriture.

IV. La construction en bois et en fer

Le pan-de-bois et le pan-de-fer

14

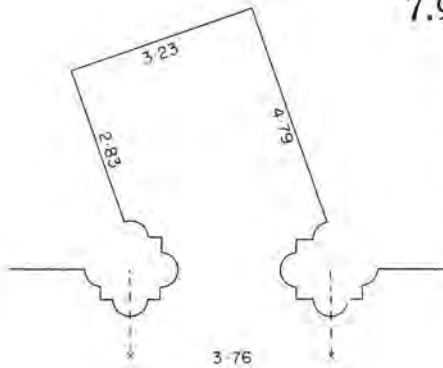


[14]

- A. Solin (87)
- B. Bahut (84)
- C. Sablière-basse (71)
- D. Sablière de plancher (71)
- E. Sablière de chambre (71)
- F. Sablière de toit (71)
- G. Cours d'entretoises (77)
- H. Pièce d'appui (71)
- I. Linteau (126)
- J. Solive (72)
- K. Lambourde de parquet (81)
- L. Parquet (81)
- M. Poteau cornier (74)
- N. Poteau d'hubriserie (74)
- O. Poteau de fenêtre (75)
- P. Potelet (74)
- Q. Tournisse (75)
- R-U. Guettes (76)
- R. Guettes en croix-de-Saint-André (76)
- S. Décharge (77)
- T. Gousset (78)
- U. Goussets en chevron (78)
- V. Aisselier (78)

[15]

7.9. Le lecteur du dessin



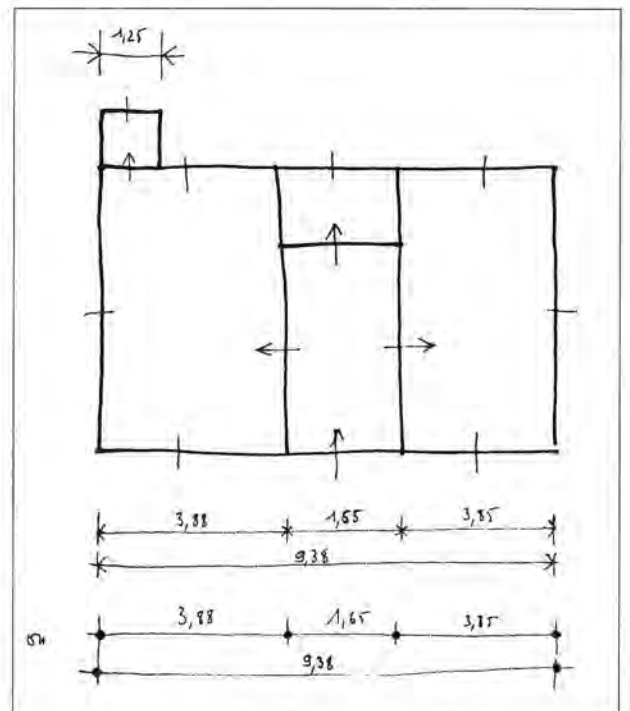
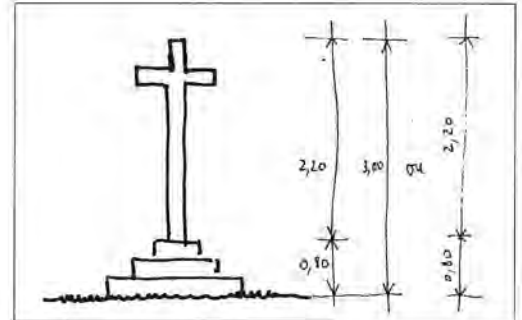
Le premier lecteur du dessin est son auteur mais c'est un lecteur bien "intentionné"; c'est-à-dire qu'il connaît les intentions qui ont présidé à la demande du relevé, les difficultés rencontrées lors du relevé et les artifices — ou les impasses — acceptés durant la rédaction. Malheureusement, l'ensemble intime de ces connaissances, liées à l'élaboration, ressort de l'anecdote : l'ar-

moire dans l'angle de la pièce qui interdit la mesure d'une diagonale, la porte fermée à clef et la clef égarée qui laissent supposer, sans certitude, l'épaisseur du mur, ...

S'il est inimaginable d'accompagner le dessin du récit de sa genèse, il est indispensable de conserver les pièces justificatives, les carnets de terrain et les calculs, les croquis, la minute du report (si le dessin n'a pas été rédigé directement sur calque) avec les commentaires liés à leur usage.¹⁶⁰ Ce dossier des pièces préparatoires reste fondamental pour l'usage qui va être fait de la figure.

Le dessin, malgré son apparente évidence (ou sans doute à cause), ne peut être lu de façon immédiate par l'utilisateur qui va lui confronter des questions a priori sans toujours savoir si l'image est à même de répondre; poursuivant son observation, c'est le dessin lui-même qui va susciter de nouvelles questions contingentes, bien souvent, de phénomènes de régularité ou d'irrégularité. Le danger de ce processus dialectique résulte évidemment de l'absence du contrôle possible de l'objectivité de la représentation : la régularité du dessin correspond-elle bien à la régularité de l'objet; son irrégularité repose-t-elle sur l'irrégularité de l'objet ou, par exemple, sur une maladresse de report ?

Le dossier des pièces préparatoires permet de repérer les lacunes et les masques, les interpolations et les certitudes et donc de contrôler a posteriori la validité des informations. En tout état de cause, encore que grossièrement, le dessin obtenu à partir d'un relevé photogrammétrique sera seul à assurer la fiabilité de l'image effective de l'édifice et donc la qualité des phénomènes observés; le recours au couple photogrammétrique et à sa masse de données innombrables pourra alors éviter le retour sur le terrain pour de nouveaux mesurages.



Le dossier de commande de la restitution photogrammétrique

Le dossier préalable

Le relevé photogrammétrique comporte, nous l'avons vu (Chapitre 6.), la prise de vue photographique et la détermination de mesures de calage. Il va sans dire que, dès le retour du terrain,³⁵⁵ les prises de vues sont développées, identifiées, immatriculées (cf. Chapitre 10.) et font l'objet de tirages par contact tandis que les mesures font l'objet de calculs — en coordonnées par exemple — puis sont identifiées par des croquis mis au net et sur les photographies elles-mêmes.

Sur les contacts photographiques que l'on peut observer, pour une meilleure précision, en stéréoscopie, les origines des distances mesurées et les points déterminés en coordonnées sont piqués finement à l'aide d'une aiguille ; au recto, le trou est cerclé et identifié par une lettre ou un numéro de point ; au verso, un croquis figure la distance mesurée et, si le point n'est pas signalé par une mirette, précise éventuellement sa position par un croquis détaillé.

Les calculs effectués et leurs résultats présentés en tableau n'excluent pas la conservation des croquis et carnets de terrain ; ceux-ci restent les documents de référence pour valider le relevé et permettre sa poursuite ou son approfondissement ultérieurs. Des dessins rapides mais soignés figurent les polygonations réalisées.³⁵⁶

Un schéma des prises de vue réalisées est mis au net à partir d'un dessin en plan existant³⁵⁷ ou d'un croquis comportant l'orientation au nord : chaque couple est mis en place et identifié par les numéros d'immatriculation des phototypes. Si l'opération est simple avec un calage succinct (façade unique par exemple), les mesures sont rapportées sur ce schéma. Dans le cas contraire et par souci de clarté, chaque couple (ou la série de couples issus des mêmes stations), ou l'ensemble des couples concernant la même figure de l'édifice fait l'objet d'un croquis où sont figurés les mesurages effectués.

Dans le cas d'un grand édifice sur lequel ont été réalisés des points de calage tridimensionnels, une photo récapitulative (non métrique, agrandissement d'un 24 × 36 réalisé sur le terrain au moment de l'opération) regroupe par face l'ensemble des couples avec la disposition des points de calage numérotés.

Figuration des stations de prise de vue

	Chambre double	Chambre simple
Axes optiques horizontaux		
Axes optiques inclinés		
Axes optiques verticaux		
Base verticale		

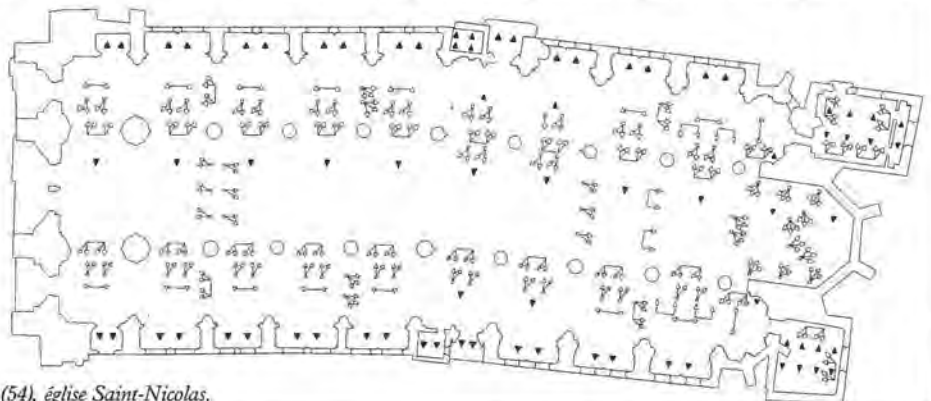


Schéma des prises de vues : Saint-Nicolas-de-Port (54), église Saint-Nicolas.

Ce dossier réalisé dès le retour du terrain, reflète la commande préalable, celle qui a servi de point de départ à l'opération ; mais l'avancement de la réflexion sur l'édifice et la richesse de l'information photogrammétrique révélée par la rédaction de ce dossier pourront conduire à la modifier le cas échéant.

C'est également à partir de ce dossier que seront ultérieurement envisagées d'autres analyses pour approfondir la connaissance de l'édifice.

La commande photogrammétrique

Tout ce qui est photographié en stéréoscopie peut être traité sur les restituteurs photogrammétriques. La qualité de la photographie, la taille de l'information fixent les limites d'utilisation. En dehors des produits photographiques que nous envisageons à part (cf. Fiche 10) des traitements graphiques ou numériques sont possibles.

Traitements graphiques

En règle générale, les traitements graphiques qu'ils soient effectués sur restituteur analogique ou analytique ne donnent pas lieu à l'établissement d'une mémorisation numérique. L'information est directement envoyée à la table traçante qui est seule à garder la trace de l'analyse ; cela veut dire que, du modèle stéréoscopique au dessin, il y a évaporation d'une des dimensions,³⁵⁸ qu'il n'y a plus moyen de connaître les dimensions des éléments biais et que l'échelle — et le rendu des détails — est fixée une fois pour toutes.³⁵⁹

Les figures tracées ainsi directement bénéficient d'un suivi continu qui rend compte de toutes les finesses des formes mais aussi de toutes les irrégularités ; c'est le type de traitement à retenir lorsque l'information est abondante et qu'elle se répartit en plans en nombre limité et parfaitement distincts.

La représentation est géométrale — plan, élévation, coupe³⁶⁰ — et, sauf impossibilités, à l'élévation correspondront des clichés frontaux — les axes U et V du dessin seront parallèles aux axes X et Z du cliché³⁶¹ —.

Lorsque les plans se multiplient, l'information doit être allégée pour laisser lisible la structure d'organisation des plans (cf. 7.2.6.) ; dans le cas où il est nécessaire de conserver la totalité de l'information, il convient de démultiplier les figures à raison d'une par plan ; une figure générale réduite aux grandes lignes sert de tableau d'assemblage.

Le temps de l'analyse photogrammétrique ne sera pas substantiellement augmenté si l'opérateur répartit en deux figures l'infor-

mation qu'il voulait réunir en une seule. De même, l'analyse se fait dans un modèle à une certaine échelle relativement indépendante de l'échelle de la table ; aussi l'opérateur ne met pas plus de temps pour une figure à 1/50 que pour une figure à 1/100.³⁶²

Considéré sous l'angle économique, ce n'est donc ni le nombre ni l'échelle des figures³⁶³ qui fixent le coût du traitement graphique mais le nombre de couples et le linéaire de trait. Le rendu strict des lignes significatives est donc non seulement la garantie d'un produit intellectuellement fiable mais également celle du prix minimum.

Traitements numériques

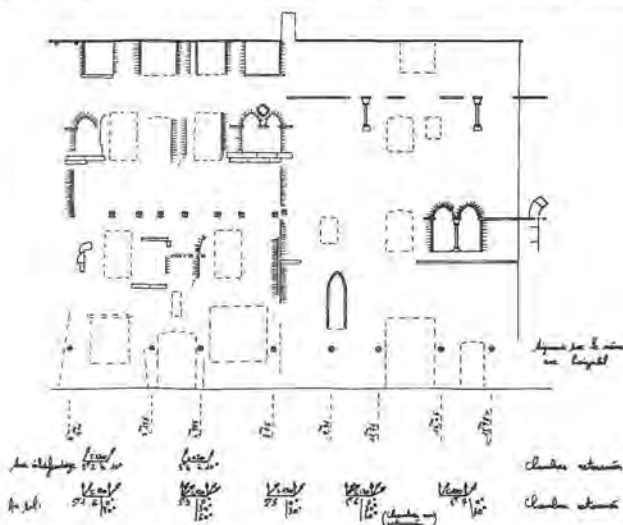
L'analyse photogrammétrique aboutit à la constitution d'un fichier numérique de points déterminés en X, Y, Z et conservés dans la mémoire d'un ordinateur. Selon l'usage prévu, il pourra s'agir :

- de points isolés ou de bi-points — couple de points — pour obtenir des dimensions particulières ou des positionnements,
- de points réunis par des liaisons graphiques³⁶⁴ qui décrivent l'objet dans l'espace pour obtenir des représentations ultérieures et multiples ou pour servir de base à des traitements calculés.

Contrairement à la saisie graphique, la saisie est ponctuelle ; l'opérateur va de point en point³⁶⁵ et décide s'il enregistre dans son fichier ou pas. L'usage du fichier, dessin, calcul, ..., oriente le rythme de la collecte et contrôle son volume. Ainsi, pour le dessin d'une arête, l'opérateur devra juger de ses infléchissements pour ne retenir que les points créant des cassures visibles ; au contraire, pour un arc, il les multipliera pour que la ligne polygonale obtenue³⁶⁶ soit conciliable avec la vision d'une courbe. S'il s'agit de déterminer la forme et les écarts à une définition théorique, au-delà d'un certain nombre de points, des points supplémentaires ne changeront pas la définition et seront donc illusoirs, ...

A la différence du traitement graphique immédiat, toujours unique, les traitements graphiques différés sont multiples, à n'importe quelle échelle³⁶⁷ et selon tous les types de représentation.

La numérisation de la maquette d'un objet conduira bien souvent l'opérateur à devoir reprendre le fichier pour supprimer dans l'espace les masques ; ce complètement, en dehors de logiciels



Croquis de commande : Cahors (46), demeure.

adaptés à ce genre de corrections, risque avec des fichiers volumineux d'être long³⁶⁸ ; s'il s'agit seulement d'obtenir une représentation particulière (axonométrie oblique par exemple, ...), le plus simple sera, manuellement, par retouches graphiques, de compléter l'image.

Le choix et la commande

L'utilisateur du relevé aura la sagesse de limiter sa demande au besoin immédiat ; c'est le moyen d'accélérer la production photogrammétrique et de réduire son coût. Notamment, il devra avoir le courage de sacrifier parfois l'esthétique ; c'est ce que disait déjà Philibert Delorme : "je ne dy pas que ce ne soit pas une fort belle grâce à l'architecte de savoir bien peindre & peindre, mais il a tant d'autres choses beaucoup plus nécessaires à cognoistre, qu'il luy doit suffire de peindre médiocrement, proprement & nettement. Car pourveu que les mesures soient bien gardées, ses portraits ne scaoraient faillir à se bien monstrez."³⁶⁹

La commande doit indiquer l'usage prévu (par exemple assistance à la description) ; elle sera explicite soit par le texte soit, plus souvent, par le recours à des croquis ou photos surchargées ; l'emplacement des détails d'appareil, tel collage qu'il convient de figurer, sont plus facilement précisés en les indiquant sur la photographie qu'en tentant de les décrire et de les situer par le texte. En principe, la mouluration d'une baie, d'un arc est rendue par les arêtes extrêmes qui la limitent puis par un choix de lignes qui tentent d'exprimer sa complexité ; s'il est nécessaire que ces lignes puissent être identifiables, le chercheur fera un croquis — une coupe même complètement théorique — sur lequel sont indiquées les arêtes à suivre.

Dans le cas d'une grande complexité, l'utilisateur du relevé travaillera de concert avec le restituteur photogrammètre de manière à éviter toute ambiguïté.

La lettre de commande, complétée des photos et croquis nécessaires, doit être accompagnée d'une fiche d'identification qui comprend notamment tous les renseignements nécessaires à la rédaction du cartouche et de la légende ainsi que les indications pour assurer une bonne gestion du dossier.

Le dossier de commande

En cas de restitution différée — par exemple relevé mené lors d'une opération de sauvetage — et, pour assurer la sécurité de l'archivage, un fonds de dossier est adressé au siège national de l'Inventaire. Il comprend :

- 1 - La fiche d'identification.
- 2 - Les plaques photogrammétriques immatriculées.³⁷⁰
- 3 - Les contacts équipés.
- 4 - Le schéma général des prises de vue.
- 5 - Les schémas partiels avec les mesures de calage et les résultats des calculs.³⁷¹

Et, en cas de demande immédiate :

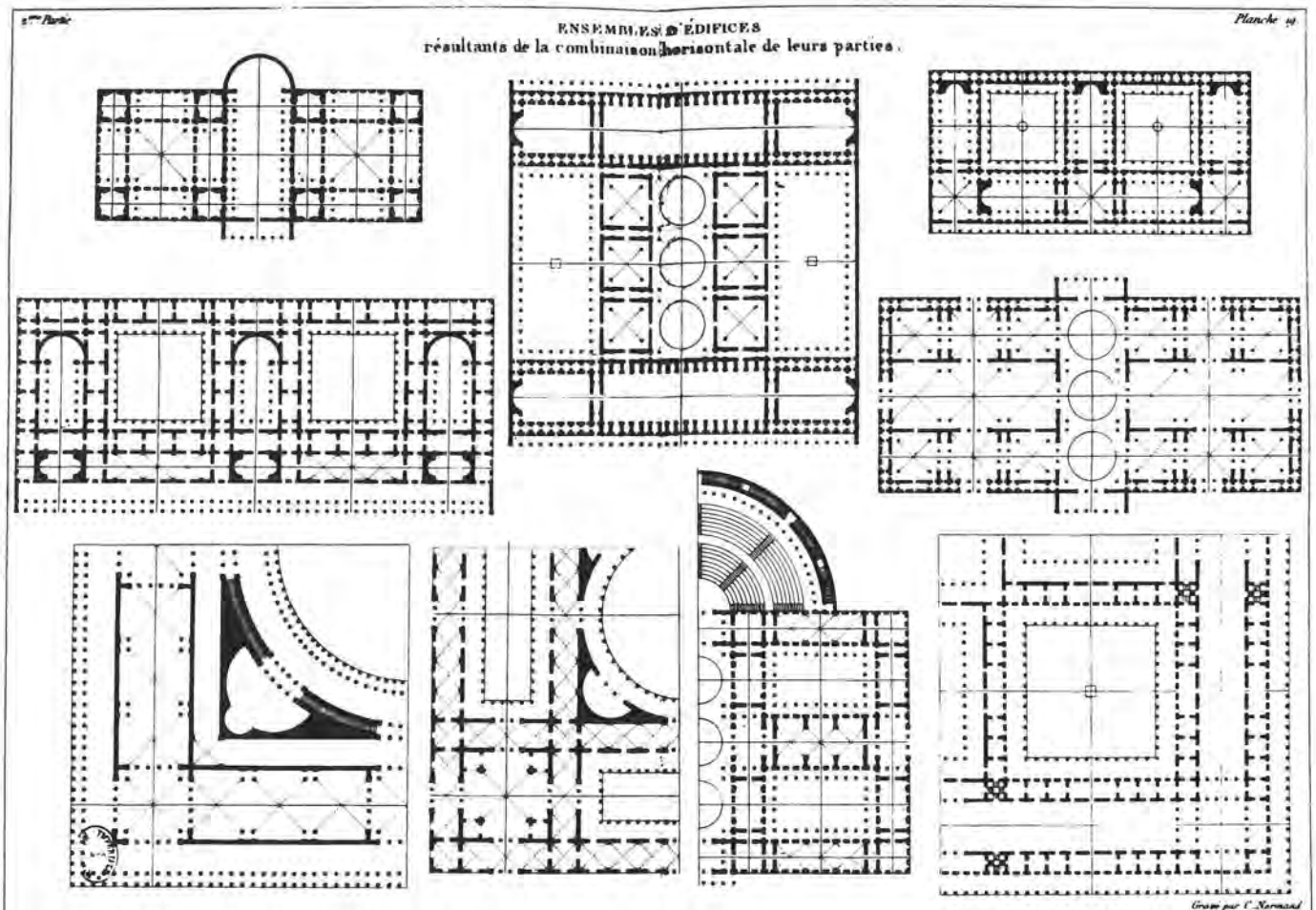
- 6 - La lettre de commande comprenant photos et croquis éventuels accompagne ce dossier.

Pour les demandes ultérieures, il y a lieu d'envoyer une nouvelle lettre de commande accompagnée d'une fiche d'identification ; le cas échéant, si de nouvelles mesures de calage ou si des campagnes complémentaires de prises de vue ont été faites, elles accompagneront la lettre de commande dans la forme habituelle.

8. Relevés schématiques : les schémas et les croquis

Jusqu'à présent notre ambition a été de présenter les méthodes qui assurent le relevé de la forme effective de l'architecture. Après analyse, le releveur sélectionne les lignes de l'objet, et les points de ces lignes qui mesurés porteront témoignage. Le relevé dresse un constat de l'état formel d'un objet, il présente la sélection d'un certain nombre de structures¹⁶¹ dont la mesure rend l'aspect. Cette objectivité particulière en fait la base d'analyse dialectique puisqu'étant conçu pour répondre à une ou à un certain nombre de questions, il va éventuellement mettre en évidence, à travers bien souvent des altérations de forme — par rapport à un modèle théorique —, de nouvelles problématiques : que signifient cette cassure dans l'alignement de la paroi, cette irrégularité dans la disposition des supports, ... ?

*Durand, Précis des leçons d'architecture,
Paris, 1809.*



8.1. Dessin à vue et relevé schématique

Ce rappel des principes qui régissent le relevé permet, par contraste, de définir le dessin à vue ; le dessin à vue est réalisé par l'interprétation, à l'œil, des formes, des proportions, des dimensions de l'objet et sans recours à un nombre suffisant de mesures qui permettrait la construction géométrique.¹⁶²

Nous avons noté que, si la densité des mesures fixe la finesse du relevé, sa définition — au sens photographique —, elle, n'élimine pas ces zones lacunaires où, a contrario, l'objet est simplement figuré parce qu'interpolé dans un réseau trop lâche de déterminations.

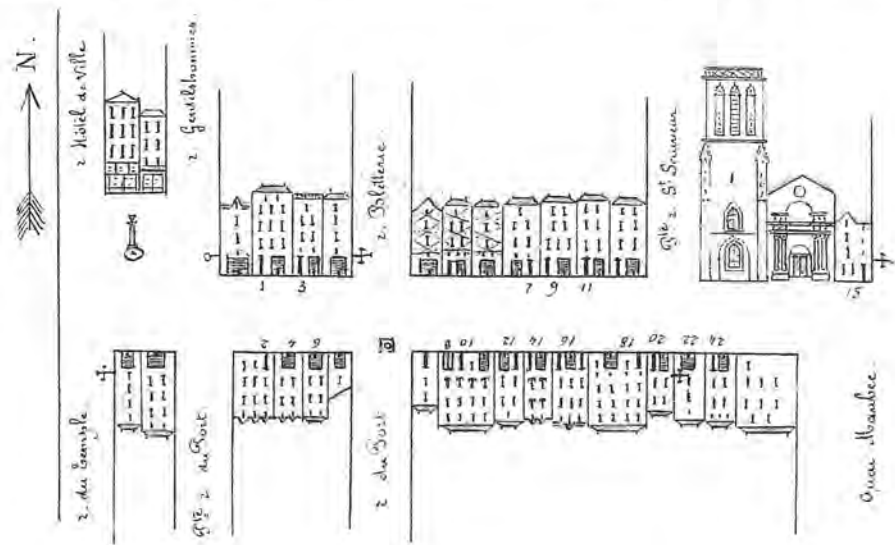
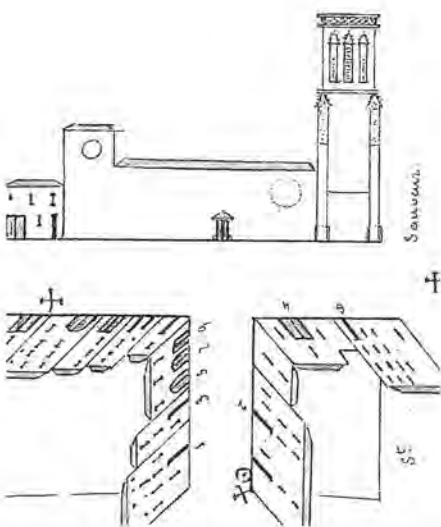
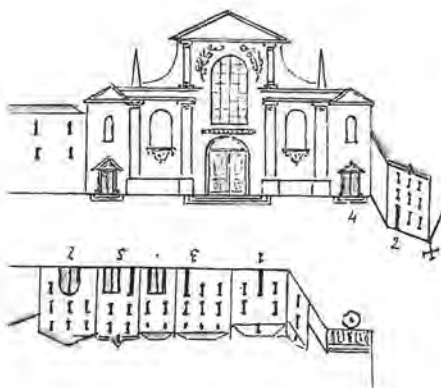
Le dessin à vue correspond à l'extension, à la totalité de l'image, de ces zones lacunaires ; l'absence de certitudes formelles dans l'appréhension de l'œuvre caractérise ainsi cette catégorie qui se révélerait, à la limite, de pure convention puisqu'elle contient tout aussi bien chaque relevé dont la genèse reste ignorée.

Le dessin à vue qui ne s'appuie pas sur la pratique d'outils sophistiqués — théodolite, chambre photogrammétrique, ... —, contrairement au relevé, va être rapidement exécuté et conduit ainsi à des économies substantielles de temps et d'argent mais il est le contraire d'un constat, l'interprétation subjective et codée de manière plus ou moins intelligible de la réalité. Son propos ne sera pas de la représenter dans toute la subtilité du relevé mais de servir de lieu à un discours. Le dessin à vue va organiser de manière topographique une série de notations, de constatations, de réflexions.

Le dessin à vue doit donc se contenter d'offrir la description minimale qui permette la localisation d'une information, l'attestation même, plus simplement, de sa présence, l'explication de son organisation ... Nous appellerons relevé schématique, le dessin à vue complété d'une notation thématique.

La description minimale signifie que le dessinateur met en place les lignes qui permettent que le lieu soit identifié sans ambiguïté. Cette description minimale n'est pas unique, elle est fonction du discours qu'elle va supporter mais elle passe par une série d'opérations toujours les mêmes qui vise à alléger la représentation : simplification et généralisation des formes, identification des formes entre elles, codes, régularité des assemblages. Ce travail peut se faire sans a priori ou correspondre à une volonté délibérée de réduire l'objet à un tracé conceptuel : si je dessine le plan d'un édifice, je peux choisir de représenter chaque pièce comme

La Rochelle (17), croquis de corps de rue. Bibliothèque municipale de La Rochelle, coll. Levêque, mss. 2187.



je la vois par un quadrilatère quelconque ou alors par un rectangle parce que l'assemblage des cellules sera plus facile à réaliser, je peux aussi théoriser ce plan et dessiner le vestibule comme un carré, le grand salon comme un double carré, ...

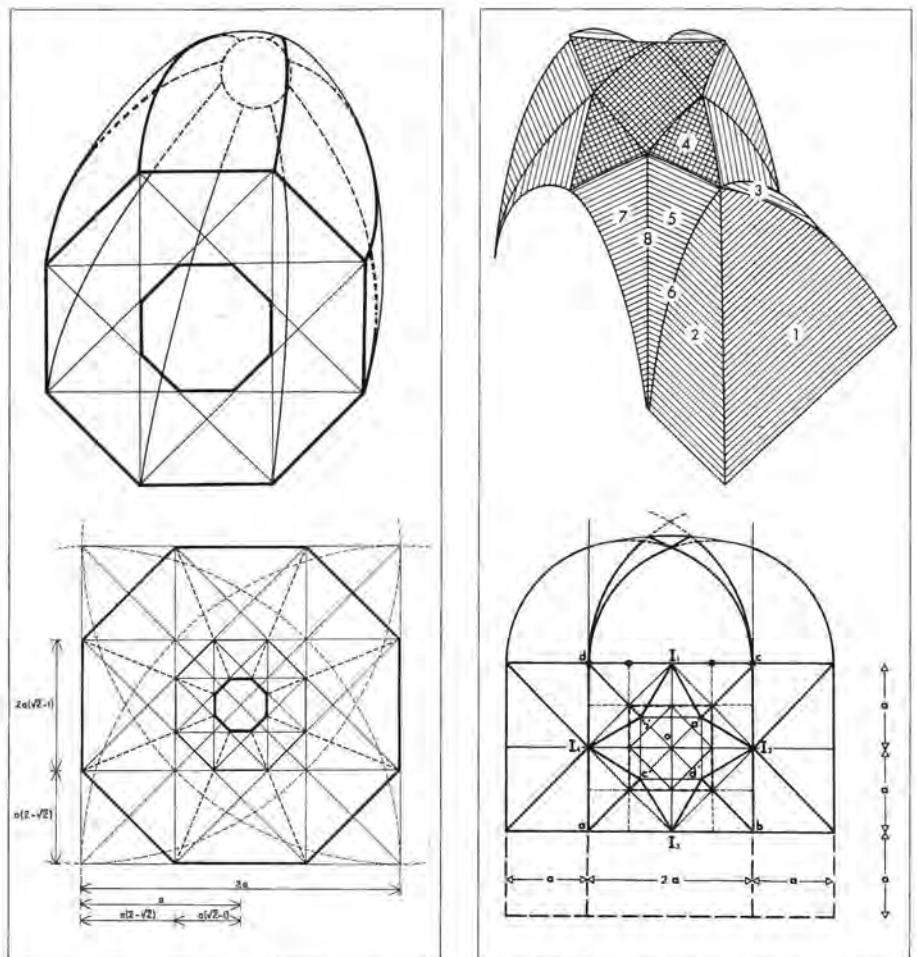
C'est ce rapport formel à l'objet qui pourra distinguer dans les relevés schématiques les croquis d'une part, des schémas d'autre part.

8.2. Le schéma

Le schéma fait abstraction de toute la trivialité de l'objet, sa vétusté, ses irrégularités de construction et il offre une image mentale¹⁶³ qui se veut en quelque sorte une explication du mode de construction ou le dessin de son projet.¹⁶⁴

Avant tout didactique, le schéma apporte l'explication d'un processus ; il démonte la géométrie d'une forme en expliquant la construction graphique ; il donne la clé des proportions d'une façade ou le tracé directeur d'un système de voûtement ; il précise l'équilibre des poussées de telle structure, le mode d'appareillage de cet arc ou de cette paroi, ...

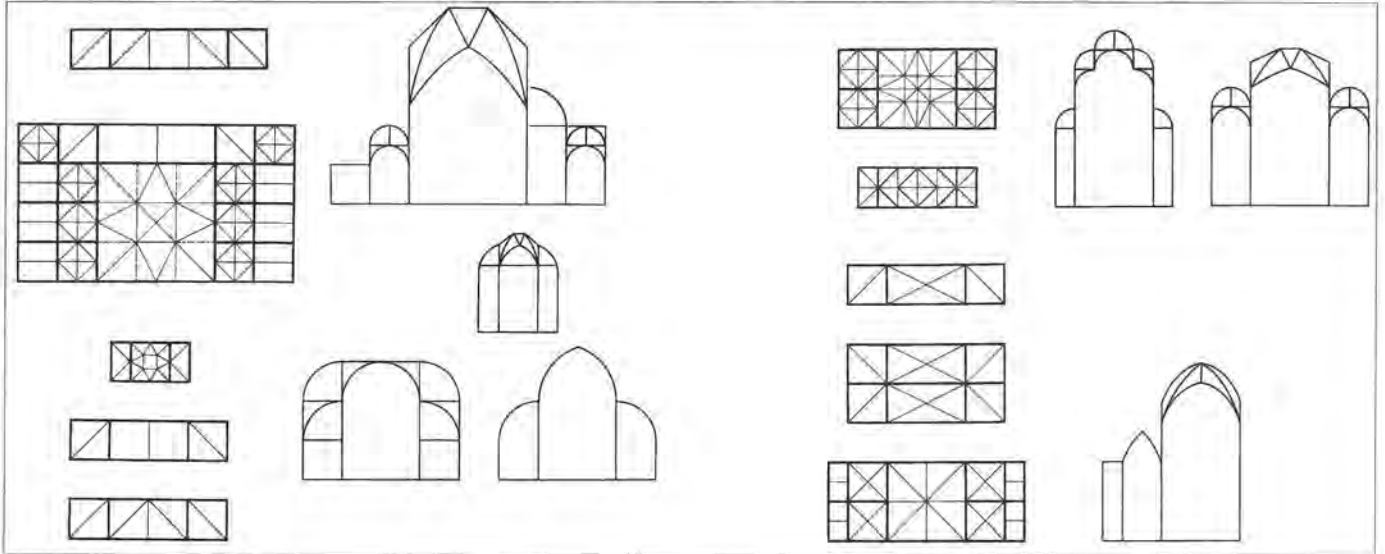
Le dessin doit refléter la cohérence de la pensée ; si deux hypothèses s'affrontent, cela fournit deux schémas. Les lignes sont tracées à la règle et au compas et s'il s'agit d'une construction géométrique elle est mise en évidence réellement. Le mode de représentation doit éviter toute interprétation de la part du lecteur ; le géométral ou les axonométries seront préférés à la perspective.



Schémas axonométriques de voûtement et tracés directeurs :
 - Donzère (07), église Saint-Philibert (à gauche).
 - Le Vésinet (78), église Sainte-Marguerite (à droite).

En tout état de cause, pour que l'hypothèse apparaisse plausible et ne reste pas seulement une construction de l'esprit, il serait souvent nécessaire que le schéma repose sur une analyse préalable et approfondie de l'objet. Cette analyse peut procéder d'un relevé notamment photogrammétrique; en cas de rédaction graphique du relevé photogrammétrique, le schéma pourra s'y trouver superposé, ce qui mettra en évidence les écarts entre la théorie et la pratique.¹⁶⁵

Schémas comparatifs en plans et coupes d'églises selon Louis-Auguste Boileau.



8.3. Les croquis

Les croquis visent à rendre compte des formes de l'édifice de manière simplifiée. Le type de rédaction du document établit une distinction : le croquis est dessiné à main levée, il est réalisé généralement sur le terrain ; dressé à la règle à partir d'un croquis ou d'un relevé antérieur dont on ignore la genèse, le document pourra être appelé du terme général de relevé schématique. Nous avons déjà évoqué le croquis lors de l'opération de relevé. Image de l'objet, il sert de support aux mesures ; ses lignes et les rencontres de ses lignes désignent les origines des cotes. Il ne comporte aucun autre détail qui ne serve à localiser ou identifier l'information.¹⁶⁶ Ces remarques s'appliquent à tous les types de croquis ; ils sont des "fonds localisants" qui permettent le positionnement de l'information.

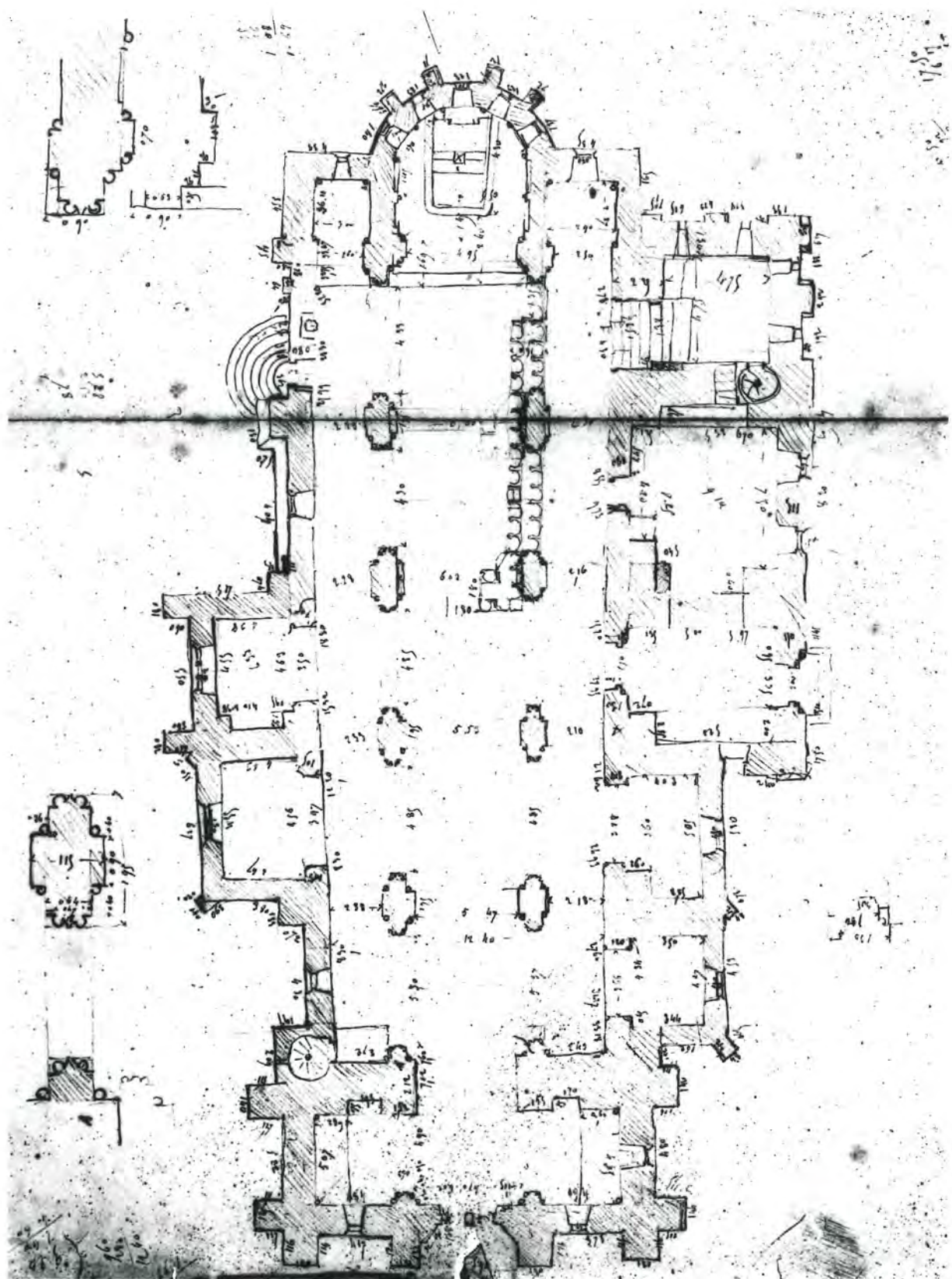
Réalisés sur le terrain à main levée, dans un système de projection, en règle générale, géométrale, ils pourront faire l'objet d'une mise au net,¹⁶⁷ soit à main levée, soit à la règle. La mise au net à main levée semble devoir être recommandée car elle correspond mieux à l'aspect lacunaire de l'information formelle et n'introduit pas, quant à la genèse, le doute que peut susciter une rédaction à la règle.

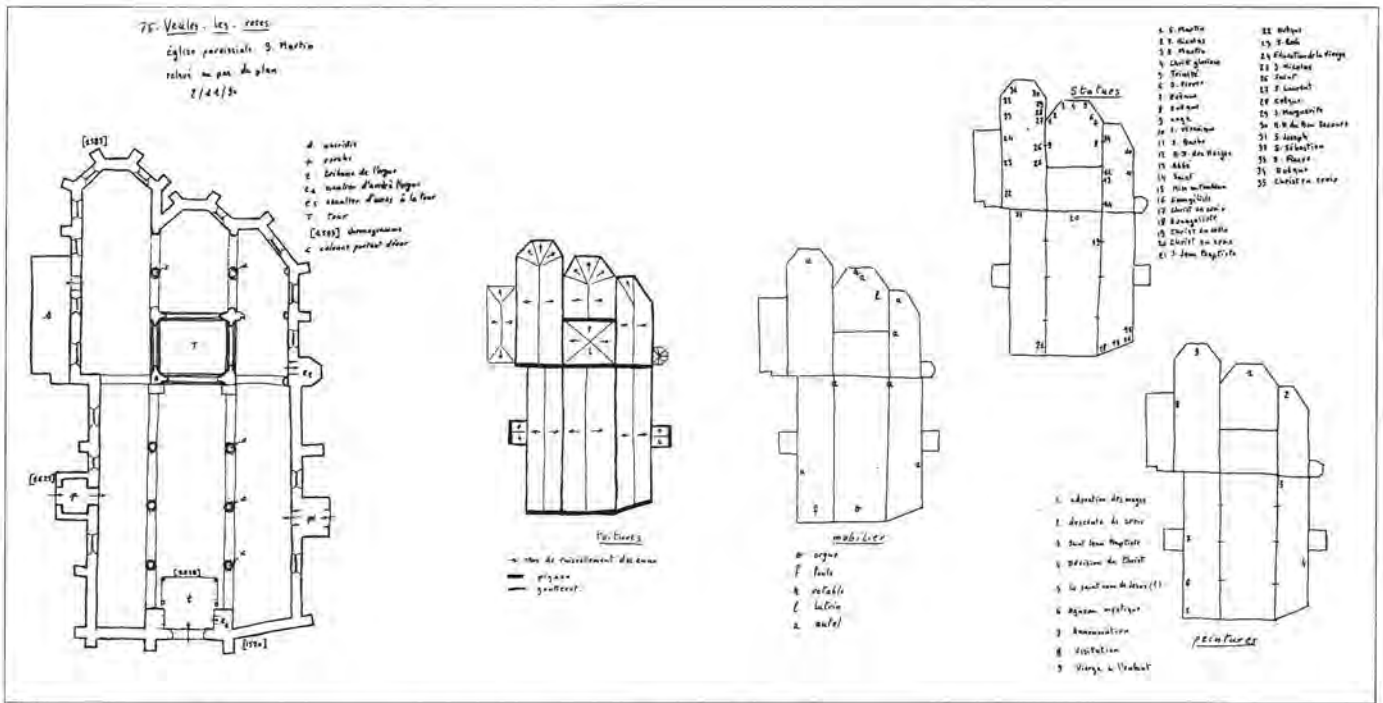
8.3.1. Le croquis : image de substitution

Pour gagner du temps dans l'établissement de la documentation sur des édifices répétitifs, le croquis peut se substituer au relevé régulier ou expédié quand il s'agit de ne montrer qu'un phénomène. Citons pour illustrer cette ambition limitée :

- croquis de plan : pour montrer le nombre de travées d'un édifice à vaisseau, l'organisation des pièces dans une demeure,¹⁶⁸ ...
- croquis d'élévation : pour montrer les pleins et les vides d'une façade, ...
- croquis de toiture,¹⁶⁹ de voûtement,¹⁷⁰ de nature du sol, ...
- croquis des ouvertures et circulation, ...

Levroux (36), église Saint-Sylvain, croquis du relevé en plan par l'architecte Dauvergne.





Veules-les-Roses (76), église Saint-Martin, croquis de plan, de toiture et de positionnement des objets mobiliers.

8.3.2. Le croquis : image thématique

Le croquis peut servir à décrire l'implantation d'un thème, d'une typologie, d'une iconographie, d'une documentation¹⁷¹ :

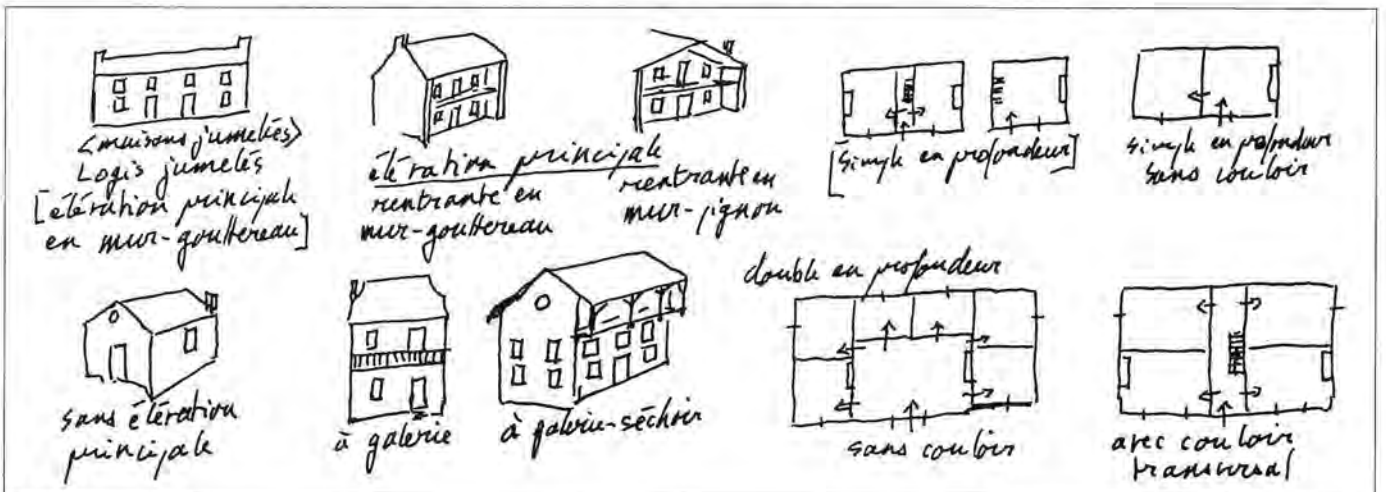
- croquis des prises de vue,¹⁷²

- croquis de positionnement des objets mobiliers, des statues d'une église, de ses verrières, de ses "immeubles par destination" (autels, fonts baptismaux, chaire, ...)¹⁷³

- croquis de plan ou d'élévation avec le positionnement d'éléments d'architecture particuliers (baies d'un certain type, modénature, piliers ou bases, remplois, ...)¹⁷⁴

- croquis de positionnement des thèmes iconographiques d'éléments sculptés (tympans, frise, bas reliefs...), de peintures murales, de verrières, ...¹⁷⁵

Croquis typologiques : plans de distribution, élévations et volumétrie. J.-P. Leclercq, Typologie régionale, 1987.



8.4. Les restitutions

Plus proches du schéma que des croquis, les restitutions constituent des interprétations de relevés existants ; même exécutées à partir de l'information des relevés réguliers, elles contiennent une part d'hypothèse :

- plans ou élévations des matériaux ou de la chronologie : ce zonage des matériaux et des périodes chronologiques constitue en général le travail préliminaire à toute restitution archéologique ; la finesse de l'information rend souvent nécessaire l'utilisation de la couleur,

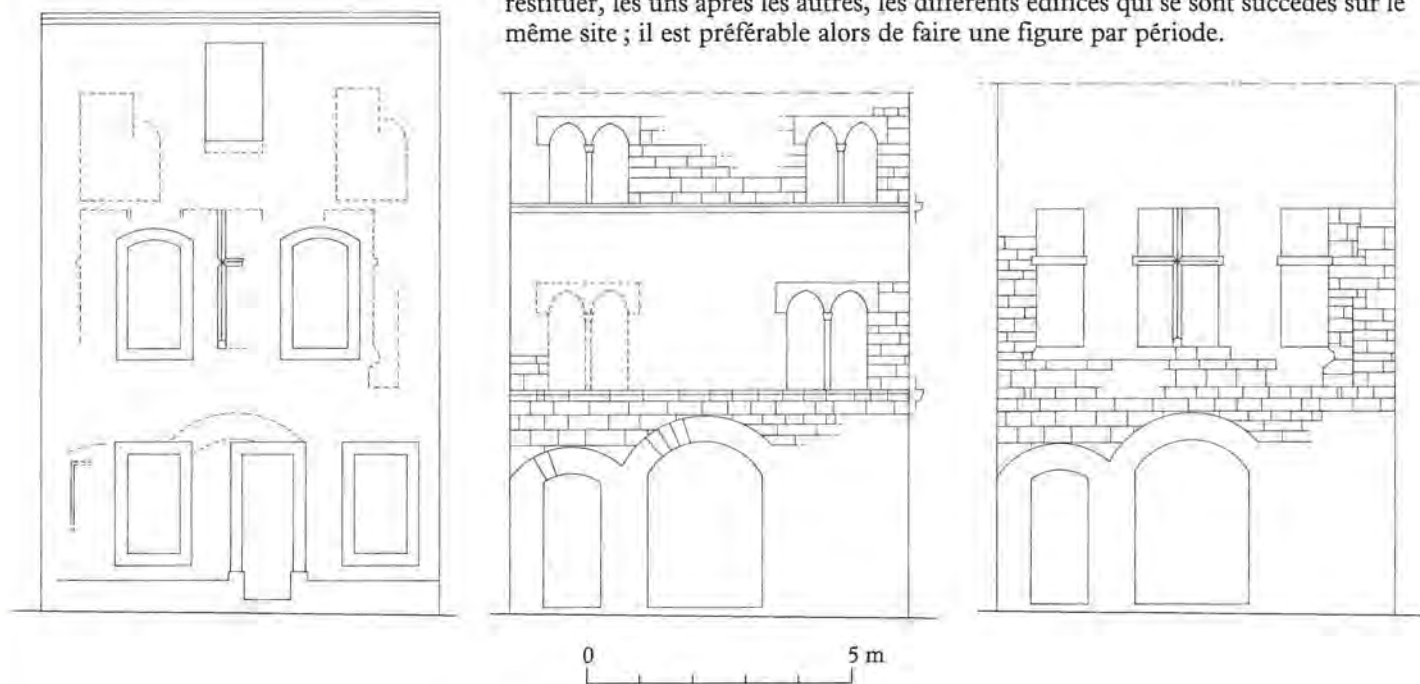
- restitution archéologique : à partir d'éléments encore en place, l'image des édifices antérieurs est restituée en plan comme en élévation. Il est parfois possible de restituer, les uns après les autres, les différents édifices qui se sont succédés sur le même site ; il est préférable alors de faire une figure par période.

Cavaillon (84), demeure, de gauche à droite :

- état actuel (relevé)

- état d'origine (restitution)

- état remanié (restitution)



8.5. Les relevés de mouluration

Le relevé de la forme effective de la mouluration est rarement directement satisfaisant ; il doit être interprété corps de moulure par corps de moulure et redessiné ; le relevé cède ainsi le pas au schéma.

En effet, les effets de la vétusté (grignotement du matériau ou, au contraire, alourdissement par multiplication des crépis) même s'ils sont peu importants et jouent sur des millimètres, introduisent, du fait des faibles dimensions des corps de moulure, des erreurs relatives importantes.¹⁷⁶

Par ailleurs, tous les outils de relevé, outre ce problème de précision relative, se heurtent à la difficulté des parties masquées et à la complexité des raccords entre profils successifs. Il s'ajoute enfin la difficulté d'atteindre la mouluration bien souvent inaccessible (nervures de voûtes, corniches, ...) sauf par un échafaudage dont le coût serait ordinairement prohibitif.^{177 178}

L'utilisation du conformateur, les mesures de grandes dimensions obtenues par photogrammétrie ou à l'aide de mètres rigides constituent néanmoins une nécessité préalable qui seule pourra valider l'interprétation ou la restitution de la modénature.

8.5.1. Le relevé au conformateur

L'usage d'un conformateur de grand format réduit le nombre de reports ; la plupart du temps, pour des raisons de taille mais également de parties masquées, il est nécessaire de mesurer le corps de moulure en deux ou trois segments entre lesquels l'opérateur ménage des raccords de zone commune importants.

La meilleure solution consiste à reporter l'un après l'autre ces profils (à l'échelle 1/1) sur une feuille de papier en identifiant leurs liaisons par des points communs¹⁷⁹ ; la réduction photographique à l'échelle désirée (du 1/5 à 1/20) permet de calquer en les raccordant les différents profils.



8.5.2. Le relevé au mètre

Le relevé consiste à appliquer un mètre rigide tangent aux corps de moulure ; sans déplacer le mètre rigide, l'opérateur mesure avec un mètre ruban la distance du mètre rigide à la moulure (ordonnée) tout en notant l'abscisse sur le mètre rigide ; la moulure est donc définie par un certain nombre de points caractéristiques mesurés dans un système cartésien (x, y).

8.6. Lecture du relevé schématique

Les relevés schématiques sont bien souvent des outils individuels qui ne constituent qu'une sorte de support mnémonique. Il est difficile, dans ce genre d'images, d'éliminer — surtout si elles sont tracées à main levée — le coefficient personnel et les distorsions acceptées par rapport à l'objet lui-même ou à des types de projection donnés ; mais les relevés schématiques, parce qu'ils prétendent très souvent remplacer ou alléger le discours textuel, vont s'exprimer sous une forme compacte et synthétique qui, contrairement au relevé, recourt aux symboles pour exprimer les formes ou les qualités des formes et leur lien avec l'espace.

Pour en faire un outil collectif et documentaire, le légendage du relevé schématique est impératif ; ce légendage doit donner les limites d'usage de la figure pour que le lecteur ultérieur soit averti de ne pas aller au-delà : le croquis du plan de toiture donne l'organisation des différentes couvertures mais en aucune façon le plan masse de l'édifice.

Le légendage comporte la signification des symboles et éclaire le sens des lettres ou chiffres utilisés. Le relevé schématique pour rester un dessin rapidement exécuté, adopte pour symboles des figures élémentaires (croix, cercles, étoiles, carrés) ; certaines lettres peuvent remplacer des symboles, ...

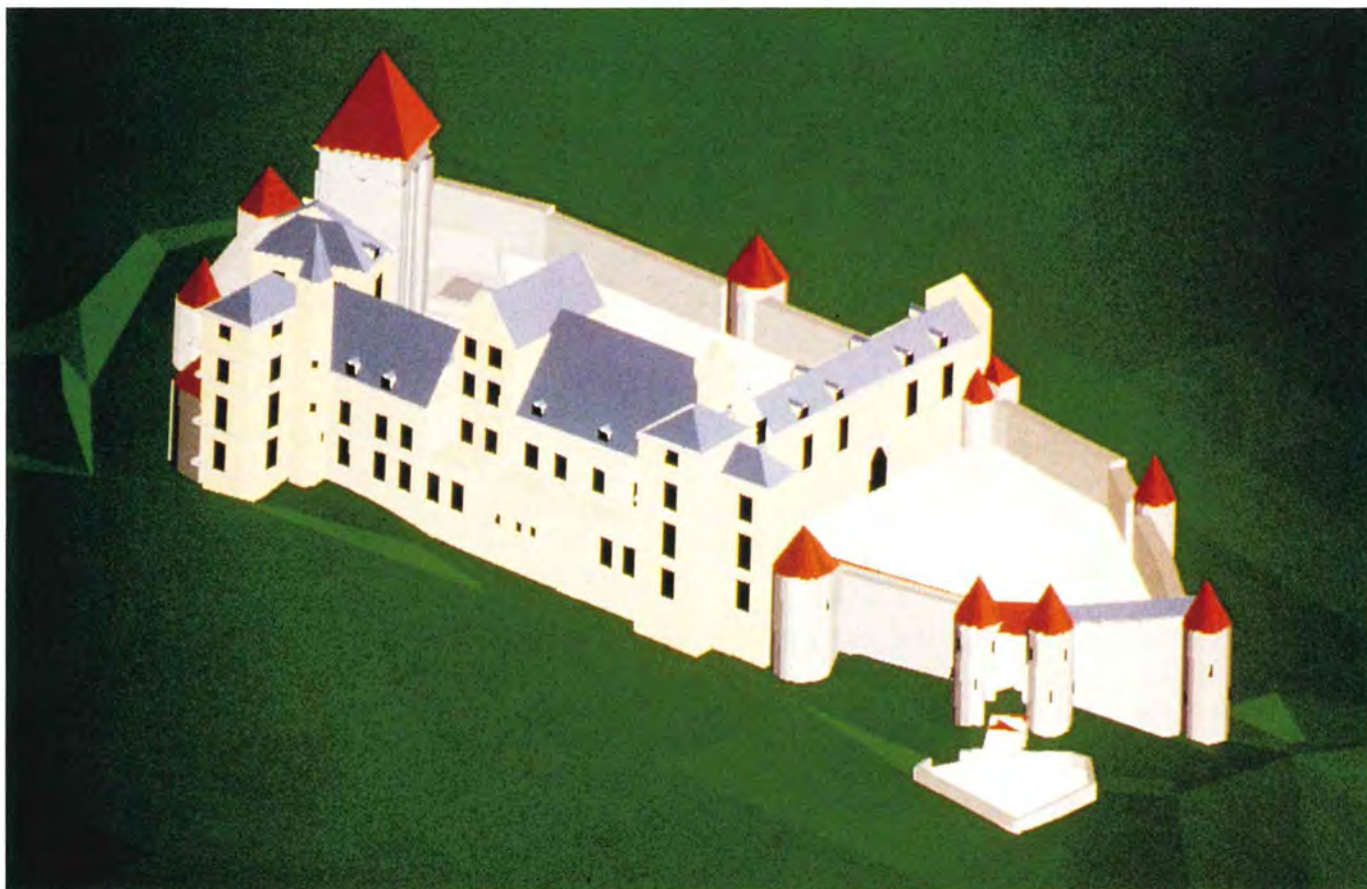
L'idéal est de toujours rester dans les limites d'un dessin réalisable sur le "tas"

9. Autres expressions du relevé

Bien que l'expression graphique du relevé reste dominante, l'abondance des données recueillies sur le terrain peut être traitée différemment et conduire à des représentations de l'architecture parfois fort abstraites, parfois très séduisantes.

L'informatique tient une grande place dans leurs réalisations pour simplement faciliter des processus longs et fastidieux de calcul ou de dessin, ou animer, dans un espace renouvelé, les manifestations séculaires du modello.

*Le Grand-Pressigny (37), château, maquette
chronologique de synthèse.*



9.1. Les traitements calculés

Bien souvent, le dessin gomme, accentue ou même invente des phénomènes qui conduisent à des interprétations fallacieuses ; des alignements ne sont pas maintenus, des pièces cessent d'être rectangulaires, des symétries apparaissent ou, plus souvent, disparaissent, ... Les hypothèses deviennent plus risquées encore lorsque le lecteur tente de superposer au relevé dessiné, le dessin de restitutions archéologiques (en courbes, tracés régulateurs, rectangles proportionnels, ...). Certains calculs élémentaires apportent, à partir des mêmes éléments de base, les preuves qui faisaient défaut¹⁸⁰ ; en effet, tout élément qui, à partir de mesures, peut être dessiné, peut également être calculé.¹⁸¹

9.1.1. Calculs d'éléments simples et plans

Il est possible à partir de mesures de longueurs de calculer la valeur de l'angle de deux murs, de vérifier la rectitude d'un élément ; comme ces calculs s'effectuent à partir de formules comportant des sinus, des cosinus ou des tangentes, il est utile de recourir à des machines à calculer scientifiques.

Les cotes périmétriques d'une pièce et ses diagonales, rendent possible le calcul des angles, donc les orientations des parois, leur parallélisme ou leur orthogonalité éventuelle. La redondance de deux diagonales contrôle le bien-fondé des résultats¹⁸² mais, dans le cas d'une opération menée par trilatération, il serait illusoire d'imaginer, par cette procédure, améliorer la précision du relevé. Les résultats les plus probants, c'est-à-dire ceux qui confirment ou infirment une hypothèse, reposent évidemment sur des mesures indépendantes. La nature de l'édifice joue dans ces calculs un rôle important : il est inutile de faire cette démarche si les angles sont mal définis, si l'appareil est grossier ou si les parois sont recouvertes de lambris.

Les formules sont celles utilisées lors de la résolution d'un triangle quelconque ABC connaissant ses trois côtés a, b, c.

On pose :

$$P = \frac{a + b + c}{2}$$

puis¹⁸³

$$r = \frac{(P - a)(P - b)(P - c)}{P}$$

On obtient :

$$\operatorname{tg} \frac{A}{2} = \frac{r}{P - a}$$

$$\operatorname{tg} \frac{B}{2} = \frac{r}{P - b} \dots$$

Lorsque l'on recherche un seul angle, il est plus rapide d'appliquer :

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$$

$$\cos B = \frac{c^2 + a^2 - b^2}{2ca} \dots$$

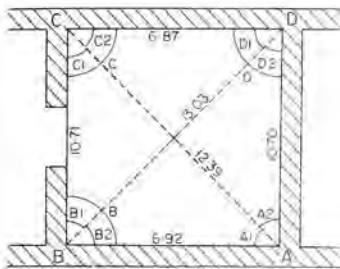
La surface S du triangle est donnée par l'expression :

$$S = \frac{Pr}{\sqrt{(P - a)(P - b)(P - c)}}$$

et c'est par son intermédiaire qu'il est possible de calculer le rayon R d'un cercle sur lequel on a relevé 3 points ABC :

$$R = \frac{a b c}{4 S}$$

A titre d'exemple, effectuons les calculs sur une travée quadrilatère ABCD que découpe, en 4 triangles ABC, BCD, CDA, DAB, les deux diagonales ; les opérations menées sur calculatrice livrent les résultats ci-après :



P	Triangles			
	ABC	BCD	CDA	DAB
P	15,01	15,305	14,98	15,325
r	2,46 416	2,40 027	2,44 978	2,41 277
Angles aux Sommets (en grades)	A ₁ = 66,256 B = 96,098 C ₁ = 37,645	B ₁ = 35,298 C = 103,411 D ₁ = 61,291	C ₂ = 66,191 D = 96,458 A ₂ = 37,351	D ₂ = 35,593 A = 103,184 B ₂ = 61,222
Somme	199,999	200,000	200,000	199,999

Les éléments étant redondants (une diagonale de contrôle), il est possible de vérifier la valeur des angles¹⁸⁴ :

$$\begin{aligned} A &= A_1 + A_2 = 103,184 \text{ pour } 103,607 (\delta = 0,423) \\ B &= B_1 + B_2 = 96,098 \text{ pour } 96,520 (\delta = 0,422) \\ C &= C_1 + C_2 = 103,411 \text{ pour } 103,836 (\delta = 0,425) \\ D &= D_1 + D_2 = 96,458 \text{ pour } 96,884 (\delta = 0,426) \end{aligned}$$

Ces écarts relativement importants constatent l'imperfection relative dans la mesure de chaque distance (environ $\pm 1,5$ cm); en effectuant la moyenne des déterminations, on obtient :

$$A = 103,4 ; B = 96,3 ; C = 103,6 ; D = 96,7 ; \text{ et } A + B + C + D = 400^G_{185}$$

Les écarts avec l'angle droit mais les valeurs voisines des angles comme des côtés opposés indiquent probablement ici une mauvaise implantation de la travée qui est venue s'appuyer sur une partie de bâtiment déjà construite.

Lorsque le relevé le permet,¹⁸⁶ il est toujours plus exact de calculer en coordonnées les éléments : les calculs de gisements (cf. Fiche 2) offrent alors une meilleure garantie pour juger de l'orientation similaire de parois.

La détermination du rayon d'un arc ou celle, en plan d'une abside circulaire¹⁸⁷ s'effectue de la même façon ; trois ou quatre points sont fixés sur la courbe entre lesquels on mesure les cordes¹⁸⁸ ; le procédé a ses dangers car il risque de théoriser une courbe que la vétusté a déformée.

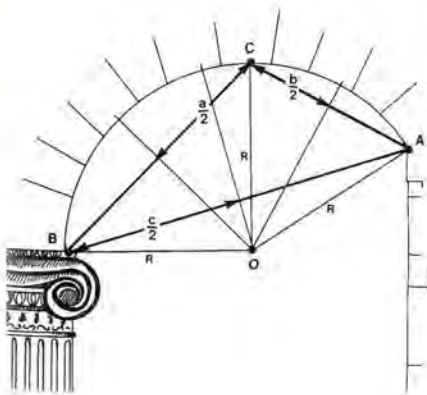
Prenons un exemple avec cinq cordes mesurées entre 4 points :

$$P = \frac{(0,48 + 0,78 + 1,02)}{2} = 1,14 \rightarrow r = 0,158 \rightarrow S = 0,180 \rightarrow R = 0,53$$

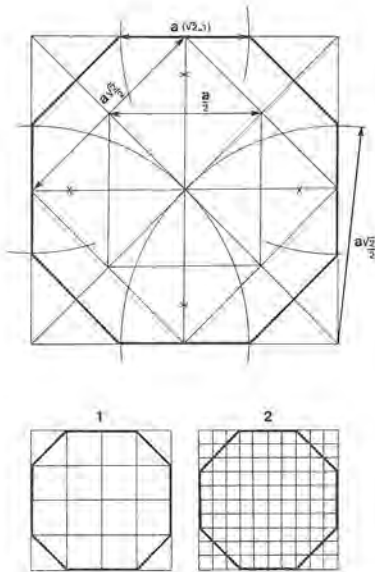
$$P = \frac{(0,51 + 0,75 + 1,02)}{2} = 1,14 \rightarrow r = 0,161 \rightarrow S = 0,183 \rightarrow R = 0,53$$

La photogrammétrie, en multipliant les points saisis sur l'arc, offre de calculer l'équation réelle de la forme (cf. 9.1.2.) ainsi que les écarts.

Notamment, pour la détermination des proportions et modules, l'abondance des mesures obtenues sur les clichés mais également le fait de pouvoir aisément



mesurer plusieurs fois des éléments répétitifs, donnent aux résultats des calculs une sorte de contrôle statistique : par exemple, le diamètre de la colonne, la hauteur de son fût, et des différents membres de l'ordre seront pris plusieurs fois assurant à la fois le contrôle des mesures et le calcul de leurs précisions mais aussi le contrôle et la compensation éventuelle des écarts inévitables liés au processus même de la construction.¹⁸⁹



La duplication du carré et le tracé de l'octogone : construction régulière et constructions approchées à partir d'un quadrillage.

9.1.2. Constructions géométriques élémentaires

Parce qu'elles interviennent fréquemment dans l'implantation d'un bâtiment, il y a lieu de ne pas ignorer un certain nombre de constructions géométriques élémentaires.¹⁹⁰ Cette connaissance orientera les calculs mais aussi l'interprétation des résultats.

S'il est aujourd'hui facile d'implanter, avec les instruments modernes, n'importe quelle forme et avec une précision de quelques millimètres, il en était tout différemment il y a seulement un ou deux siècles ; les implantations devaient s'en tenir à des moyens simples qui se résument bien souvent à des piquets, un cordeau et un fil à plomb ; aussi, il est probable qu'à choisir entre deux tracés directeurs, c'est celui le plus simple qui a toute garantie d'être vraisemblable.

Nous ne citerons à titre d'exemple que la duplication du carré car cette construction d'une grande simplicité est universelle et apparaît à toutes les époques.¹⁹¹ Le point de départ est un carré dont on partage en deux les côtés de longueurs a ; en joignant les milieux, on obtient un carré dont le côté est égal à la moitié de la diagonale du carré original, c'est-à-dire $a\sqrt{2}/2$ (et sa surface en est la moitié).

En poursuivant la division,¹⁹² on obtient un carré dont les côtés sont moitié du premier, ... Outre la fabrication de cette série,¹⁹³ des tracés, on déduit facilement l'octogone et d'autres formes assemblant carrés et octogones.¹⁹⁴

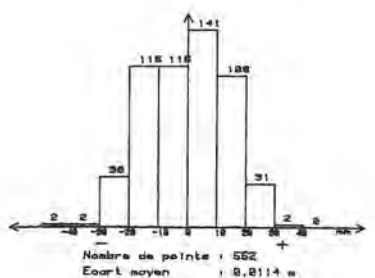
9.1.3. Calcul de modèles mathématiques

Les calculs sont fondés sur des données nombreuses se rapportant à la définition d'une forme architecturale : élément linéaire comme un arc ou élément surfacique comme le nu d'un mur ou l'intrados d'un voûtain. Ces données surabondantes¹⁹⁵ confrontées à un programme de calcul vont définir la "meilleure forme" mathématique, c'est-à-dire celle qui passe au plus près de tous les points et qui donc minimise les écarts à la forme architecturale effective.¹⁹⁶

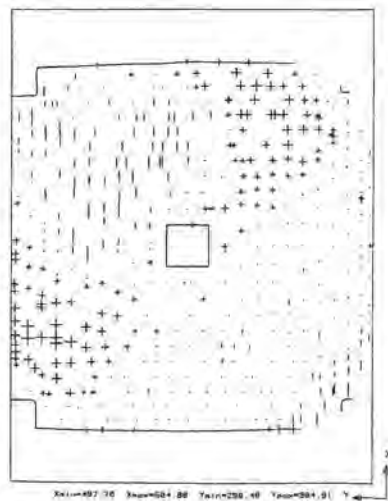
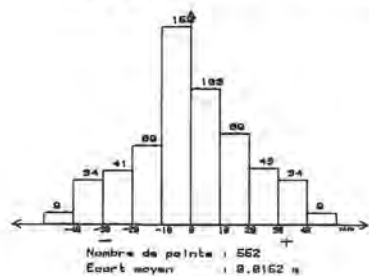
Cet ensemble de mesures spatiales pourrait en théorie être saisi par des méthodes topométriques classiques¹⁹⁷ mais actuellement il est évident que la photogrammétrie permet de l'obtenir au meilleur coût et toujours avec une excellente précision.

L'analyse photogrammétrique, non seulement va faciliter le mesurage mais présente en fichiers pré-organisés des familles de points que l'opérateur réunit en visualisant directement le volume architectural. Ces fichiers de lignes ou de surfaces reflètent donc immédiatement des choix raisonnés mais dont l'a priori peut être remis en cause lors des phases ultérieures de calcul : tel fichier correspondant à un arc, à un voûtain, fera l'objet d'une division en deux ou plusieurs sous-fichiers épousant ou reflétant des infléchissements de la forme tandis que tels autres fichiers seront réunis.

Durant cette phase, l'objet architectural va être confronté à une théorie géométrique qui veut refléter sa conception même ; à partir d'axes multiples, le plus souvent horizontaux ou verticaux, s'organisent et s'assemblent des plans — les



Centre de la sphère :
 X0=53,254 Y0=302,214 Z0=102,468
 Rayon : R=3,737



Valence (26), édicule funéraire de Nicolas Mistral, relevé photogrammétrique de la "voûte en pendentif de Valence." Modèle mathématique de la voûte : calculs des équations, répartitions des écarts, représentation de ces écarts en plan, et visualisation graphique en plan et isométrie du fichier numérique.

murs, les sols, ... — et des surfaces plus ou moins complexes, cylindres — absides, voûtes en plein cintre, d'arêtes, en arcs de cloîtres, ... —, sphères, ellipsoïdes —, coupoles, dômes, ... —. La construction même, les constructions hétérogènes¹⁹⁸ et la vétusté vont déformer la perfection prévue de ce modèle dont la photogrammétrie constate l'état en numérisant le stéréomodèle.

Celui-ci, fichier par fichier, va être confronté à des relations générales — coniques, quadriques par exemple — qui constituent une proposition formelle préliminaire. Un système d'équations — aussi nombreuses qu'il y a de points — est résolu par linéarisation et minimisation des écarts par les moindres carrés pour calculer les paramètres de l'équation formelle la plus convaincante. On passe ainsi par exemple de l'équation générale des quadriques :

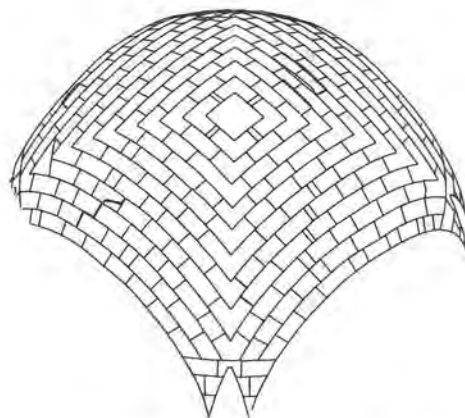
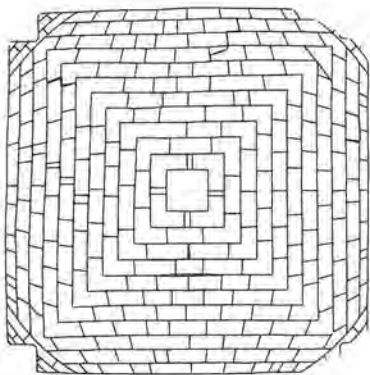
$$f(x, y, z) = ax^2 + a'y^2 + a''z^2 + 2byz + 2b'zx + 2b''xy + 2cx + 2c'y + 2c''z + d = 0$$

à l'équation particulière d'un ellipsoïde rapporté à ses axes

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} - 1 = 0$$

pour lequel le centre est également défini (X₀, Y₀, Z₀).

L'ordinateur s'avère évidemment nécessaire pour effectuer les différentes phases de traitement qui aboutissent à l'affichage de l'équation avec ses paramètres : pour rester dans le même exemple, centre de l'ellipsoïde, longueur et orientation des axes et surtout valeurs des écarts entre le stéréo-modèle architectural et le modèle mathématique, calcul de l'écart moyen, ...



Après examen des paramètres et comparaison éventuelle avec des formes voisines, le calcul peut être réitéré et dirigé vers une forme architecturalement plus convaincante ; par exemple, l'hyperboloïde obtenue automatiquement est remplacée par la sphère ou encore à partir des premiers calculs définissant les cylindres générateurs d'une voûte d'arêtes on tente de trouver les paramètres voisins qui donneront un même axe pour les voûtains opposés deux à deux, ...

L'étude de répartition des écarts et de leur valeur sur des représentations en plan ou en coupe conduit à ausculter très finement les déformations de la structure architecturale¹⁹⁹ ; le système de calcul apporte là des informations très convaincantes dans le suivi sanitaire d'un édifice.

La résolution d'éléments voisins, constituant une structure particulière, livre des résultats dont l'interprétation donne bien souvent la clé de la conception même de l'ouvrage ; par exemple, dans une voûte nervurée, les centres des cercles assimilables aux différents arcs sont situés dans un même plan horizontal (c'est-à-

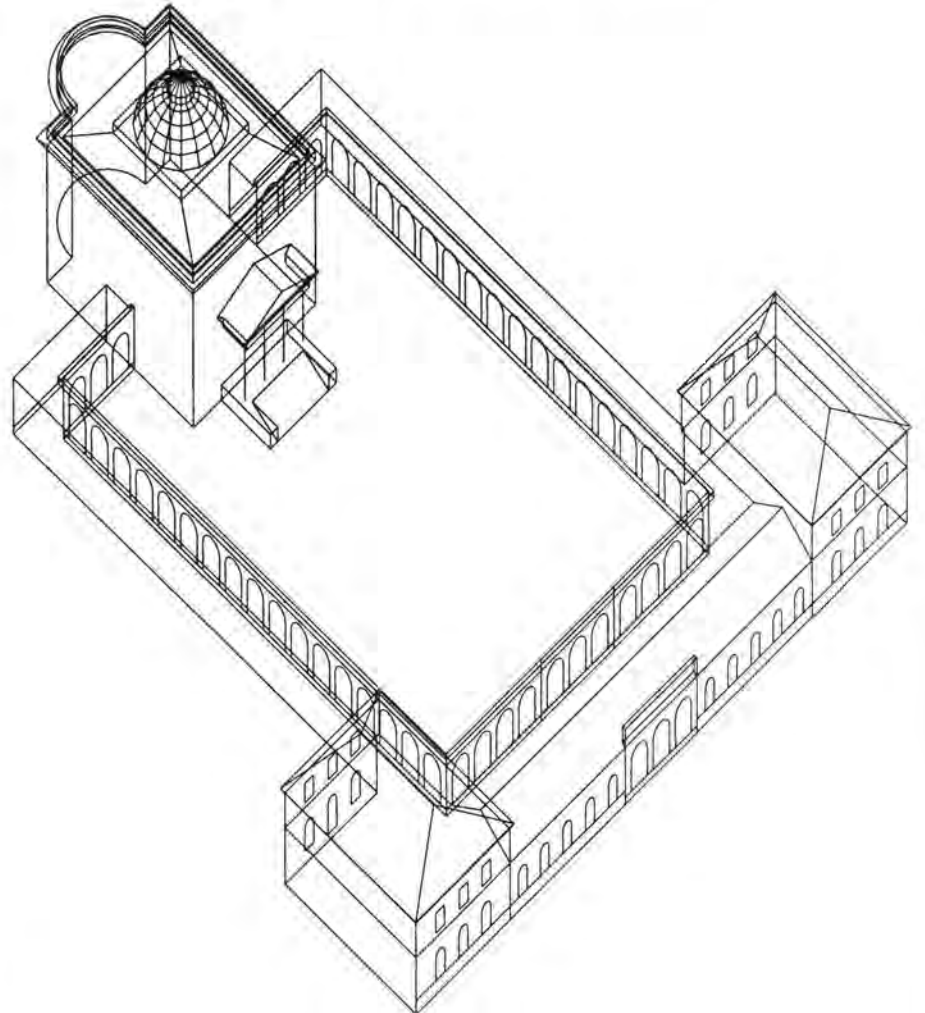
dire qu'ils sont à des altitudes voisines) et s'y organisent selon un schéma logique ; les rayons des arcs ogives, des arcs doubleaux, des arcs formerets sont respectivement proches et reflètent des multiples d'un même module. Il s'agit donc ici d'informations qui éclairent l'histoire même de l'architecture en remontant jusqu'au moment de la progettazione du bâtiment.

Les logiciels de modélisation mathématique sont des outils complexes et peu répandus car liés en aval à des machines photogrammétriques ; ils ne s'intègrent que dans les ateliers, peu nombreux, consacrés à l'architecture.²⁰⁰

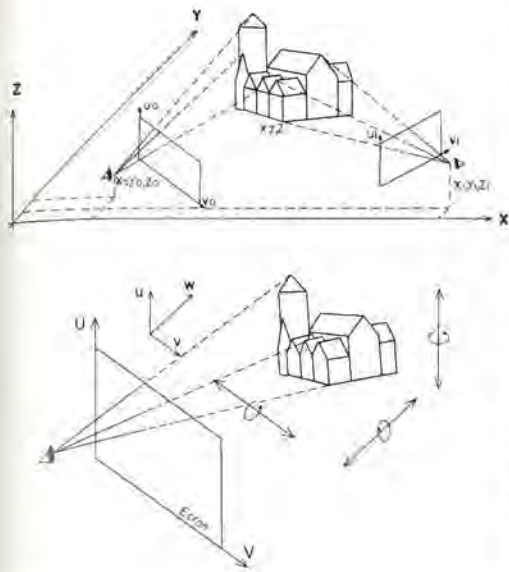
9.2. L'image ordinateur

L'ordinateur devient de plus en plus un outil indispensable pour la fabrication d'images d'architecture ; dans le cadre du relevé, il gère notamment les fichiers issus de la photogrammétrie pour les afficher sur écran ou les faire dessiner sur table traçante.

L'intérêt n'est pas dans le résultat lui-même qui pourrait, la plupart du temps, être produit par un bon dessinateur mais dans la rapidité d'une exécution qui exclut toute erreur de représentation et qui autorise la répétition en faisant varier subtilement les paramètres.²⁰¹



Rosny-sur-Seine (78), hospice Saint-Charles, relevé photogrammétrique, sortie automatique en projection axonométrique.



Schémas des systèmes de projection dans l'ordinateur : rotations du tableau ou de l'objet.

Les logiciels les plus élémentaires travaillent avec des fichiers bi-dimensionnels ; c'est le cas de certains programmes topographiques ou de cartographie automatique qui dessinent dans un plan le fichier : l'écran ou la table traçante est assimilé au plan XY du fichier. Les seules modifications portent sur l'échelle de représentation (avec variation d'anamorphose éventuellement), la rotation de l'image par rapport au bord de la feuille²⁰² ; le fichier le plus simple comporte pour chaque point un des deux identifiants numériques nécessaires au travail graphique le plus élémentaire : poser le crayon sur le point — 1 —, soulever le crayon — 2 —²⁰³

Le premier point d'une ligne comporte le code 1 : le crayon de la table traçante s'y pose, dans cette position abaissée, le crayon va tracer jusqu'au point suivant — code 1 —, ... jusqu'au dernier point de la ligne — code 2 — où le crayon se relève ; dans cette position relevée — donc sans tracer —, il va au premier point de la ligne suivante où le code 1 abaisse le crayon.

Avec les fichiers spatiaux, tous les systèmes de projection sont possibles mais la plupart des logiciels ne prévoient pas les projections affines non orthogonales au tableau (cf. 7.2.).

L'objet est défini par un fichier organisant des liaisons graphiques entre des points connus — c'est-à-dire relevés — en coordonnées tridimensionnelles ; le passage de ce fichier spatial (X, Y, Z) au fichier bi-dimensionnel (U, V) de la feuille de papier ou de l'écran s'effectue en choisissant la projection choisie (perspective, géométral X Y, géométral X Z, ..., axonométrie orthogonale, ...) et en introduisant les paramètres. Par exemple, pour une perspective : position du centre de perspective — l'œil de l'observateur —, orientation du tableau ou du rayon principal, distance du centre de perspective au tableau — taille de la représentation —. Il faut éviter les logiciels qui font tourner et déplacer l'objet par rapport à l'observateur fixe — l'observateur de l'écran — car les coordonnées de l'objet sont alors transformées dans le système écran et l'espace naturel disparaît — donc la possibilité directement de connaître la position de l'observateur dans l'environnement réel de l'objet, carrefour de rues par exemple —.

L'organisation du fichier est fondamentale ; dans les cas les plus fréquents, l'objet est saisi par des points entre lesquels sont prévues des interpolations linéaires ; le rendu de l'objet s'effectue ainsi par ses arêtes et il est appelé filaire ou "en fil de fer." Cette structure laisse à l'observateur le soin de décider ce qui se passe entre les lignes : chaque côté de cette ligne est-il de même nature ? ... Les possibilités graphiques sont limitées puisqu'il est impossible d'obtenir une vision supprimant les parties cachées²⁰⁴ ou ombrant ou coloriant les zones délimitées (infra 9.3.2.).

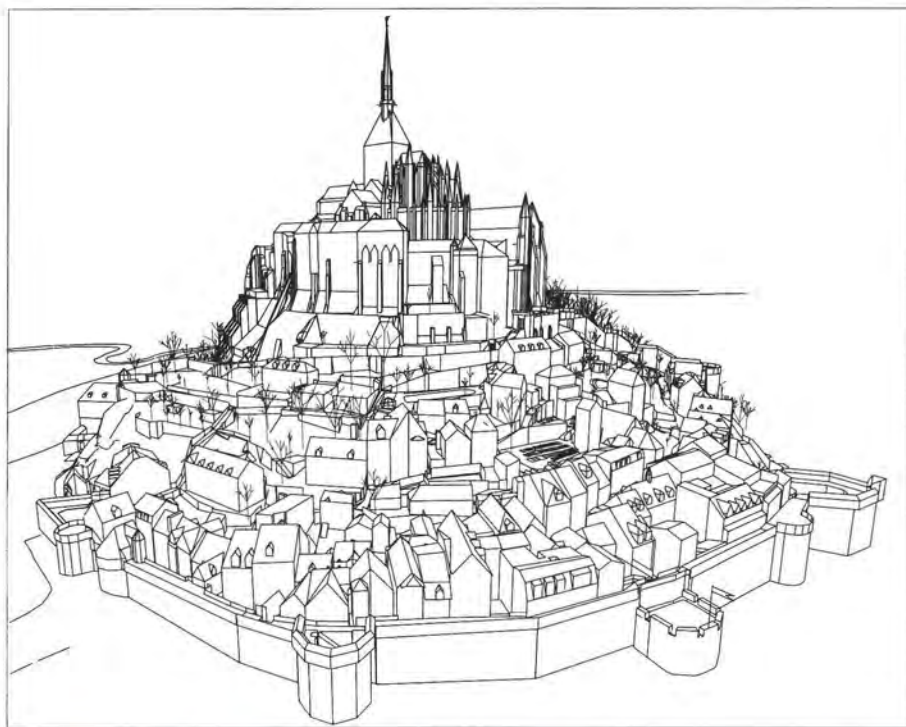
9.3. Maquette et image de synthèse

9.3.1. La maquette

La maquette est probablement un des moyens les plus anciens de décrire et de montrer l'architecture mais Vitruve ne la considère que comme un produit de l'habileté manuelle nettement distinct des trois figures — ichnographie, orthographie et scaenographie —, seules adaptées à représenter l'architecture et à assurer le passage de la conception — de la progettazione — à la construction.

La compréhension de la maquette ne requiert pas les particulières capacités d'abstraction qu'exigent les dessins en plan ou en coupe ; le modèle donne à voir "comme ça sera" et se révèle évidemment l'outil privilégié pour montrer à des non-initiés l'architecture.

Si l'on peut s'interroger avant la fin du XIV^e siècle — faute d'éléments probants²⁰⁵ — sur un usage de la maquette comme document opératoire des chantiers, il apparaît que la Renaissance la voit jouer un rôle éminent pour convaincre le roi, l'évêque ou les édiles municipaux de la qualité du projet. Au milieu du XVI^e siècle,



Le Mont-Saint-Michel (50), maquette numérique réalisée par l'IGN à partir de photogrammétrie (système Trapu).



Strasbourg (67), plan-relief de la ville (ca. 1830-1836). Musée des plans-reliefs, Paris.



Page suivante :

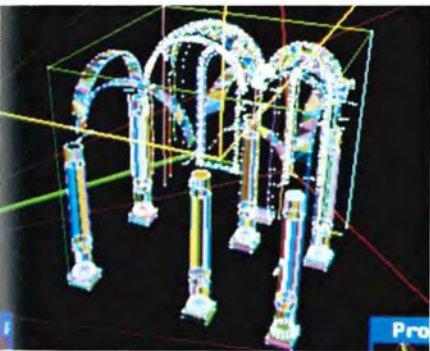
- 1. Le Grand-Pressigny (37), château, maquette chronologique de synthèse.*
- 2. Cahors (46), demeure, maquette de synthèse (relevé par photogrammétrie).*
- 3. et 6. Nancy (54), église Saint-Sébastien, face antérieure et système de voûtement, images de synthèse (relevé par photogrammétrie).*
- 4. et 5. Maquettes de synthèse de voûtes d'arêtes sur voûtains cylindriques (4), et sur voûtains sphériques (5). Images obtenues par théorisation de relevés photogrammétriques.*
- 7. Rome, Villa Médicis, maquette de synthèse à partir des relevés photogrammétriques (Mac Guff Ligne).*



1



2



3



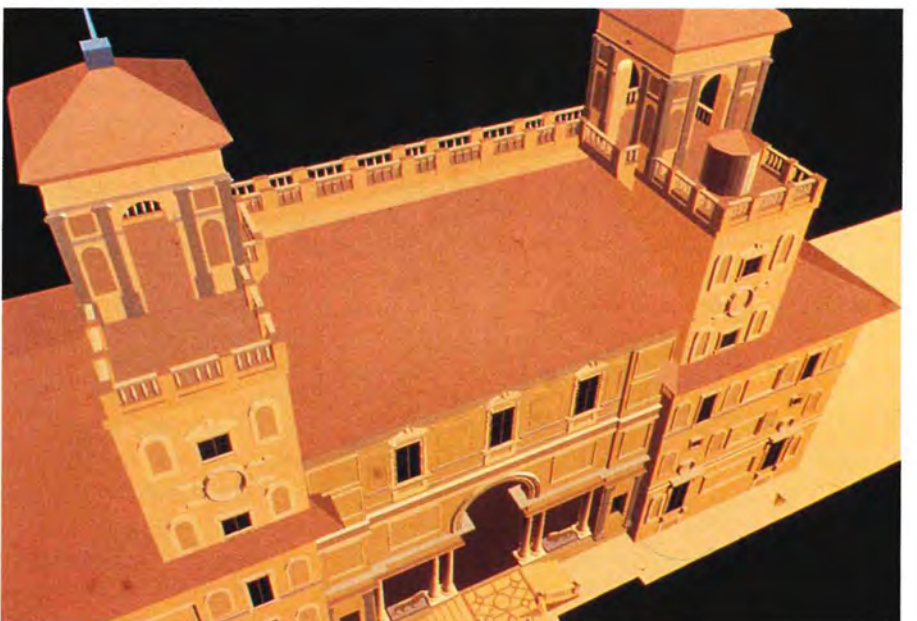
4



5



6



7



Philibert Delorme, à la suite d'Alberti, revient, dans son traité, de multiples fois sur les modèles et notamment leur consacre tout le chapitre XI du livre I²⁰⁶ ; grâce au modèle "il sera facile à tous bons esprits qui ont sain jugement, de cognoistre si vostre entreprinse est raisonnable ou non & si elle est telle que vous la désirez, & bien commode pour les choses nécessaires à vostre bastiment, & si les ornements y sont bien décents & à propos"

Pour Philibert Delorme, la maquette sert à montrer "si l'architecte est capable & suffisant de conduire une grande œuvre" mais c'est aussi un outil qui permet d'apprécier la dépense, d'estimer la quantité de matériaux qui seront nécessaires et de tester finalement la faisabilité d'un projet. Il est évident que pour l'historien de l'architecture, la maquette se révèle un document incomparable qui rend compte de l'équilibre des masses et des structures et facilite la compréhension de restitutions et d'hypothèses archéologiques tout en les vérifiant.

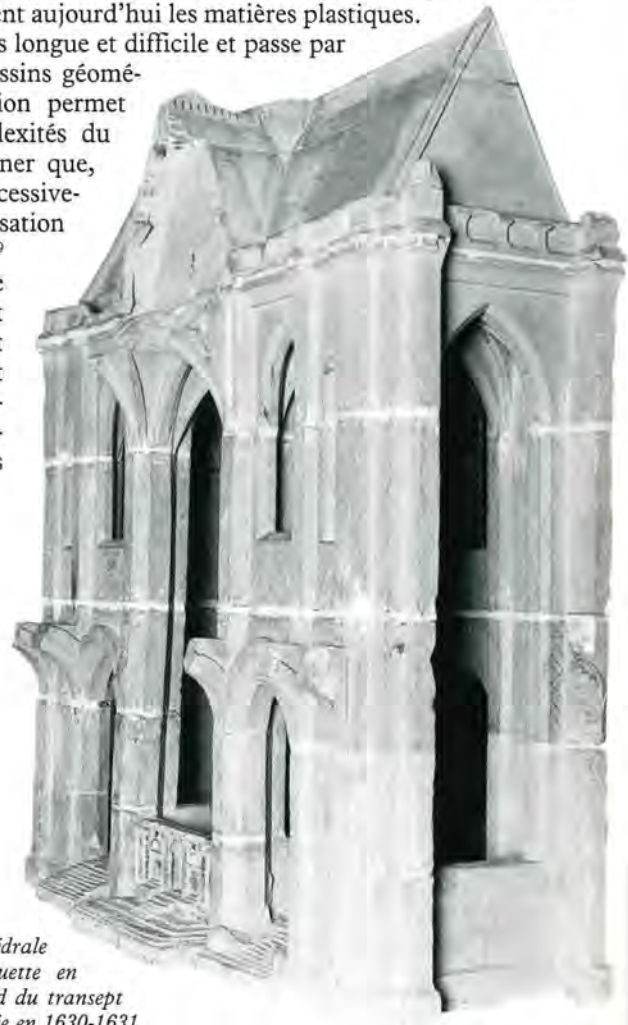
Document pédagogique par excellence, le modèle, moins encore que le dessin n'accepte le code, il veut être la représentation exhaustive mais ne peut y parvenir ; l'observateur reste Gulliver devant un rendu forcément simplifié qui limite la lecture.

La fabrication de la maquette, par les moyens traditionnels, passe par des matériaux aussi divers que le bois, le papier, le carton, la cire, le plâtre pour les représentations anciennes,²⁰⁷ auxquels s'ajoutent aujourd'hui les matières plastiques.

La mise en œuvre est toujours longue et difficile et passe par

l'utilisation obligatoire de dessins géométriques²⁰⁸ dont la multiplication permet seule de dominer les complexités du volume. Il est facile d'imaginer que, sauf pour des bâtiments excessivement simples, cette modélisation passe par une généralisation.²⁰⁹

Dans le cas où la maquette vise à restituer un état existant et non des éléments restés à l'état de projet ou détruits, l'effet spatial peut être ponctuellement²¹⁰ obtenu par l'intermédiaire de photographies stéréoscopiques.²¹¹



*Tracy-le-Val (60),
église Saint-Eloi,
maquette de carton
collé, 1968.*

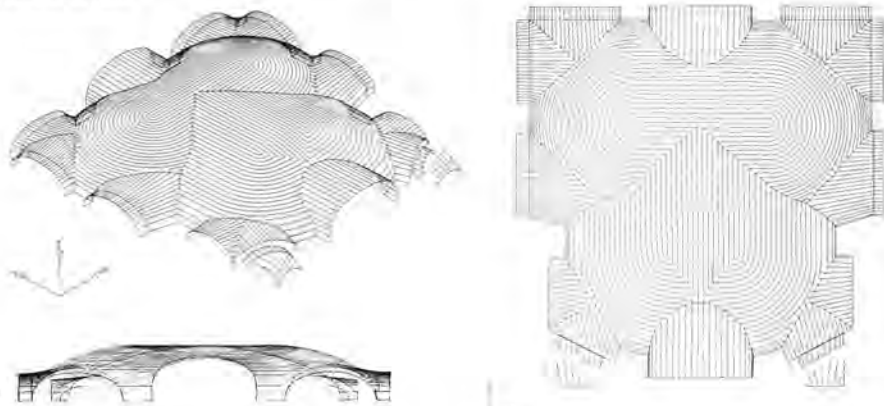
*Nantes (44), cathédrale
Saint-Pierre, maquette en
tuffeau du bras sud du transept
et du chœur, réalisée en 1630-1631.*

9.3.2. Modèles numériques filaires et surfaciques ; images de synthèse

Là encore, la photogrammétrie va permettre de renouveler ce mode de représentation. A partir des clichés photogrammétriques analysés dans un seul système de référence tridimensionnel, l'opérateur élabore une banque de données numériques qui décrivent l'édifice ; celui-ci est saisi ligne par ligne, détail par détail, et l'ensemble est structuré en codant chaque élément de manière hiérarchique.

Le résultat est une organisation arborescente qui permet, par exemple, de distinguer les lignes de structure du bâtiment, de celles qui correspondent à l'appareil ou à son décor et d'appeler dans la famille des baies, celles qui ont un couverture en plate-bande ou en plein-cintre.

Cette banque de données constitue dès à présent une maquette numérique visualisable, en continu,²¹² sur l'écran ; il s'agit d'une maquette filaire, c'est-à-dire qui décrit l'objet par ses arêtes et le détail de ses lignes : les surfaces ne sont pas prises en compte, c'est le cerveau de l'observateur qui les fixe et les définit dans l'espace, à l'intérieur du périmètre de la ligne. Il n'y a pas essentiellement de différence avec les représentations planes traditionnelles si ce n'est la possibilité fondamentale de les obtenir toutes, aussi bien les géométriques que les perspectives.²¹³



Arles (13), hôtel de ville, voûte du vestibule, maquette filaire, sorties sur la table traçante du fichier photogrammétrique (isométrie, coupe et plan).



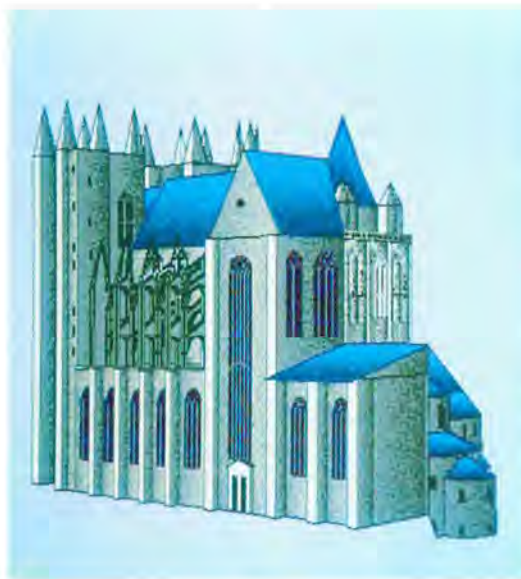
Nantes (44), cathédrale Saint-Pierre, tombeau du Duc François II, statue de la Foi, relevé photogrammétrique, sortie automatique du modèle numérique restituant le visage de la statue.

Mais la photogrammétrie permet d'appréhender non seulement les lignes de l'édifice mais ses surfaces mêmes et nous allons pouvoir passer à une représentation où l'objet est désigné par ses surfaces.

C'est déjà le cas avec les traitements en courbes de niveau — ou en courbes d'égale profondeur — qui découpent l'objet au modelé continu (voûte ou sculpture) par des plans équidistants dont l'empilement simule le modelé.²¹⁴ Avec les appareils analogiques, les courbes étaient suivies les unes après les autres, l'opérateur collant à l'épiderme à une profondeur fixée ; avec les appareils analytiques, il suffit de collecter des points sur la surface à définir et des logiciels traiteront cette masse de données l'organisant en une grille régulière dont la finesse des mailles — triangle ou quadrilatère — reflètera la complexité du modelé en calculant par interpolation les lignes de niveau. Cette grille donne déjà directement une certaine lecture de la surface et du volume que l'on va pouvoir améliorer ; chaque figure reçoit des attributs — couleur, texture, ... — que l'ordinateur désormais affiche, offrant ainsi une image surfacique de l'objet numérisé.

Cette factetisation peut également être réalisée, par des traitements semi-automatiques, sur les parois de l'architecture. Le bâtiment ainsi numérisé constitue alors une véritable maquette autour de laquelle l'observateur peut tourner, dont il peut s'approcher ou s'éloigner.

Nantes (44), cathédrale Saint-Pierre, maquette de synthèse (P. Giraud).



Mais, plus remarquable encore, chaque élément constituant — la facette — peut être qualifié non seulement, comme on l'a vu, par des attributs de représentation mais par des informations de natures diverses : matériaux, chronologie, plasticité, résistance, ...

Nous nous trouvons ainsi devant ce que les urbanistes appellent une banque de données localisées qui répondra aux sollicitations des logiciels les plus divers.

Inscrite dans la filiation directe des produits photogrammétriques, cette représentation respecte l'image effective de l'édifice²¹⁵ et il semble crédible d'imaginer qu'elle pourrait, pour l'architecte, servir de base à des "simulations" éclairant les efforts de traction ou de résistance aux poussées et surcharges. Dès à présent, cette maquette de synthèse constitue d'abord une mémoire spatiale de l'édifice qui facilite l'enregistrement localisé d'informations techniques (nature des matériaux, état sanitaire, interventions, ...), d'informations historiques (campagnes de construction, datations relatives ou absolues, ...). A cette maquette-constat, peuvent se substituer, pour tout ou partie, des fichiers qui expriment un projet de restauration, les états successifs de la construction ou des hypothèses et restitutions archéologiques.

Le recours à des stations-images disposant de larges capacités de mémoire vive, d'écrans à haute définition, d'un large spectre coloré (16 millions de couleurs affichables !) ... autorise des visualisations très séduisantes et réalistes par le recours conjoint à des logiciels sophistiqués.²¹⁶ Vue en perspective, de points de vue spatialement définis, présentée en géométral ou en axonométrie, la maquette s'offre au regard de l'observateur à la taille qu'il désire²¹⁷ ; en jouant sur l'éclairage — les ombres, les reflets, les miroitements, ... —, sur les teintes, sur les textures, le réalisme devient total mais l'observateur peut aussi interroger les arguments du modèle et faire apparaître différemment colorés chaque matériau ou les campagnes chronologiques, ... Représentation spectaculaire, la maquette de synthèse se révèle ainsi, à la fois pour l'architecte restaurateur qui peut simuler l'effet de ses travaux, ou pour l'historien qui veut tester ses hypothèses, un outil convaincant mais c'est surtout — comme la maquette de cire ou de papier mâché — un moyen pédagogique de premier ordre pour convaincre de la qualité des travaux, pour expliquer les techniques de construction et les principes théoriques, pour enseigner l'histoire de l'édifice ou de l'architecture ou, plus simplement pour présenter une information touristique de haut niveau.



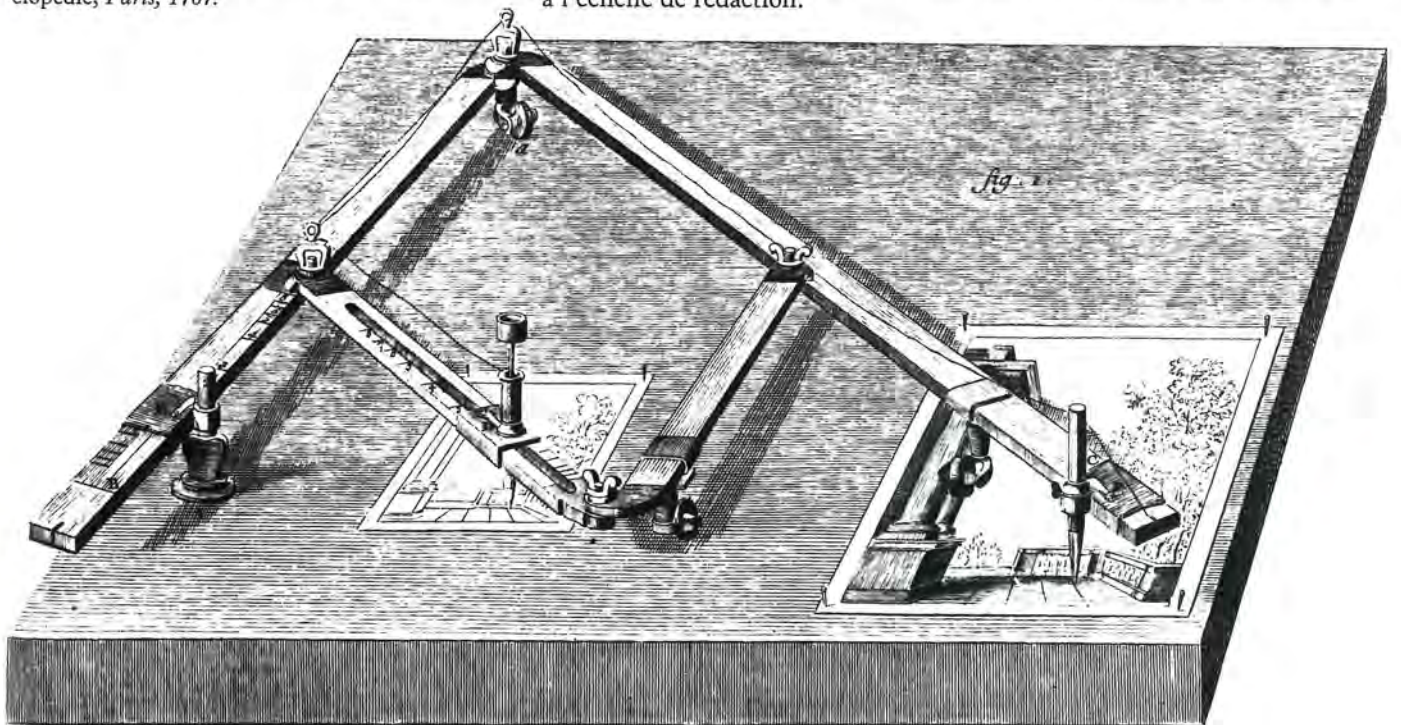
Maquette par Viollet-le-Duc de Notre-Dame-de-Paris, ca. 1843. Centre de recherches sur les Monuments historiques.

10. Reproduction et archivage

Loin d'être négligeables, les opérations de reproduction et d'archivage sont fondamentales ; elles conditionnent toujours l'utilisation immédiate du relevé mais elles doivent de surcroît, quand le relevé s'inscrit dans une vocation documentaire, constituer des paramètres dont il est tenu compte dès le début des opérations de terrain.

Dans le cas de centres de documentation, la sauvegarde des originaux conduit à rendre accessible les documents graphiques par l'intermédiaire de banques d'images qui en limitent la manipulation. Pour n'en pas restreindre les possibilités techniques, ces banques d'images devraient pouvoir dispenser des copies fidèles à l'échelle de rédaction.

La démultiplication au pantographe, Encyclopédie, Paris, 1767.



10.1. La reproduction

Le contrôle des processus de reproduction du document établi à partir du relevé, est fondamental car il assure la garantie d'un bon usage à travers la conservation de la lisibilité de l'original et de ses propriétés métriques et formelles.

Nous considérons que cet original, la minute,²¹⁸ a été établi de manière logique, c'est-à-dire notamment que la stabilité du support est en rapport avec la précision du relevé (cf. 7.3.); l'image se présente donc en positif sur papier ou calque stable²¹⁹ ou en négatif sur couche à graver. Sa reproduction par ailleurs est prévue à l'échelle de l'original ou en réduction (plus rarement en agrandissement) sur un support qui peut être plus ou moins stable.

La stabilité de la reproduction par rapport à l'original, c'est-à-dire sa conformité, est obtenue en s'assurant que le processus de duplication n'altère ni les dimensions ni les formes ni les rapports de tonalité (le noir donne du noir, les gammes de gris sont respectées, ...) mais également en réceptionnant l'image sur un support stable.

Le papier, le carton, le calque végétal, parce qu'ils sont hygroscopiques, subissent des déformations en général importantes et inégales selon que l'on considère le sens de fabrication (où l'allongement sera le plus faible) ou le sens perpendiculaire.²²⁰

Quel que soit le mode de reproduction, ces supports altèrent les qualités géométriques du duplicata mais celui-ci reste malgré tout un excellent moyen documentaire surtout si des "piges" (échelle graphique ou carroyage) renseignent sur les écarts dimensionnels.

Les méthodes de reproduction sont nombreuses et très différentes en fonction du nombre, de la qualité et de la dimension des épreuves désirées. Nous laisserons volontairement de côté, parce qu'ils ressortent de l'imprimerie, les procédés qui tirent de l'original, de multiples exemplaires, pour nous contenter de décrire les techniques qui visent à obtenir des reproductions peu nombreuses²²¹ et qui sont plus habituelles dans le cadre de nos travaux.

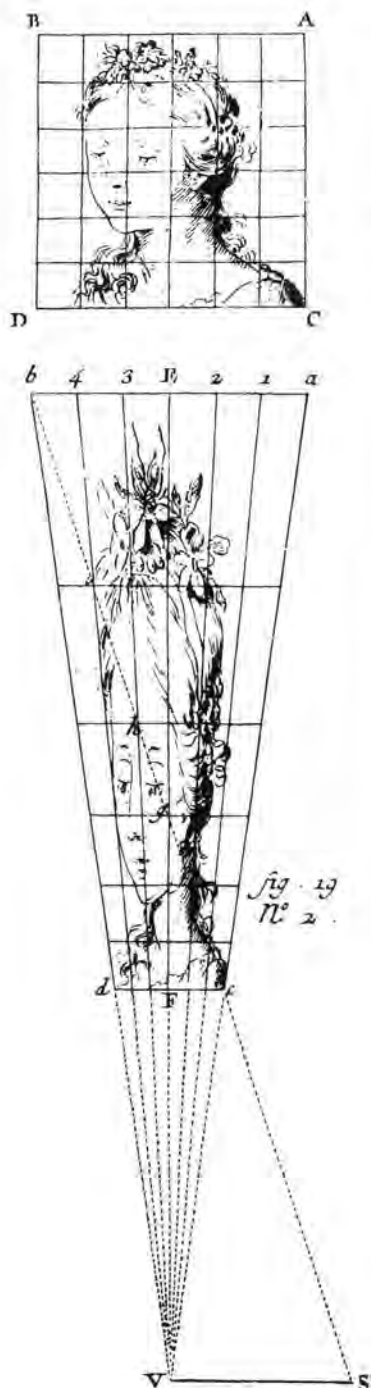
10.1.1. La reproduction dessinée

Bien qu'il puisse être considéré comme archaïque, il est utile de citer ce type de reproduction qui sera le seul praticable sur le terrain, en l'absence de "machines" mais qui présentera également de grands avantages lorsqu'il s'agira de sélectionner pour la reproduire une information partielle; enfin, dans le cas de documents opaques de grands formats, le calquage est bien souvent le moyen le moins onéreux pour obtenir un double correct.

Le calquage s'effectue soit en appliquant un support transparent sur le document à reproduire, qu'il soit lui-même opaque ou transparent, soit si le support de reproduction est opaque — papier, carte, ... — en travaillant à "la vitre" ou à la table lumineuse pour obtenir une image positive ou négative (couche à graver). Dans tous les cas, l'adhérence des deux supports doit être maximum et pour pouvoir le contrôler — notamment pour les grandes surfaces —, il est bon qu'ils soient quadrillés ou que le dessinateur effectue un premier repérage d'une série de points en fragmentant en zones le document à reproduire.²²²

La reproduction par piquetage, avec une aiguille, des points essentiels du dessin, outre qu'elle est longue et complexe,²²³ est à proscrire car elle détériore la minute.²²⁴

Le graticulage,²²⁵ c'est-à-dire l'utilisation d'une grille de carreaux réguliers ou irréguliers reportée sur les deux supports et qui servait surtout à réduire ou agrandir par homothétie des dessins ne serait plus qu'un moyen de fortune à éviter²²⁶ s'il n'était encore un excellent procédé pour compléter, à partir de photographies, des





Le pantographe.

dessins. Fréquemment utilisé pour reporter les détails d'une photographie aérienne sur un plan élémentaire,²²⁷ il peut de même servir à reproduire les éléments complexes d'une paroi plane. L'intérêt du procédé tient dans le fait que si l'on est capable de dessiner la grille²²⁸ sur les deux supports, les détails à dessiner seront dans les alvéoles respectives quelles que soient les orientations respectives des plans des supports et du plan de la paroi.

Utilisé comme système agrandisseur ou réducteur, le procédé est largement concurrencé par un instrument aussi simple d'emploi que le pantographe mais surtout par les procédés actuels de photocopie ou photographie.

10.1.2. La reproduction par photocopie

Le procédé est basé sur les propriétés de certains corps — les semi-conducteurs — qui ne laissent passer le courant électrique que lorsqu'ils sont éclairés. Le semi-conducteur utilisé, l'oxyde de zinc, se trouve soit incorporé à la feuille de papier pour les techniques les plus anciennes, soit déposé sur une forme pour les photocopieuses actuelles. La projection de l'image génère le phénomène électrostatique qui va retenir une poudre noire qui reconstitue en positif l'image et se trouve fixée définitivement sur la feuille de papier par cuisson.

L'avantage du procédé tient dans sa rapidité et sa facilité d'utilisation, dans la possibilité de reproduire des minutes aussi bien opaques que transparentes²²⁹ mais ses limites sont vite atteintes. Sauf quelques machines, le format des documents est en général à la dimension maximum A3 ; l'usage, pour la projection de l'image, d'objectifs de moyenne qualité, de miroirs s'il permet des réductions ou des agrandissements, n'assure pas une véritable conservation des propriétés géométriques de l'image qui sont également mises à mal par le processus lui-même et la surchauffe de la feuille de papier.

10.1.3. La reproduction héliographique

C'est la procédure la plus couramment employée pour la reproduction des "plans" sur support transparent.

Les papiers héliographiques reçoivent sur une face une émulsion sensible à la lumière.

Le papier au ferroprussiate remonte aux années 1850 ; une fois développée et fixée à l'eau, l'image, "le bleu," se présentait en négatif (traits blancs sur fond bleu) ; il est remplacé aujourd'hui par des papiers aux sels diazoïques dont le développement gazeux ou semi-liquide, en milieu alcalin, donne des images positives.

Le support transparent est appliqué, le dos sur la surface émulsionnée et l'insolation se fait habituellement par rotation autour d'un cylindre de verre éclairé de l'intérieur par des tubes fluorescents. La vitesse de déplacement est réglée en fonction de la transparence du support et de l'opacité des traits.²³⁰ Les machines actuelles comportent, incorporé, le système de développement²³¹ et utilisent des papiers ou des calques en rouleaux de 20 m sur des largeurs classiques de 0,75 m, 0,90 m et 1,10 m.

Malgré la diversité des supports proposés (calques, papiers, ...), ce procédé ne livre que des images dont la géométrie n'est pas conservée²³² ; l'image pourtant peut être de bonne qualité (notamment avec des papiers type "contraste") mais la stabilité est relativement faible ; par ailleurs, les fonds ont tendance à rapidement jaunir (surtout en cas d'exposition prolongée à la lumière).

Son coût faible fait du tirage héliographique le document de travail par excellence. Il faut noter que le procédé permet la reproduction de documents tramés (photographies par exemple).

10.1.4. La reproduction photographique

Actuellement la reproduction photographique est le seul procédé qui puisse assurer la conservation parfaite des propriétés géométriques et visuelles du document original.²³³

Il n'est pas dans notre propos de traiter de ces techniques qui sont plus du domaine du photographe et du photographeur que du dessinateur²³⁴ mais celui-ci doit savoir qu'il n'y a de bonne reproduction que d'un "bon dessin." Un trait régulier, d'épaisseur et d'opacité constantes, la propreté du support (absence de marques et taches diverses sur le calque et le papier, absence de poussière résiduelle des gravures sur la couche à graver) restent des éléments indispensables non seulement pour la qualité de la reproduction mais aussi pour son coût ; le photographe devra souvent multiplier les essais de pose, varier pour la même minute le temps de pose — en fonction des intensités — et même effectuer des retouches délicates — reprise de traits "mités," masquage de taches, ... —.

La reproduction la plus précise reste la reproduction à l'échelle de l'original dans un châssis pneumatique mais cela suppose une minute transparente positive — calque, film — ou négative — couche à graver, ... —. Le document est appliqué en chambre noire contre une surface émulsionnée (calque ou papier plastique stable) ; un compresseur assure la planéité et l'adhésion des deux supports. Après insolation, les opérations photographiques révèlent puis fixent l'image latente. La projection se faisant par contact, si le support est stable, l'image reproduite sera conforme en tous points à l'original.²³⁵ Cette technique est utilisée pour établir à partir des couches à graver le transfert des analyses photogrammétriques sur calque stable. Des châssis pneumatiques de grand format (jusqu'à 120 cm) sont une nécessité technique impérative.

La reproduction de documents opaques, la reproduction à une échelle différente de celle de l'original peuvent se faire à la chambre photographique mais il est plus aisé de recourir à un banc de reproduction qui respecte, ce qui est absolument nécessaire, le parallélisme des plans de la minute et de la reproduction²³⁶ et assure la précision de mise à l'échelle.

En dehors de la duplication de documents aux mêmes échelles, la photographie assure surtout la fabrication des reproductions pour l'édition (tirages papier ou films positifs) ; la photographie au moment de l'archivage du document graphique permet ultérieurement la réalisation des documents d'édition sans avoir à recourir à l'original. Une concertation avec l'éditeur — et/ou l'imprimeur — reste une nécessité pour fixer exactement les prescriptions techniques de livraison (images à l'échelle ou non de la maquette, films positifs envers ou endroit, ...).

10.1.5. La reproduction par scannérisation et caméras C.C.D.

Actuellement, la numérisation de plans déjà réalisés²³⁷ se heurte encore à de grosses difficultés de géométrie et de définition qui seront peu à peu résolues dans un avenir que l'on peut imaginer relativement proche.

Pour les dessins au trait (ne présentant pas d'aplats ni de trames), trois modes de transformation sont possibles :

- le mode vectoriel : l'image est numérisée ligne par ligne par saisie manuelle,
- le mode "bit-map" : le support de l'image est divisé en très petites surfaces, les pixels, qui sont analysées, automatiquement, les unes après les autres,²³⁸
- le mode texte : l'image est également divisée en pixels qui sont analysés puis traités par des logiciels de reconnaissance des formes qui organisent leur arrangement et reconstituent les lignes du dessin.



Le digitaliseur.

Le digitaliseur

Il s'agit d'une table qui forme un champ électro-magnétique et qui se trouve reliée à un ordinateur. Un curseur déplacé à la surface de la table transmet, point par point, sa position à l'ordinateur qui la mémorise ; l'opérateur s'il suit les lignes d'un dessin appliqué sur la table va ainsi recueillir la vectorisation de l'image.²³⁹

Des logiciels transforment les coordonnées u, v de la table dans le système de coordonnées réelles du dessin en assurant les calculs de changement d'orientation des axes, de translation des origines et de mise à l'échelle.

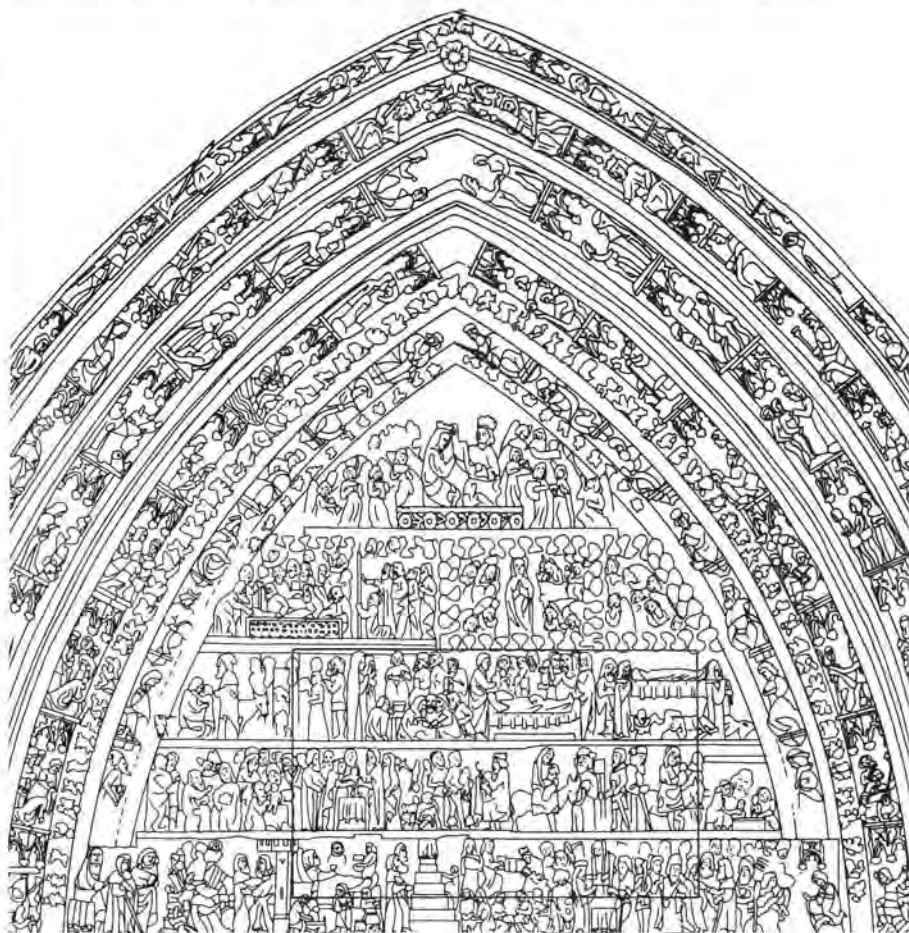
Une saisie méthodique évite d'oublier des détails et l'organisation des fichiers doit être préméditée et très stricte car chaque point, chaque ligne doit être identifiée ; des codes graphiques précisant la nature des jonctions entre points (épaisseur des traits, couleur et/ou nature des traits — continu, mixte, pointillé, double, ... —) complètent éventuellement l'information.

L'opération offre une grande précision²⁴⁰ mais présente l'inconvénient d'une certaine lenteur ; les fichiers sont immédiatement utilisables pour des reproductions sur table traçante ou peuvent servir à des exploitations sur ordinateur en vue de compléments ou traitements d'image (ajouts de couleurs par exemple).²⁴¹

Le scanner et la caméra C.C.D.

Pour l'un comme pour l'autre de ces appareils, le principe de base de l'analyse de l'image repose sur la mesure fine de la quantité de lumière réfléchiée par l'original, ou plus exactement, d'une série de petites zones découpées sur l'original.

Thann (68), collégiale Saint-Thiébaut, relevé photogrammétrique et détails reproduits par scannérisation à 300 dpi (échelles $\times 1$ et $\times 2$) et à 75 dpi.



Le document, éclairé par une source lumineuse d'intensité constante, fait l'objet de mesures, point par point, par des capteurs composés d'éléments photosensibles qui fournissent en sortie — vers la mémoire d'un ordinateur — un courant analogique proportionnel à la quantité de lumière reçue.

Ces capteurs dits C.C.D. (Charged coupled device) assemblés en barrette permettent des mesures de plus en plus rapprochées ; une barrette de 2592 capteurs confère déjà au scanner une résolution de 300 points par pouce (12 points par millimètre) et actuellement les fabricants s'acheminent vers des définitions de 600 ou même 1000 points au pouce (24 à 40 points au millimètre). Par ailleurs, la précision de ces capteurs repose également sur leur capacité à différencier deux valeurs colorées, deux valeurs de gris rapprochées par exemple ; en effet, ces capteurs travaillent aussi bien sur des documents monochromes au trait (dessin noir sur blanc) ou en demi-teinte (photographie en noir et blanc) que sur des documents polychromes (dessin ou photographie couleur).

Les besoins en mémoire varient évidemment beaucoup selon le type de document : pour 16 demi-teintes, chaque point est déjà codé sur 4 bits et pour 256 couleurs, il faut 8 bits.

Il existe actuellement deux catégories de scanners selon le mode de positionnement de l'original ; la première utilise un rouleau autour duquel est fixé le document et qui tourne devant la barrette du capteur, la seconde, plus précise et qui supprime petit à petit la première catégorie, comporte un plateau fixe sur lequel est posé le document et sous lequel se déplace le capteur.

Deux inconvénients sont actuellement à noter, les scanners n'acceptent que des documents minces — papier, calque, carte, ... — et de formats limités — fréquemment A4, parfois A3 —.

Avec le scanner, la matrice de pixels reste fixe et liée au format du support le plus grand que la machine accepte ; il en est autrement de la caméra C.C.D. qui fonctionne sur le même principe de capteur photosensible mais dont la matrice de pixels donnera une définition plus ou moins fine selon la taille plus ou moins petite du document à numériser. Le senseur de la caméra comporte — pour égaler la résolution des caméras à tube²⁴² — une matrice de 600 × 500 pixels qui devient très vite insuffisante lorsque le document est de grande taille ou présente une grande finesse de détails : on observe alors cet "effet d'escalier" dans la traduction des lignes qui pourra rendre inexploitable les résultats de numérisation.

Etat de la question

La numérisation ne concerne pas seulement les utilisateurs de graphiques ou d'images analogiques mais également l'industrie ou la bureautique confrontée à des problèmes de reconnaissance de formes ou de caractères et d'écriture. Aussi, il apparaît que ce secteur semble être une des technologies les plus rapides à évoluer. Non seulement les capacités en définition augmentent très vite mais également les logiciels se multiplient. Notamment, pour ce qui est du stockage des documents au trait, la taille des fichiers peut être dès à présent notablement réduite par l'utilisation d'algorithmes de compression de données.

La numérisation des documents graphiques, outre les possibilités qu'elle offre pour la reproduction et le traitement, garantit²⁴³ une sauvegarde de sécurité de la figure sans égale puisqu'elle ne subit aucune altération de vieillissement de l'image ou de déformation du support.

10.1.6. La reproduction de documents colorés

La reproduction de documents colorés n'est pas sans poser de multiples problèmes. Jusqu'à ces dernières années, la reproduction se faisait par des procédés d'imprimerie : une planche par couleur encrée après repérage. C'est le même principe



La décomposition des couleurs par méthode soustractive.

de calques multiples qui servait dans le cas du procédé dit Dorel ou tirage à la gélatine ; par tirage successif de chaque couleur (sans aplat) il était possible d'obtenir un tirage dont la précision de repérage des couleurs était, comme la géométrie de l'image elle-même, très relative.

La reproduction par photographie en couleur reste possible ; très coûteuse pour les grands formats, elle n'assure pas la conservation exacte des propriétés dimensionnelles de la minute.

En cas de reproduction pour l'édition de documents graphiques présentant des aplats de couleur, il est plus facile de livrer du document un tirage au trait et en noir et blanc puis, sur une photocopie, de surcharger les couleurs que l'on désire voir apparaître et qui seront traitées directement par l'imprimeur ; c'est le processus qu'il convient de suivre, notamment pour la réalisation de plans chronologiques.

Par scannérisation, la reproduction du document couleur ne pose pas de problème autre que celui de la taille des mémoires de stockage.

10.1.7. Les procédés anciens de reproduction

Pour mémoire et parce que nous nous trouvons journallement confrontés à ces documents, il est bon de résumer rapidement les techniques anciennes de reproduction d'images ; on peut les classer en trois grandes catégories définies par la façon dont la surface imprimante est différenciée de la zone non imprimante :

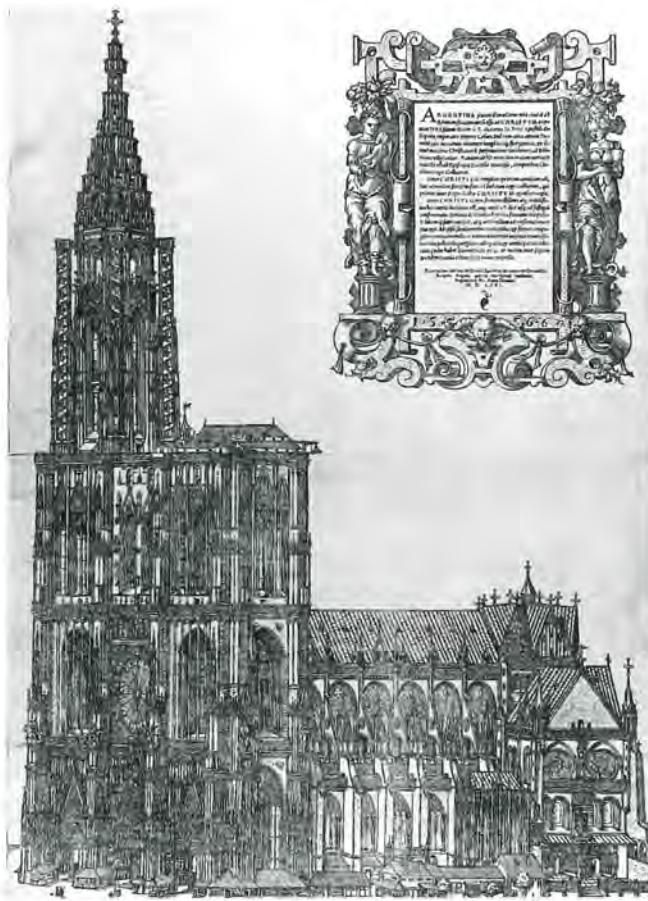
- forme imprimante en relief,
- forme imprimante en creux,
- forme imprimante sans creux ni relief.

Les deux premières méthodes sont apparues en occident vers le milieu du XV^e siècle tandis que la dernière n'apparaît pas avant 1800. La reproduction se trouve inversée par rapport à la forme imprimante.²⁴⁴

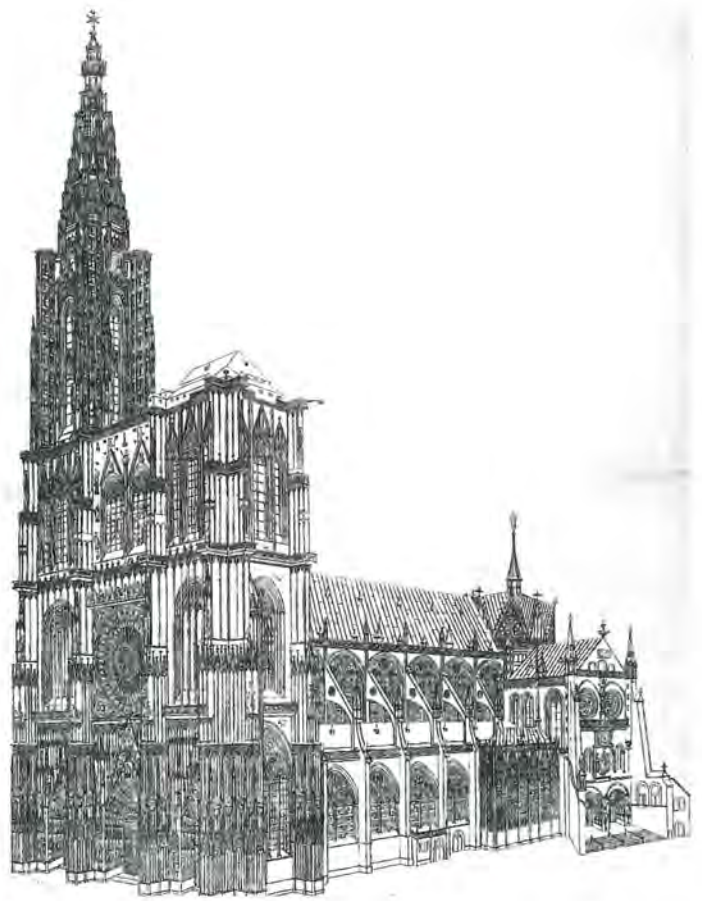
Forme imprimante en relief

Ce sont sans doute les premières formes imprimantes du monde occidental²⁴⁵ ; il s'agit de plaques de bois gravées en relief qui, vers 1400-1420 furent employées pour reproduire sur papier des illustrations combinées à des textes.

Traits et lettres sont taillés en réserve dans la tablette de bois ; enduite d'encre, elle reçoit la feuille de papier qui lui est appliquée par pression. A l'origine de l'imprimerie moderne la xylographie est très fréquente au XVI^e siècle : la planchette



1



2

est alors de "fil", c'est-à-dire que les fibres du bois sont parallèles à la feuille de papier. Redécouverte au XIX^e siècle, la gravure sur bois utilise le bois "de bout", c'est-à-dire avec les fibres perpendiculaires à la feuille de papier.

Forme imprimante en creux

Dans ces procédés, la surface imprimante est constituée par des incisions ou des alvéoles gravées dans un support et bourrées d'encre.

Le support, le plus souvent une planche de métal (cuivre, acier, zinc, ...), est entaillé au burin, c'est la taille douce ou à l'acide qui attaque les parties du support dégagées d'une couche de cire ou de vernis protecteur, c'est la taille à l'eau-forte. Parmi les procédés d'imprimerie, l'héliogravure en est dérivée directement.

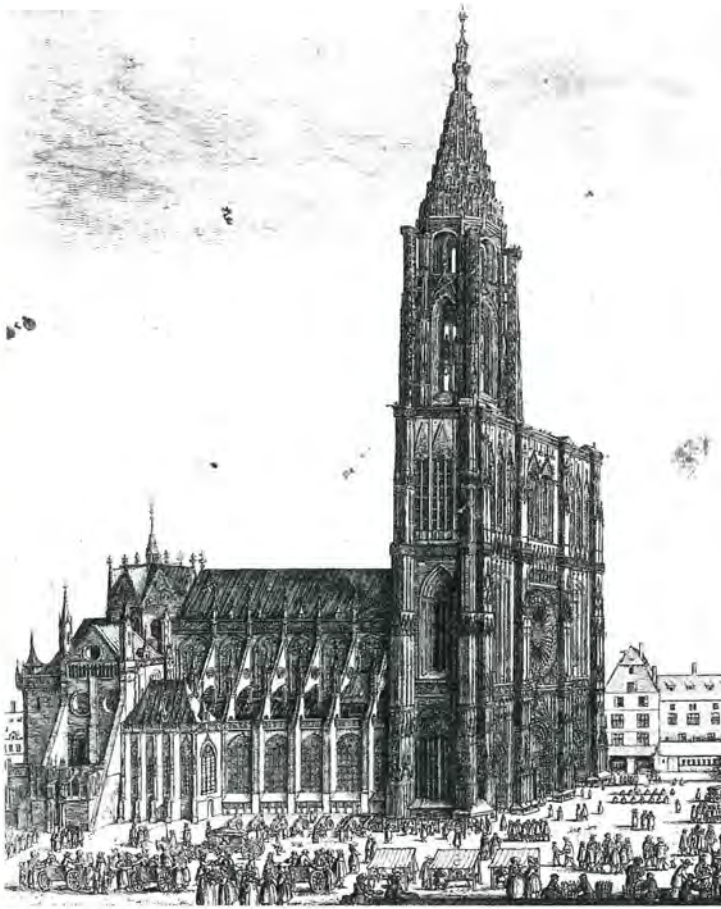
Forme imprimante sans creux ni relief

Ces procédés dérivent de la lithographie mise au point au début du XIX^e siècle par le bavarois Senefelder : une pierre de calcaire dur et à grain fin, graissée pour certaines zones et humidifiée à l'eau acide pour certaines autres, ne retiendra l'encre que sur ses parties graissées. Le dessin exécuté au crayon lithographique sur la surface convenablement polie de la pierre est reproduit après mouillage et encrage.

La pierre coûteuse et encombrante a très vite été remplacée par le zinc et la zincographie se trouve à l'origine de toute une série de procédés d'impression comme la photométagraphie et l'offset.

Strasbourg (67), cathédrale Notre-Dame :

1. Gravure sur bois de B. Jobin d'après un dessin de D. Specklin, 1566. 530×375 mm (Bibl. nat. et univ. de Strasbourg).
2. Gravure au burin de J. Striedbeck, milieu du XVIII^e siècle, 690×515 mm (Bibl. nat. et univ. de Strasbourg).
3. Eau-forte de W. Hollar, 1645, réplique de sa gravure de 1630. 210×177 mm (Bibl. nat. et univ. de Strasbourg).
4. Lithographie d'après un dessin de Chapuy, imprimée chez Engelmann, 1828. 275×185 mm. In : M.-P. Golbery et J.-G. Schweighaeuser, Antiquités de l'Alsace..., Mulhouse, 1828, t. 2, pl. 18.



3



4

10.2. L'archivage

L'archivage de la documentation graphique et particulièrement des relevés d'architecture pose le problème fondamental de la conservation des documents racontant la genèse de fabrication ; en effet la réutilisation ultérieure du document graphique nécessite en premier lieu la validation des informations qu'il contient. Cette critique documentaire n'est possible que par l'analyse du relevé lui-même, des motivations qui l'ont suscité, et des documents préparatoires : croquis, carnets de mesures, minute de rédaction, ...

C'est donc de la gestion et de l'archivage de l'ensemble des pièces qui constituent le dossier du relevé et non seulement du simple classement du document final qu'il faut parler.²⁴⁶

Cette nécessité est d'autant plus impérieuse qu'il s'agit, dans le cadre de l'Inventaire général, non seulement de fabriquer les relevés d'architecture destinés à répondre aux préoccupations du chercheur chargé du dossier mais aussi d'offrir au public des documents qui, ne pouvant être exhaustifs, devront donner leurs limites d'utilisation scientifique.

L'archivage doit répondre ainsi à plusieurs impératifs :

- cataloguer en famille les différents supports qui rassemblent l'information,
- conserver la qualité première des documents par des conditions adéquates de rangement,
- gérer l'information et assurer les possibilités d'interroger le fonds documentaire ainsi constitué.

10.2.1. La catalogation

A partir du format, de la nature du support et de la fonction, la catalogation va organiser en un nombre limité de familles les différents supports de l'information.

Chaque famille correspond à un lieu de rangement ; l'accès aux lieux et meubles de rangements doit être naturel et non codé de manière à éviter des index spécifiques ; le classement topographique par département, commune, dénomination d'édifice est préférable à un classement numérique.

Le dossier graphique

Le dossier²⁴⁷ rassemble les différents éléments du relevé d'architecture qui retracent les opérations de terrain, c'est-à-dire les croquis, les carnets de mesure,²⁴⁸ les éléments des calculs ; pour les édifices importants, il peut être joint une note de synthèse relatant la commande initiale et les réflexions suscitées par des aspects spécifiques de l'opération (difficultés rencontrées, précision de certaines mesures, difficultés de reports, ...). Des tirages-papier immatriculés des plaques photogrammétriques, des photographies documentaires complétant l'information et les reproductions photographiques des documents réalisés²⁴⁹ composent le dossier (auquel s'ajoute éventuellement un tirage héliographique plié au format A4). Ces pièces établies sur des supports divers (papier, calque, carte, ...) sont habituellement d'un format réduit (A4 ou A3) ; comme elles ne sont pas destinées à la reproduction (sauf en photocopie), elles sont éventuellement réduites par pliage au format A4.

Ces pièces disparates sont rassemblées dans une enveloppe de papier fort, de préférence à une chemise qui risque de les laisser échapper.

La minute,
le document graphique de reproduction,
les documents interprétés

Ces pièces, en général d'assez grand format, sont établies sur calque stable.

La minute correspond à la mise au net originale du relevé d'architecture ; si le report à l'encre a suivi sur le même support, elle se confond avec le document graphique de reproduction²⁵⁰ ; dans le cas de la photogrammétrie, la minute est établie sur couche à graver (en négatif) et le document graphique de reproduction est un calque stable établi par tirage à la même échelle dans un châssis photographique.

En dehors du cartouche et de l'échelle, ces documents sont muets ; les documents interprétés, constitués à partir de contrecalques, comportent trames et écritures ; dans le cas de documents interprétés destinés à l'édition, ceux-ci peuvent être réalisés sur papier,²⁵¹ la nature du support calque ou papier conduira à établir une ou deux familles.

10.2.2. La conservation

La conservation des documents graphiques nécessite un local sain sans humidité excessive et non soumis à des sauts de température. Le dossier graphique et les documents graphiques seront identifiés par un même cartouche et le classement se fait de préférence selon un ordre topographique. Un meuble de rangement à dossiers suspendus reçoit le dossier graphique dans son enveloppe ; un meuble à plan à suspension verticale est adopté pour les documents graphiques sur calque ; les documents graphiques sur papier pourront être conservés soit dans ce même meuble, ce qui est préférable, soit à part dans un meuble à plan qui pourra être à tiroirs horizontaux.²⁵²

10.2.3. La gestion

Le rangement correspond à un mode d'accès unique à la documentation — ici, le mode topographique — ; la réalisation d'une base de données établie sur la documentation graphique permet d'accéder selon des critères multiples à cette information.

The diagram shows a complex data sheet with multiple sections:

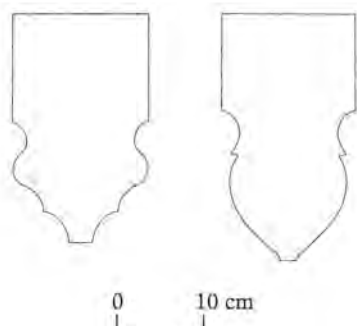
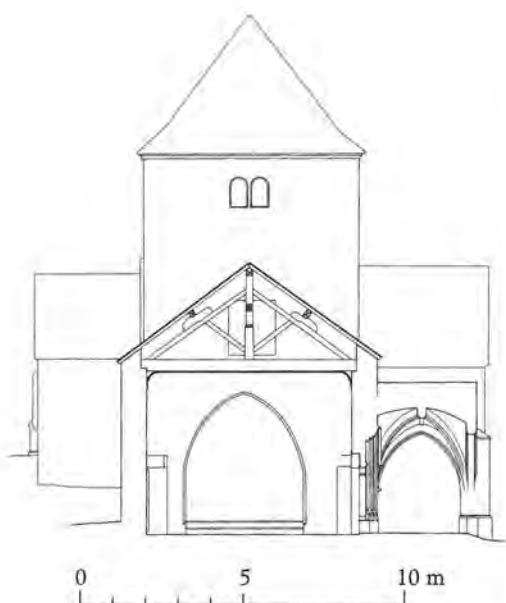
- Zone I:** L'ÉDIFICE commune, DÉPARTEMENT 91, CANTON 09 - Etampes, COMMUNE 508. fuisselet le Marais, ÉDIFICE église Saint Martin, DATATION DE L'ÉDIFICE XI^e, XII^e, NOMBRE DE FEUILLES 3, Wild 0120, OBSERVATIONS Restitution A40.
- Zone II:** DATE DU RELEVÉ 1972, DÉCADE, and various categories like ENSEMBLES URBAINS, GOUVERNEMENT - ÉGLISE, etc.
- Zone III:** A grid with columns for 'GÉNÉRALES' and 'PLANCHES DE DÉTAIL' (listing various architectural elements like TOIT, MUR, etc.) and rows for 'RÉSULTATS GRAPHIQUES DU RELEVÉ'.
- Zone IV:** ARCHITECTURE FUNÉRAIRE, GÉNIE CIVIL, etc.
- Zone V:** RÉSULTATS GRAPHIQUES DU RELEVÉ

Fiche à perforations marginales pour la gestion des relevés (ca. 1972).

Cette base de données réalisée à partir du logiciel Texto sous Logotel fonctionne sur les ordinateurs de type IBM-P.C. ou compatibles sous MS DOS. La base de données qui reprend en l'améliorant et en la complétant la structure du fichier graphique établi dès 1973 sur fiches à perforations marginales²⁵³ gère à la fois les relevés d'architecture²⁵⁴ et la documentation cartographique. Elle n'est pas redondante avec la base de gestion "Architecture" avec laquelle il faut croiser l'information pour affiner les interrogations : églises à coupoles des XII^e et XIII^e siècles pour lesquelles nous disposons de coupes longitudinales ou transversales établies par photogrammétrie.

10.2.4. La structure du fichier "documentation graphique"

Mnémonique	Intitulé du champ	Nature du contenu	Observations
REF	- Numéro de saisie	- Numérique (5 chiffres)	- Numérotation continue dans l'ordre de saisie, pourrait permettre des décomptes annuels.
ORG	- Origine du document	- Alphabétique MAJ (avec index)	- INV : document réalisé par le Service. - EXT : document acquis à l'extérieur.
ANN	- Année	- Numérique 2 chiffres (avec index)	- Année de mise au net du document graphique ou année d'acquisition auprès d'un service extérieur.

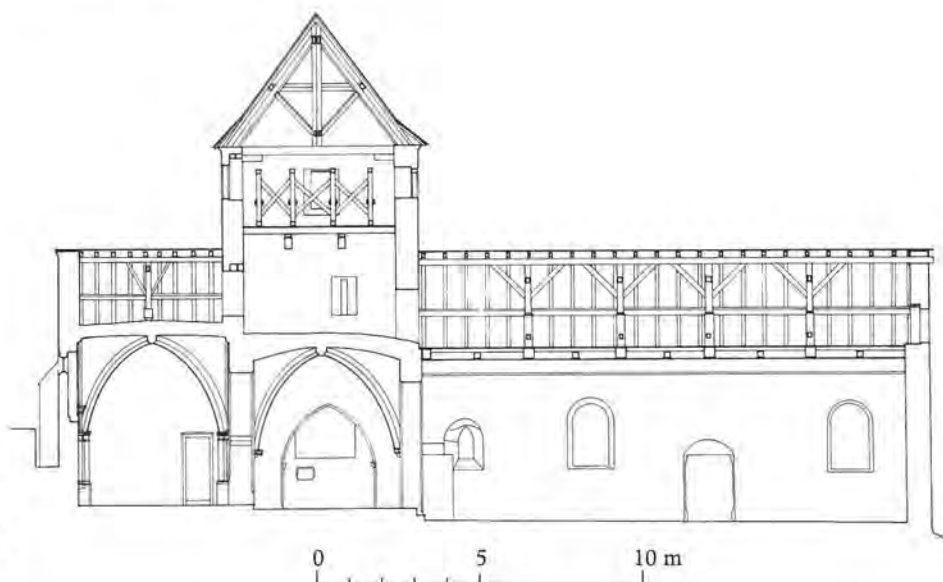


Mnémonique	Intitulé du champ	Nature du contenu	Observations
DPT	- Département	- Alphanumérique 2 caractères (avec index)	
NUM	- Numéro séquentiel	- Numérique	
FOR	- Format	- Alphabétique MAJ	- [A] 0, 1, 2, 3, 4
TYP	- Type de document	- Code alphabétique (1 lettre majuscule) (avec index)	- C = carte et plan - O = dessin d'objet - A = dessin d'architecture - D = divers
TEC	- Technique de relevé d'architect. et objets Technique cartograph. particulière	- Alphabétique MAJ	- Cf. lexique (Annexe A)
SUP	- Nature du support	- Code alphabétique (2 lettres majuscules)	- CV : calque végétal - CS : calque synthétique - FI : film transparent - PE : papier épais ne permettant pas le tirage diazo - PT : papier fin permettant le tirage diazo - CG : couche à graver
AUT	- Nom du (ou des) dessinateur(s) restituteur(s)	- Alphabétique min.	- Syntaxe : nom de personne et/ou d'organisme - cf. Annexe B
LOC	- Lieu de conservation de l'original	- Alphabétique min.	- Inventaire - Coll. Part. AN, AD, AC, Fonds X,... - Organisme producteur cf. Annexes B et C
AIRE*	- Aire d'étude	- Alphabétique MAJ	
COM	- Commune	- Alphabétique MAJ (avec index)	
LIEU	- Toponyme	- Alphabétique min.	- Pour le chef-lieu de commune : ne pas répéter le nom de la commune. - Indiquer sans toponyme s'il y a lieu.
ADRS	- Adresse	- Alphabétique min.	- Adresse de l'édifice (valable uniquement pour les dessins d'architecture ou d'objets). - Adopter l'ordre usuel : 10 rue du Parc- Royal.
CADA*	- Cadastre	- Alphabétique MAJ	- Références cadastrales correspondant à l'édifice. - Syntaxe du bordereau architecture (valable uniquement pour les dessins d'architecture ou d'objets).
EDI	- Dénomination de l'édifice relevé	- Alphabétique MAJ (avec index)	- Vocabulaire du lexique architecture (champ DENO).
PEDI*	- Précision sur la dénomination de l'édifice	- Alphabétique MAJ titre, appellation,...	- Suite du champ précédent : vocable.
OBJ	- Dénomination de l'objet relevé	- Alphabétique MAJ (avec index)	- Vocabulaire du lexique objets mobiliers (champ DENO). - (Pour les ensembles, adopter le titre courant désigné).
POBJ*	- Précisions sur la dénomination de l'objet relevé	- Alphabétique MAJ appellation	- Suite du champ précédent : titre.
ECH	- Echelle du document original	- Numérique multivaleur	- Syntaxe : 50 000, 100,...
DAT	- Date d'enquête ou de levé	- Numérique	- Année d'achèvement de l'enquête ou des levées ou de la révision du levé.

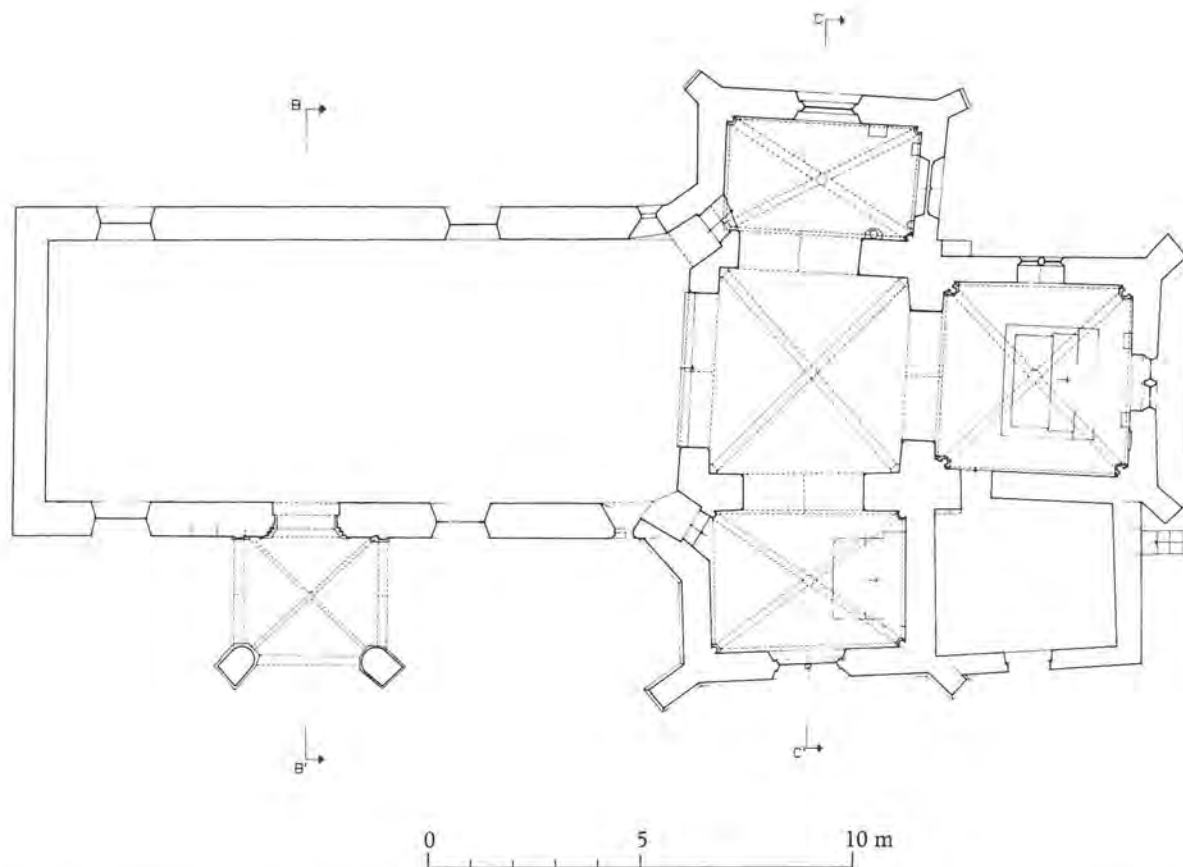


Mnémonique	Intitulé du champ	Nature du contenu	Observations
NAD	- Nature du document	- Alphabétique MAJ multivaleur (avec index)	- Cf. lexique (Annexe D).
LEG	- Légende du relevé ou titre de la carte	- Alphabétique min.	- Texte libre accentué.
MCL	- Mots-clés	- Alphabétique MAJ multivaleur (avec index)	- Mots-clés extraits de la légende, y compris les aires géographiques (région, pays, bassin,...) non précisées par ailleurs, termes génériques, etc.
ILL	- Illustration	- Alphanumérique min.	- Pl. II.
PHO*	- Numéro du phototype correspondant	- Alphanumérique multivaleur	- Numéro d'immatriculation du (ou des) phototype(s) reproduisant le document graphique.
MIS*	- Numéro mistral	- Numérique	- Numéro du document mistral correspondant au dossier dans lequel est reproduit le document graphique.
FNU*	- Fichier numérique	- Alphabétique min.	- Adresse du fichier numérique correspondant.
MICR*	- Vue microfiche	- Alphanumérique	- Numérotation CNRS (champ MICR des bases archi ou objet).
VIDEO*	- Vue vidéodisque	- Numérique	
OBS*	- Observations	- Alphabétique min.	- Texte libre (expositions, publications,...).
RAN*	- Meuble de rangement	- Alphanumérique	- Cote ou code.
*			- Rubrique facultative gérée par les régions.
*			- Rubrique facultative gérée par les régions.
*			- Rubrique facultative gérée par les régions.
FINI	- Etat de la fiche	- Alphabétique min.	- Indication des champs de la fiche restant à remplir ou à préciser.

* Rubriques non obligatoires.



Certilleux (88), église Saint-Paul, profils d'ogives du transept, coupes transversales, coupe longitudinale avec élévation droite; page suivante : plan et édition du fichier graphique.



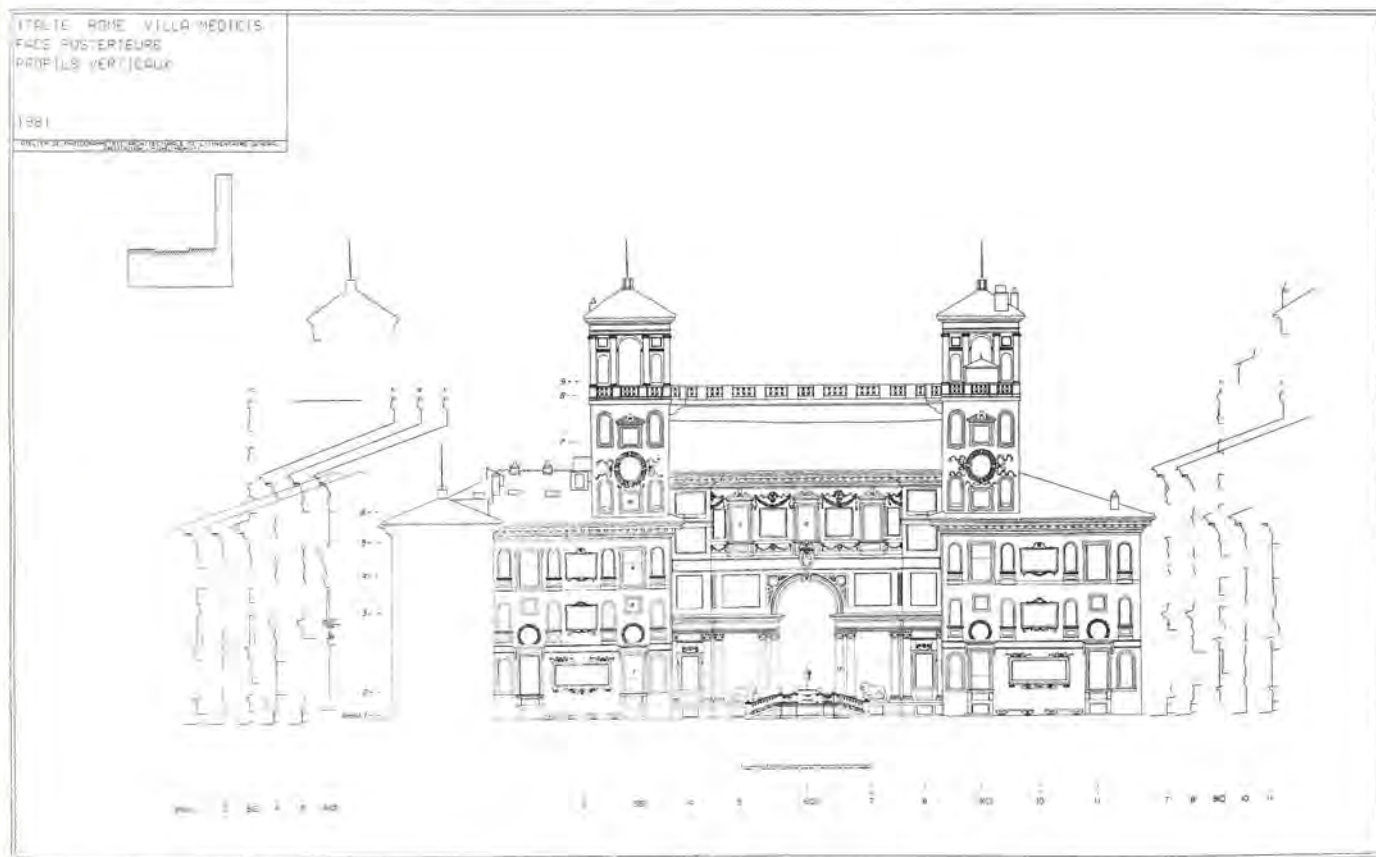
RÉF.	IDENTIFICATION	CANTON	COMMUNE	TOPONYME	ÉDIFICE	CADASTRE	ADRESSE	TEC	LÉGENDE	ÉCH.	PHOTOGRAPH.	AUTEURS
00043	85.88.00043-01	NEUFCHÂTEAU	CERTILLEUX		ÉGLISE SAINT-PAUL PAROISSIALE	1969 ZD 25		MAN	Plan au sol.	50	80 88 1950 P	A. RÉMY
00044	85.88.00044-02	NEUFCHÂTEAU	CERTILLEUX		ÉGLISE SAINT-PAUL PAROISSIALE	1969 ZD 25		MAN	Coupe longitudinale AA' avec élévation Sud.	50	80 88 478 P 81 88 18 P	C. MALINVERNO
00045	85.88.00045-03	NEUFCHÂTEAU	CERTILLEUX		ÉGLISE SAINT-PAUL PAROISSIALE	1969 ZD 25		MAN	Coupe transversale BB' sur le porche d'entrée avec élévation Ouest sur le clocher.	50	80 88 478 P 81 88 18 P	A. RÉMY
00046	85.88.00046-04	NEUFCHÂTEAU	CERTILLEUX		ÉGLISE SAINT-PAUL PAROISSIALE	1969 ZD 25		MAN	Coupe transversale CC' au niveau du transept avec élévation Ouest.	50	80 88 478 P 81 88 17 P	C. MALINVERNO
00047	85.88.00047-05	NEUFCHÂTEAU	CERTILLEUX		ÉGLISE SAINT-PAUL PAROISSIALE	1969 ZD 25		MAN	OGIVE : transept Sud.	1	82 88 297 P	C. MALINVERNO
00048	85.88.00048-05	NEUFCHÂTEAU	CERTILLEUX		ÉGLISE SAINT-PAUL PAROISSIALE	1969 ZD 25		MAN	BASE : colonne du transept Sud.	1	82 88 297 P	C. MALINVERNO
00081	85.88.00081-06	NEUFCHÂTEAU	CERTILLEUX		ÉGLISE SAINT-PAUL PAROISSIALE	1969 ZD 25		MAN	CHAPITEAU : colonne du transept Sud.	1	82 88 297 P	C. MALINVERNO
00096	85.88.00096-05	NEUFCHÂTEAU	CERTILLEUX		ÉGLISE SAINT-PAUL PAROISSIALE	1969 ZD 25		MAN	OGIVE : transept Nord.	1	82 88 297 P	C. MALINVERNO

11. Pratique documentaire du relevé et de la représentation d'architecture

Jusqu'à maintenant, nous avons présenté les outils et posé les règles et les méthodes qui président à la fabrication du relevé d'architecture. Analysant les différentes représentations qu'on peut en donner, nous avons tenté de préciser pour chacune leurs usages et leurs limites ; et, sans en dédaigner aucune, nous nous sommes particulièrement attachés à la représentation dessinée qui, par la masse de sa production comme par sa pérennité historique, mérite évidemment une place à part.

Il nous reste, dans ce dernier chapitre, à proposer, dans le cadre de la Direction du Patrimoine, quelle pourrait être la pratique du relevé et de la représentation d'architecture pour qu'elle s'inscrive, à l'échelle de la France, dans une politique documentaire, scientifique et cohérente.

Rome, Villa Médicis, face postérieure, élévation et profils verticaux (relevé par photogrammétrie).



11.1. La documentation de l'architecture

Il faut sans doute, et tout d'abord, rappeler que la documentation n'est pas réunie aveuglément ; elle répond, pour chacun des Services de la Direction, à des missions précises qui ne doivent pas exclure les soucis d'homogénéité, de normalisation pour correspondre à la nécessité de traitements globaux, informatisés, seuls capables de gérer la masse de données relatives à l'ensemble des édifices classés ou inscrits et plus généralement au patrimoine des 3682 cantons français.

Les volets — texte, photographie et dessin — s'étayent et se complètent mutuellement. Ils s'articulent sans redondance pour faciliter la description, éclairer et analyser les problèmes archéologiques ou stylistiques et autoriser les comparaisons. Ils présentent l'édifice à protéger et mettent en évidence son originalité et son intérêt ; ils décrivent l'état sanitaire, diagnostiquent les remèdes et proposent les cures.

Cette documentation, enfin, directement ou, indirectement, par l'intermédiaire de reproductions et de bases de données, est rendue disponible dans les centres de documentation du Patrimoine ouverts au public, à Paris comme dans chacune des régions, et se prête alors à des interrogations élargies.

11.1.1. Les ambitions de cette documentation

Lorsqu'il s'agit de renseigner sur un objet protégé et assuré de sa survie, la base documentaire est un moyen de gagner du temps, d'éviter le retour dispendieux à la source et de faciliter l'exploitation des valeurs qu'il représente.

Mais il est évident, et les premières enquêtes de l'Inventaire l'avaient déjà indiqué,²⁵⁵ que la survie de l'objet n'est absolument pas certaine.

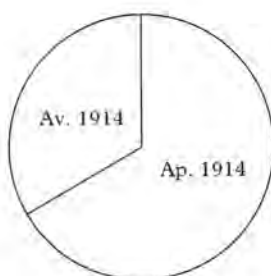
La guerre, les grands travaux mais aussi le désintérêt,²⁵⁶ le manque d'entretien et même l'entretien tout court²⁵⁷ ruinent, défigurent et grignotent le patrimoine architectural ; tant et si bien que, pour beaucoup des objets recensés, la documentation réunie constitue un témoignage irremplaçable et parfois même la seule mémoire.

11.1.2. Le parc immobilier et le patrimoine

Il y avait en France, en 1982, 14 500 000 immeubles²⁵⁸ ; et, chaque année, près de 200 000 permis de construire modifient les bâtiments déjà construits ou accroissent ce parc immobilier. Il est évident que chacun des individus qui le composent, s'il porte toujours témoignage d'une histoire, n'en est pas pour autant accrédité pour participer à ce qu'il faut bien convenir d'appeler patrimoine. Son territoire est flou, ses frontières changeantes ; il est lié à des valeurs d'histoire, d'esthétique et d'usage qui, le moins qu'on en puisse dire, évoluent avec l'époque. Aussi faut-il réaliser que nous écartons des œuvres que notre société ne voit pas.²⁵⁹ Cet aveuglement reflète évidemment toute une série de blocages intellectuels ou procède délibérément d'œillères dont la politique des Etats n'est pas absente. La connotation, en France, est très aisée entre les premières listes de Monuments historiques, vers 1830-1840, composées d'églises et de châteaux, et les politiques conjointes de restauration royale et de rechristianisation. Actuellement, l'ouverture du Patrimoine à l'architecture vernaculaire quand la population agricole de la France ne cesse de décroître, à l'architecture industrielle quand des reconversions brutales bouleversent le paysage économique, et à l'architecture des boutiques quand les grandes surfaces mobilisent les acheteurs, ...suscite une réflexion permanente et des interrogations lancinantes sur des modalités innovantes de protection et de conservation.

11.1.3. Les critères de discrimination

L'histoire de la protection en France, celle du Service des Monuments historiques, sont là pour témoigner des évolutions dans la définition du terme Patrimoine.



Ainsi, en 1964, l'ancienneté constitue le critère absolu de recensement adopté par l'Inventaire des monuments et richesses artistiques de la France ; avec une méthodologie d'enquête exhaustive sur le bâti qui figure sur le cadastre napoléonien (donc globalement avant 1850), et d'enquête sélective pour le bâti plus récent. C'est éliminer les 2/3 des constructions de France,²⁶⁰ mais c'est travailler sur un corpus global de 5 millions d'œuvres que des critères sélectifs peuvent encore rogner.

L'architecture du XIX^e siècle admise et l'urbanisme triomphant des Haussmann reconnu, il y eut le Modern'style, Le Corbusier et l'acceptation que la frontière chronologique était chaque jour un peu plus proche.

Cet agrandissement du champ dans le temps s'est accompagné de la révélation de nouveaux territoires qui s'en sont trouvés annexés : l'extraordinaire richesse dans leur diversité des maisons rurales et des tissus urbains les plus modestes et plus encore l'espace foisonnant de l'industrie et du monde du travail. "La recherche devenue son objet propre,"²⁶¹ il n'y a plus de limite qui s'impose au recenseur du patrimoine si ce n'est celle de l'aveuglement de son temps ; et c'est à cette démesure que se heurtent les équipes de l'Inventaire pour faire face à l'émiettement insidieux et inexorable par le temps et les hommes.

11.1.4. La représentation du patrimoine

Le dossier documentaire doit donc répondre à deux exigences contradictoires : élément d'un échantillon de la masse patrimoniale,²⁶² pour être plausible il lui faut devenir représentatif et s'inscrire dans une politique de croissance documentaire rapide, pour se substituer dans la mémoire des hommes à la défaillance éventuelle de l'objet, il lui faut être complet, exhaustif et la collecte risque d'être longue et sans fin.

Pour ajouter au malaise, en aucune façon la documentation ne peut remplacer l'objet. Nous nous trouvons devant un ersatz, un produit de substitution qui laisse un reste et que ne comblent ni la qualité de la méthode ni la quantité d'informations. Deux options, ainsi, rivalisent ou s'associent pour éclairer la permanence de l'objet ; celle, fastidieuse de la collecte sans fin, de la collection d'informations rassemblées, chaque jour un peu plus nombreuses et dont le volume est tel que son classement pose problème et que sa masse reste muette et sans écho à une quelconque interrogation ; celle, méthodique, qui rassemble autour de critères précautionneusement décidés des données en nombre limité qui décrivent et expliquent l'objet. Dans l'un et l'autre cas, l'objectivité est en cause ; dans le premier, elle est diffuse et à rechercher dans le traitement disproportionné d'une masse amorphe ; dans le second, elle ne donne que l'état de la question à la date de la collecte reflétant les limites scientifiques des principes, des outils et de l'homme qui les emploie. Les filets peuvent avoir les mailles étroites, des espèces échapperont à la pêche.

Ainsi, comment faire pour générer le produit de substitution adapté aussi bien aux besoins documentaires ou opérationnels immédiats qu'aux réquisitions intellectuelles ultérieures ?

Le praticien du patrimoine, par des méthodes appropriées, doit dépasser ce traumatisme qui est celui de l'archéologue voyant disparaître, au fur et à mesure qu'il l'étudie, l'objet de sa recherche.

L'image, parce qu'elle condense les critères visuels de l'objet prend dès lors une place prépondérante dans le dossier.

11.2. Le rôle de l'image et du dessin

Dans le domaine de l'architecture, pour l'historien des formes architecturales comme pour l'architecte, pour le spécialiste des techniques de construction ou des phénomènes relevant de l'histoire, de la sociologie de l'habitat et de l'urbanisme,

l'image se révèle un outil privilégié qui, selon le lieu commun, "mieux qu'un long discours" mais toutefois sans jamais totalement le supplanter ou le supprimer,²⁶³ montre l'objet et l'explique.

Apparemment docile à la perspective albertienne²⁶⁴ et ainsi substitut approximatif de la vision monoculaire,²⁶⁵ la photographie constitue un outil irremplaçable ; elle inscrit, pour la conserver, la trace du volume de l'objet sur le négatif bidimensionnel et assure sa représentation durable et correcte. Mémoire des formes, la photographie ne leur est fidèle que si l'on se réfère aux lois complexes de la perspective et si l'on en débrouille les pièges et les illusions ; mémoire irremplaçable sur l'épiderme et la texture, sur la matière des choses et leur environnement, la photographie rassemble une masse complexe d'informations dont l'objectivité reste soumise aux lois de la lumière et aux caprices de l'ombre, et dont, fondamentalement, l'analyse reste à faire. "Telle est la photo : elle ne sait dire ce qu'elle donne à voir."²⁶⁶

Mais qu'on pense, par exemple, aux photos aériennes et à leurs interprétations qui abordent des domaines aussi différents que la géomorphologie, la pédologie, la gestion forestière, l'urbanisme ou l'archéologie.²⁶⁷ La photographie, malgré cette capacité de mémoire prodigieuse qu'elle représente²⁶⁸ et cette disponibilité à la multiplicité des analyses, n'offre que des visions dont l'ambiguïté est souvent manifeste pour des objets dont le volume est important : l'échelle, éminemment variable et les déformations perspectives conduisent l'observateur de la photo à un travail d'identification analogique, par référence à des formes voisines ou des systèmes de significations possibles. Pour l'architecture, la photographie doit se voir impérativement complétée par des documents figurés qui permettent d'appréhender les dimensions et les formes, d'analyser ou d'ausculter la structure.

C'est dans cette incapacité d'une mémoire globale que se marque l'intérêt du dessin : correspondant à un choix raisonné, le dessin sélectionne l'information, la met en forme pour lui faire montrer ; le processus iconique du signifiant au signifié peut subir des distorsions de sens, une multiplication d'interprétations, mais il n'en demeure pas moins fondamental et, sinon toujours explicite, strictement indispensable.

Le dessin est sélectif mais l'information sélectionnée peut être saisie et figurée de manière plus ou moins complexe ; également, cette complexité s'avère plus ou moins nécessaire au fonctionnement de la représentation.

Réunissant les avantages d'une image analogique primaire et les possibilités multiples d'images analytiques, la photogrammétrie apparaît comme indispensable pour documenter l'architecture ; d'une part, les clichés photogrammétriques constituent un microfichage du volume de l'édifice, quelle que soit sa taille ou sa complexité ; d'autre part, les clichés représentent une mémoire globale toujours disponible pour livrer, à travers un vaste éventail de traitements, graphiques ou numériques, une analyse pertinente du bâti, quand bien même l'édifice aurait disparu. La photogrammétrie constitue ainsi un moyen efficace et très puissant pour ménager l'avenir puisqu'elle offre la certitude, aujourd'hui, de pouvoir répondre, demain, à la plupart des interrogations qui porteront sur les formes, les dimensions ou les proportions de l'architecture et ceci sans que ces réponses soient entachées d'hypothèses de régularité ou d'interprétations préalables et subjectives comme il en est dans le cas habituel des relevés traditionnels.

11.3. Le relevé dans le dossier documentaire

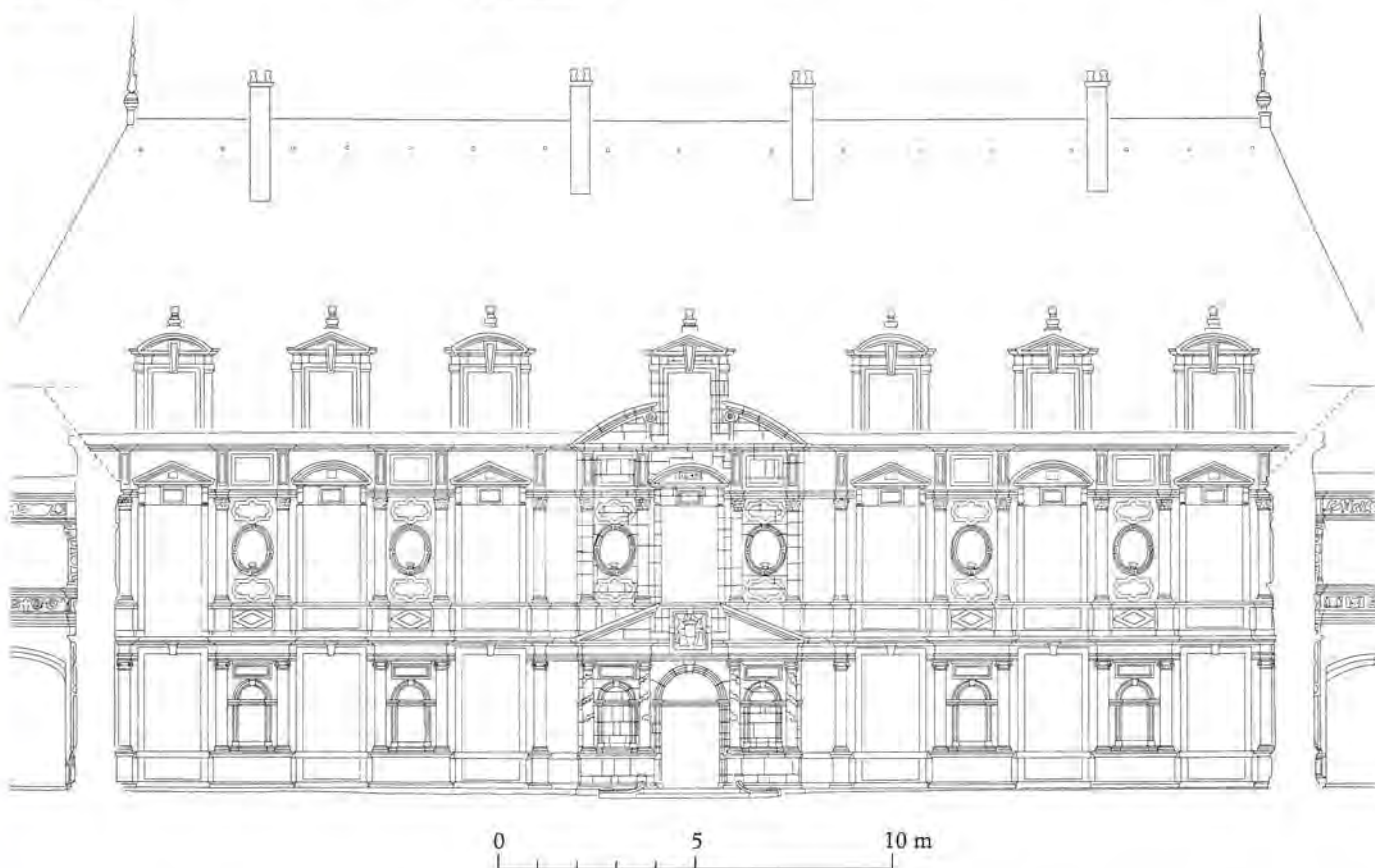
La documentation rassemblée est analytique et ordonnée.

A partir de l'objet lui-même, du rassemblement des sources textuelles ou figurées, de la bibliographie, de la fabrication de séries photographiques ou dessinées, le

chercheur dresse l'état descriptif, reconstitue la chronologie et replace éventuellement l'édifice dans l'histoire des formes et des processus culturels ; analytique, cette mise en forme de la documentation reflète ainsi l'état des connaissances et reste soumise à des révisions ou des approfondissements ultérieurs.

Ces réquisitions intellectuelles nouvelles auront alors à reprendre la critique des documents rassemblés parmi lesquels les documents de première main²⁶⁹ seront les plus précieux. S'il est établi qu'en architecture, le document-source par excellence demeure l'édifice, l'usure insidieuse et continue du patrimoine en aura bien souvent provoqué la disparition rendant le retour à l'objet impossible ; le chercheur devra se contenter des matériaux de substitution rassemblés dans le dossier. Les documents les plus objectifs, parce que les moins interprétés, auront justement sa préférence et nous pourrons les appeler primaires ; la photographie et les couples photogrammétriques en constituent, nous l'avons dit, les prototypes mais également l'image, en général, et les relevés, en particulier. C'est probablement de sa globalité descriptive qui ne tolère pas la solution de continuité que le relevé acquiert des possibilités involontaires d'objectivation qui n'ont pas forcément à voir avec la précision métrique du dessin. Notons d'ailleurs que, rapportées au bordereau d'analyse de la base architecture, les informations d'ordre visuel saisies directement sur l'édifice ou à partir de documents figurés, représentent près de la moitié de l'information²⁷⁰ ; en sera-t-il autant pour les réquisitions futures, nous l'ignorons bien évidemment mais il apparaît probable que le pourcentage resterait important.²⁷¹

Bussy-le-Grand (21), château de Bussy-Rabutin, face antérieure (relevé par photogrammétrie).



Ainsi, le nombre d'édifices à documenter, la présomption dramatique de disparition, les degrés de fragilité et de protection de la documentation elle-même doivent nous conduire à poser les règles d'une politique du relevé dans le cadre d'opérations de travaux, de protection ou d'inventaire topographique ou thématique.

11.4. Le dossier préliminaire de repérage et le dossier d'étude

Comme nous l'avons déjà vu, c'est évidemment, et ce n'est qu'une contradiction de plus, le dossier préliminaire de repérage, celui, par exemple, de l'inventaire topographique, qui reste le plus sujet à caution. Rapidement menée, l'analyse faite par le chercheur, quelles que soient ses qualités, risque d'être contestée, critiquée ou de susciter des doutes qui renvoient à l'objet lui-même.

L'analyse de la base architecturale fait apparaître que 15% des édifices documentés et non protégés présentent un mauvais état de conservation (8367 sur 56 542 au 21/01/1992), c'est dire, si l'on considère la documentation réunie comme un produit de substitution pour une conservation intellectuelle, qu'il faut privilégier une documentation primaire qui permette ultérieurement de poursuivre l'étude.

Nous jugerons de la qualité du dossier lorsque l'analyse sera irréfutable et/ou lorsqu'aucune question ne restera sans réponse ; nous pouvons, dès lors, poser que :

pour le dossier préliminaire, l'enquête élémentaire doit être confortée par des documents qui permettent la localisation (plan cadastral et cartographie en général), la reconnaissance des formes et des aspects visuels (photographie, documents figurés aisément accessibles et photogrammes métriques) et l'analyse a posteriori des formes, des structures comme la fixation de typologie ou de réflexions harmoniques (relevés d'architecture),

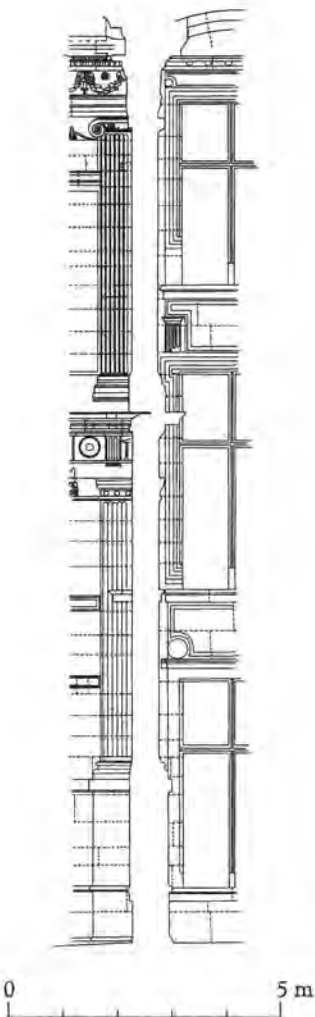
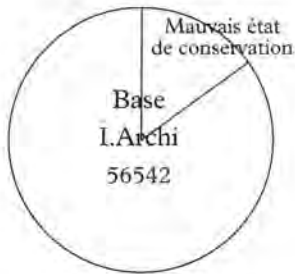
pour le dossier d'étude, c'est-à-dire le dossier approfondi, qu'il soit lié à la recherche pure, aux nécessités de protection ou à des campagnes de restauration, une documentation secondaire s'ajoute qui résulte de l'exploitation finalisée des données primaires ou provient d'un approfondissement des recherches.

Préférer la mise en mémoire des données primaires de terrain à l'analyse discursive n'est qu'apparemment modeste ; car ce choix est également le pari d'accélérer la conservation intellectuelle du patrimoine.

11.4.1. La couverture photogrammétrique

L'idéal tiendrait sans doute dans une couverture photogrammétrique totale de l'édifice. Il est évident qu'une telle couverture, réalisée actuellement en Autriche,²⁷³ par la masse globale qu'elle recèle et par la multiplicité des analyses qu'elle autorise, constituerait une mémoire exploitable et réellement représentative du patrimoine bâti ; cumulant les informations visuelles (comme une simple photographie) et les informations formelles et structurales (obtenues par restitution), cette banque d'images primaires reste encore pour l'instant, si elle devait être généralisée à l'ensemble du patrimoine français, une utopie du fait de la pesanteur de l'instrumentation de terrain, de la méthodologie rigide héritée de la photogrammétrie aérienne, de la lourdeur de l'archivage et de la gestion de plaques de verre ; il est certain pourtant que l'allègement des moyens de la collecte, l'utilisation d'appareils à main 24 x 36 mm, 6 x 6 cm déjà existants et d'appareils photo-numériques, repose, en terme de futur proche, la crédibilité de cette information.

Dans l'immédiat, le chercheur doit privilégier un choix raisonné de morceaux d'architecture : à l'élévation générale banale qui renvoie sans originalité à un corpus nombreux, le détail de l'ordonnance d'une travée, la stéréotomie d'une voûte ou d'un pilier, le profil d'un arc ou d'un couverturement sont évidemment préférables. Dans le cas d'usage de l'outil photogrammétrique, la couverture photographique sera toujours plus large qu'il est nécessaire pour le dessin retenu.



Ecouen (95), château, raccord de l'avant-corps central sur l'aile nord (relevé par photogrammétrie).

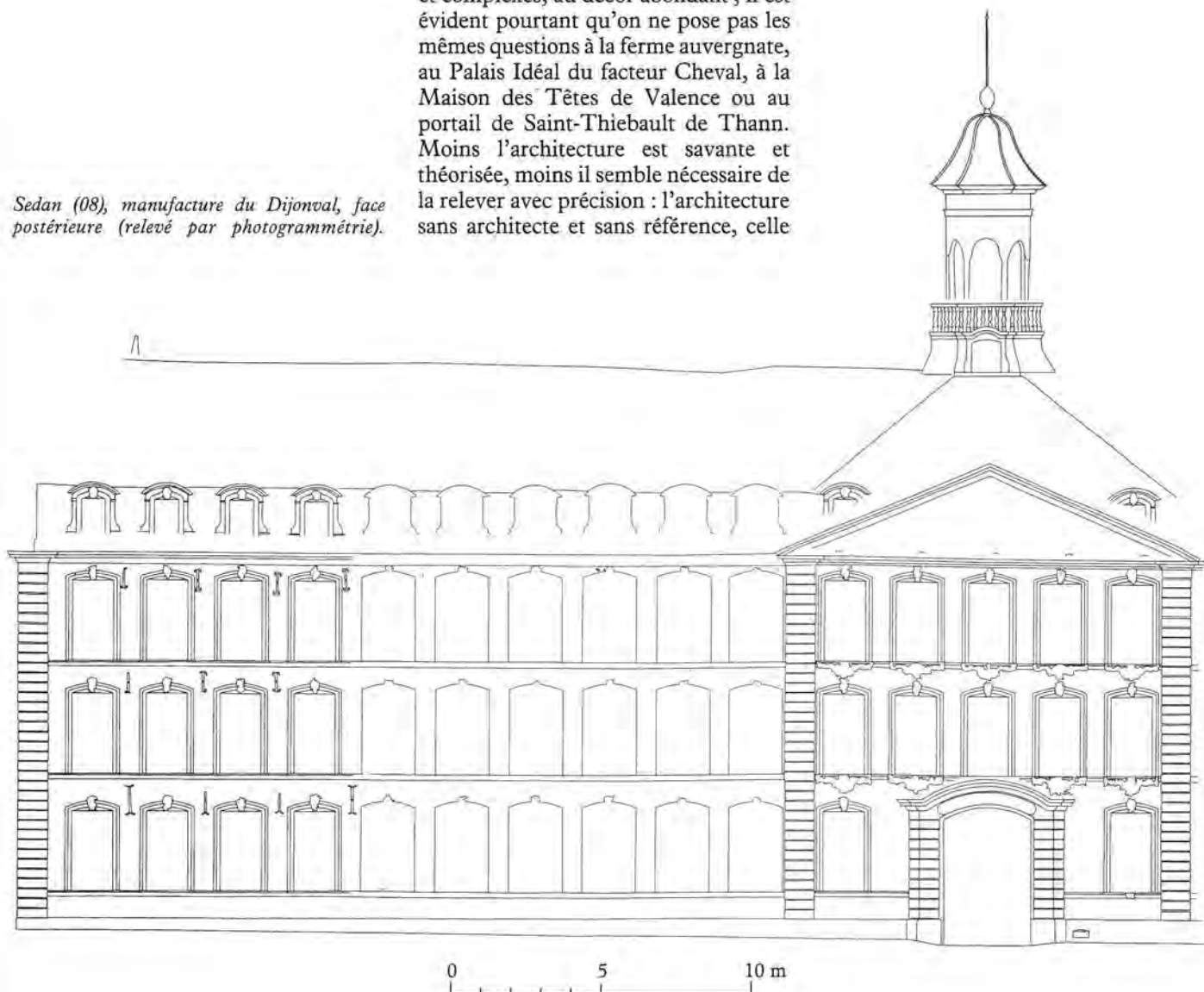
11.4.2. Les choix graphiques

Les choix graphiques doivent refléter la dialectique du raisonnement poursuivi, du cas général ou banal à l'élément exceptionnel ; le choix des outils pour y parvenir procède d'un questionnement toujours identique.

Moins il y a de mesures dans un relevé, plus il y aura d'hypothèses géométriques dans sa rédaction ; à cette raréfaction de la mesure correspond pour l'objet concerné un minimum possible d'interrogations formelles ou métriques : l'intelligence de l'architecture vernaculaire ne passe pas par les mêmes critères d'apparence que l'architecture royale au XVII^e siècle.

Plus la structure est floue, molle ou masquée, plus les mesures, si le relevé s'impose, devront être nombreuses : une architecture de gros moellons à peine équarris, noyés dans le mortier, pose les mêmes difficultés de relevé qu'une architecture en appareil régulier complètement érodé ou qu'une architecture aux modénatures savantes et complexes, au décor abondant ; il est évident pourtant qu'on ne pose pas les mêmes questions à la ferme auvergnate, au Palais Idéal du facteur Cheval, à la Maison des Têtes de Valence ou au portail de Saint-Thiebault de Thann. Moins l'architecture est savante et théorisée, moins il semble nécessaire de la relever avec précision : l'architecture sans architecte et sans référence, celle

Sedan (08), manufacture du Dijonval, face postérieure (relevé par photogrammétrie).



qui vise à répondre simplement à une fonction, ne joue pas, généralement, avec les rapports de proportions. Elle a été construite sans mesure et son relevé peut, de même, être conduit simplement.²⁷⁴

Au contraire, l'architecture savante, moins sa chronologie est homogène, plus son relevé nécessite de précision pour fixer les moindres inflexions de la structure ; celles-ci risquent, en effet, d'indiquer une nouvelle campagne de construction ou un remaniement.

Plus la structure architecturale est complexe, plus les coupes sont nécessaires et plus leur précision importe : un édifice à murs porteurs s'explique fort bien à partir d'élévations et de plan, quitte à réaliser quelques schémas de coupe pour éclairer les distributions ; au contraire, un bâtiment présentant des voûtes, construit sur des équilibres de tensions, des compensations de poussées, ne se comprend réellement que par l'intermédiaire de coupes qui visualisent le système nerveux des forces agissantes et de représentations volumétriques qui éclairent les liaisons interactives des maçonneries.

Plus la forme significative à relever²⁷⁵ est complexe ou inaccessible, plus le nombre de mesures croît et plus l'outil sophistiqué (théodolite ou photogrammétrie) fait gagner du temps. Pour les opérations d'urgence, le relevé photogrammétrique et le simple archivage des photogrammes permet de différer sine die l'analyse et la représentation. Sauf dans le cas de croquis, le relevé en plan d'un mur courbe s'effectue toujours au théodolite, celui d'un arc, d'un profil de coupe sur une voûte

Viviers (07), hôtel de Noël Albert dit Maison des chevaliers, face antérieure (relevé par photogrammétrie). Trois états de la restitution, le temps de travail est doublé entre chaque état.





par photogrammétrie. Il est évident que dans ces exemples, le temps du relevé et sa fiabilité sont sans commune mesure avec un relevé établi d'une autre façon par trilatération pour le plan ou même par intersection au théodolite pour le profil.

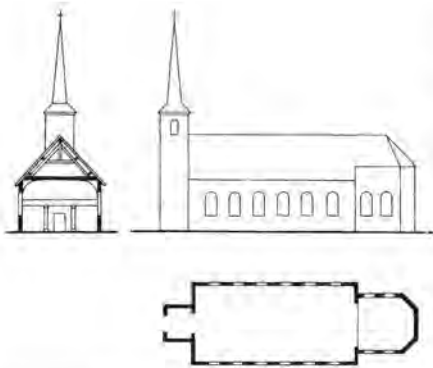
11.5. Les règles d'une stratégie

Deux critères vont discriminer les édifices à documenter :

- la protection (édifice protégé, classé M.H. ou inscrit à l'inventaire supplémentaire),
- la couverture graphique.

Bien qu'à première vue la démarche puisse apparaître paradoxale, l'édifice protégé, assuré en principe de sa survie matérielle,²⁷⁶ ne donnera lieu à des opérations importantes de relevés²⁷⁷ qu'à l'occasion des campagnes de travaux dont il est l'objet ; bien souvent, ce monument déjà repéré a fait l'objet de relevés divers dont il faudra faciliter le rassemblement documentaire et l'accessibilité et dont une première approche pourra se satisfaire. Dans l'ignorance de la genèse de ces relevés, chacun des documents recueillis fera l'objet d'une critique de visu. Si des figures déjà existantes devaient malgré tout être dressées, elles ne sauraient l'être que d'une façon régulière,²⁷⁸ au théodolite ou par photogrammétrie. Le chercheur sélectionne alors les éléments qui correspondent aux travaux ou rendent le parti architectural remarquable.²⁷⁹

Chinon (37), église Saint-Mexme, face antérieure (relevé par photogrammétrie). La figure de droite offre la totalité de l'appareil, celle de gauche, plus analytique examine les ruptures de l'appareil et les solutions de continuité.



Bousseviller (57), église Sainte-Odile, plan, face externe droite, coupe transversale (schémas).

L'édifice bien documenté, pourvu d'une couverture graphique cohérente, subira le même traitement ; les relevés pourront être ponctuels, éclairer les éléments primordiaux ou des zones qui risquent d'être modifiées lors de travaux déjà prévus.

Pour les autres édifices, c'est-à-dire pour la presque totalité,²⁸⁰ le relevé doit être la règle absolue mais l'impérieuse nécessité d'aller vite privilégie une couverture photogrammétrique sélective,²⁸¹ et des relevés de différents types.

La qualité architecturale, la complexité des bâtiments (hétérogénéité, multiples campagnes de construction, ...), la typologie, guideront la décision du chercheur qui tiendra compte également des capacités de la photographie.

A ce titre d'exemple, la façade d'un château peut faire l'objet d'une couverture photogrammétrique sélective couvrant deux ou trois travées (dont la travée principale) ; une photographie apporte l'information visuelle générale qu'un schéma résume en mettant en place les éléments difficiles à situer sur la photographie, enfin quelques mesures indiquent le rythme des travées.

En règle générale, le relevé doit avoir, pour l'architecte comme pour l'historien de l'architecture, la mission primordiale de permettre le constat des irrégularités, des dysfonctionnements de la structure, de toutes les aberrations d'appareils qui signent les campagnes de constructions, l'histoire comme l'état de l'édifice. La régularité peut presque toujours se dire avec des mots, à l'aide de photos ou avec des schémas ; il est évident que, pour une approche fine de l'édifice — une monographie —, cette régularité elle-même doit être vérifiée si elle fait partie du discours architectural.

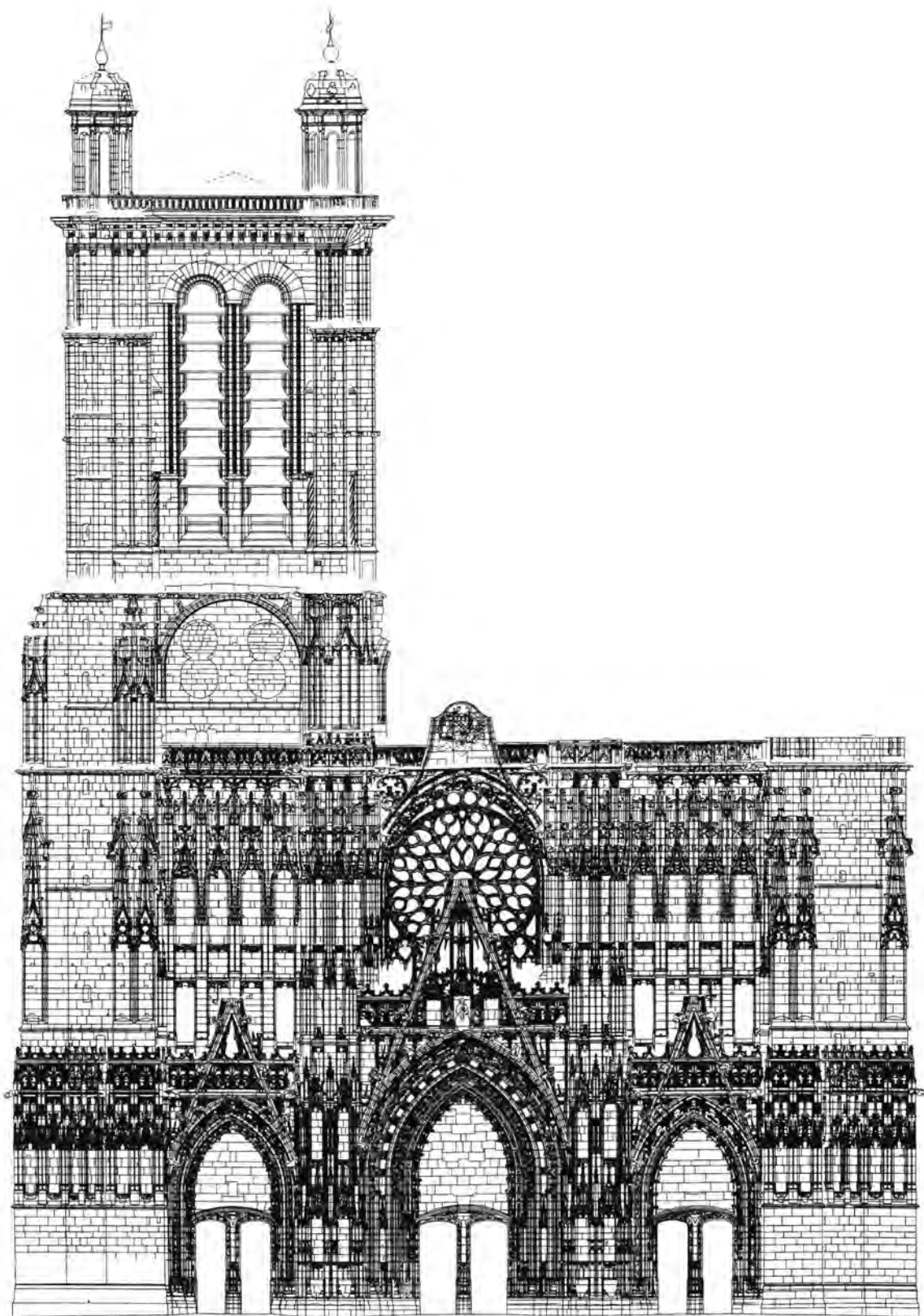
Il serait illusoire d'imaginer, une fois de plus, que cette mémoire substitutive soit exhaustive ; il est certain que nombre de questions resteront sans réponse mais le gain territorial enregistré par l'allègement de l'étude au profit de l'image saura pallier la disparition d'un patrimoine menacé.²⁸²

Le chercheur, dans cet état d'esprit, exerce le choix d'une vision synthétique qui ne vise pas tant à étudier monographiquement l'édifice qu'à documenter un territoire dont l'analyse gagnera à n'être conduite que thématiquement.



Rouen (76), maison dite des mariages, face antérieure (relevé par photogrammétrie).

Page suivante :
Troyes (10), cathédrale Saint-Pierre-Saint-Paul, face antérieure (relevé par photogrammétrie).

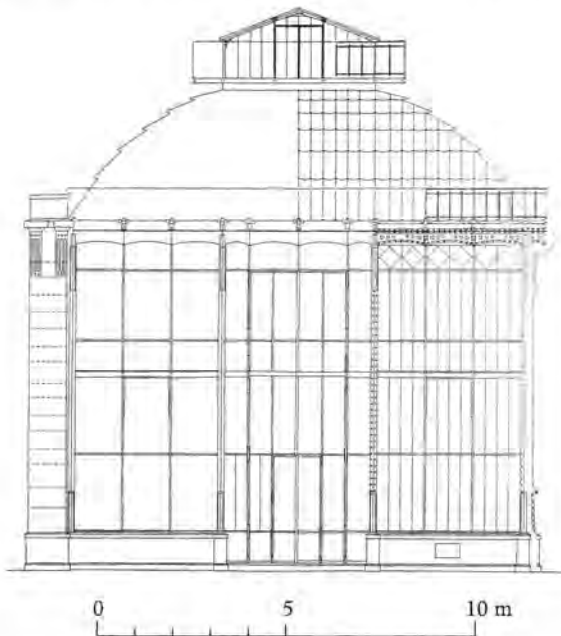


0 5 10 m

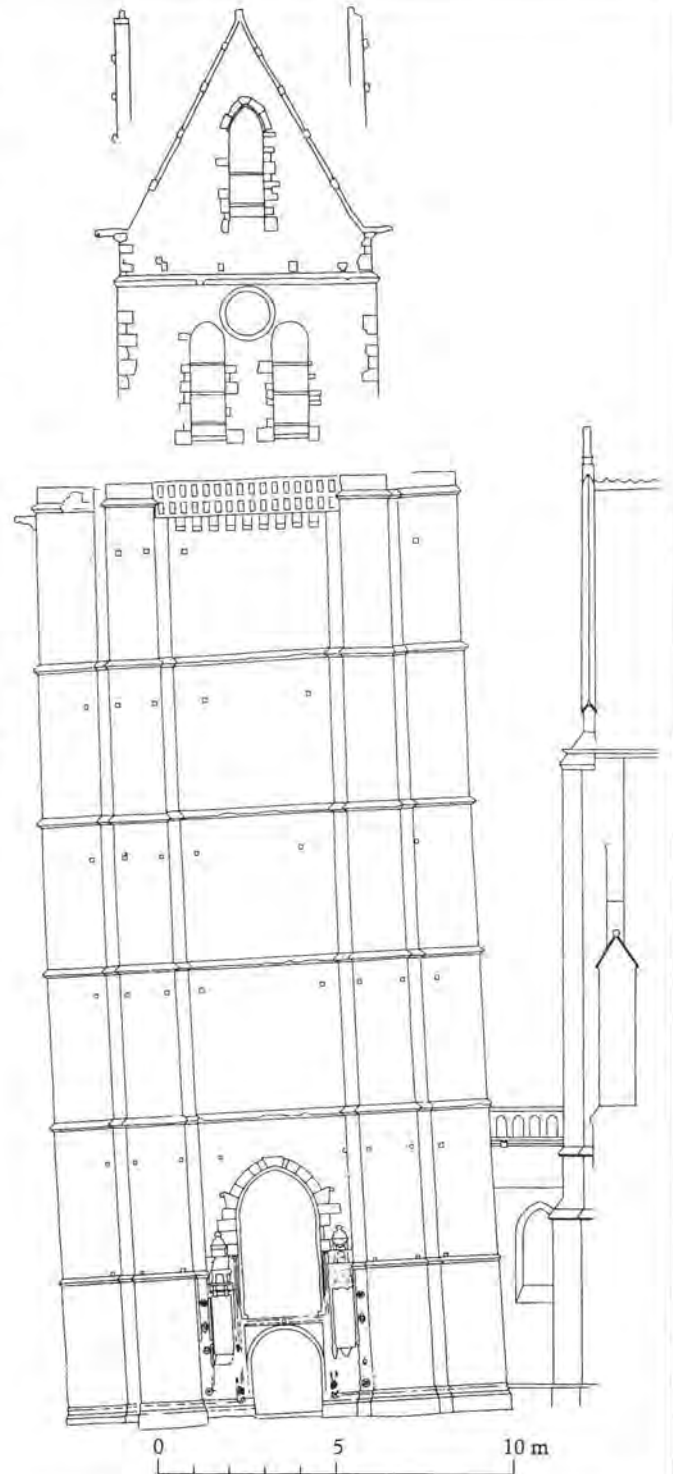
Atlas de planches-types de dessin

La représentation doit accompagner la compréhension de l'objet relevé ; le questionnement initial, qui a déclenché l'opération de relevé, doit rester lancinant durant le mesurage comme durant le report et la mise au net mais s'y ajoute, née lors de l'opération elle-même, de la confrontation et de la proximité, toute une série d'étonnements, de découvertes — épaisseur d'un mur, disparité de cotes, non-alignement, non-verticalité... — que révèle la pratique des instruments et qui donneront de la densité à l'usage qui sera fait de la représentation. C'est dire une fois de plus, que le fabricant idéal du relevé est le spécialiste qui étudie ou analyse l'édifice car il va pouvoir affronter, toute la durée du relevé, ses hypothèses à la réalité saisie ; mais c'est surtout, lorsque la confusion n'est pas possible entre le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage, dire combien il est important que le releveur fasse part de toutes les surprises et de toutes les incohérences qu'il a pu noter. De ce dialogue, de cette confrontation, le relevé ainsi finalisé gagnera sa valeur.

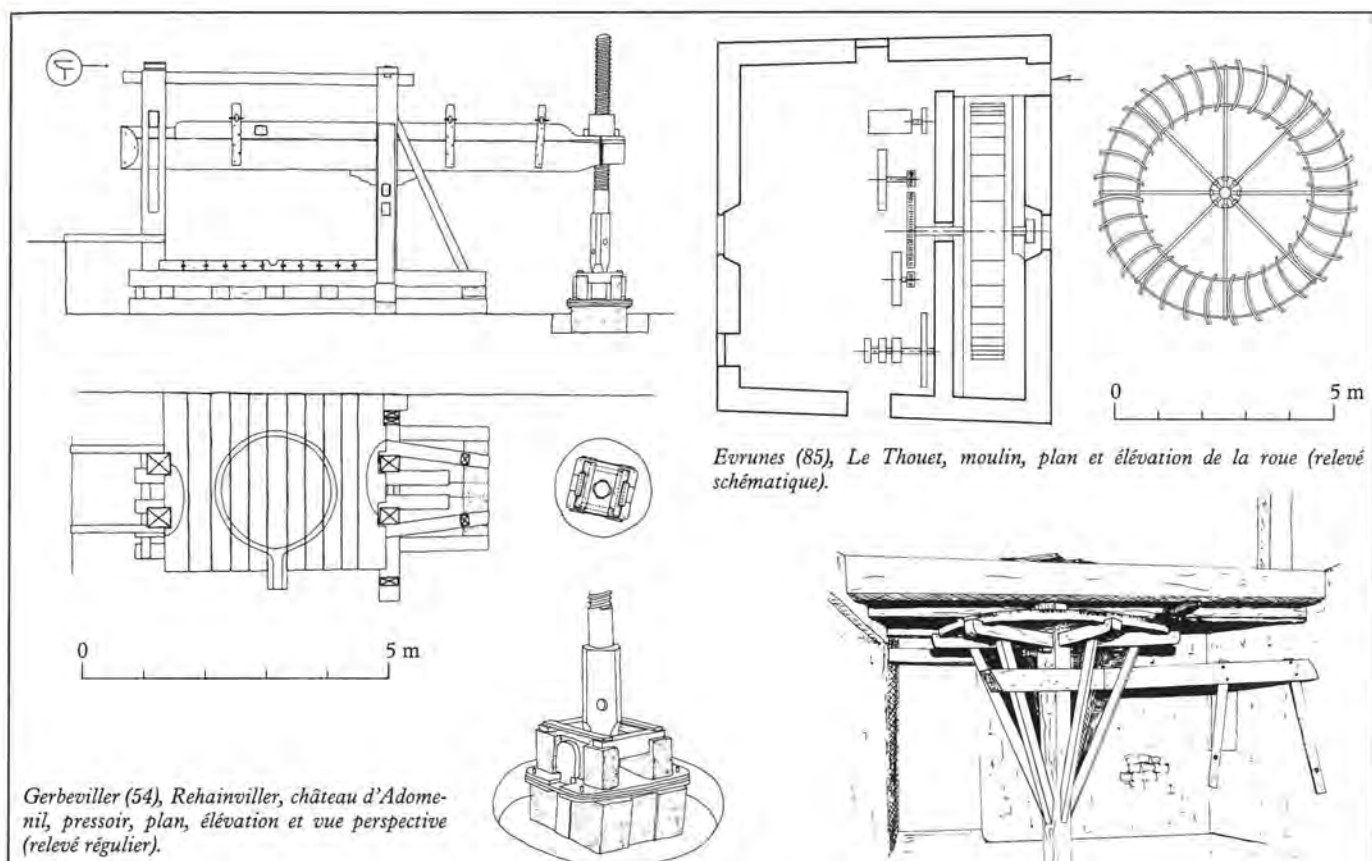
L'analyse de la chronologie, celle de la structure, la recherche sur la conception architecturale ou les tracés directeurs ne conduisent pas au choix des mêmes outils, n'aboutissent pas aux mêmes représentations. Si l'appréhension des formes et la connaissance des équilibres appellent des coupes et très souvent le "recouplement" des figures, la précision sera nécessairement requise lorsque de ces informations dépendra la sauvegarde de l'édifice. Enfin la difficulté s'en trouvera accrue lorsqu'il s'agira d'éclairer le fonctionnement, c'est-à-dire qu'à la complexité du volume, s'ajoutera la mobilité de ses éléments : la multiplication des dessins, en particulier volumétriques, deviendra la règle absolue.



Paris, *Museum d'histoire naturelle, grande serre, face postérieure* (relevé par photogrammétrie). La structure de métal et verre est mise en évidence en hiérarchisant, de la gauche à la droite de la figure, les diverses pièces du pan de fer.



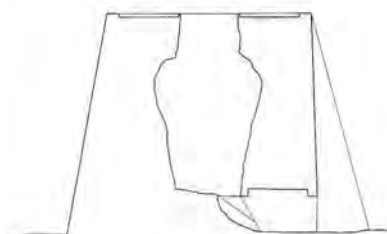
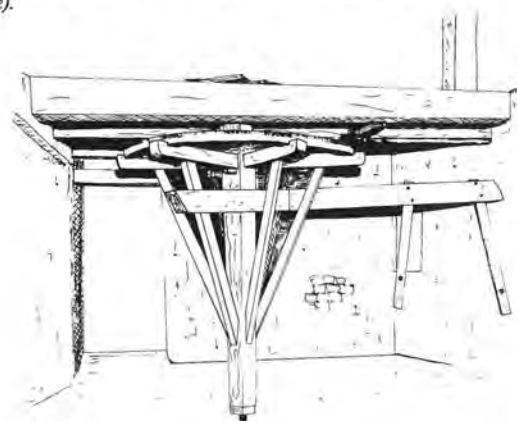
Etampes (91), *église Saint-Martin, tour, face latérale droite* (relevé par photogrammétrie). Le relevé révèle des déversements différents pour chaque niveau de la tour ; l'analyse fine éclaire la chronologie relative de construction avec deux phases pour la tour et une pour le beffroi.



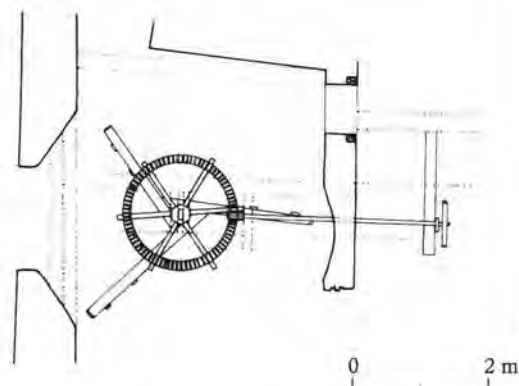
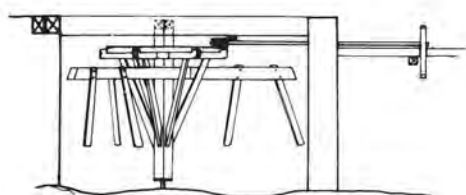
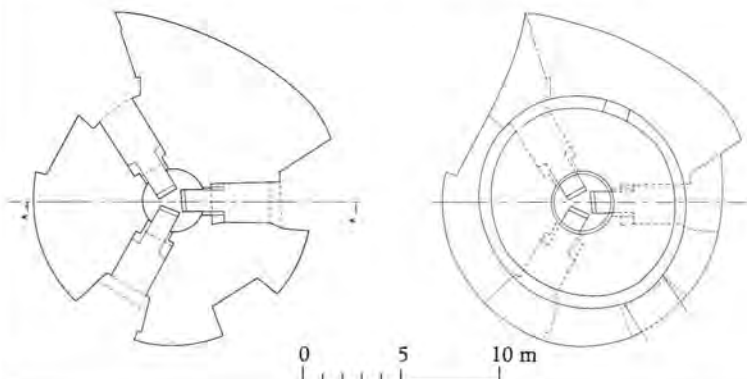
Evrunes (85), Le Thouet, moulin, plan et élévation de la roue (relevé schématique).

Gerbeviller (54), Rehainviller, château d'Adomeuil, pressoir, plan, élévation et vue perspective (relevé régulier).

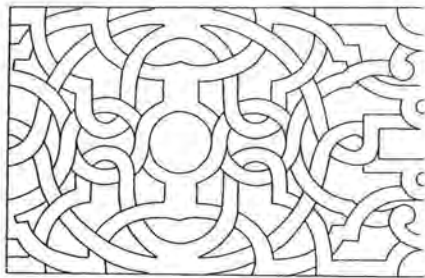
Le fonctionnement de ces mécaniques s'éclaire à travers la multiplication des figures d'ensemble et de détails.



Montjean (49), Châteaupanne, four à chaux, plans à deux niveaux et élévation (relevés schématiques). La reconnaissance de la forme passe par la multiplication des figures seule capable de rendre compte du volume.

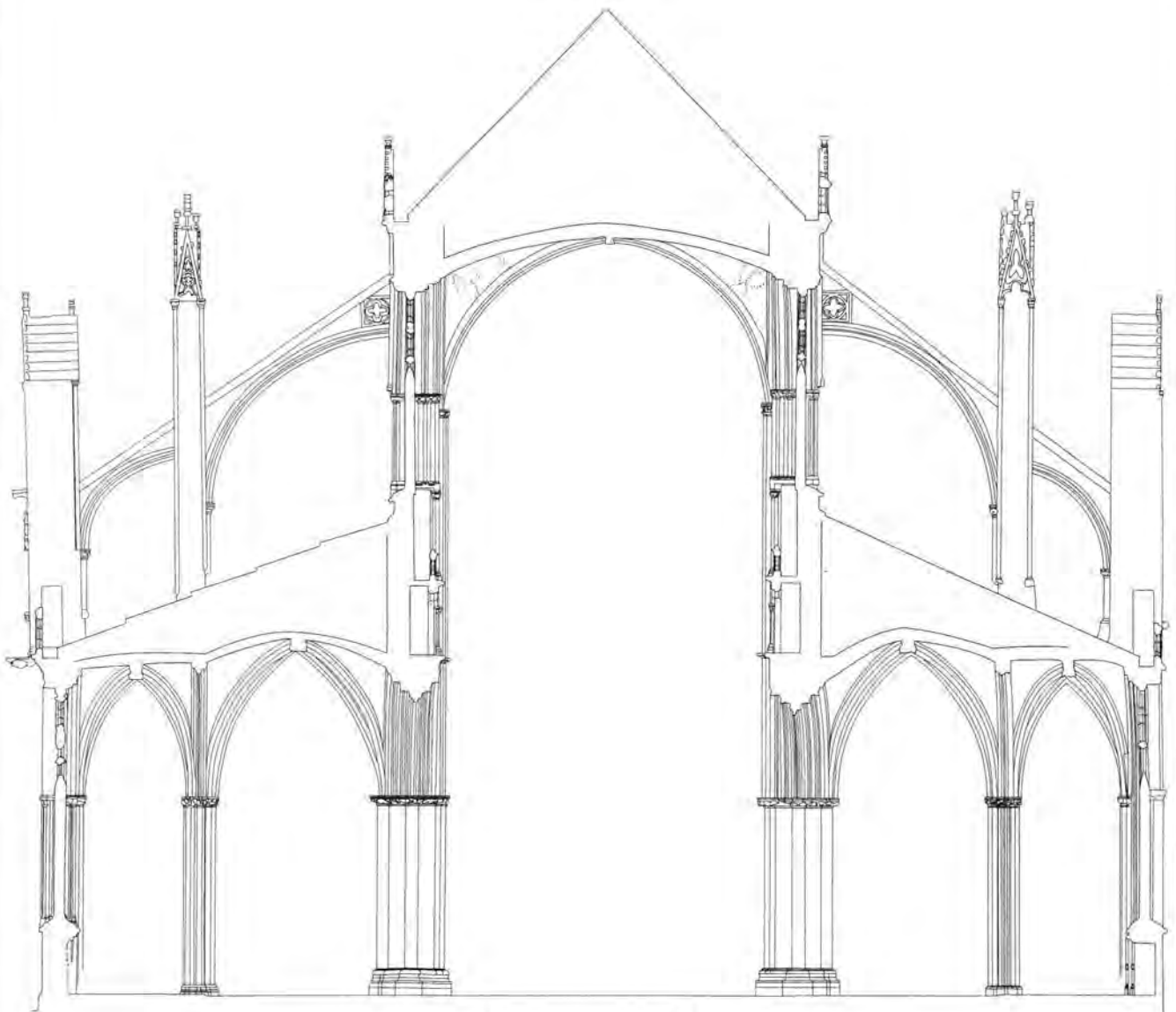
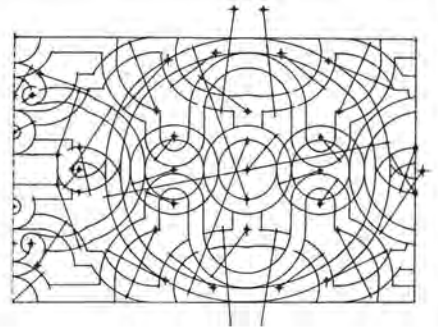


Saint-Max (54), Champenoux, maison, manège à chevaux, plan, élévation et vue perspective (relevé schématique).



Nancy (54), maison, 2 rue des Etats, balustrade du premier niveau de la galerie; élévations relevée et restituée (relevé manuel). L'analyse de la conception s'effectue à partir du relevé et par la restitution géométrique des tracés sur un schéma théorique de tracé directeur.

0 50 cm

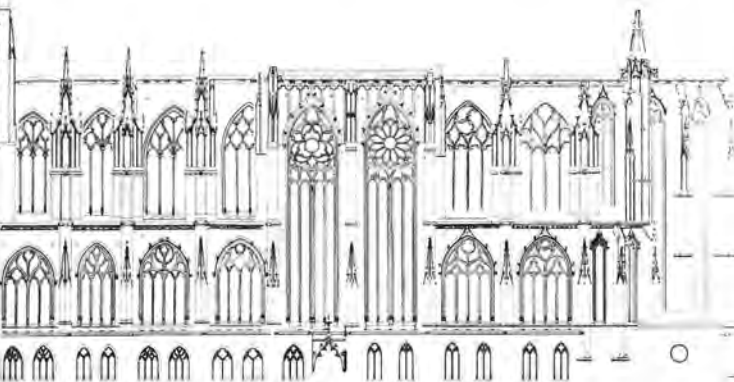
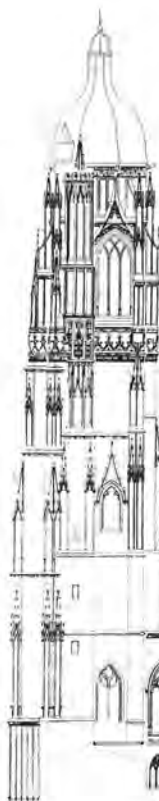
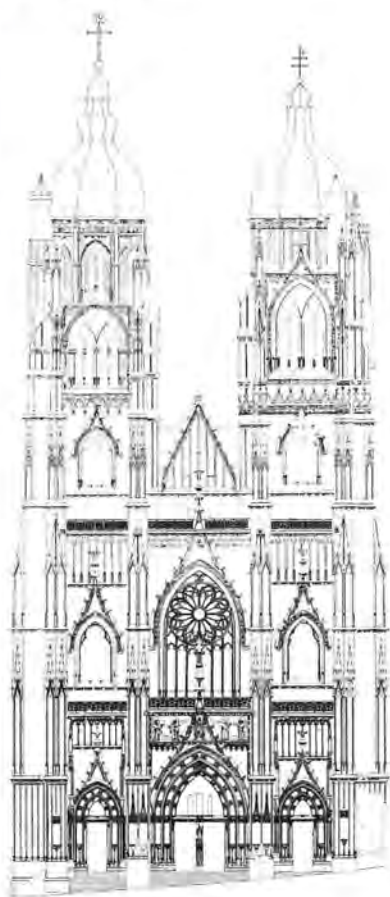


0 5 m

Quimper (29), cathédrale Saint-Corentin, coupe sur la 3^e travée de chœur (relevé par photogrammétrie). La compréhension de la structure complexe d'un tel édifice passe par ce type de relevé qui exprime l'équilibre des poussées et des tensions.

Le volume de l'objet et l'épaisseur du plan.

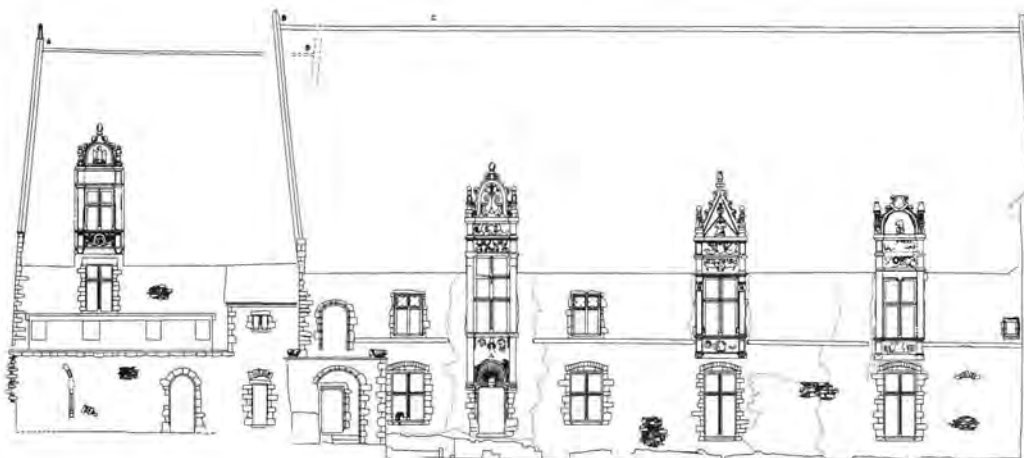
Tout au long de l'opération de relevé, constamment lors du dessin, l'opérateur est confronté au volume de l'objet et à l'espace dans lequel il s'inscrit.



0 5 10 m

Le volume architectural est certes composé de facettes bien souvent planes mais il est difficilement développable et sa projection est forcément réductrice : particulièrement, le système du géométral, au cours de l'élaboration du plan, de l'élévation et de la coupe, se heurte à l'impossibilité de rendre dans l'aplat, les lignes significatives qui s'expriment dans les trois dimensions. Quel que soit le type de figure, le problème de la superposition spatiale doit se régler de la manière la plus simple, claire et logique possible et en gardant présent à l'esprit que, pour le lecteur l'édifice sert de référence pour identifier et valider l'information : en-deçà de la forme elle-même, de ses dimensions, la ligne du dessin doit pouvoir être reconnue sans erreur possible dans la matière de l'édifice.

Saint-Nicolas-de-Port (54), église Saint-Nicolas, face antérieure et face latérale droite (relevé par photogrammétrie).

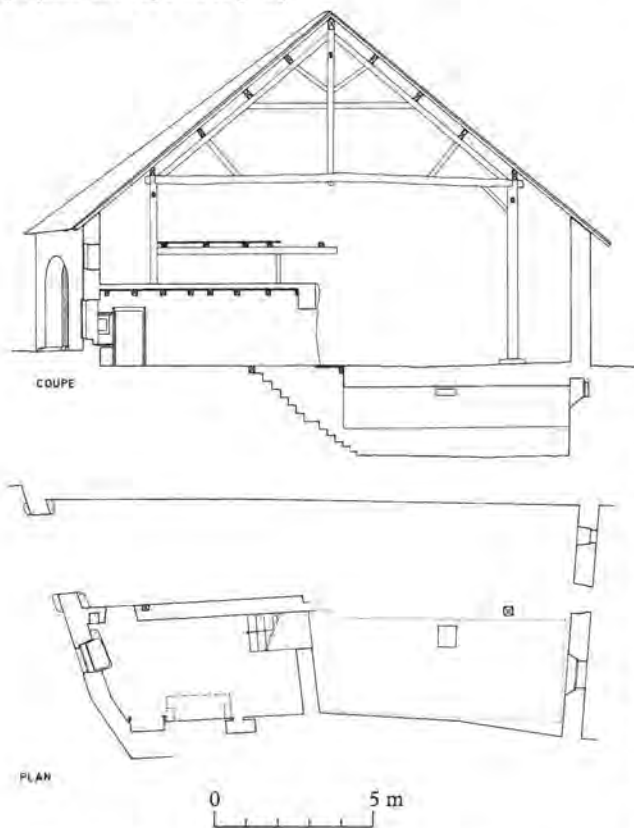


0 5 10 m

Laval (53), place de la Trémoille, château, élévations du logis (relevé par photogrammétrie). La construction elle-même mais surtout l'hétérogénéité chronologique des corps de bâtiments, introduit, dans tous les relevés réguliers, le problème du choix du plan de projection. Celui-ci ne peut suivre les inflexions des multiples facettes et se révèle ainsi forcément réducteur.

Le parti-pris de la figure distingue hiérarchiquement trois zones, d'inégales valeurs, dans le volume de l'objet : un *plan* principal (et nous distinguerons ce *plan* géométrique, par l'italique de la figure du même nom), une tranche d'espace de faible épaisseur de part et d'autre de ce *plan*, enfin un secteur invisible dans la logique du système de projection retenu.

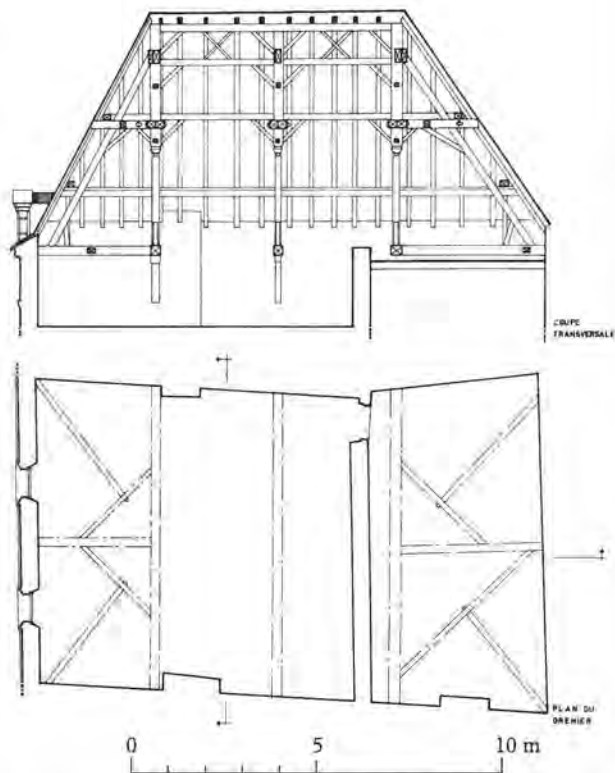
- le *plan* principal s'exprime par un trait épais continu : il correspond à l'orientation choisie du *plan* de projection et se confond ou se rapporte, lorsque c'est possible, à une face architecturale. La section, qu'elle soit verticale ou horizontale doit être sans ambiguïté et donne lieu, si nécessaire, à un positionnement sur la figure qui lui est perpendiculaire (respectivement, sur le plan ou la coupe pour la coupe ou le plan).



Neufchâteau (88), Rebeuville, ferme, plan et coupe transversale.

Lorsque, sur la même planche ou lors de l'édition, le plan et la coupe sont rapprochés, les deux figures sont évidemment traitées à la même échelle, avec une orientation qui permet le rappel visuel et il est préférable de renvoyer la coupe au-dessus du plan.

Pour le *plan*, la section au niveau du sol supprime toute confusion quand bien les niveaux sont différents à l'intérieur et à l'extérieur de l'édifice ; on ne devrait pas lui préférer la section au-dessus de l'appui des baies qui part d'une hypothèse de régularité bien souvent démentie ou la section à 1 m. du sol qui n'excluera jamais qu'apparaisse la baie dont l'appui est à 1,20 m. A choisir, on traitera en trait épais ce qui a été réellement relevé (les bases plutôt que les piliers) sauf si l'intelligence du relevé est en cause : le lambris

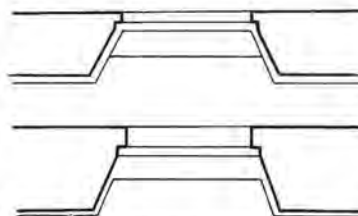


Neufchâteau (88), maison, 1 place Jeanne-d'Arc, plan des combles et coupe transversale (relevé schématique).

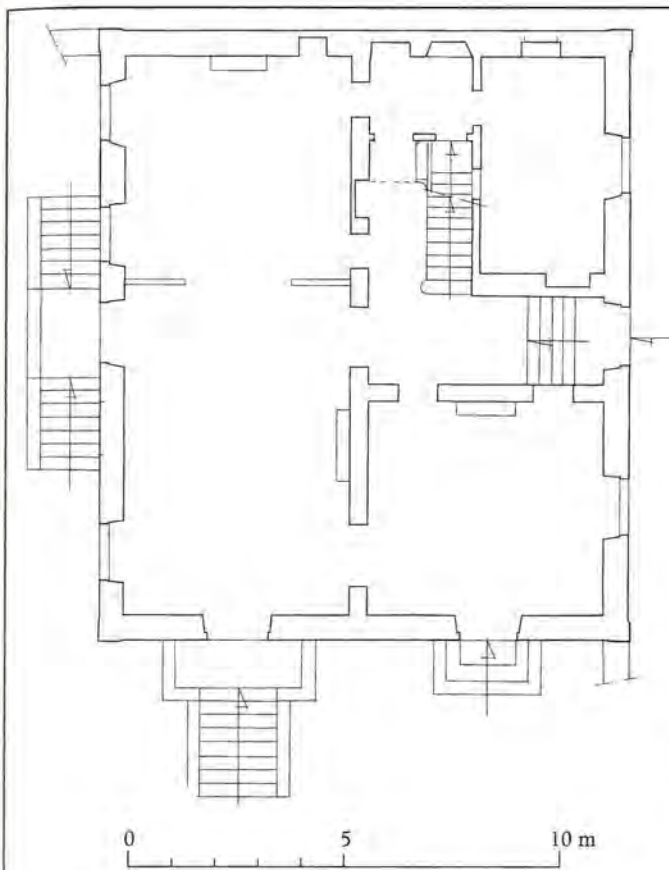
n'apparaîtra, s'il est nécessaire à la compréhension de la figure, qu'en trait fin, et le nu du mur qu'il masque en trait épais, continu s'il est sûr, tireté s'il est hypothétique.

Dans le cas du *plan de toiture*, le *plan* passe artificiellement au sommet des murs extérieurs délimitant les bâtiments dont le périmètre sera indiqué par un trait épais. Pour la *coupe*, il va de soi qu'elle passe par les axes architecturaux (notamment en ce qui concerne les voûtes) ; mais pour rester intelligible, la multiplication des sauts de coupe doit être rigoureusement limitée à la section de deux ou trois corps de bâtiment.

Pour l'*élévation*, lorsque son *plan* de projection correspond à une face architecturale, le trait épais la cerne ainsi que les vides. Dans le cas fréquent de la *coupe-élévation*, les *plans* logiques de coupe et d'élévation ne sont pas forcément parallèles, il faut alors choisir, comme *plan* de référence, celui qui correspond au maximum d'informations (bien souvent l'élévation) ou, à l'information que l'on veut privilégier.

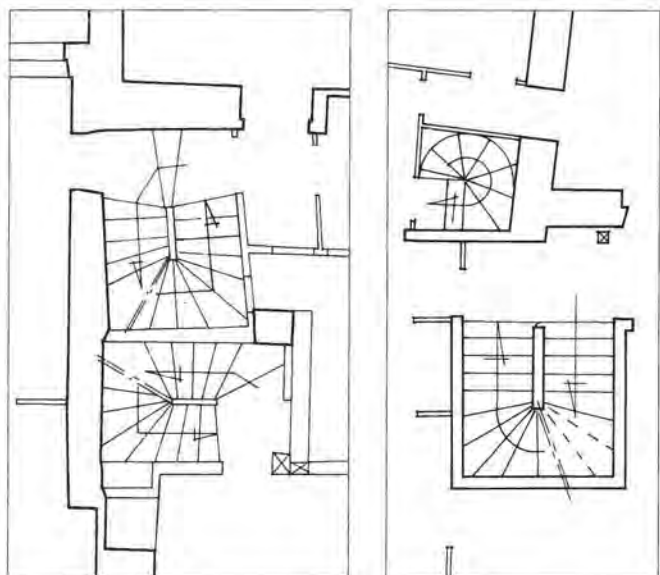
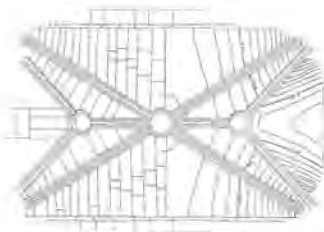


Représentation de baies avec lambris formant appui (figure en bas) et lambris haut et appui différenciés.



• les informations contenues dans la zone proche du *plan* principal s'expriment par un trait continu moyen, s'il s'agit du gros œuvre, fin s'il s'agit de données subsidiaires. Dans les **plans**, les seuils, les emmarchements, les pavements... Dans les **élévations** et les **coupes**, les arêtes et faitages, les ressauts et brisures de *plans*, les moulurations, les réseaux, le profil du décor (si nécessaire), les appareils (notamment ceux formant relief — bossages, refends, chaînes — ou structure — plate-bande et arcs de décharge —) apparaissent en trait moyen. Le trait fin sera réservé au positionnement du lambris (notamment s'il masque le gros œuvre), de l'immobilier par destination mais aussi, s'ils sont nécessaires, au rendu des détails de l'ornementation et du décor, au rendu des réseaux de bois ou des détails de vantaux. Au cas d'adjonctions clairement postérieures (cloisons légères, appentis...). Les **courbes de niveau** (en général obtenues par photogrammétrie) sont traitées en trait fin ; on évitera leur superposition au tracé de l'appareil.

Commercy (55), Corniéville, abbaye de Rangeval, relevé de voûte mi-partie en courbes de niveau, mi-partie en appareil (relevé par photogrammétrie).



Représentations d'escaliers :

A gauche : Nantes (44), rue de Gigant, maison, plan.

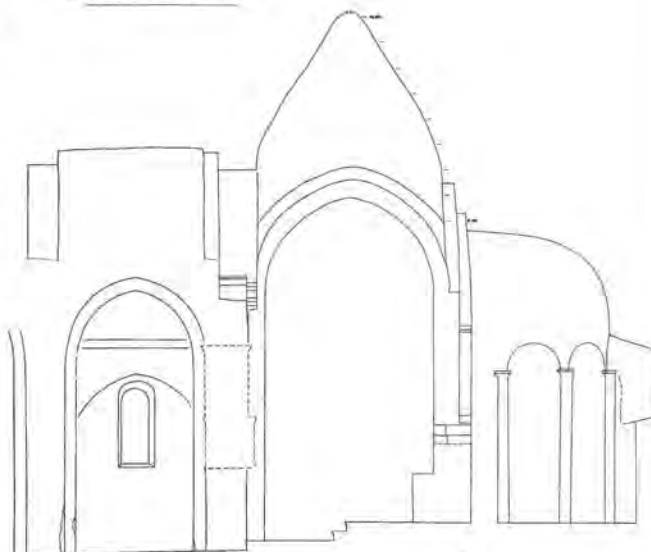
Ci-dessus, à gauche : La Ferté-Bernard (72), 4 et 6 rue Delabard, maison, détail du plan.

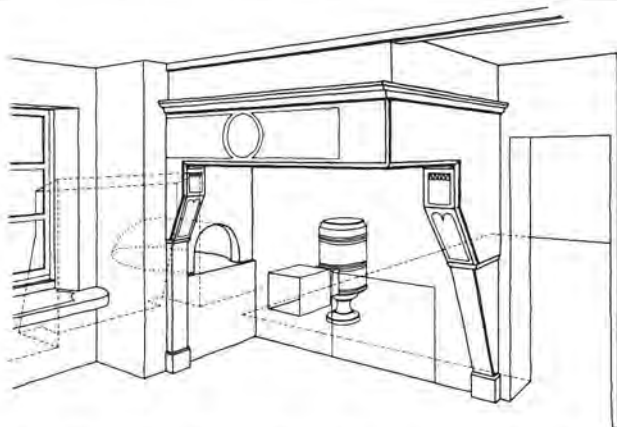
Ci-dessus, à droite : Nantes (44), 1 rue de Bel-Air, maison, détail du plan.

Les escaliers sont développés le plus complètement possible, jusqu'à la limite du recouvrement au même aplomb, afin d'éviter la confusion avec la représentation d'emmarchements limités ou de paliers.

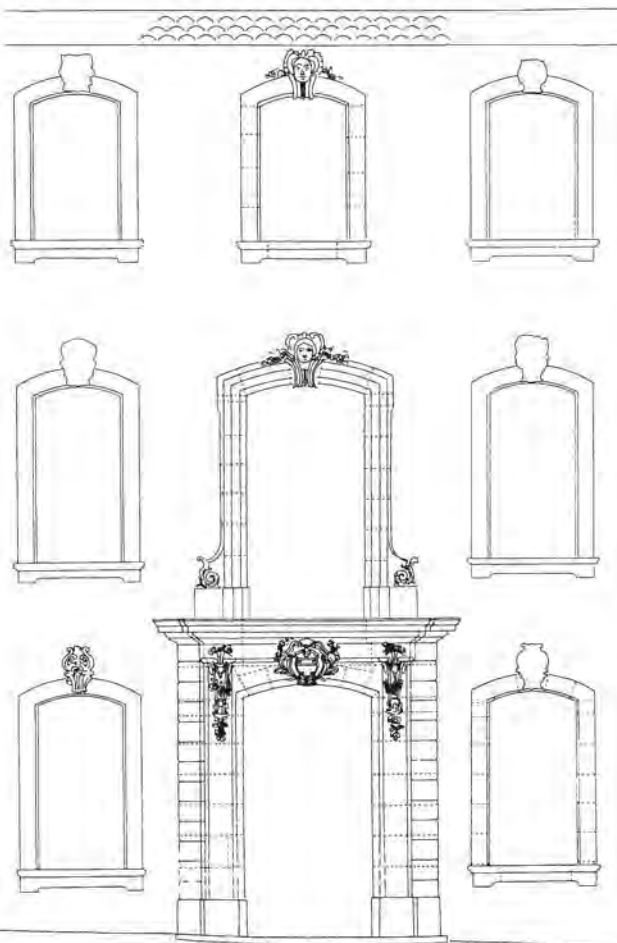


Viviers (07), Saint-Thomé, église Saint-Thomas, coupe transversale avec plan de voûtement de la croisée du transept.



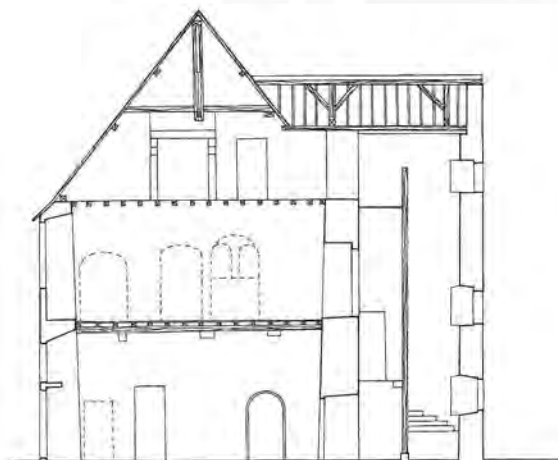


Audun-le-Roman (54), Mercy-le-Haut, ferme, axonométrie de la cheminée du rez-de-chaussée.

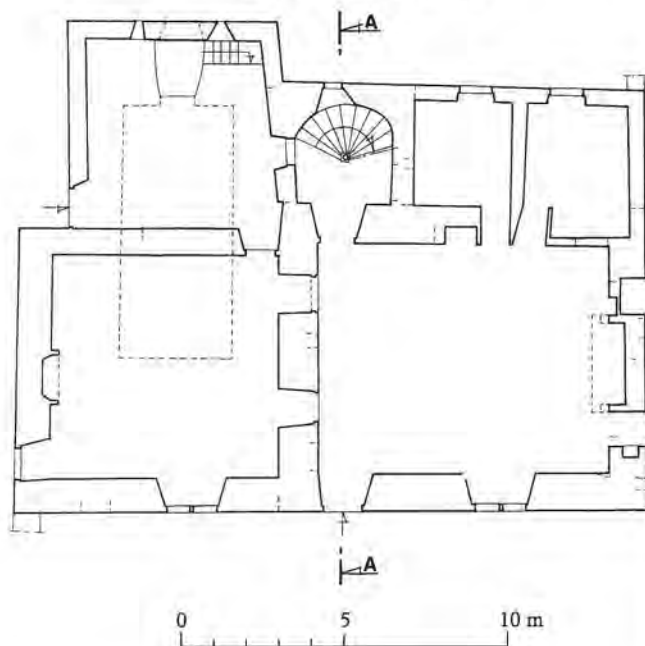


0 5 m

Viviers (07), Grande-Rue, hôtel de Fontanès, détail de l'élévation antérieure (relevé par photogrammétrie).



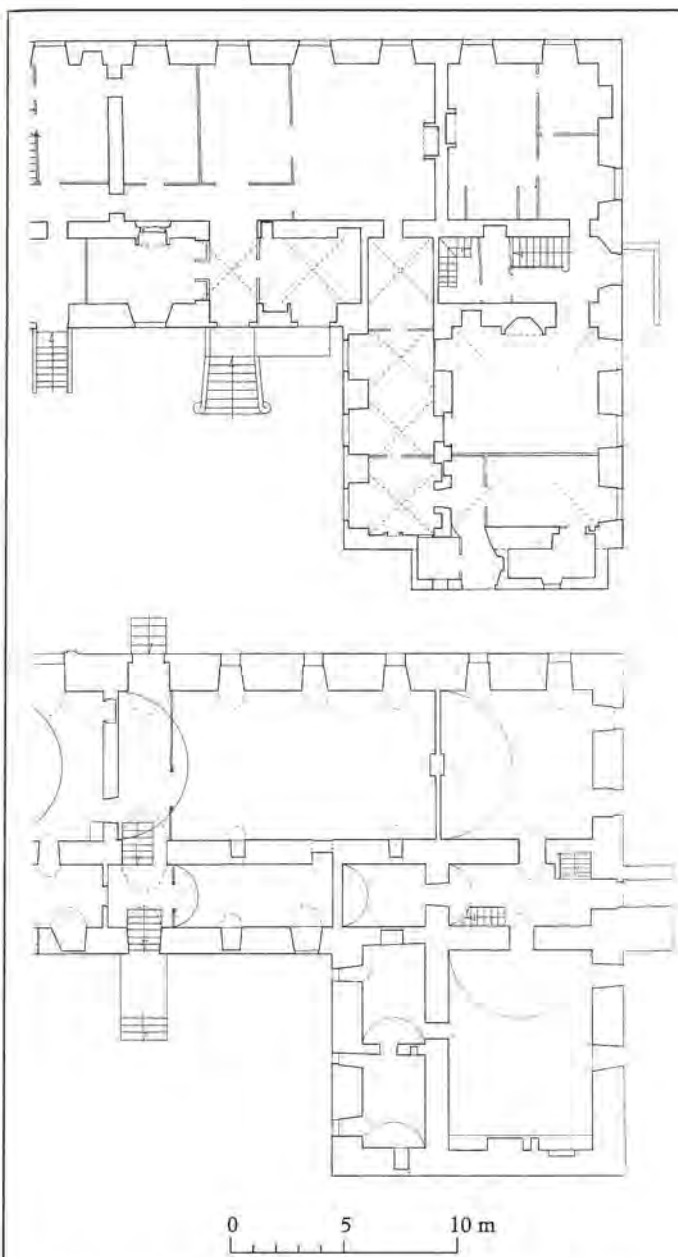
Coupe A-A simplifiée



Auvers-le-Hamon (72), Fresnay, maison, plan du rez-de-chaussée et coupe transversale.

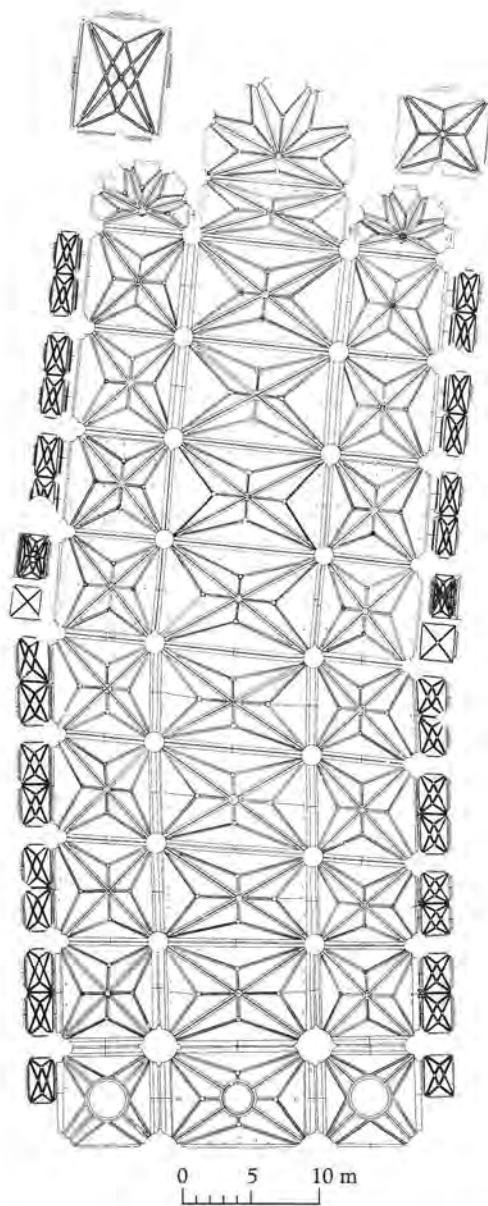
• Le trait tireté moyen indiquera les informations que le choix du *plan* de projection ou que l'opacité du matériau rendent invisibles : sous le sol (implantation de structures souterraines, crypte, cave,...), derrière ou dans l'épaisseur du mur (collage, baie murée, conduit de cheminée...).

Sur les **plans** au sol, les **couvrements**, situés derrière l'observateur ou vus à travers l'extrados, s'expriment également par un tireté moyen conventionnel. Les arcs et nervures, les grandes catégories de couverture sont représentés par leurs projections. Sauf par relevé photogrammétrique, il s'agit d'une représentation symbolique strictement allusive à la réalité géométrique ; la photo

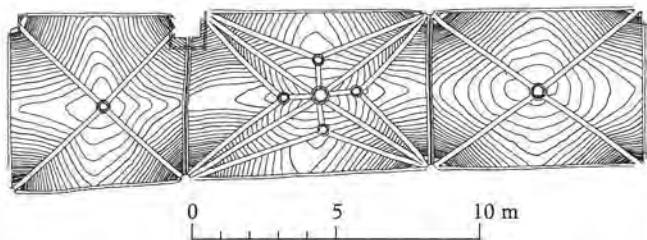


La Ferté-Bernard (72), ancien couvent de la Visitation, plans des caves et du rez-de-chaussée (vues partielles).

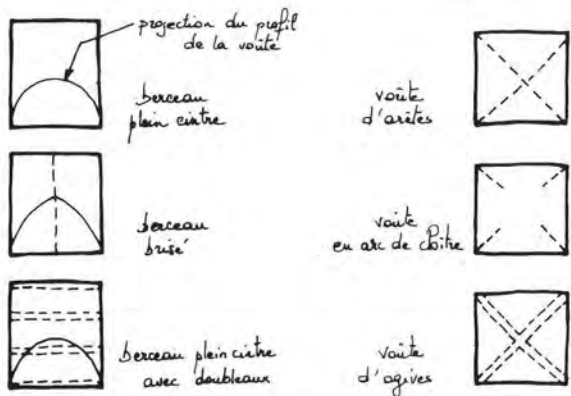
et les croquis de voûtement peuvent bien souvent avantageusement remplacer cette figuration que, par ailleurs, il convient d'éviter lorsqu'il s'agit de voûtes à arêtes ou nervures multiples qui viendraient à surcharger le plan jusqu'à le rendre illisible. Pour des études fines des couvrements, la photogrammétrie permet d'obtenir le tracé exact des projections d'arêtes, de nervures et de la stéréotomie ; sans travail supplémentaire de saisie, et automatiquement, les tables traçantes offrent la possibilité de représentations volumétriques (isométries par exemple) et des logiciels traduisent les données saisies sur les voûtains en courbes de niveau.



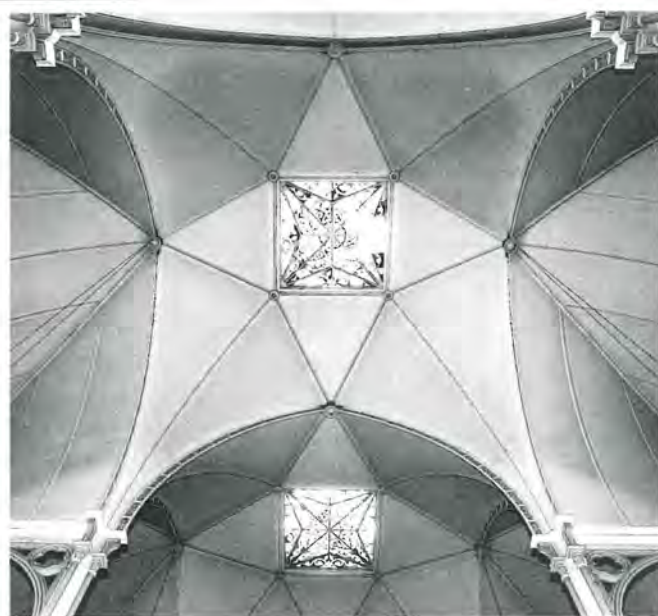
Saint-Nicolas-de-Port (54), église Saint-Nicolas, plan de voûtement (relevé par photogrammétrie).



Chalo-Saint-Mars (91), église Saint-Médard, plan de voûtement (partiel).



Codes de voûtement.



Le Vésinet (78), église Sainte-Marguerite, les voûtes de la nef.

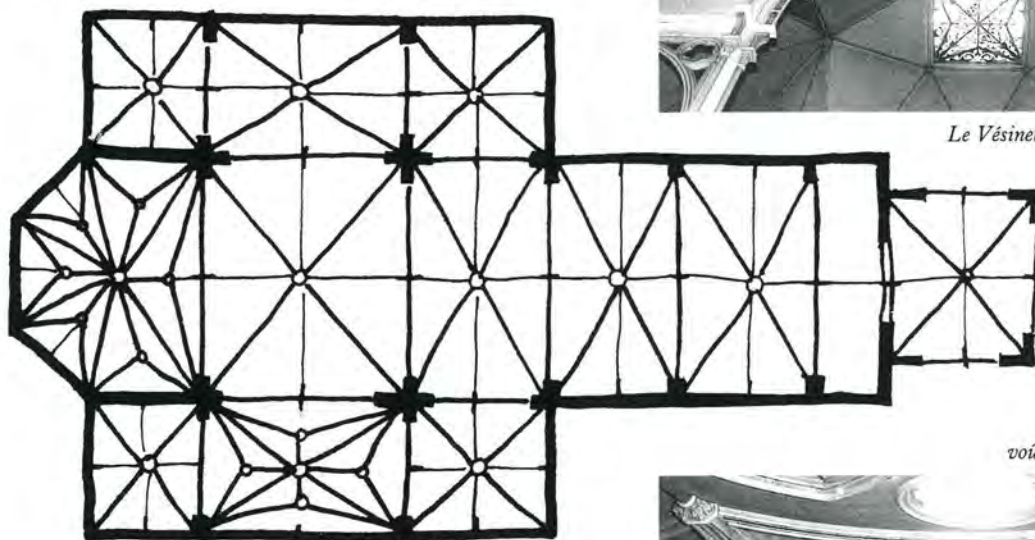
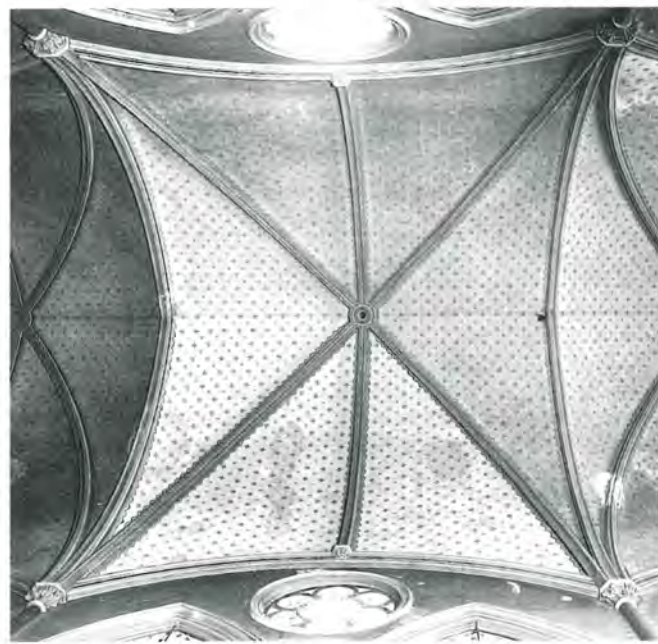


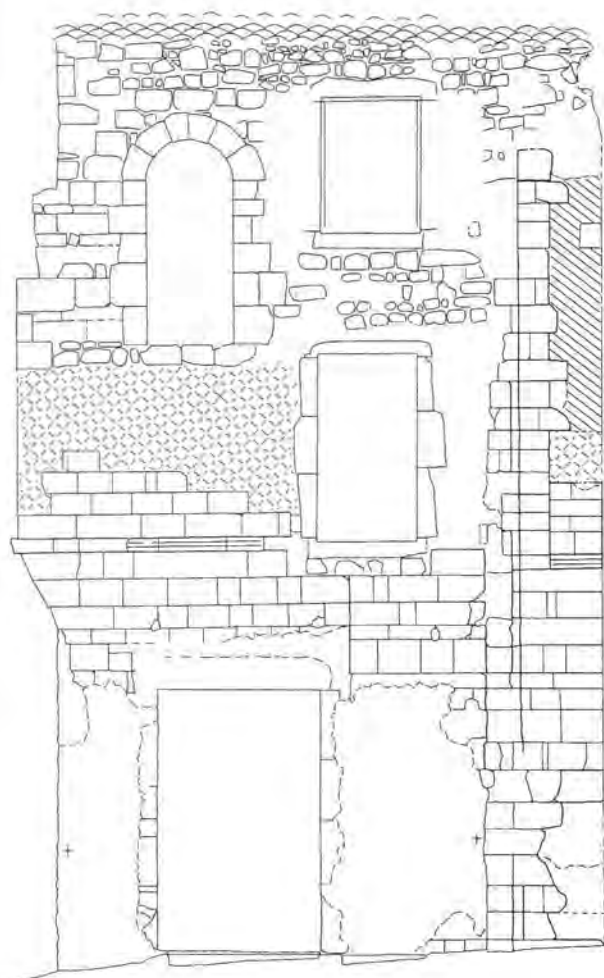
Schéma de voûtement.

Paris, église Saint-Eugène, voûte du vaisseau principal de nef.



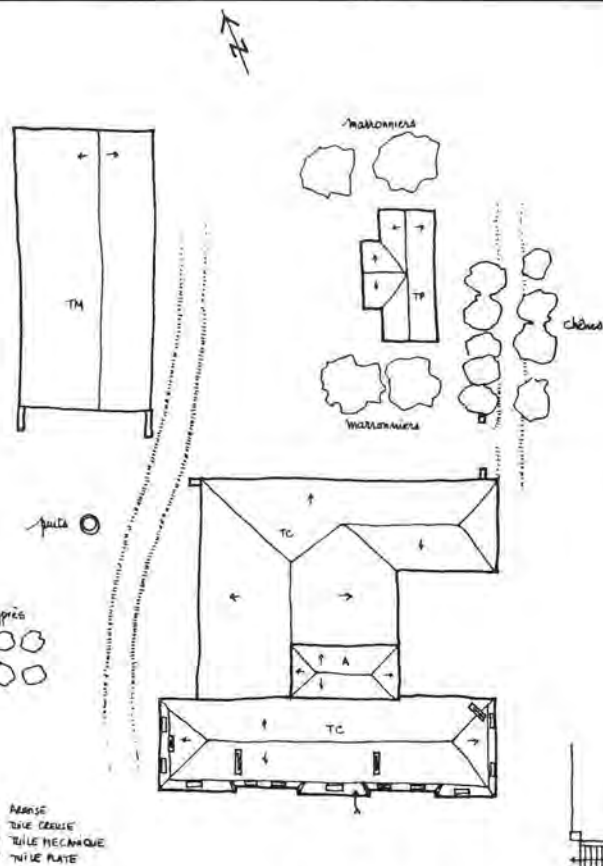
Noyon (60), cathédrale Notre-Dame, voûte de la croisée du transept, isométrie obtenue par photogrammétrie à partir du fichier de plan.

Sur la même planche, il faut éviter : la surabondance d'une information qui est toujours source de polysémie : dessin de pavement (ou de plancher), projection de voûte...se superposant aux traces d'embranchements. L'élargissement de la profondeur de représentation : les phénomènes de transparence sont à éviter dans les figures d'élévation ; dans un édifice à vaisseaux et travées on ne dépassera pas l'épaisseur d'une demi-travée et il faut proscrire les représentations du chevet ou du revers de la face antérieure apparaissant en "découverte" dans la coupe transversale sur le carré du transept. dans les plans on proscriera également la figuration conjointe des fenêtres hautes et basses. La démultiplication des planches est toujours préférable.



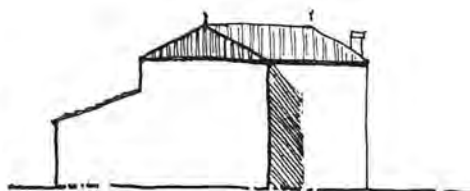
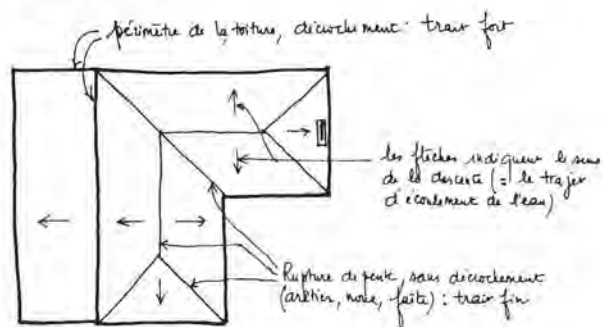
0 5 m

Viviers (07), rue de la République, vestiges de la porte Riquet. L'appareil est bien souvent représenté par une trame analogique qui introduit une hésitation regrettable entre ce qui est mesuré et relevé et ce qui ne l'est pas. Les appareils non relevés doivent apparaître comme tels (dans la légende par exemple); certaines trames qui ne prêtent pas à confusion indiqueront des zones particulières : ici, deux trames indiquent les arrachements d'un mur de refends d'une part et d'autre part ceux de couvrements.

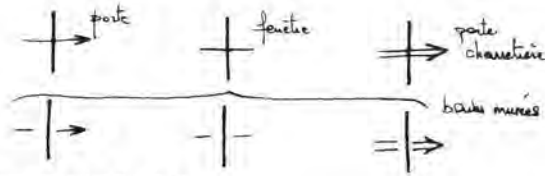


- CROQUIS DE PLAN MASSE -

Croquis de plan masse.



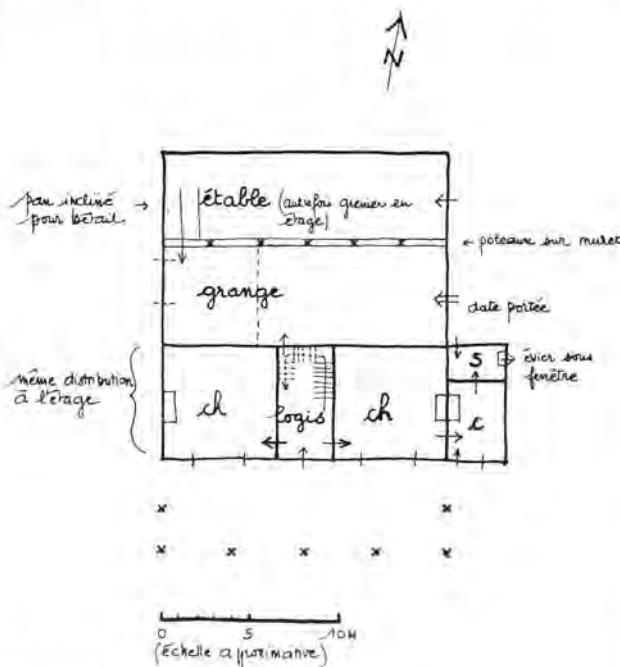
Croquis en plan et élévation indiquant les codes de représentations des toitures.



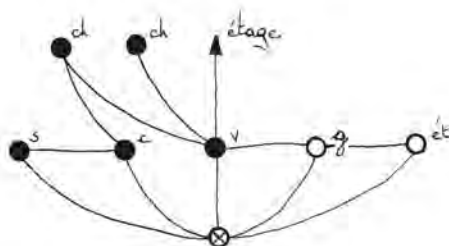
Codes de représentation des baies.

Aucun essai de **normalisation** de symboles architecturaux n'a été jusqu'à présent concluant, la multiplication des symboles analogiques conduit, comme en cartographie, à ignorer ou oublier ce qu'ils représentent ; leur usage alourdit la tâche du dessinateur sans éclairer l'utilisateur. Les symboles à utiliser restent en nombre limité. En dehors des représentations de couvertures, ils peuvent être limités à la **flèche** et concernent l'orientation, les escaliers et les toitures, et à quelques symboles utilisés pour simplifier la rédaction des croquis. Une simple flèche surchargée de la lettre N indique l'**orientation au nord**, déjà présente sur les plans de situation (voir dans la collection Documents & Méthodes, *La cartographie*, à paraître). Les **escaliers** et les **emmarchements**

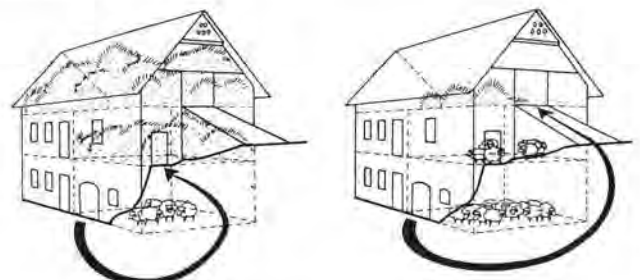
doivent porter une flèche indiquant dans quel sens ils montent ; pour éviter qu'un trait signalant une contre-marche perde sa signification, il convient que la tige de la flèche interrompe franchement les lignes indiquant les emmarchements. Au contraire, des escaliers, les flèches de **pentés des toitures** indiquent la descente car elles correspondent au sens d'écoulement des eaux ; pour éviter l'ambiguïté la flèche est toujours portée, même lorsque l'organisation des toitures reste évidente. L'oubli, toujours possible, étant exclu, l'absence de flèche ne correspond qu'à la terrasse. Dans les croquis, en traversant le trait des parois, la flèche indique une porte, si la tige est double, il s'agit d'une porte charretière ; un simple trait indique une fenêtre. Si ces baies sont murées, le trait et la flèche, simple ou double sont interrompus de part et d'autre de la paroi. Une flèche longue indique un escalier ou, si manquent les traits des contre-marches, une rampe inclinée (et le sens de sa montée). Il convient, quand on veut rendre visible les circulations, sur un plan ou un schéma, d'utiliser des flèches dont la tige d'épaisseur variable renforce l'idée même de **circulation** ; un autre moyen, plus synthétique, et qui favorise les comparaisons est de recourir à un graphe.



Croquis de distribution.

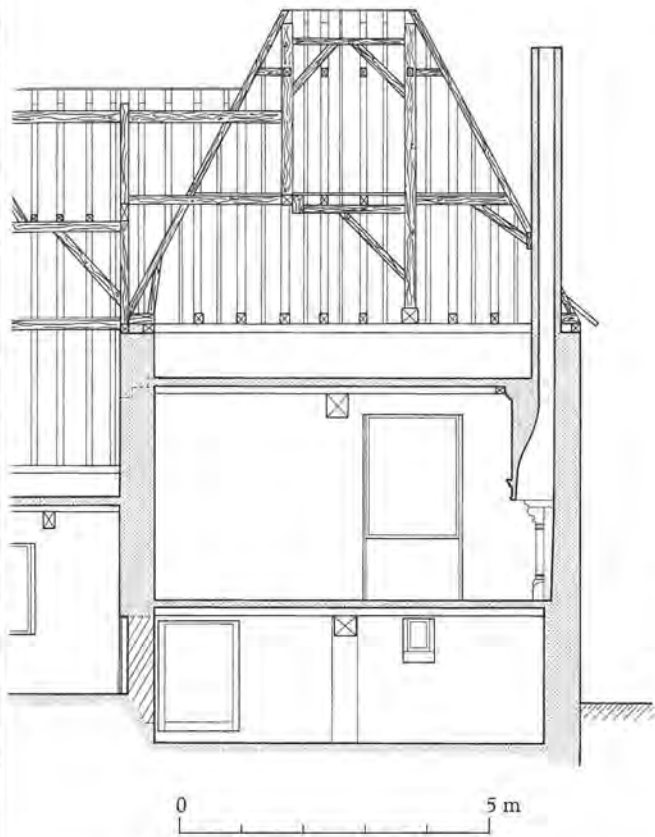


Représentation par graphe de la précédente distribution.



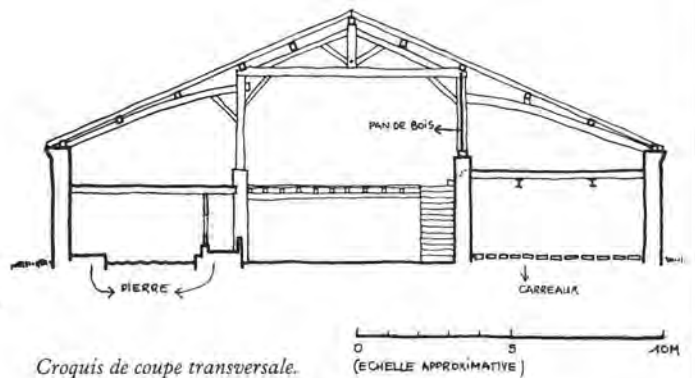
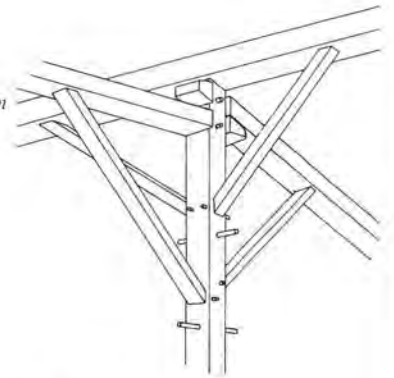
Orcières (05), les Ratières, maisons-fermes, croquis de circulation montrant l'utilisation de la "Miane."

Les **lettres et chiffres** introduits dans la figure renvoient toujours à une légende ou à un texte d'accompagnement ; si les figures sont destinées à la publication, il est préférable de les reporter sur un double (tirage ou photocopie...) confié à l'imprimeur (ou au maquettiste) avec la figure vierge. Ces caractères peuvent indiquer les corps de bâtiment, les divisions de l'espace et les fonctions, des détails d'architecture ou la localisation d'objets mobiliers (dans ce dernier cas ils permettront de ne point encombrer la figure de périmètres bien souvent simplement indicatifs). Les coupes et les renvois aux planches de détails seront aussi localisés de cette manière. Lorsque les renvois sont abondants, il est nécessaire de les hiérarchiser en réservant les majuscules par exemple aux corps de bâtiments, les minuscules aux distributions, fonctions et objets mobiliers, les chiffres aux détails... Dans le cas d'une trop grande abondance, il est préférable de prévoir plusieurs figures présentant chacune un thème. Il est prudent pour éviter toute confusion de ne pas utiliser lettres I, O, U et de réserver les lettres V, W, X, Y, Z au repérage des coupes ; sauf impossibilité, les nombres de 1 à 9 seront seulement employés. Dans les plans de distribution, l'emploi des abréviations usuelles : ch pour chambre, c pour cuisine, sdb pour salle de bains... n'exclut pas de les figurer dans la légende. Les éléments répétitifs seront désignés avec raison par la même lettre accompagnée de chiffres : a1, a2, a3...



Souvigné-sur-Même (72), la Grande-Roche, maison, coupe longitudinale partielle (relevé schématique).

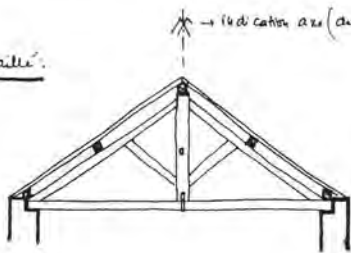
Saint-Nicolas-de-Port (54), Art-sur-Meurthe, maison, croquis perspectif d'un poinçon de la charpente.



Croquis de coupe transversale.

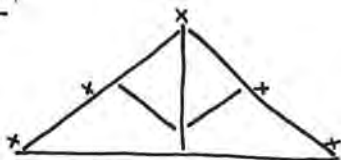
Les dessins de **charpentes** doivent distinguer les pièces sectionnées en les signalant par un croisillon; pour différencier les matériaux ou les fonctions (fermes et versants par exemple), des traits fins onvés et irréguliers figureront le rendu traditionnel du bois.

Relevé détaillé:



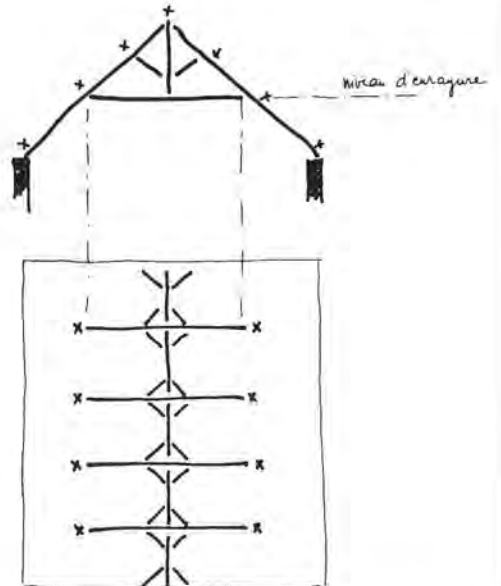
☒ → pièce continue (coupée ici par le plan de coupe)
 | ☐ → pièce interrompue (ici, par le poinçon) ⇒ indication de la mortaise

Et croquis:

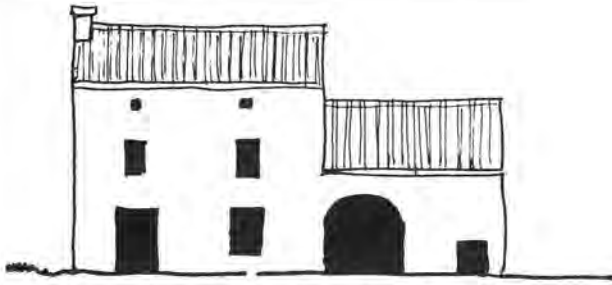


A
 ↓ la pièce A est interrompue par la pièce B
 B

x = ☒ (croquis) (relevé détaillé)

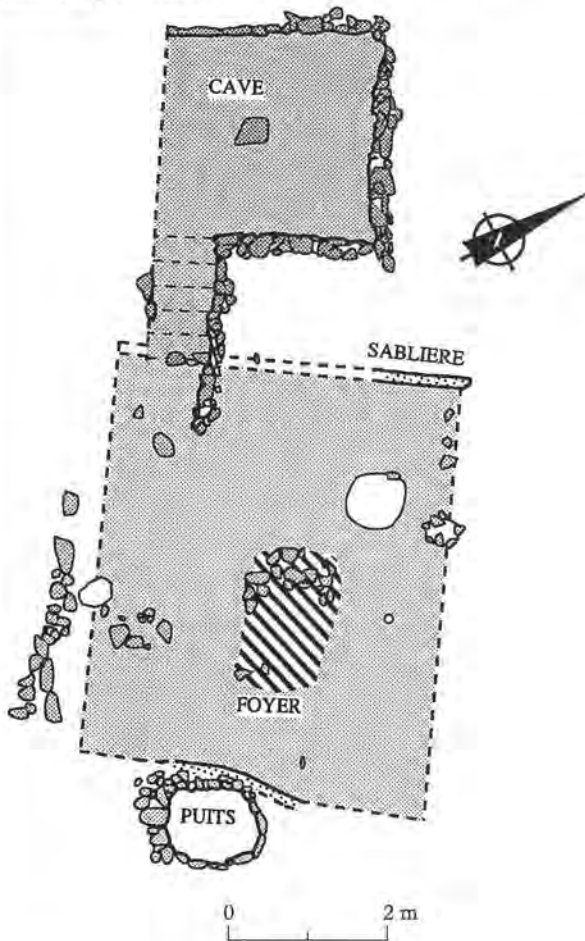


Croquis de charpentes, plan, coupes et codes.

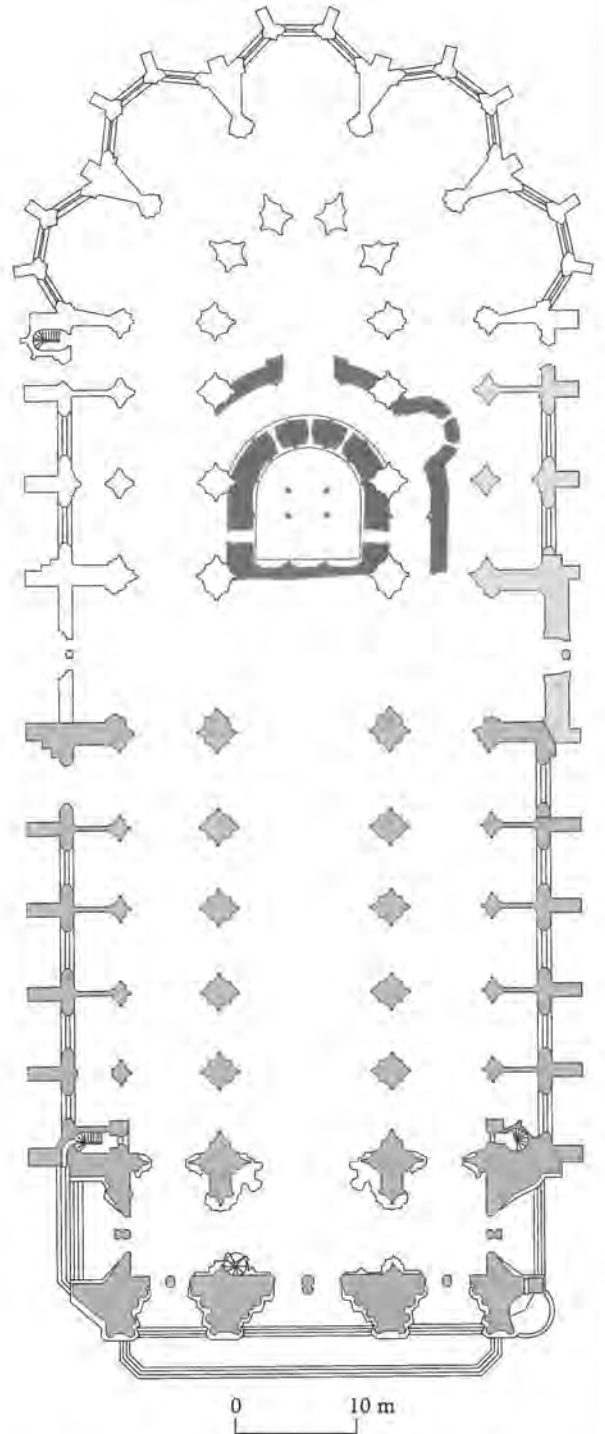


Croquis en élévation marquant les pleins et les vides.

Les **trames** sont à éviter sur les originaux car la réduction de l'image, pour l'édition par exemple, occasionne souvent un fâcheux effet de moirage. En cas de nécessité, on utilisera les trames les plus simples : aplat noir pour indiquer les vides ou hachures dans une paroi dont un seul nu a pu être relevé (habitat troglodytique). L'utilisation de l'ordinateur et des logiciels graphiques, avec l'usage des tables traçantes ou des images numérisées, facilite l'application de trames.



Besançon (25), chantier archéologique "parking-mairie," J.-O. Guilhot, représentations traitées informatiquement de "types de constructions à la phase 1."



- | | |
|--|--|
|  Crypte romane |  XV ^e -XVI ^e siècle |
|  XVII ^e siècle |  XIX ^e siècle |

Nantes (44), cathédrale Saint-Pierre, plan chronologique simplifié.

11.6. Le dossier d'étude

Si l'ensemble de ces observations se pose à chaque décision de relevé, il s'impose lorsque l'hypothèse ne saurait être validée par d'autres analyses. Dans le cas du dossier d'étude, la démarche du relevé répondra à une dialectique de la recherche qui vise à dresser l'état de la question pour l'objet à étudier. L'intervention d'autres sources documentaires, la conduite, somme toute plus classique pour aborder la résolution des énigmes doit mener le chercheur à confronter les apports des différents moyens à sa disposition, à répondre par le relevé à l'interrogation suscitée par l'analyse du document d'archive et inversement.

Le relevé procède d'un souci heuristique de rendre évidentes les interrogations et les conclusions de la recherche.

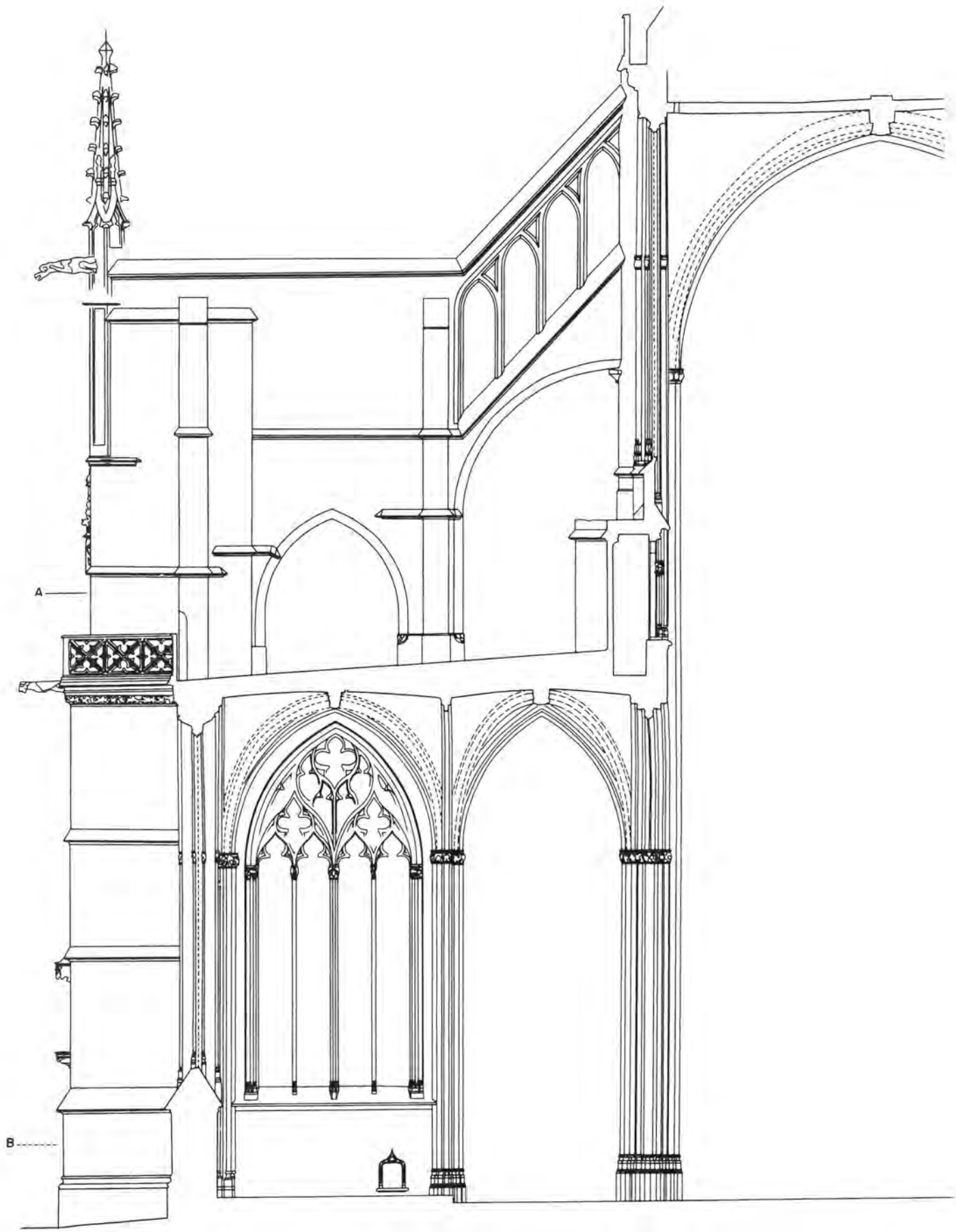
Chaque figure s'intègre dans un discours non redondant et finalisé pour décrire l'édifice, instruire sa chronologie, expliquer sa typologie et l'introduire comme terme comparatif dans une vision synthétique du territoire.

La campagne photogrammétrique qui n'avait été, dans le dossier préliminaire, que faiblement exploitée doit alors conduire à la rédaction de figures soulignant la démarche intellectuelle, commentées par le texte lui-même et illustrées par la photographie.

L'ensemble des relevés fabriqué à cette occasion, les plans, les élévations et les coupes, ne doit pas s'ajouter à la documentation figurée, rassemblée lors des recherches d'archives, il doit s'en distinguer en annulant par exemple les aspects interprétatifs ou hypothétiques des autres relevés, en explicitant des raisonnements archéologiques qu'il commente à sa façon.

La Ferté-Bernard (72), Saint-Aubin-des-Coudrais, dossier microfiché d'inventaire (partiel).





A

B

Il est indispensable, là encore, de tenir compte de la documentation existante ; même si elle apparaît fautive, l'image peut être suffisante pour appuyer la description, donner la disposition générale de l'édifice, ses circulations, montrer l'enchaînement des niveaux ; la fabrication d'un nouveau relevé peut alors porter sur un morceau particulier pour lequel le dessinateur utilise les moyens du théodolite ou de la photogrammétrie. Des relevés précis de travées isolées mais bien choisies parce qu'elles correspondent à des campagnes différentes donneront les moyens d'affiner l'analyse de l'édifice, d'offrir des éléments comparatifs sérieux mais mettront également en évidence les erreurs d'une élévation longitudinale erronée. Le relevé au théodolite d'un nombre limité d'orientations de parois avec le calcul éventuel de ces orientations éclaire le plan schématique de l'édifice qui offre pourtant toutes les informations concernant les divisions, les circulations, les emplacements des baies, ... Il ne peut y avoir d'a priori dans le choix des relevés, le seul souci du chercheur, quand il les commande, et du dessinateur quand il les réalise, doit être d'utiliser le moyen le plus rapide pour obtenir la réponse à la question posée.

Il est évident, par ailleurs, qu'il apparaît totalement inutile de refaire, avec des moyens insuffisants, des relevés qui ont été jugés de mauvaise qualité. Remplacer un plan relevé par trilatération par un second relevé effectué de la même manière, cela constitue, avant tout, une perte de temps préjudiciable à la mission du service : les erreurs auront sans doute changé de place mais, si une première fois, la méthode s'est révélée inefficace, ce n'est pas le changement de dessinateur qui l'améliorera.

11.7. Typologie d'une genèse de la représentation

Si le dessin s'affirme dans cette démarche documentaire scientifique comme un outil analytique, c'est avant tout parce que sont observées les règles techniques qui permettent le contrôle de la fabrication dans l'adéquation avec la satisfaction du besoin.

Encore faut-il que l'intention qui l'a provoqué reste inscrite dans le dossier et ne suggère pas de fausses pistes à l'utilisateur ultérieur ; nous voudrions combler cette lacune par ce dernier paragraphe.

L'objectivité tient avant tout dans la clarté du propos ; elle peut provenir évidemment d'une illusoire et incomplète fidélité au modèle mais, surtout, dans tous les cas, elle réside dans la tentative de supprimer toute polysémie quant à l'usage du dessin, toute interrogation sur la qualité des informations.

La réalisation de la documentation graphique répond, dans le dossier documentaire, à un projet bien fixé, à un questionnement de l'édifice mais il faut aussi que soient posées les limites d'un usage ultérieur par d'autres chercheurs ; cette clause authentique et garantit le constat offert par le relevé. La connaissance d'une part de la validité des données collectées, de leur densité et, d'autre part, les possibilités de contrôler a posteriori ces informations éclairent, dans la représentation, les éléments indiscutables et, en quelque sorte, légendent ses lacunes.

La validité des données, en dehors de l'importance fondamentale des éléments significatifs retenus sur laquelle nous ne reviendrons plus, s'établit d'abord par la précision du mesurage qui dépend du choix des instruments et des méthodes. Une certaine typologie procède de ce critère.

Les relevés anciens ou extérieurs forment la catégorie des relevés documents ; dans l'ignorance des intentions de l'auteur et des procédés de réalisation, toute information utilisée doit être contrôlée ou présentée comme une hypothèse plus ou moins plausible.

Le mesurage à vue sans instrument, estimation de proportions, longueurs évaluées au pas, forme la catégorie de précision géométrique, très faible évidemment, des

Limoges (87), cathédrale, demi-coupe-élévation sur la 3^e travée de nef (relevé par photogrammétrie).



relevés schématiques ; à cette catégorie appartiennent donc les images dans lesquelles s'introduisent hypothèses et interprétations.

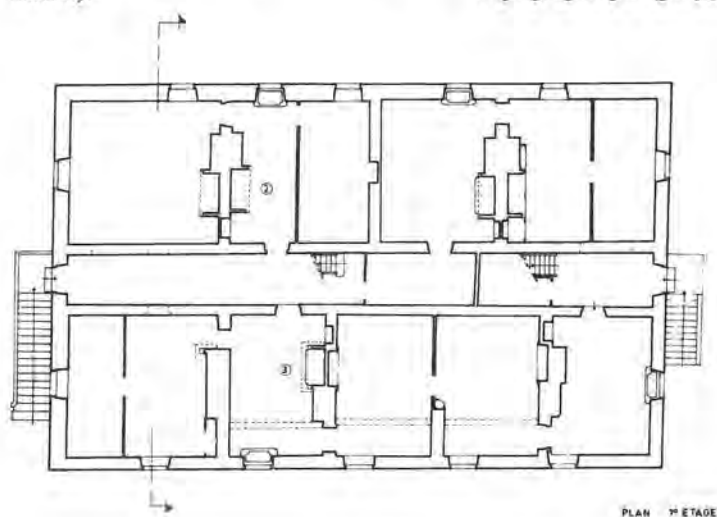
Le mesurage avec instruments, en respectant, telles qu'elles sont indiquées dans les chapitres précédents, les règles de manipulation et d'usage, correspond à une vaste famille : chaque mesure individuellement, est correcte.²⁸³ Les méthodes et les outils fixent les différences en introduisant, pour chaque opération, les règles ou leur absence de systématisme des contrôles et de composition minimum des erreurs.

La catégorie des relevés expédiés résulte de méthodes où l'indépendance des mesures n'est pas assurée. C'est le cas des relevés exécutés uniquement par trilatérations enchaînées (la triangulation des architectes) ou par simples mesures de distance ; ce peut être le cas, dans une proportion moindre, de relevés photogrammétriques réalisés à partir d'un grand nombre de couples et sans calage topographique dans un même système de référence. Dans ces documents, la précision reste aléatoire et ne peut réellement être estimée ; elle s'améliore avec le nombre de mesures.²⁸⁴

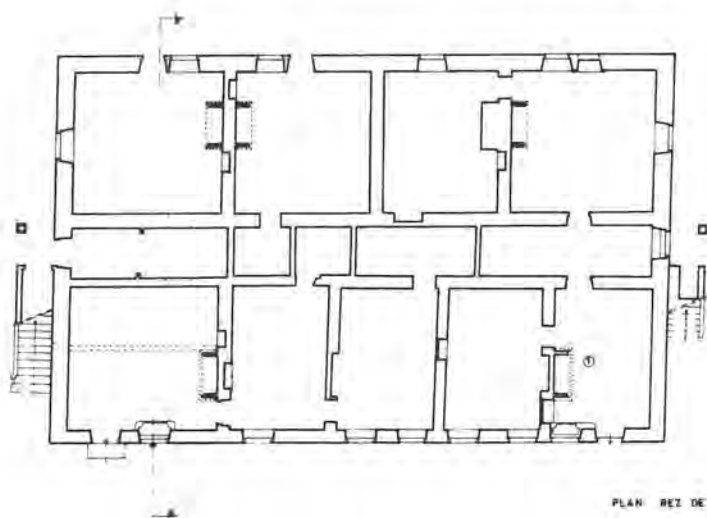
La catégorie des relevés réguliers regroupe les relevés effectués selon un mode topographique (polygonation et relevé de détails) ou photogrammétrique (calage succinct pour couples peu nombreux et calage topographique pour couples nombreux). La précision se calcule et peut atteindre, dans cette catégorie, le millimètre.

Malheureusement, une fois la représentation établie, le mode de réalisation n'apparaît que difficilement.²⁸⁵ Aussi, faut-il accorder une pondération positive aux opérations où le contrôle demeure possible ; la conservation des croquis de relevés, des carnets de mesurage permet, s'ils sont bien tenus et dans une certaine limite, de vérifier des cotes particulières ou la construction des figures mais, sauf oubli de report, ne permet pas de réparer l'omission. Par contre, les plaques photogrammétriques (et leurs documents annexes) autorisent des contrôles, des vérifications d'identification et surtout des compléments ou l'élaboration de nouvelles analyses.²⁸⁶ Il est ainsi évident que la pondération renchérit davantage le relevé photogrammétrique.

Bains-les-Bains (88), manufacture royale de ferblanterie, plans et coupe transversale (relevé manuel).



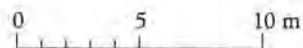
PLAN 1^{er} ETAGE

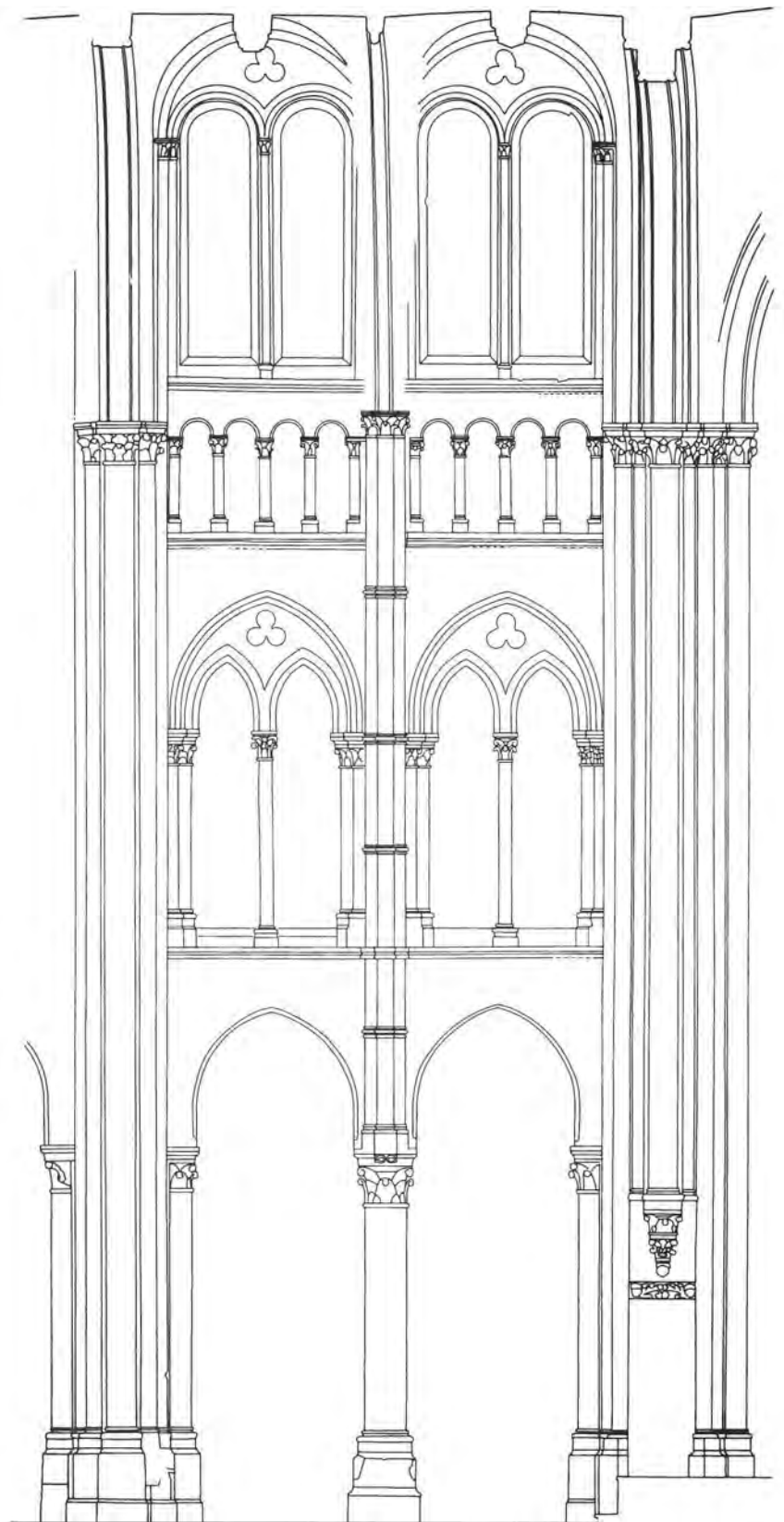


PLAN REZ DE CHAUSSEE



COUPE





Noyon (60), cathédrale Notre-Dame, élévation des 9^e et 10^e travées du vaisseau principal (relevé par photogrammétrie).

0 5 m

Cette étape rationnelle d'estimation doit maintenant être modulée en fonction de la nature de l'édifice et de la densité de points réunis pour asseoir la figure. L'architecture, de taille réduite, réunissant des volumes simples, bien dessinée, au décor inexistant ou peu abondant, se satisfait de mesures limitées alors qu'au contraire, l'architecture de grande taille, regroupant des volumes complexes, où le décor abonde et masque la structure, devient impossible à relever sans mesures nombreuses et donc sans photogrammétrie.

La figure peut également être déterminante dans le choix de l'outil, ou l'outil se révéler impropre pour l'obtenir :

une élévation relevée au théodolite devient une gageure dès que la figure cesse d'être plate, rectangulaire et percée de baies quadrangulaires! car le nombre de points qu'il faut viser deux fois pour en obtenir l'intersection augmente de manière considérable,

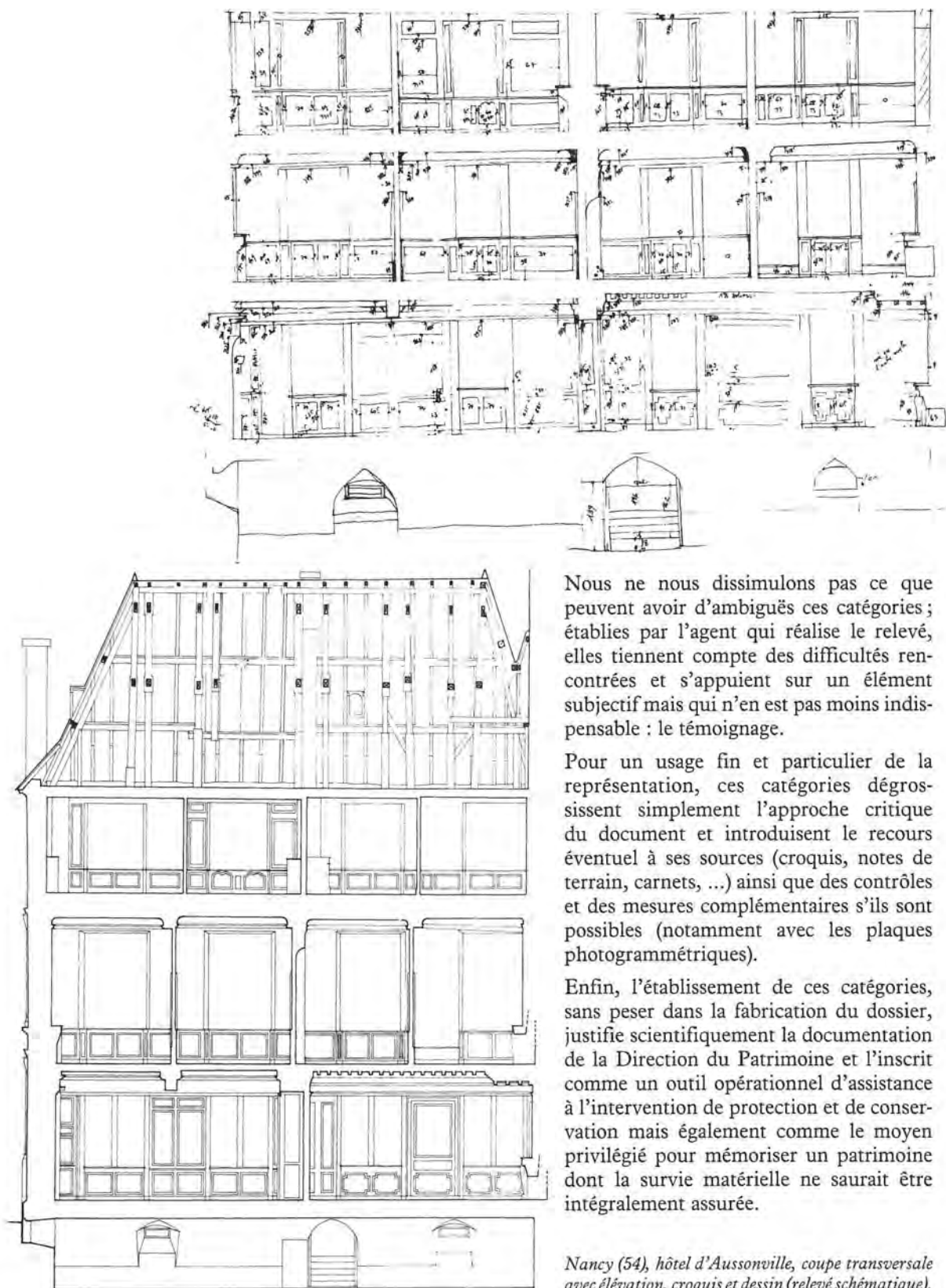
sauf pour le plan d'une seule cellule ou pour les plans de zones inaccessibles (plafonds, voûtes), un relevé en plan d'intérieur mené par photogrammétrie devient très vite, sinon en théorie, du moins en pratique, impensable ; le théodolite s'impose alors.

Un tableau peut résumer cette série de remarques : répétons qu'il ne conclut pas une vaine tentative de dresser une typologie du relevé d'architecture et ne tente pas plus d'établir une hiérarchie qualitative de la production du dessin. Il correspond à la nécessité fondamentale de livrer au chercheur et à l'utilisateur extérieur de la documentation, une information scientifique, pertinente et indiscutable, parce que clairement fixée dans les limites de son efficacité. Il s'agit, comme pour toute production scientifique, d'offrir l'analyse et les sources qui retracent sa genèse.

PLAN	Figure simple	Figure complexe
Mesurage à vue	Relevé schématique	
Trilatération/mesures de distances	Relevé régulier	Relevé expédié
Relevé topographique	Relevé régulier	
Photogrammétrie avec calage succinct	Relevé régulier ¹	Relevé expédié
Photogrammétrie avec calage topographique	Relevé régulier ²	

ÉLÉVATION, COUPE	Figure simple	Figure complexe
Mesurage à vue	Relevé schématique	
Trilatération/mesures de distances	Relevé expédié	
Relevé topographique	Relevé régulier	Relevé expédié ³
Photogrammétrie avec calage succinct	Relevé régulier	Relevé expédié ⁴
Photogrammétrie avec calage topographique	Relevé régulier	

1. Pour les plans d'une travée de voûte ou des profils internes ou externes.
2. Pour des plans ou profils inaccessibles, sinon la méthode serait dispendieuse.
3. Le relevé régulier est théoriquement possible mais l'abondance des points nécessaires le rend déraisonnable.
4. L'image correspondant à chaque couple est bonne mais l'assemblage des images reste aléatoire.



Nous ne nous dissimulons pas ce que peuvent avoir d'ambiguës ces catégories ; établies par l'agent qui réalise le relevé, elles tiennent compte des difficultés rencontrées et s'appuient sur un élément subjectif mais qui n'en est pas moins indispensable : le témoignage.

Pour un usage fin et particulier de la représentation, ces catégories dégrossissent simplement l'approche critique du document et introduisent le recours éventuel à ses sources (croquis, notes de terrain, carnets, ...) ainsi que des contrôles et des mesures complémentaires s'ils sont possibles (notamment avec les plaques photogrammétriques).

Enfin, l'établissement de ces catégories, sans peser dans la fabrication du dossier, justifie scientifiquement la documentation de la Direction du Patrimoine et l'inscrit comme un outil opérationnel d'assistance à l'intervention de protection et de conservation mais également comme le moyen privilégié pour mémoriser un patrimoine dont la survie matérielle ne saurait être intégralement assurée.

Nancy (54), hôtel d'Aussonville, coupe transversale avec élévation, croquis et dessin (relevé schématique).

Notes

1 L'exercice a été tenté en 1985, à l'occasion de l'exposition du Service de l'Inventaire général "L'architecture en représentation"; et dans la publication collective qui l'accompagnait, Paris, 1985.

2 A. BARRE, A. FLOCON. *Biblio.*

3 P. BOUDON exprime un souci analogue en écrivant : "un modèle redoublant totalement la réalité n'apporte aucune connaissance." *Biblio.*

4 Taille, de préférence à échelle qui introduit une notion trop immédiate d'homothétie; voir à ce propos la nouvelle de BORGES "De la rigueur de la science," sur le rapport au sens mathématique entre carte et territoire et les limites de l'exhaustivité. *Biblio.*

5 Comparons, pour fixer les idées, le cercle d'Alberti gradué en 48 parties, elles-mêmes divisées chacune en 40 minutes, soit une valeur de 208,33 milligrades par minute aux lectures habituelles au décimilligrade des instruments modernes. Rappelons que le théodolite, dont l'emploi ne s'imposera qu'en 1827 aux travaux du cadastre (débutés en 1807), ne donne, à cette époque, que la demi-minute, soit 9 milligrades.

6 Ainsi, la lecture directe des valeurs angulaires, sans recours à des verniers ou l'auto-collimation du cercle vertical du théodolite; il faudrait faire une place particulière à la mesure des distances par le comptage du temps de propagation de faisceaux de lumière cohérente qui a révolutionné les procédés de la topographie et fait de l'espace une grandeur dérivée du temps.

7 La seule véritable différence entre la chambre obscure de Giambattista della Porta (1535-1615) et celles de Nicéphore Niepce (1765-1833) et Jacques Daguerre (1787-1851) tient bien dans la propriété de "mettre en mémoire" l'information par l'intermédiaire d'une émulsion sensible à la lumière.

8 C.-F. BEAUTEmps-BEAUPRÉ. *Biblio.*

9 A. LAUSSE DAT. *Biblio.*

10 H. DENEUX. *Biblio.*

11 Cf. 7.2.

12 Sans préjuger de la valeur des déterminations de mesures.

13 La "choucroute" désigne, dans le rendu graphique, le remplissage à l'œil de parties jugées subsidiaires et n'ayant pas fait l'objet, stricto sensu, d'un relevé : les volutes de feuillage du chapiteau par exemple.

14 Un objet même élémentaire est défini par une infinité de points : relever un objet c'est donc avant tout sélectionner les points significatifs de cet objet.

15 La somme des angles $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 200^\circ$, les mesures de deux angles sont suffisantes mais celle du troisième apporte un contrôle.

16 Il s'agit des angles entre les plans verticaux passant par AB et AC, AB et BC, ... c'est-à-dire des dièdres verticaux.

17 Ce n'est pas toujours le cas; la nivelle sphérique des chambres photogrammétriques Zeiss TMK et SMK 120 est aussi précise qu'une nivelle torique.

18 Ce tore est la surface de révolution engendrée par le déplacement normal d'une circonférence dont le centre reste situé sur une seconde circonférence de plus grand diamètre.

19 Ce système a remplacé, pour tous les appareils modernes, le système des lectures multiples sur la mire du type tachéomètre Sanguet, ou les systèmes non réducteurs utilisant la table de réduction dite "table de Pons."

20 La précision théorique est de l'ordre de 0,5 cm à 10 m.

21 Pendant très longtemps, l'opérateur a utilisé la latte, une règle rigide de longueur définie (une toise, deux ou quatre mètres).

22 Liée par exemple à la qualité de surface du matériau visé.

23 Précis jusqu'à 20 ou 30 m pour mesurer la distance entre deux parois à condition qu'elles soient nues et dégagées entre un sol et un plafond, s'il ne porte ni poutre ni mouluration, c'est l'instrument idéal du mètreur pour l'établissement du devis mais il n'autorise que difficilement la mesure de la simple diagonale d'une pièce.

24 C'est-à-dire chiffrée.

25 Des tables — la "table de Pons" notamment — permettraient d'obtenir sans calcul cette distance à partir de K, H et φ .

26 3 mètres pour viser sans difficulté le point au théodolite et 20 m pour n'avoir pas de report de chaîne.

27 Ce rapport de 1 à 5 est nécessaire pour que les intersections soient franches.

28 Au sens topographique, le relevé expédié conduit à une représentation dont l'erreur graphique est inférieure à l'erreur de mesurage : les écarts restent visibles sur le document. Le contraire est le relevé régulier. Par ailleurs, relevé expédié ne signifie en aucune façon relevé rapidement réalisé.

29 Comme le relevé, dans son entier, la mesure est un constat : l'interprétation des mesures se fera a posteriori. De même, dans le dessin du relevé, on n'introduira ni régularisation ni restitution des parties détériorées ou manquantes.

30 Sauf, bien entendu, s'il y a un doute sur la rectitude de l'alignement; dans ce cas, l'opérateur multiplie les points pour saisir la forme.

31 Pour une mise au point à 7 m d'une chambre de 100 mm de focale, en sélectionnant une ouverture de 1/22 et en admettant un cercle de diffusion de 0,05 mm, on obtient : $a_v = 4$ m et $a_n = 29$ m.

32 Pour une chambre de 100 mm, en sélectionnant une ouverture de 1/8 et en admettant un cercle de diffusion de 0,05 mm, on obtient : $a_\infty = 25$ m et une profondeur de champ de 12,50 m à l'infini.

33 La chambre U.M.K. de Zeiss Iena (R.D.A.)

34 L'hyperstéréoscopie peut être obtenue par une légère convergence qui peut faciliter la lecture sur des surfaces planes.

35 C'est la pseudoscopie.

36 Si l'on considère ponctuellement cette information, en sachant qu'il est possible de pointer à mieux de 10 μ sur un cliché et que les cristaux d'argent sont bien plus petits (0,8 μ pour les émulsions lentes) mais que le cercle de diffusion en photogrammétrie terrestre comme l'index-repère sont plus grands (inférieur à 50 μ), on pourra poser que le "pixel" est de l'ordre de 50 μ , soit plus de deux millions d'informations ponctuelles par couple (avec un recouvrement de 7/8, c'est-à-dire $b = y/8$) de clichés 6,5 x 9 cm! mieux, pour chaque "pixel", nous aurons 3 informations spatiales x_p, y_p, z_p et une information de densité lumineuse d_p .

37 C'est le cas également pour la mer dans les photos aériennes en bordure de littoral.

38 Appartiennent à cette catégorie : le cylindre et le cône de révolution, le paraboloidé hyperbolique et l'hyperboloidé à une nappe; la surface d'exception n'existera malgré tout que dans des conditions très particulières de prise de vue (base de prise de vue appartenant à la quadrique par exemple).

39 Dans la chambre stéréométrique, l'écart-type est de l'ordre de $\pm 10 \mu$, soit, rapporté à la longueur de 120 cm, une précision supérieure au 1/1 000 000^e; par chaînage direct et contrôlé, l'écart-type reste d'environ ± 5 mm.

40 Cette longueur doit être plus grande que la base; proche de la largeur ou de la hauteur du modèle, elle ne provoquera pas l'extrapolation de son erreur de mesurage.

41 Référence plus commune encore dans le relevé traditionnel où horizontales, verticales et plans sont directement saisis à partir de ce réseau.

42 Le fil du fil à plomb doit être visible sur la photographie et le mouvement pendulaire doit être ralenti en immergeant le plomb dans un seau d'eau.

43 Qu'il est possible d'écrire pour la C120 : m_y (en mm) = 0,13 y^2 (avec y en mètre).

44 $m_b^2 \times c^2$ est égal pour la C120 à 0,410 et pour la P32 à 102 400.

45 Par rapport au volume architectural dont l'échelle est éminemment variable, l'échelle de la totalité de l'image aérienne se déduit — sauf en zone montagneuse — du simple rapport de la distance principale à la hauteur moyenne du vol au-dessus du terrain.

46 Mais n'oublions pas que, quelle que soit la base,

le modèle créé sera homologue et qu'ainsi toute réflexion sur les proportions restera possible.

47 Ces dernières années, plusieurs systèmes qui exploient séparément, par l'intermédiaire de l'ordinateur des clichés, ont fait leur apparition. Le travail point par point reste lent et destiné au relevé d'édifices simples, mais il a l'avantage de pouvoir être réalisé par le spécialiste de l'architecture lui-même.

48 La tolérance est de 5° sur le parallélisme des axes de prise de vue; autrement dit, les images de deux lignes parallèles à la base doivent être parallèles à la ligne joignant le centre des oculaires d'observation avec une tolérance de 1 à 2°; les diamètres apparents des deux images d'un même détail ne doivent pas varier de plus de 10 à 15% (mais, si les oculaires disposent de systèmes indépendants de zoom, cette tolérance peut être accrue).

49 Le plan du négatif est alors parallèle à un certain plan de l'objet qui se trouve ainsi sélectionné.

50 Au-delà des problèmes de lisibilité, la frontalité du cliché s'avère indispensable pour traiter graphiquement le couple photogrammétrique sur les appareils analogiques; ceux-ci étant de conception mécanique, les plans de projection, correspondant à de faibles variations près, au plan du cliché et aux plans orthogonaux, au cliché passant par ses médianes.

$$51 \quad e_1 = \frac{c}{d_1} \quad e_2 = \frac{c}{d_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{e_1}{e_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

52 Rappelons qu'il convient d'éviter les clichés où, le ciel occupant trop de place, l'orientation relative devient complexe.

53 Les distances mesurées obliquement sont beaucoup plus longues que leur apparente projection horizontale.

54 Cf. 6.6.1.

55 Cette mise en parallèle courante n'est pas sans risque si la face de l'objet est en réalité composée de facettes non strictement parallèles.

56 Les couples n'ont pas besoin d'être à la même distance de la face architecturale. L'échelle de prise de vue croîtra en fonction de la densité d'informations à collecter (décor d'un porche au milieu d'une façade nue).

57 Un masque en stéréophotogrammétrie est une zone non vue sur les deux clichés; le supprimer, c'est donc, ce qui n'est pas toujours ni facile ni possible, la faire apparaître sur les deux clichés.

58 Soit le milieu de la base pour les chambres stéréométriques, soit la station gauche pour les chambres simples. — L'orientation azimutale de la base frontalement à la face choisie, l'orientation des verticales et des horizontales de la chambre, — le cas normal de la photogrammétrie (c'est-à-dire les axes de prise de vue parallèles et perpendiculaires à la base).

59 L'atelier de photogrammétrie de l'Inventaire général, sur ses trois appareils, n'a qu'un restituteur

analytique, le Wild BC1 : le Wild A40 est analogique et ne dispose d'aucune marge de rotation, le Wild Aviomap AMU, également analogique, n'autorise que des faibles rotations (7 grades environ). Rappelons que ces deux appareils peuvent néanmoins traiter des clichés inclinés en site.

60 Le contrôle s'effectue sur la longueur de la base S_5S_6 .

61 En admettant une erreur de ± 1 cm sur chaque longueur, on aura un écart angulaire $\approx \sqrt{2}/b$ soit, pour une base de 120 cm, moins d'un grade.

62 Mais non située dans le plan horizontal défini par les points de vue.

63 Sauf à utiliser le dépoli de fond de chambre.

64 Il est possible, dans la méthode avec théodolite, de déterminer le gisement à partir de la position de deux points déterminés par intersection.

65 Ce calage est impossible en photogrammétrie aérienne; néanmoins, une bulle sphérique est photographiée dans les marges du cliché et donne une indication approximative.

66 Seules sont matérialisées les médianes dont la croisée correspond à la projection du centre optique mais l'axe optique, par construction, leur est perpendiculaire.

67 Les inclinaisons sont fixes (10°, 30°, 60°, 80°, 90°) et prévues par le fabricant; l'axe optique coupe le plan selon ces inclinaisons.

68 A la rotation des chambres autour de la base correspond une inclinaison inverse de la nivelle que l'opérateur introduit.

69 L'opérateur agit sur ces vis calantes, comme dans le réglage de nivelle du théodolite, c'est-à-dire "pouce contre pouce," "index contre index" (cf. Fiche 5).

70 Le A40 apparaît donc spécialisé dans les prises de vue de chambres stéréométriques; pourtant, le relevé photogrammétrique du château de Chambord (1975) a été réalisé à la chambre Wild P32; le soin apporté à l'établissement sur le terrain du cas normal a permis la restitution.

71 Cf. Fiche 3.

72 Evidemment calé horizontalement à l'aide de la bulle sphérique; le point de station étant descendu au sol pour contrôler tout déplacement accidentel.

73 Dans la mesure du possible, les deux embases sont installées à la même altitude à quelques centimètres près.

74 Cette procédure aboutit ainsi à réaliser le cas normal.

75 Ce doit être, de préférence, une croix dessinée ou une mirette collée sur un mur, un piquet clouté planté dans le sol, plutôt qu'un trépied dont l'éloignement ne permettrait pas le contrôle permanent de son calage et de sa position.

76 L'erreur de stationnement étant e_s , l'écart angulaire est défini par le rapport de e_s à la distance du point visé.

77 - Agfa-Gevaert : Pan-F 100 asa de valeur nominale; la sensibilité est aléatoire et, par ailleurs, la couche sensible est trop souvent irrégulière et donne un grain important,

- Orwo — orthochromatique — 100 asa de valeur nominale; la sensibilité réelle tourne autour de 15 asa et nécessite des traitements particuliers,

- Kodak — 100 asa de valeur nominale; bien que variable dans le temps, et nécessitant avant chaque opération des tests, c'est l'émulsion actuellement la plus satisfaisante.

78 Il s'agit en fait d'obtenir une photo "professionnelle" avec un "instamatic" ou une "boîte"

79 Base établie en centrage forcé et mesurée respectivement au double-mètre et au décimètre, deux fois chambre gauche-mirette, mirette-chambre droite.

80 Ces erreurs sont indicatives et correspondent aux travaux courants de l'Inventaire; topographiquement, par des méthodes ou des instruments appropriés, l'opérateur peut obtenir jusqu'à 1 ou 2/10° de millimètres.

81 Pour les déterminations au théodolite, le croquis se fait à l'échelle apparente de l'observation dans la lunette.

82 Attention aux traductions photographiques des couleurs de la craie et de la paroi.

83 La base idéale pour le premier plan de l'objet ne l'est plus pour les plans-arrière; augmenter la base diminue la zone commune du couple et si elle augmente sa précision individuelle elle cause un accroissement du nombre de couples donc une perte de précision, ...

84 Et, bien entendu, primordialement, des questions qu'il pose à l'objet, du type et de la précision des réponses qu'il attend.

85 L'échelle photographique et les rapports de base et d'éloignement étant respectés.

86 La rapidité des progrès dans ces domaines de calcul et de réduction des erreurs augmente considérablement la crédibilité de cette solution.

87 Le logiciel "Topo" mis à la disposition des équipes des services régionaux d'Inventaire, réalise ces calculs à partir d'un micro-ordinateur compatible P.C. (Micral 30 ou 60 de chez Bull).

88 L'opération de terrain dure facilement deux à trois fois plus longtemps.

89 La distance la plus longue parmi les distances les plus faciles à mesurer directement.

90 La longueur du fil à plomb doit être grande et les oscillations contrôlées; le fil sera suspendu d'un étage élevé et le plomb plongera dans un seau d'eau.

91

Bien qu'appartenant au même édifice, ces opérations seront totalement indépendantes les unes des autres; le cas se produira souvent lorsque plusieurs campagnes seront menées sur des parties différentes de l'édifice à différentes époques.

92

Au Bundesdenkmalamt autrichien, l'atelier de photogrammétrie, fondé par Hans Foramitti, traitait graphiquement l'information couple par couple; la réunion se faisait manuellement par calquage.

93

Si le terrain est relativement plat, la lunette peut être fixée horizontalement; les angles verticaux ne sont pas à lire et tous les points ont la même altitude.

94

Les baies 1 et 2 contrôlent mutuellement leur position tout en calant l'ensemble des figures.

95

Le mur de briques édifié "à l'œil," sans référence de verticalité ou d'orientation, offre une comparaison plausible où chaque brique représente un couple. Autre image, ce processus dans l'espace s'apparente à celui, dans le plan, de l'accumulation des erreurs dans le relevé d'un édifice complexe par trilatération: au couple correspond la pièce mesurée.

96

En 1960, les calculs topographiques ou photogrammétriques s'effectuaient, pour la plupart, à l'aide de tables (logarithmes, valeurs naturelles), de règles à calcul et de machines à calculer, bien proches de celle de Pascal. 20 ans après, la moindre calculatrice a rendu caducs ces engins et raccourci par 10 ou 20 les temps de calcul.

97

Ces logiciels sont pour l'instant plutôt tournés vers les problèmes de photogrammétrie aérienne; ils demanderaient des adaptations pour l'architecture et les spécificités qu'elle représente.

98

Aérotriangulation, survol, autant de mots qui révèlent le poids et le modèle parfois déformant de la photogrammétrie aérienne.

99

La compensation sera améliorée si nous connaissons également, selon la longueur de l'enchaînement, des points de calage sur un des modèles intermédiaires.

100

Pour utiliser le terme infographique qui cause, de manière inverse, bien des tourments à l'informaticien.

101

Ou acceptées comme telles (ellipsoïdes par exemple).

102

Ces profils contrôlent le plan de la coupole qui pourrait être elliptique.

103

La détermination des formes complexes mais géométriques peut se faire par le calcul qui se révélera plus précis (cf. 9.1.)

104

Il est bon de conserver, sur la minute de restitution, la trace des éléments restitués et des interpolations.

105

J.-L. BORGÈS. Biblio.

106

La multiplicité des unités anciennes peut, avec une échelle numérique, laisser le lecteur dans l'ignorance de la taille réelle de l'objet (une ligne pour cent toises).

107

Les calques modernes sont stables mais les tirages papier — "ozalid" par exemple — sont très perturbés par l'hygrométrie (2 à 3 cm par mètre sont fréquents).

108

Un excellent dessinateur reporte les éléments du relevé avec une erreur de 1/10^e aux extrémités de chaque mesuré; le lecteur, de même, commettra, en disposant son double décimètre, les mêmes erreurs, 1/10^e de mm sur l'origine des graduations et 1/10^e à la lecture.

109

Par ailleurs, la multiplicité des lignes crée dans ces zones une densité de noir qui déséquilibre la lecture cohérente de l'information en inversant les hiérarchies.

110

La reproduction photographique, au banc ou par châssis, s'en trouve facilitée et ne nécessite ainsi qu'un équipement classique.

111

Nous ne traiterons que des projections planes qui sont les seules usitées et renverrons à des traités particuliers pour les projections sur le cylindre ou la sphère — cf. S. BONBON. Biblio.

112

Attention! le tableau oblique peut contenir des parallèles, soit à X, soit à Y.

113

Si, d'un même point de vue, par photographie, on "double" la focale, l'image obtenue sera doublée également en taille sans que la perspective soit modifiée (aux aberrations optiques près).

114

Au sens cartographique, la conservation dresse l'état des éléments inchangés — angles et orientations, rapports de longueurs ou de surfaces — entre la carte et le territoire.

115

Ces traces ne seront à la même échelle que si le "plan" se développe au même niveau — ou respectivement si l'"élévation" se poursuit à la même distance —; sinon, ces traces seront fragmentées en éléments à différentes échelles.

116

Par exemple, cf. E. JANTZEN. Biblio.

117

"Sans tenir compte de la perspective" ajoute le Robert.

118

J.-P. SAINT-AUBIN. Biblio.

119

Dans tous les sens du terme car, s'il est évident que l'on date l'invention de la perspective centrale, la naissance du géométral semble aller de soi de toute éternité!

120

Sauf à l'opérateur photogrammètre qui, derrière les oculaires de l'appareil, saisit toutes les irrégularités géométriques du modèle qui sont la règle de l'architecture bâtie; paradoxalement, ce sont plutôt les exemples de régularité, parce qu'ils sont moins nombreux que l'opérateur aurait tendance à remarquer.

121

J.-M. PÉROUSE DE MONTCLOS. Biblio.

122

Ces découvertes ne doivent pas être poursuivies sur une trop grande profondeur; derrière la ligne de

coupe d'un vaisseau, nous découvrirons son élévation mais nous éviterons de faire apparaître, derrière les grandes arcades, les piliers et les baies des vaisseaux latéraux ou des chapelles.

123

C'est, là encore, avec des outils comme la photogrammétrie, où la finesse de la mesure s'oppose à la rigidité du procédé, qu'il faut préférer la démultiplication des figures.

124

Un schéma général peut servir de tableau d'assemblage en informant sur les partis généraux.

125

En excluant évidemment les problèmes redoutables des parties cachées.

126

Toutes les droites de direction Δ forment avec la droite d_0 des plans qui coupent le tableau selon toute une série de droites d_1, d_2, d_3, \dots passant par F, point commun à tous ces plans et à toutes ces images; les droites d_1, d_2, d_3 sont les images de ces droites et F leur point de fuite.

127

Cf. Fiche 10.

128

Pour l'isométrie, il suffit de prendre trois valeurs égales mais l'échelle 1 est obtenue avec $a = 1,73$; pour toute autre valeur, le plan subit une translation, l'échelle s'en déduit par proportionnalité.

129

M. LAZARUS, J.-P. SAINT-AUBIN. Biblio.

130

Dans le cas d'une échelle identique, sinon u, ($v + z \cos L$).

131

La couche à graver est composée de la superposition d'une couche transparente et d'une couche opaque qui sera entamée à la pointe à graver. Le dessin obtenu sera négatif par rapport au calque; le tirage photographique par contact, au châssis, livrera contrecalque stable ou tirage positif papier.

132

Pour des raisons de commodité de dessin, il reste possible de travailler sur de plus grands formats mais cette pratique devra être limitée car les dessins et croquis de plus grande taille devront être réduits par photographie au format A4 ou A3 à partir duquel s'effectueront les reproductions; les dessins et croquis de grande taille qui ne pourraient supporter une réduction sans perte d'information seront établis sur calque ou couche.

133

Ce n'est pas seulement le prix du calque qui rentre en ligne de compte mais toute la chaîne de reproduction: contrecalques, tirages, ...

134

Fabricant de la fin du XVIII^e siècle, Kutch (ou Kutsch) a laissé son nom aux règles à plusieurs biseaux gradués d'échelles différentes.

135

Le talon sert à tracer au crayon, comme à l'encre, les droites; le biseau sert exclusivement à mesurer.

136

Le dessinateur oriente le bord d'une grande équerre le plus près à l'intérieur de la courbe à tracer. Une deuxième équerre plus petite lui est superposée; d'une main, le dessinateur la fait pivoter tandis que de l'autre il trace la courbe.

137

Cet affûtage en biseau permet de respecter une erreur graphique de 1 à 2 dixièmes de mm alors

que les stylomines, avec une pointe de 0,2 mm, demandent un espacement minimum entre deux détails d'au moins 0,4 à 0,5 mm (à 1/100^e, cela fait 4 à 5 cm).

138 L'encre est à choisir en fonction du type de plume.

139 Certaines plumes tubulaires affichent des épaisseurs de 0,13 et même 0,10 mm qui se révèlent à l'emploi très fragiles et s'usent rapidement sur la surface abrasive des calques plastiques.

140 Qu'il est toujours possible d'améliorer à la plume à dessin et au vaccinostyle ...

141 Le dessinateur peut préférer l'usage d'un coton-tige légèrement humecté d'eau.

142 Sur un calque plastique, en mouillant légèrement une gomme crayon, on obtient de bons résultats.

143 Pour les grands formats, l'emploi de châssis sera nécessaire.

144 Sauf à accepter dans le relevé, l'hypothèse de restitutions archéologiques d'un certain nombre de courbes (arc en plein cintre, en tiers point, surbaissé, ...); et même, dans ce cas, nous aurions tendance, sauf pour de petits éléments (colonnettes), à proposer le tracé de la courbe, au crayon, par le compas et, à l'encre, par l'équerre.

145 On emploie évidemment l'équerre pour établir de petites orthogonalités.

146 Des grilles de références 5 cm x 5 cm sur calque stable sont à la disposition des équipes régionales de l'Inventaire; le report de points nombreux peut être envisagé sur les tables traçantes des appareils de restitution.

147 Confusion d'autant plus probable que, pour obtenir la régularité du trait, le photographe aura tendance à le pousser: mathématiquement, le trait de 0,10 disparaîtrait ou serait "mité".

148 Les poncifs comprennent tous les dessins conventionnels utilisés de façon répétitive: dans les projets d'architecte, tous les éléments mobiliers — évier, lits, tables, ... —. Les trames sont les poncifs utilisant, selon des réseaux réguliers, des éléments géométriques simples — droites et points notamment —.

149 Et qui laisse, avec le temps, sur leur pourtour, un cerne sombre de poussière.

150 Au châssis.

151 Et non la réalisation du dessin.

152 Pour la publication, la légende sera évidemment reprise, soit dans sa totalité, soit partiellement.

153 Pour les relevés photogrammétriques, sous la barre de l'échelle figurent le copyright, l'année, l'auteur de la restitution, l'adresse et la dénomination de l'édifice.

154 Si la planche comporte plusieurs figures, les titres pourront être génériques (plan, coupe, élévation

ou coupe et détails par exemple); ils seront repris détaillés sous chaque figure.

155 Dans le cas d'un relevé complétant ou reprenant un document ancien, on donnera successivement l'auteur du relevé ancien, la date, l'auteur du relevé complémentaire, la date.

156 Dans le cartouche, on se contentera d'indiquer: relevé photogrammétrique, ou régulier ou expédié ou schématique, croquis, relevé document.

157 Elles peuvent donc être disposées selon la hauteur de la figure.

158 Plan moyen entre les orientations de plusieurs faces.

159 Pour l'édition, on préférera livrer à l'imprimeur une photographie muette du dessin sur laquelle il positionnera, à l'échelle de publication, des lettres de renvoi qui lui auront été indiquées sur une photocopie.

160 Par exemple, on s'abstiendra de gribouiller rageusement une cote apparemment fautive mais on la barrera proprement dans une couleur particulière en l'accompagnant d'un commentaire explicatif.

161 Nous l'avons dit, le relevé ne peut être exhaustif.

162 En topographie, la carte géométrique est celle obtenue par le report sur la minute de rédaction des dimensions mesurées du territoire.

163 Selon le Robert, le schéma est une description ou représentation mentale réduite aux traits essentiels.

164 Mais, c'est avant tout, l'idée que se fait le dessinateur de l'édifice et qui peut être controversée.

165 Cf. Chapitre 9. Par photogrammétrie numérique, il sera possible de rechercher les modules ou les tracés les plus plausibles et de connaître les écarts à la forme effective architecturale.

166 Identifier, par exemple par un détail du corps de moulure, l'origine précise de la cote.

167 A l'exclusion impérative du croquis de mesures et ceci afin d'éviter toute erreur de recopie.

168 Le croquis sera très souvent complété de la nature des fonctions de chaque pièce.

169 Le croquis de toiture pourrait avantageusement être remplacé pour les grands édifices par une photo aérienne.

170 Le croquis de voûtement sauf réalisé par photogrammétrie n'est jamais rien d'autre qu'un dessin à vue; sa figuration sur un plan régulier ne peut avoir qu'une valeur symbolique et il est préférable d'en faire une figure à part sous un titre qui affirme ce qu'il est.

171 Ces croquis renvoient en général à d'autres documents: photographie, relevés d'éléments d'architecture, de modénature, ...

172 Paradoxalement, mais parce que l'habitude en est généralement prise, on continuera à appeler schéma

de prise de vue le croquis sur lequel sont implantées les prises de vue photogrammétriques (cf. Fiche 12).

173 Même remarque que pour les croquis de voûtement.

174 Ces croquis renvoient à d'autres documents: photographie, relevés d'éléments d'architecture, de modénature, ...

175 Des croquis de même type peuvent être réalisés pour la peinture de chevalet tryptique, retables, jubés, ...

176 Cf. Fiche 3; la précision relative correspond au rapport de l'erreur de mesurage sur l'élément mesuré: 5 mm d'erreur sur une moulure de 25 cm donne une précision relative de 1/50^e et sur une longueur de 5 m une précision relative de 1/1000^e.

177 Sauf évidemment si l'échafaudage est installé pour d'autres raisons (réfection de couverture, ...).

178 Même avec la photogrammétrie, l'échafaudage sera nécessaire pour réduire la distance et augmenter l'échelle du cliché puisque les objectifs de chambres métriques dépassent rarement 200 mm, ce qui donne, pour une mouluration située à 10 m une échelle moyenne de 1/50^e et contraint à augmenter la base donc à introduire des masques considérables qui rendent toute restitution impossible.

179 Le papier peut être du papier d'emballage (type Kraft) et l'instrument de report une craie ou un feutre de couleur rouge ou noir pour rester très visible sur le papier.

180 "La division qui se fait par le calcul & qui s'exprime par les chiffres, est bien meilleure & plus sûre que celle qui se fait par le compas ..." VITRUBE, p. 3, note 7. Biblio.

181 Sauf si le dessin s'appuie en outre sur des hypothèses formelles (angle droit par exemple).

182 Ce contrôle s'avère d'autant plus valable que les sommets de la pièce ont été repérés d'un trait de craie avant le mesurage pour éviter le déplacement des points entre les mesures (cf. 4.3.).

183 r est le rayon du cercle inscrit.

184 Quelle que soit la précision des mesures, il existe un triangle et la somme de ses angles est 200^G (à l'arrondi près); la somme ne contrôle ici que la bonne marche des calculs.

185 Même remarque que pour la note précédente; sauf faute dans le mesurage, la fermeture doit être vérifiée.

186 Relevé régulier avec polygonalement et points de détails obtenus par rayonnement ou même quasi-hauteurs et ordonnées.

187 Ou même polygone si l'on veut vérifier qu'il s'agit d'un polygone inscrit.

188 Il faut répartir les points sur toute la portion de courbe accessible. Avec trois cordés, on ne pourra

calculer qu'une fois le rayon; Avec 5 cordes, 2 déterminations seront obtenues, ...

189

J.-P. SAINT-AUBIN. Biblio.

190

R. BEURRIER. Biblio.

191

Nous la trouvons évidemment dans l'Album de Villard de Honnecourt (B.N., ms. fr. 19093, pl.39).

192

En contradiction avec le sens propre du terme, le processus de construction le plus simple ne vise pas à doubler mais à réduire de moitié le carré.

193

Très souvent, le rapport 2 restant implicite, la série est tirée du côté b et de la diagonale a du carré :

$$a, b, \frac{a}{2}, \frac{b}{2}, \frac{a}{4}, \frac{b}{4},$$

... et l'on arrondit même très brutalement les résultats

$$\frac{b}{2} = \frac{a}{3}; \frac{b}{4} = \frac{a}{6},$$

... (cf. Koriczer, note suivante).

194

Voir construction des "filloles" (pinacles) chez Villard de Honnecourt et surtout chez Mathaus Roriczer (Das Buchlein der fialen Gerechtigkeit, 1486, Regensburg) qui, en proposant

$$\frac{b}{2}, \frac{a}{3}, \frac{b}{4}, \frac{a}{6}$$

... donne une idée de la précision nécessaire des tracés.

195

Une ligne droite est mathématiquement définie par deux points, un arc de cercle par trois points, un élément de sphère par quatre points.

196

La forme effective correspond à la réalité de la forme à la date de la prise de données.

197

On peut imaginer dans quelques années des saisies avec mesurage laser.

198

Qui s'étaient sur plusieurs siècles, utilisent de multiples matériaux ou des modes d'appareillage différents.

199

Rapportés à un modèle mathématique voisin de la forme elle-même, ces écarts constituent en fait des différentielles.

200

Citons les travaux des Universités de Firenze (Mario Fondelli) sur la coupole de Santa Maria del Fiore (1971), de Venezia (Paolo Torsello) sur le baldaquin du Bernin de Saint-Pierre de Rome (1986), de la Sapienza de Roma (Mario Doeci, Cesare Cundari), de la Politecnico de Milano (Carlo Monti).

201

Combien de dessins sont publiés, non parce qu'ils sont significatifs — pour qu'ils le soient, il aurait fallu les refaire en variant quelques paramètres — mais parce qu'ils représentent un temps considérable de rédaction qu'il est difficile de "gommer"?

202

En cartographie automatique, il y a bien évidemment d'autres particularités plus sophistiquées : traitements en plusieurs couleurs, positionnement de symboles d'écritures, de trames, liaison avec des traitements statistiques.

203

Autrement dit, point de début de ligne, point de fin de ligne.

204

Il existe des fichiers filaires particuliers, organisés en polyèdres convexes à partir desquels on peut supprimer les parties cachées (logiciel TRAPU de l'I.G.N. pour traitements urbains).

205

Une seule maquette est attestée en France jusqu'au XIV^e siècle. C'est celle réalisée, au IX^e siècle, en cire pour construire ou reconstruire l'abbaye de Saint-Germain d'Auxerre; cité par Pierre du Colombier dans les chantiers des cathédrales, p. 95.

206

F^o 23 v^o A. PALLADIO. Biblio.

207

La Revue de l'Art dans son numéro 58-59 de 1982-1983 a publié (p. 128 à 141) un "répertoire des maquettes d'architecture, modèles et plans-reliefs" qui montre la diversité des matériaux employés.

208

Voir notamment, Catherine Brisach : Un pied pour cent toises dans "L'architecture en représentation"; Paris, 1985.

209

Généralisation au sens cartographique du terme : le nombre des plans est réduit par l'oubli des micro-reliefs (plate-bande, corniches, ...).

210

Il est possible de multiplier les points de vue et d'utiliser même des mouvements continus en cinéma ou en vidéo.

211

Celles-ci ne visant qu'à assurer l'effet de relief peuvent être évidemment prises avec des appareils photographiques classiques.

212

C'est-à-dire sans solution de continuité; il ne s'agit pas d'une série de projections d'un nombre limité de points de vue : tous les points de vue sont possibles comme tous les modes de représentation.

213

On peut remarquer qu'Alberti subdivise la "res aedificatoria" in "lineamenta" (le dessin en traits) et la "structure" (la construction) mais qu'il ne traite pas du modèle dans la partie consacrée au dessin. Le dessin fait abstraction de la matière, ce qui n'est pas le cas de la maquette; celle-ci, quasiment écrite pour les illettrés (en architecture) est, nous dit Perrault, "inutile(s)" au(x) grand(s) & parfait(s) architecte(s)" qui "connaît la beauté d'un bâtiment dont il a formé l'idée, avant mesme que d'avoir commencé à l'exécuter" (Vitruve de Perrault 1684 — table et p. 230-B).

214

Certaines maquettes cartographiques peuvent être obtenues par ce découpage et cet empilement en marche d'escalier.

215

Il ne faut pas ignorer que cela correspond à des stockages d'informations très importants qui rendent comme toujours l'exhaustivité impossible.

216

L'Atelier de photogrammétrie architecturale de l'Inventaire général utilise une station Iris de Silicon-graphic (9 méga octets de mémoire vive, 16 millions de couleurs) avec des logiciels réalisés par l'Atelier lui-même.

217

Ces possibilités de zoom ne sont pas un des moindres avantages de ce type de représentation par rapport aux maquettes traditionnelles et annulent l'effet pervers de Gulliver.

218

Par comparaison à l'original d'un acte, l'original rédigé du relevé est appelé minute; il s'agit d'une mise au propre définitive des informations saisies sur le terrain. Le croquis de terrain ne peut être assimilé à la minute que dans le cas du relevé à la planchette qui livre directement un document géométrique.

219

Les documents anciens, sur calque végétal, présentent le même aspect mais ce support non stable et fragile ne peut, pour des raisons de conservation, être recommandé.

220

L'image reçue sur un tel support subira des déformations liées au degré d'humidité de l'atmosphère; elle ne sera pas homothétique de l'original mais anamorphosée.

221

G. MARTIN. Biblio.

222

C'est l'éternel principe de travailler du général au particulier.

223

Pour être précis, dans une première phase, tous les points doivent être piqués et ce n'est que dans la deuxième phase que les points seront joints à la suite d'un repérage dont la complexité sera fonction du nombre de piqures.

224

Ce procédé a été fréquemment employé avant que ne soit utilisé de façon courante le papier calque; le report des cartons de fresquistes — les poncifs — piquetés puis tamponnés "a spolvero" de poudre de charbon ou de cinabre comme la démultiplication des minutes du cadastre napoléonien.

225

Ou craticulage.

226

Comme pour le piquetage, il détériore le support.

227

Par exemple, les vestiges archéologiques décelés par photo aérienne sur un plan du cadastre.

228

Plutôt que de tracer une grille régulière, il est souvent plus facile de repérer dans le plan où se trouvent les éléments à dessiner, 5 (ou 6) points à partir desquels par intersections successives le dessinateur construit une grille irrégulière. En cas de travail sur calque, le dessin en bleu de cette grille permet d'obtenir des reproductions héliographiques ou photographiques où elle n'apparaîtra pas.

229

Les résultats les meilleurs semblent obtenus à partir de documents opaques.

230

Il est possible d'obtenir, à partir d'une minute papier, une reproduction de faible qualité mais qui peut être utile comme document de travail.

231

Il y a une trentaine d'années, le développement se faisait par réaction au gaz ammoniac d'où le nom parfois conservé encore de tirage ammoniac.

232
Durant l'insolation, la minute et le support héliographique peuvent se déplacer de manière sensible et le développement humide joue évidemment un grand rôle; des variations de 1 pour 100 sont courantes.

233
A condition d'utiliser des objectifs orthoscopiques.

234
Un livret décrivant les techniques photographiques est en préparation à l'Inventaire général.

235
Il sera néanmoins très difficile de respecter exactement l'épaisseur des traits; les traits fins notamment seront bien souvent épaissis.

236
En cas d'utilisation d'une simple chambre photographique, le parallélisme peut être assuré en mesurant les côtés opposés du cadre qui, sur le plan de projection, doivent avoir des dimensions homothétiques; le contrôle peut s'effectuer sur le document reproduit de la même façon ou, à partir des croix d'encadrement de la figure.

237
Qu'il ne faut pas confondre avec la numérisation — par exemple photogrammétrique — qui précède l'établissement du document graphique et qui ne pose évidemment, aucun problème de précision.

238
Le procédé convient également pour les images en demi-teinte (photographies), présentant des aplats ou en couleur.

239
Les digitaliseurs existent dans des formats divers du format A4 à des formats supérieurs au A0.

240
Dans le cas de numérisation de plans anciens, les logiciels de transformations (selon les algorithmes d'Helmert) suppriment les déformations qui, sur des supports non stables, risquent d'anamorphoser les figures.

241
La digitalisation, notamment en cartographie, sert à constituer les fonds de carte sur lesquels viendront se rajouter des traitements thématiques.

242
Il ne faut pas oublier que les caméras à tube (caméras de télévision) présentent de graves distorsions formelles — qui augmentent encore avec les caméras couleur —; la géométrie des images n'est jamais conservée.

243
La numération automatique de l'analyse photogrammétrique est de même nature.

244
D'où un certain nombre de tirages qui reproduisent au miroir l'original; la forme imprimante ayant été gravée à l'endroit.

245
Le procédé se rattache aux gravures sur bois utilisées en Perse et en Chine pour l'impression des étoffes.

246
Bien que le souci soit plus simple à satisfaire, peut-on imaginer une photothèque qui ne se préoccuperait que des tirages de ses photographies et dédaignerait les phototypes?

247
Cf. Fiche 12.

248
Il est préférable de prévoir un carnet par édifice (ou des feuilles de carnet) pour éviter d'avoir à classer

dans une famille spécifique les carnets rassemblant à la suite plusieurs édifices.

249
Les phototypes sont classés selon les normes de la documentation photographique de l'Inventaire général (cf. Livret technique n° 4).

250
C'est la meilleure solution qui évite le calquage — et donc des erreurs inévitables — et un double archivage.

251
Ce peut être le cas également de commentaires se rapportant à la minute et qui figureront sur un tirage papier: précisions concernant le relevé, ou l'archéologie de la structure (désorientements, dissymétrie, par exemple).

252
La suspension verticale nécessite la perforation du calque par une machine spéciale ou le collage d'une bande de suspension.

253
Le rappel de cette anecdote historique montre l'accélération en un peu plus de 15 ans des systèmes de gestion de l'information.

254
Y compris les relevés et dessins ajoutés à la documentation de l'Inventaire mais provenant d'autres fonds ou fabriqués par d'autres organismes.

255
Dans certains cantons documentés par l'Inventaire dans les années 1970-1975, plus de 10% du patrimoine a déjà disparu.

256
La désaffectation de facto des petites églises ou la cessation d'activité des bâtiments industriels ou artisanaux.

257
Osons-nous rappeler la vieille histoire du colosse de Memnon: restauré par Septime Sévère, il cessa de chanter. Toute intervention sur un édifice correspond, quelle qu'en soit la qualité, à une déperdition de l'information historique.

258
14 442 638 exactement d'après l'INSEE, recensement de la population de 1982.

259
"Les œuvres gothiques n'étaient point inconnues; elles n'étaient qu'invisibles" écrit André Malraux dans le texte fondateur de l'Inventaire général.

260
Dans le recensement de la population de 1982, l'INSEE estime à moins de 40% les immeubles construits avant 1914.

261
Malraux, dans ce texte déjà cité, où tous les mots pèsent un poids de bon sens.

262
Mais quel est l'échantillon représentatif d'un phénomène qui se découvre au fur et à mesure?

263
Comme la "bulle" des bandes dessinées ou le banc-titre du film muet dans d'autres domaines de l'image, la légende des figures montre pour le moins la limite ultime.

264
Apparemment puisque soumise également aux aberrations de l'optique (cf. Chapitre 5).

265
La vision humaine repose sur l'analyse et la confrontation des perceptions des deux yeux; ceux-ci

balayent en permanence l'espace d'un faisceau très fin, par des mouvements circulaires et de translation de la pupille que la fixité et la planéité du tableau ne peut que suggérer; par ailleurs, le cerveau est derrière la rétine; l'homme ne voit et ne retient que ce dont il a besoin.

266
R. BARTHES, p. 156. Biblio.

267
Citons à propos les réflexions pertinentes de Roger Agache, l'un des spécialistes les plus éminents de l'archéologie aérienne qui parle de l'enchaînement inéluctable du chercheur qui ne trouve que ce qu'il cherche mais dont le regard s'éduque et apprend à distinguer la "forme labile" qui devient bientôt la forme prégnante qu'il ne pourra plus ne pas voir (par exemple, dans *Détection aérienne in Bulletin de la société de préhistoire du nord*, n° 7, 1970, p. 20 et ss.).

268
La définition de la photographie peut être représentée par le grain d'argent dont la taille descend à moins d'un micron pour les émulsions lentes; l'information est donc lisible si elle dépasse la taille du grain d'argent et nous pouvons dégager, pour un phototype 24 x 36 mm, près de 900 millions de points individualisés.

269
Chacun des documents rassemblés figure en quelque sorte une représentation de l'édifice; les documents de première main procèdent d'une interprétation directe de l'édifice; parmi ceux-là les documents primaires résulteront d'un transfert plus ou moins automatique (dimension mesurée sur l'édifice et transférée sur le papier) et/ou systématique (photographie). Dans cet esprit, les archives constituent des documents secondaires.

270
Et même un peu plus si l'on considère que la localisation est, en partie, saisie à partir des documents cartographiques (Cadastre, coordonnées Lambert,...).

271
Voir, malgré tout à ce propos, l'enquête sur les centres de documentation du patrimoine.

272
Sans compter que l'existence de fonds archivistiques va très souvent de pair avec la conservation matérielle de l'édifice, classé M.H. ou inscrit.

273
Le Bundesdenkmalamt à créé, en 1964, sous la direction de Hans Foramitti, un atelier de photogrammétrie architecturale; celui-ci réalise des campagnes systématiques, aussi bien sur des édifices isolés que sur des îlots urbains, des corps de rue, ...

274
Au pied levé!

275
Ici, formes significatives par opposition à formes apparentes; le nu du mur par rapport à un lambris qui le recouvre.

276
Sauf en cas de guerre ou de catastrophe naturelle...

277
Sauf besoin immédiat, sur sollicitations du Conservateur des M.H., de l'Architecte en Chef ou de l'Architecte des Bâtiments de France.

278
Il serait illusoire de lever, de façon schématique ou expéditive, une figure dont la représentation déjà existante est pour le moins du même type.

279
Ou les zones qui font l'objet d'hypothèses archéologiques.

280
A titre d'exemple, sur les 52 475 édifices de la base architecture, 2390 sont "classés" ou "inscrits," soit 4,5% (état de la base au 23/06/1989).

281
La rédaction pouvant même être différée.

282
L'image aura la capacité de montrer mais l'analyse restera à faire; la gestion rapide des images est un pari que les vidéodisques, les stations-images à écran mosaïque résolvent chaque jour de mieux en mieux.

283
C'est-à-dire que les erreurs, inévitables, liées à toute pratique, sont tolérables.

284
Chaque mesure présente une certaine précision; c'est l'enchaînement des mesures qui introduit l'élément aléatoire. Chaque couple photogrammétrique, avec sa multitude de mesures possibles, offre une excellente précision mais l'enchaînement sans calage de cette information multiplie les systèmes de projections et entraîne par là des aberrations incontrôlables.

285
Dans un relevé expédié où sont les éléments mesurés et où sont les éléments interprétés ou mis en place à l'aide d'hypothèses?

286
Il est évident également qu'avec les procédures calculées sur ordinateur d'aérotriangulation terrestre (sic), procédures qui se développent et s'allègent, des relevés insuffisamment calés peuvent être rédigés avec un accroissement sensible de précision.

287
Machabey a bien étudié ce phénomène; il compare notamment, pour démontrer ce raccourcissement, des étalonnages successifs au XVIII^e siècle et à notre époque d'une aune-étalon de 1554 conservée au CNAM. Fixée par François 1^{er}, puis Henri II, à 3 pieds, 7 pouces, 8 lignes du Roi (524 lignes), elle est étalonnée successivement par Picard, Lahire et du Fay qui lui donnent une mesure de 3 pieds, 7 pouces, 10 lignes et 5/6 (526 lignes 5/6) pour une longueur actuelle de 118, 84 cm, ce qui donne un pied de 32, 66 cm à l'époque de François 1^{er}, pour 32, 48 cm à l'époque de Du Fay.

288
1 toise = 6 pieds = 72 pouces = 864 lignes = 10 368 points (ou 8640 points)

1 pied = 12 pouces = 144 lignes = 1728 points (ou 1440 points)

1 pouce = 12 lignes = 144 points (ou 120 points)

1 ligne = 12 points (ou 10 points)

289
L'Abbé Picard, et il s'agit ici de mesures de haute précision, utilisa pour la mesure du méridien entre Villejuif et Juvisy en 1670 quatre bois de piques de 2 toises chacun assemblés deux par deux; sa base, d'environ 11 km, nécessita près de 3000 reports. Par ailleurs, il faut imaginer que la plupart de ces lattes, habituellement, étaient certainement étalonnées à partir d'une référence de longueur plus courte : pied, double-pied ou toise de fer dont la dilatation n'était sans doute pas toujours contrôlée.

290
La chaîne d'arpenteur n'apparaît qu'à la fin du XVI^e siècle, encore est-elle fort imprécise, composée d'anneaux forgés.

291
En 1791, l'Académie des sciences, pour la définition du mètre, n'en retiendra pas l'idée pour ne pas lier l'unité de temps à celle de longueur — ce qui, depuis 1983, est le cas — et parce qu'à chaque latitude correspond une longueur du pendule..

292
Cette référence au méridien terrestre sera brève; correspondant à 0,513 243 toise (443,44 lignes), le mètre sera défini cinq ans plus tard, comme de longueur égale à 3 pieds, 11 lignes, 296 millièmes, ce qui revenait à accepter de nouveau l'étalon matériel.

293
Après avoir été concurrencé par un nouvel étalon, l'angström correspondant à une longueur d'onde, le mètre a été défini en 1960 comme égal à 1 650 763, 73 longueurs d'onde dans le vide d'une radiation de krypton 86. Son actuelle définition procède de la connaissance à 1,6 m près de la vitesse de la lumière obtenue en 1972 (299 792 458 m/seconde).

294
Le tour d'horizon de 360° divisé en 4 quadrants de 90° et 1° = 60' et 1' = 60", a fait place, notamment dans les machines à calculer, au degré centésimal.

Le quadrant reste égal à 90° mais, dans chaque degré, il y a 100' (minutes centésimales) et 10 000" (secondes centésimales).

295
Division en 6 secteurs de 60°, puis 12 de 30°, 24 de 15° et 48 de 7,5°.

296
Le millième est une définition militaire et correspond à l'angle sous lequel est vu un objet à une distance 1000 fois supérieure à sa hauteur; il y a 1600 millièmes par quadrant (en réalité, 1570, 7960, ...). Cette graduation se retrouve sur certains instruments militaires américains.

297
Le radian a un usage strictement mathématique; il y a 2 π radians pour un tour d'horizon; 1 radian = 57,2957°... = 63,6619G...

298
Les angles d'inclinaison des chambres photogrammétriques sont fréquemment exprimés en degrés.

299
Le logiciel TOPO fonctionne sur Micral 30 ou 60 et compatible P.C.; il est mis à la disposition des Services régionaux d'Inventaire.

300
Dans le livre 1 de l'Almageste de Ptolémée apparaissent des tables de sinus (140 B.C.).

301
Le second angle aigu est évidemment le complément du premier angle aigu : A = 90° - C; C = 90° - A.

302
Ces coordonnées négatives sont d'ailleurs sans réelle importance; il s'agit simplement de faciliter la vision de la famille des points calculés et les calculs.

303
Les angles du polygone ont été contrôlés et ont donné lieu à une éventuelle compensation (cf. Fiche 6).

304
Sur certaines machines, l'axe de référence est celui des X, cela inverse X et Y pour les calculs.

305
Cf. logiciel TOPO.

306
Mesurer des distances avec une chaîne mal étalonnée — trop courte ou trop longue — donne l'exemple de l'erreur systématique; en topographie, l'influence de l'atmosphère sur la rectitude de la visée, celle de la courbure de la terre et de l'altitude sur la grandeur mesurée, sont la cause d'erreurs systématiques.

307
Le "double retournement" qui consiste à viser une deuxième fois un point après avoir pivoté la lunette autour de son axe de tourbillonnement et effectué une rotation de 200G de l'alidade, élimine l'erreur de collimation qui, sur les instruments anciens, avait une réelle importance.

308
Il n'y a de valeur exacte en topographie, que celle de la somme des angles d'un polygone; on appelle valeur exacte, une valeur de plus grande précision qu'un mesurage qu'elle va contrôler.

309
Si l'on mesure avec un double décimètre 20 m et 2 m, l'erreur absolue sera du même ordre, 1 cm environ et les erreurs relatives à 1/2 000 et 1/200; le mesurage de 2 m sera relativement moins précis.

310
La désignation au fil à plomb ou à l'aide d'un crayon (0,8 cm de diamètre) peuvent difficilement donner mieux.

311
A l'aide d'un trépied quelconque — trépied photo par exemple —.

312
Quelle que soit la force de traction exercée sur un ruban, celui-ci ne sera jamais reciligne — il se brisera avant —; il importe donc de respecter la traction prévue de 3 à 5 kg qui figure, en général, près de l'origine du ruban.

313
Pour une portée de 20 m, un écart de 20 cm sur l'alignement et de 20 cm d'horizontalité ne font varier la distance mesurée que de 2 mm : à l'œil, alignement comme horizontalité se font sans difficulté à moins de 20 cm près.

314
Sauf en photogrammétrie.

315
L'opérateur peut lui donner une altitude 0 mais il vaut mieux choisir une cote ronde — 10 m, 100 m — pour éviter des altitudes négatives.

316
Mais le creusement du seuil par l'usage, nous fait préférer à son axe, sa rencontre avec le piédroit.

317
Clou ou rivet dans un dallage ou un parement, borne dans un terrain naturel.

318
Cette surface fermée enveloppant la terre entière définit en fait le géoïde.

319
Le premier nivellement général a été réalisé de 1857 à 1864 par Bourdaloue et le second à partir de 1885 par Lallemand; depuis, des opérations de révision et de contrôle des repères sont faites périodiquement par l'Institut géographique national.

320
Lors de déplacements pédestres, sur le lieu du relevé, le théodolite peut être conservé dans son étui métallique (la bombe); lors des transports en véhicule, l'étui avec le théodolite est lui-même enfermé dans le coffre rembourré de caoutchouc.

- 321 Bien que les théodolites disposent en général d'une molette permettant d'amener, dans une direction donnée (le côté de la polygonation par exemple), le 0 du limbe, cette manœuvre délicate est prohibée car elle introduit des erreurs opératoires supplémentaires.
- 322 Les angles entre points rayonnés ne sont utiles qu'en cas de calcul en coordonnées des points rayonnés (cf. Fiche n° 2).
- 323 La relation de Pythagore où 20 m est l'hypoténuse et 20 cm le décalage donne la distance réellement mesurée, soit :

$$\sqrt{(20,00)^2 - (0,2)^2} = 19,999 \text{ m.}$$
- 324 La longueur d'un mur goutterot recoupé de contreforts n'est pas forcément la même que la longueur mesurée entre les extrémités des contreforts.
- 325 Un bon moyen pour le chaîneur qui lit est de tenir ensemble le ruban et un mètre (ou une règle) rigide ; il fait pivoter le ruban autour du point de départ avec une distance un peu plus courte qui repère l'horizontale et fait coulisser le mètre rigide jusqu'à la paroi.
- 326 Le chaîneur arrière, en comptant les fiches ainsi récupérées, peut contrôler le nombre de portées intermédiaires.
- 327 Aucune autre information ne sera figurée sauf pour éviter une ambiguïté.
- 328 L'écriture doit être indélébile, de façon à n'être effacée ni par la sueur ni par la pluie ; au crayon, qui a tendance à s'effacer dans les pliures du papier, nous préférons stylo à plume tubulaire ou stylo-bille à pointe fine.
- 329 Celles-ci ne sont pas proportionnelles à la surface.
- 330 Tout au moins par figure.
- 331 En évitant les visées rasantes.
- 332 Deux mesures linéaires ou une linéaire + une angulaire (rayonnement).
- 333 L'usage du compas accroît l'imprécision puisqu'il multiplie les opérations : ouverture du compas à la distance, positionnement de la pointe du compas, ... ; en outre, le procédé est plus lent et perforé le calque.
- 334 A 10 m, l'angle sous lequel sera vu un balustre (80 cm de haut et épais de 40 cm) ne varie pas de plus de 5 cgr sur son épaisseur, le balustre peut être considéré en géométral.
- 335 H. DENEUX. Biblio.
- 336 Notamment pour les photos anciennes mais, également, pour toutes photographies exécutées avec une chambre non métrique.
- 337 L'Institut géographique national exécute à la commande des redressements jusqu'à 10⁶ environ.
- 338 A noter que chaque opération photographique atténuera la qualité photographique et, ainsi, la qualité informative.
- 339 Par simplification, nous l'appellerons photoplan bien qu'en cartographie le terme désigne l'assemblage de plusieurs photos.
- 340 En dehors des aberrations liées à l'"épaisseur" acceptée du plan.
- 341 L'utilisation d'objectifs grand-angulaires en architecture accroît encore les aberrations en ajoutant aux déformations perspectives liées à l'échelle du détail, celles radiales de l'ouverture du champ.
- 342 Ce modèle est obtenu à partir d'une série de profils parallèles ou à partir d'une saisie en courbes de niveau ; lorsque la nature géométrique de la surface est connue, il est possible, en la supposant parfaite (plan, sphère, ...), d'obtenir l'orthophotoplan simplement à partir des données d'orientation absolue du modèle.
- 343 Travaux menés par Giuseppe Lombardini avec Patricia Canella et Georgio Vianelli dans le cadre de l'université de Bologna (Faculté d'ingénieurs et Institut de topographie et géodésie).
- 344 Institut de photogrammétrie de l'Université technique de Wien.
- 345 Ils pourront être utilisés lors d'une demande ultérieure.
- 346 Cette remarque est très importante pour la C120 où le viseur, situé sur la base, ne correspond exactement ni au champ droit ni au champ gauche.
- 347 L'orientation à 10° est à déconseiller sur la Wild C120 car le couple obtenu ne peut être traité sur l'appareil de restitution simplifié Wild A40.
- 348 Sur la Wild C 120, le déclenchement est obtenu par l'intermédiaire d'une batterie électrique ; celle-ci doit être rechargée avant chaque opération.
- 349 Les termes de ces couples sur les chambres stéréométriques ne sont pas interchangeables car de petits mouvements angulaires ont été introduits par la manipulation.
- 350 L'oubli de cette identification est contraignante : si le chantier est traité sur le Wild A40, l'opérateur risque de devoir passer le couple sur un autre appareil — Wild Aviomap ou Wild BC1 —.
- 351 Dans la Wild P.31, la nivelle est unique et parallèle à l'axe optique ; comme pour celle d'un théodolite, son réglage s'effectue dans deux positions : direction de prise de vue/direction de la base ; l'opérateur termine toujours dans la direction de prise de vue.
- 352 Contrôle de déplacements intempestifs des trépieds.
- 353 Bien veiller à ne pas déplacer les trépieds en effectuant cette manœuvre : un premier agent retient le trépied et l'embase, le second agent soulève la chambre et la repositionne.
- 354 En cas d'oubli, les points au sol des stations rendent encore possible cette mesure.
- 355 Si le relevé dure un certain temps — plus de 15 jours —, se déroule loin du bureau ou dans des conditions climatiques pernicieuses — chaleur, humidité, ... — pour les clichés, il est conseillé d'effectuer au moins le développement des plaques et la vérification par le calcul des mesures.
- 356 Ils sont établis à un format dossier (21×29,7 ou 29,7×42) sauf impossibilité pour un grand édifice.
- 357 Il peut s'agir d'un relevé ancien réduit et simplifié ou d'un agrandissement du plan cadastral par exemple.
- 358 L'analyse dans le modèle s'élabore dans un trièdre de référence X, Y, Z et ces coordonnées sont réduites à leurs projections (u, v) dans le plan du dessin.
- 359 Sauf agrandissement — ou réduction — photographique du document qui peut changer la lisibilité du document mais qui ne modifie pas l'information.
- 360 Nous pouvons rajouter le traitement par courbes de niveau ou courbes d'égal éloignement qui peut également être obtenu à partir d'un fichier numérique.
- 361 Outre le traitement facilité et les masques réduits, la précision sera la meilleure.
- 362 On peut malgré tout estimer qu'il aura tendance à "remplir" un peu plus la figure à plus grande échelle.
- 363 A l'exception des différences de coûts des supports : couche à graver, calque, tirage papier.
- 364 Ces codes indiquent également l'appartenance à une même structure (arc, voûtain, ...) et l'ordre dans la structure.
- 365 L'opérateur "pointe" ; il en résulte une précision accrue et il peut multiplier, comme il l'entend, le nombre de "pointés."
- 366 En dehors de tout algorithme de lissage introduit à l'instant du dessin par logiciel.
- 367 L'agrandissement de l'échelle conduit malgré tout la courbe apparente à redevenir la ligne polygonale.
- 368 Ce fichier complété, en aucune façon ne pourra servir à la détermination de formes théoriques et d'écarts.
- 369 P. DELORME — Livre 1 — fol. 22 v° Biblio.
- 370 Cf. Chapitre 10. Deux jeux sont réalisés sur le terrain destinés à être archivés aux sièges régional et national de l'Inventaire.
- 371 Si les mesures ont nécessité des calculs.

Bibliographie

ALBERTI, Léon-Battista. **Opere vulgari (De architettura, Della Pittura, Ludi rerum mathematicarum, Descriptio urbis Romae, ...)**. Firenze : A. Bonucci, 1843-1849.

ALBERTZ, Jrg, KREILING, Walter. **Guide photogrammétrique**. Karlsruhe : Herbert Wichmann, 1980 (3^e éd.).

Anamorphose, jeu de perspective. Exposition, Musée des Arts décoratifs, 1976. Köln : M. DuMont Schauberg, 1975.

L'architecture en représentation. Exposition, Hôtel de Vigny, 1985. Paris : Inventaire général, 1985.

BADAWCZO-WDROZENIOWY, Osrodek. **Projekt instrukcji o geodezyjnej inwentaryzacji zabytkow architektury**. Krakow : GKP, 1977.

BARRE, André, FLOCON, Albert. **La perspective curviligne**. Paris : 1968.

BARTHES, Roland. **La chambre claire**. Paris : Editions de l'étoile, 1980.

BEAUTEMPS-BEAUPRÉ, Charles-François. **Méthode pour la levée et la construction des cartes et plans hydrographiques**. Paris : Imprimerie impériale, 1811.

BEURRIER, René. **Géométrie appliquée**. Paris : Dunod, 1957.

BONBON, Serge. **La perspective sphérique**. Paris : 1976.

BOLTZ, Rémi, SAINT-AUBIN, Jean-Paul. **Mesure et démesure du patrimoine : les relevés photogrammétriques d'architecture de l'Inventaire général**. *Géomètre*, déc. 1982, n° 12, p. 28-44.

BONNEVAL, Henri. **Photogrammétrie générale**. Paris : Eyrolles, 1972.

BORGÈS, Jorge-Luis. **De la rigueur de la science**. In : *Histoire de l'infamie*. Paris : Union générale d'éditions, 1964, p. 129,130.

BOUDON, Philippe. **Une architecture mesurée**. Critique, 1984, t. XLIII, p. 476-477.

CARBONNELL, Maurice.

- **Quelques aspects du relevé photogrammétrique des monuments et des centres historiques**. Rome : Iccrom, 1974.

- **Photogrammétrie appliquée aux relevés des monuments et des centres historiques**. Rome : Iccrom, 1989.

CARRIER, André. **Traité de topographie générale**. Paris : Girard, Barrère et Thomas, 1948.

CIGOLA, Michela. **Proposta di simbologia grafica unificata per il rilevamento architettonico**. Roma : La Sapienza, s.d.(ca.1989).

CLAVAL, Florence. **Epures de la cathédrale de Clermont-Ferrand**. *Bulletin archéologique du Comité des travaux historiques et scientifiques*, nouvelle série, 1984-1985, n° 20-21, fasc A (1988), p. 185-224.

COUET, R., DUBUISSON, B. **Cours de dessin topographique**. Paris : Eyrolles, 1955.

CUNDARI, Cesare. **Fotogrammetria architettonica**. Roma : Kappa, 1983.

DAMISCH, Hubert. **L'origine de la perspective**. Paris : Flammarion, 1987.

DANGER, Raymond. **Cours de relevés d'architecture**. Paris : Eyrolles, 1962.

DEFORGE, Yves. **Le graphisme technique, son histoire et son**

enseignement. Seyssel : Champ Vallon, 1981.

DELORME, Philibert. **Architecture**. Bruxelles : Madarga, 1981 (reprint de la 2^e édition de 1648).

DENEUX, Henry. **La métrophotographie appliquée à l'architecture**. Paris : Paul Cattin, 1930.

DOCCL, Mario, MAESTRI, Diego. **Il rilevamento architettonico, storia, metodi e disegno**. Bari : Laterza, 1984.

DOCCL, Mario.

- **Principi di fotogrammetria e restituzione prospettica da architetture**. Roma : Astra, 1964.

- **Teoria e pratica del disegno**. Bari : Laterza, 1987.

DURAND, Jean-Nicolas-Louis. **Précis des leçons d'architecture**. Paris : 1809.

DÜRER, Albrecht. **Under Weysung der Messung mit dem Zirckel und richt Scheyt, in Linien ebenen und gantzen Corporen...** Nürnberg : éd.1525 (dessinateur au luth) et éd. 1538 (dessinateur à la femme couchée).

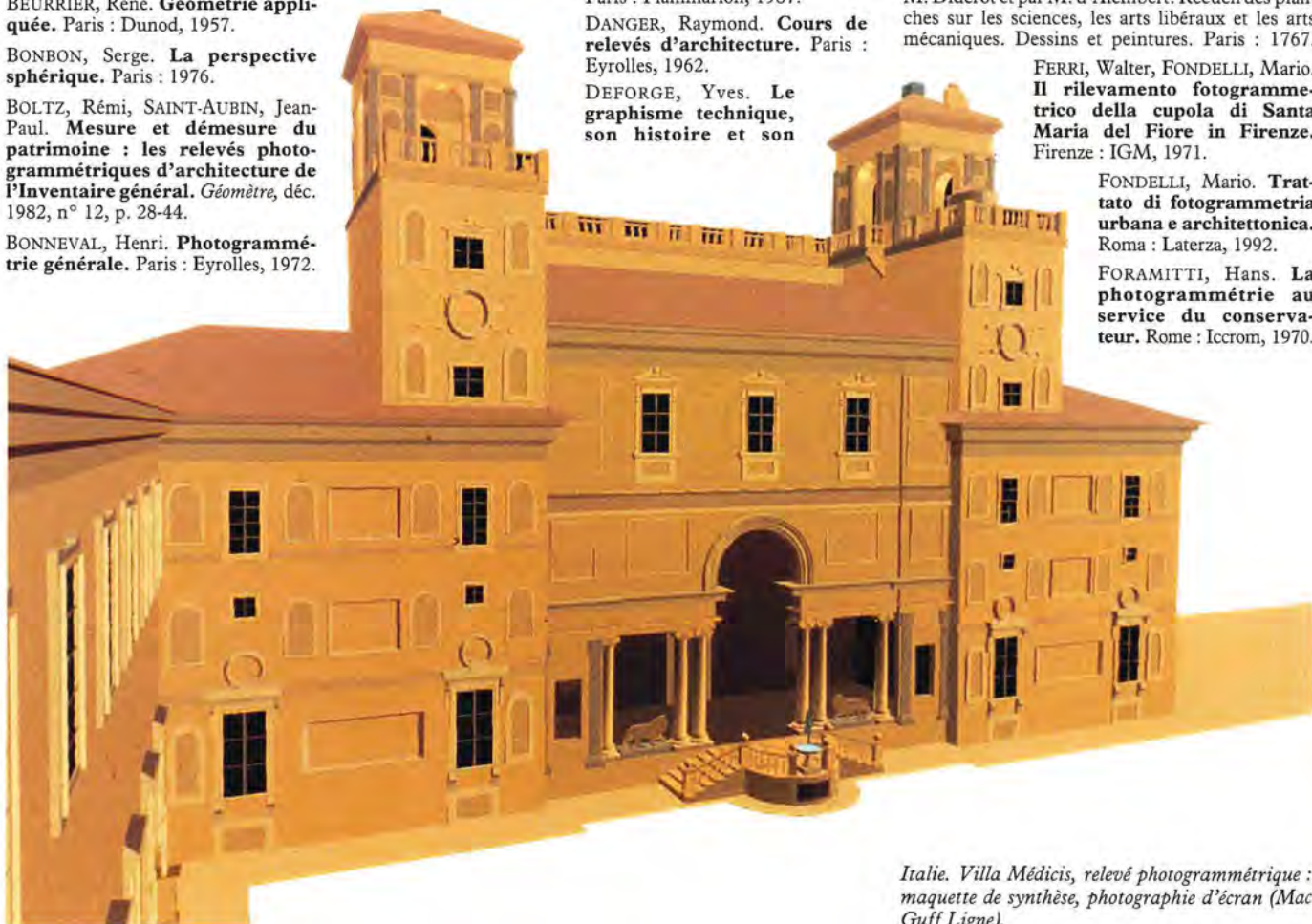
Etude sur la photogrammétrie appliquée aux monuments historiques (Conseil international des monuments et des sites). Saint-Mandé : IGN, 1968.

Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des arts, des sciences et des métiers..., publié par M. Diderot et par M. d'Alembert. Recueil des planches sur les sciences, les arts libéraux et les arts mécaniques. Dessins et peintures. Paris : 1767.

FERRI, Walter, FONDELLI, Mario. **Il rilevamento fotogrammetrico della cupola di Santa Maria del Fiore in Firenze**. Firenze : IGM, 1971.

FONDELLI, Mario. **Trattato di fotogrammetria urbana e architettonica**. Roma : Laterza, 1992.

FORAMITTI, Hans. **La photogrammétrie au service du conservateur**. Rome : Iccrom, 1970.



Italie. Villa Médicis, relevé photogrammétrique : maquette de synthèse, photographie d'écran (Mac Guff Ligne).

- GROMORT, Georges. **Introduction à l'étude de la perspective.** Paris : Vincent, Fréal et cie, 1958.
- JANTZEN, Eric. **La perspective.** Paris : Editions de la Vilette, 1982.
- LAUSSEDT, Aymé.
- **Les applications de la perspective au lever des plans.** Vues dessinées à la chambre claire. Photographies. Annales du conservatoire des Arts et métiers. Paris, 1891, 2^e série, t. III.
 - **Mémoire sur l'emploi de la chambre claire dans les reconnaissances topographiques.** Mémorial de l'officier de génie. Paris : 1854, n° 16, p. 228 et ss.
 - **Recherches sur les Instruments et le Dessin topographique.** Paris : 1903.
- LAZARUS, Michel, SAINT-AUBIN, Jean-Paul. **Ordinateur et projection d'architecture.** In : *L'architecture en représentation.* Paris : Inventaire général, 1985, p. 19-24.
- LECANNUET, Fabienne. **Relevés d'architecture : typologie et pratique** (mémoire d'ingénieur de l'école supérieure des géomètres et topographes). Evry : 1983.
- MACHEBEY, A. **Métrologie dans les musées de province et sa contribution à l'histoire des poids et mesures en France depuis le XIII^e siècle.** Troyes : 1962.
- MARTIN, Gérard.
- **Imprimerie.** In : *Encyclopaedia Universalis.* Paris : Encyclopaedia universalis, 1976, t. VIII, p. 766-774.
 - **L'imprimerie d'aujourd'hui.** Paris : Editions du cercle de la librairie, 1992.
- MARTIN, Raymond. **Leçons de phototopographie.** Paris : Eyrolles, 1960.
- MONGE, Gaspard. **Géométrie descriptive.** Paris : 1827 (5^e éd.).
- MONTI, Carlo. **Relevés photogrammétriques d'une coupole et analyse de sa forme par des méthodes statistiques modernes.** *Bulletin de la société française de photogrammétrie.* Paris : 1987, n° 105.
- NOVAK, Kurt. **Application of a still video camera in architectural photogrammetry** in Contributions of modern photogrammetry remote sensing and image processing methods to the architectural and urban heritage (XI^e symposium international du CIPA). Sofia : Gueorgui Hadjiev, 1988.
- Optimisation des relevés photogrammétriques d'architecture** (document préparé par le Conseil International de Photogrammétrie Architecturale — CIPA — de l'ICOMOS). Paris : Icomos, 1981.
- PALLADIO, Andrea. **Les quatre livres de l'architecture.** Paris : Arthaud, 1980 (reprise de la traduction de Fréart de Chambray de l'édition de 1650).
- PANOFSKY, Erwin. **La perspective comme forme symbolique.** Paris : Editions de Minuit, 1975.
- PATTERSON, Robert. **Manual for the preparation of "as found drawings."** Victoria : British Columbia Heritage Trust, 1982.
- PÉROUSE de MONTCLOS, Jean-Marie. **Vocabulaire de l'architecture.** Paris : Imprimerie nationale, 1972.
- PÉLERIN, Jean, dit le Viator. **De artificiali Perspectiva.** Paris : La librairie Tross, 1860 (fac-similé de l'édition de 1509).
- POUDRA, Noël-Germain. **Histoire de la perspective.** Paris : J. Correard, 1864.
- PRACHE, Anne. **L'architecture de la cathédrale de Noyon à la lumière de la photogrammétrie.** *Bulletin de la société nationale des antiquaires de France.* Paris : 1986, p. 180-187.
- Recording historic buildings, a descriptive specification.** London : RCMH, 1990.
- RIOU, Yves-Jean. **Le relevé des étapes de la construction.** In : *L'architecture en représentation.* Paris : Inventaire général, 1985.
- RUDEL, Jean. **Technique du dessin.** Paris : PUF, 1979.
- SAINT-AUBIN, Jean-Paul.
- **La photogrammétrie et les relevés d'architecture.** *Bulletin de la Société française de photogrammétrie.* Paris, oct. 1975, n° 60, p. 37-58.
 - **L'apport de la photogrammétrie pour l'étude et la conservation du patrimoine architectural.** Les monuments historiques de la France. Paris : 1977, n° 5, p. 68-71.
 - **Etude et conservation du patrimoine culturel : les relevés d'architecture de l'Inventaire général.** *Géomètre,* Paris : 1978, n° 8-9, p. 46-63.
 - **Spécificités des méthodes de relevés d'architecture : possibilités et nécessités.** In : *Photogrammetry in architecture and conservation of monuments* (V^e symposium international du CIPA). Split : 1978, p. 26-41.
 - **Auscultation des voûtements d'édifices anciens par la photogrammétrie.** *XYZ, revue de l'association française de topographie.* Paris : déc. 1981, n° 9, p. 87-101.
 - **Photogrammétrie d'architecture.** In : *Encyclopaedia Universalis.* Paris : Encyclopaedia universalis, 1981, p. 1145-1150.
 - **La représentation de l'architecture et la photogrammétrie.** *Bulletin de la société française de photogrammétrie.* Paris : 1982, n° 85, p. 23-24.
 - **La "lecture" photogrammétrique.** *Revue de l'Art.* Paris : 1983, n° 58-59, p. 144-145.
- Modèles mathématiques et stéréomodèles architecturaux : construction, structure et théorie.** In : *Actes du 15^e congrès de la société internationale de photogrammétrie.* Rio de Janeiro : 1984, p. 647-656.
- **Photogrammétrie et étude des ordres : à propos du Louvre de Lescot.** In : *L'emploi des ordres dans l'architecture de la Renaissance.* Paris : Picard, 1992.
 - **Géométrie de l'architecture.** In : *Real-time photogrammetry - a new challenge - International archives of photogrammetry and remote sensing.* Ottawa : 1986, vol. 26, t. V, p. 502-509.
 - **La collégiale Saint-Silvain de Levroux.** In : *Congrès archéologique du Bas-Berry.* Paris : SFA, 1987, p. 147-161.
 - **Quadrillage de fouilles du Mont-Beuvray.** *Revue archéologique de l'Est et du Centre-Est.*, 1987, t. XXXVIII, fasc. 3-4, p. 286-287.
 - **Pour une nouvelle technologie photogrammétrique : les 4 dimensions de l'architecture.** In : *Actes du 16^e congrès de la Société internationale de photogrammétrie et de télédétection.* Kyoto : 1988, vol. 27, t. B5, p. 527-536.
- **Le modèle du modèle, le pendentif de Valence.** In : *Archives et histoire de l'architecture,* Paris : Editions de la Vilette, 1990, p. 260-269.
 - **L'immagine dell'architettura costruita.** In : *Le nuove tecnologie nelle rappresentazione architettonica (Quaderni del dipartimento di rappresentazione e rilievo).* Roma : Università degli studi di Roma "La Sapienza," 1989, p. 93-100.
 - **L'image de l'architecture : l'Atelier de photogrammétrie architecturale de l'Inventaire général.** *Géomètre.* Paris : oct. 1988, n° 10, p. 49-56.
 - **Appréhension de l'espace : topographie et perspective.** In : *Séminaire 1990 du Centro di Cartografia del Istituto universitario di architettura di Venezia.* Venezia : 1990.
 - **L'image photogrammétrique de synthèse.** In : *Archives de la Société internationale de photogrammétrie.* Zürich : ISPRS, 1990.
 - **Tracé géométrique et stéréométrie : la voûte du vestibule du palais épiscopal de Viviers.** In : *Histoire, théorie et pratique de la perspective et des modes de représentation* (UPA, Paris-Villemin). Paris : 1989.
 - **Pédagogie de l'architecture et maquette photogrammétrique de synthèse.** In : *Photogrammetric surveys of architecture* (XIII^e symposium international du CIPA). Cracovie : 1990.
- SAINZ, Jorge. **El dibujo de arquitectura.** Madrid : Nerea, 1990.
- SAVIGNAT, Jean-Marie. **Dessin et architecture du moyen-âge au XVIII^e siècle.** Paris : Ecole nationale supérieure des Beaux Arts, 1980.
- TOULIER, Bernard. **Le cadastre de l'architecture.** In : *L'architecture en représentation.* Paris : Inventaire général, 1985.
- TRUTMAN, O.
- **Le théodolite et son emploi.** Heerbrugg : Wild, 1973.
 - **Le nivellement.** Heerbrugg : Wild, 1974.
- VIOLLET-LE-DUC, Eugène.
- **Dictionnaire raisonné de l'architecture française.** Paris : B. Bance, 1854-1868.
 - **Entretiens sur l'architecture.** Paris : A. Morel, 1863 et 1872, 2 vol.; 1863 et 1864, 2 atlas de planches.
 - **VILLARD de HONNECOURT, Carnet, XIII^e siècle.** (Paris, B.N. ms. fr.19093). Introduction et commentaires de Alain Erlande-Brandenburg, Régine Pernoud, Jean Gimpel, Roland Bechmann. Paris : Stock, 1986.
 - **VITRUVÉ. Les dix livres d'architecture.** Bruxelles : Madarga, 1979 (reprint de l'éd. de Perrault de 1684).
 - **WESTER-EBBINGHAUS, Wilfried. High resolution digital object recording with small format matrix sensor.** In : *Fast processing of photogrammetric data* (Intercommission ISPRS). Interlaken : ISPRS, 1988.
 - **WESTER-EBBINGHAUS, Wilfried. KOTOWSKI, Rudiger. A procedure for analytical architectural photogrammetry - demonstrated at San Domenico in Siena.** In : *Contributo della fotogrammetria alla documentazione dei centri storici e dei monumenti* (VIII^e symposium international du CIPA). Siena : 1982.

Index

Les noms de lieux et la pagination des illustrations figurent en italique.

- aberrations : 76.
abscisse : voir coordonnées
acuité : voir stéréoscopie
aérotriangulation : 125.
affûtage : 141, 221.
AGACHE : 224.
ALBERTI : 20, 38, 38, 222.
Alger : 87.
alidade : 49.
alignement : 35, 64, 65.
Allondrelle-la-Malmaison : 139.
almageste : 224.
ALMAGRO : 29.
altimétrie : 35, 56, 66, 67, 68.
altitude : 56.
anaglyphes : 88.
analogique : voir restitution.
analytique : voir restitution.
anamorphose : 174.
angle : 34 ;
 mesuré : 38, 47 ;
 lecture : 58, 59 ;
 orienté : 39, 59 ;
 report : 71, 142.
Angström : 224.
aquarelle : 15.
aquatinte : 15.
arbalète : voir bâton de Jacob.
arc : relevé, 163.
architecturé : construite : 15 ;
 relevé : 16.
archivage : 29, 173, 181.
Arles : 171.
arpenteur : 21.
Audun-le-Roman : 204.
aune : 224.
auscultation : 16, 165.
Autocad : 93.
Auxers-le-Hamon : 204
axe : 34, 35, 39 ;
 d'architecture : 57, 116.
axonométrie : 132 ;
 orthogonale : 137, 220 ;
 oblique : 139.

baie : voir glissement.
Bains-les-Bains : 214.
Balcar : 120.
BALTARD : 16, 30.
balustre (dessin de) : 96.
BARTHES : 224.
base de données : 183, 192.
base photogrammétrique : 80, 85, 103, 113, 128.
bâton de Jacob : 21, 21.
BEAUTEmps-BEAUPRÉ : 23, 23.
BELLET : 31.

BENOIT : 97.
BERNIN : 222.
Besançon : 210.
BEURRIER : 222.
BOILEAU : 15, 156.
BONBON : 220.
BORGES : 130, 218, 220.
BOUDON : 218.
BOURDALOUE : 225.
Bousseviller : 196.
boussole : 31, 48, 56, 57.
Breteuil (pavillon de) : 37.
BREUIL (du) : 20.
BREWSTER : 24.
Brières : 70, 71.
BRISACH : 222.
BROSSET : 25.
BRUNELLESCHI : 20.
BUCHSENSCHUTZ : 100.
bulle : 224 ; voir nivelle.
Bundesdenkmalamt : voir FORAMITTI.
Bussy-le-Grand : 191.

cadastre : 115, 218, 174, 224.
Cahors : 152, 169.
caïrn : 115.
calage : voir mise en station, nivelle, photogram-
 métrie.
calcul : 38, 64, 162 ;
 de modèle : 164.
calque : 140.
Calvo (anse de) : 56.
caméra C.C.D. : 177.
CANELLA : 225.
canevas : 62, 63 ; voir polygonation.
Candes-Saint-Martin : 135.
canne à plomber : 45.
capteur C.C.D. : 78, 178.
carnet : 70.
carroyage : 71, 130.
cartésien : voir coordonnées.
carton : 223.
cartouche : 147.
catalogation : 182.
Cavaillon : 159.
cavalière (perspective) : voir axonométrie.
centrage forcé : 41, 42, 119.
cercle de diffusion : 74, 76, 119.
Certilleux : 184, 185, 186.
chaînage : 52, 60.
chaînette : voir erreur.
Chalo-Saint-Mars : 205.
Chambord : 13, 14, 89.
chambre : obscure : 23 ;
 claire : 23, 23 ;
 métrique : 75 ;
 semi-métrique : 78, 92 ;
 photogrammétrique : 81 ;
 simple : 84 ;
 double ou stéréométrique : 84.
champ : 74, 109.

CHAPUY : 181.
charpente : 209.
CHASSELON : 48.
châssis : 20 ; voir polygonation.
Châtelet (la toise du roi) : 37.
cheminement : voir polygonation.
CHEVAL (le Facteur) : 193.
CHEZY : 44.
Chinon : 195.
choucroute : 28, 218.
chronologique (plan) : 210.
cinabre : 223.
cliché : 76, 81.
clisimètre : 55.
code (graphique) : 146 ; voir normes.
collimation : 57, 218, 225.
COLOMBIER (Pierre du) : 222.
commande photogrammétrique : 151.
compas : 142.
compensation : 40, 59, 225.
complètement : 125, 127, 128.
conception architecturale : 15, 167.
conformateur : 159, 160.
conservation : 181, 182.
constat : 16.
contrôle : 36.
coordinatographe : 142.
coordonnées : polaires, rectangulaires, 34, 39, 71.
Cornéville : 203.
cote : 150.
couche à graver : 140, 142, 182, 221.
coudée : voir unités de mesures.
coupe : 134 ; voir géométral.
couple photogrammétrique : 85, 105, 108, 109, 112,
 113.
courbes de niveau : 100, 203, 205.
couverture photogrammétrique : 127, 114, 192.
couvrement : voir voûtement.
craticulage : voir graticulage.
croquis : 62, 70, 153, 156, 221.
cultellation : 60.
cumulé : 60.
CUNDARI : 222.

DAGUERRE : 218.
DAUVERGNE : 26, 157.
déclinaison : 57.
déclinatoire : voir boussole.
décomposition des couleurs : 179.
découverte : 207, 220.
D'EGAULT : 46.
degré : voir unités de mesures.
DELLA PORTA : 218.
DELORME : 16, 30, 52, 170.
demande (de relevés) : 18, 151.
DENEUX : 24, 96, 218.
dessin : 15, 129, 190 ;
 outils : 140 ;
 à vue : 154 ;
 voir lecture, normes.
développement : 135, 201.

- déversement : 80.
déviation : 57.
diaphragme : 119.
diffusion : voir cercle de.
digitaliseur : 177.
dimétrie : voir axonométrie orthogonale.
directrice : 45.
distancemètre : 52.
distorsion : 76.
DOCCI : 222.
Donzère : 155.
Dorel : 179.
dossier graphique : 182.
DUCRETET : 24, 77, 79.
duplication : 164.
DURAND : 153.
DÜRER : 20, 20, 23.
- eau-forte : 180.
ébrasement : voir glissement.
écart, écart type : voir erreur.
échantillon : 189, 262.
échelle : 130, 148, 149.
Écouen : 192.
écran : 167.
écriture : 148, 208.
électrostatique : 175.
élévation : 134, voir géométral.
embase : 46.
émulsion : 79, 119, 219.
enchaînement : 123.
encre de Chine : 141.
Encyclopédie : 23, 143, 173, 174.
épiderme : 95.
équerre : 140, 141, 142 ; optique, 51.
erreur : 41 ;
 de mise en station : 41 ;
 de pointée : 41 ;
 de chaînage : 42 ;
 de chaînette : 42, 225 ;
 graphique : 42, 130, 220 ;
 relative : 42, 131 ;
 systématique : 41, 225.
- escalier : 203, 208.
étalon : voir unités de mesures.
Etampes : 198.
Evrunes : 199.
expédié : voir relevé, photogrammétrie.
extrados (relevé d') : 68.
- facette, facettisation : 171.
faute : 41.
FAY (du) : 224.
fermeture : 39.
ferroprussiate : 175.
Ferté-Bernard (La) : 203, 205, 211.
fiche à perforations marginales : 183.
Fichier documentation graphique : 183.
fichier filaire : 171.
fichier numérique : 164.
fil à plomb : 45.
- finalisation : 27, 198.
Firenze : 222.
flash : 120.
flèche : 208.
FLOCON : 218.
 focale : 74.
FONDELLI : 222.
FORAMITTI : 220, 224.
format : des clichés photogrammétriques : 81 ;
 du dessin : 140.
forme : effective : 164, 222 ;
 imprimante : 179.
FRANÇOIS I^{er} : 37, 224.
fuite, fuyante : voir perspective.
- genèse du relevé : 27, 212.
géométral : 132, 133,
gerbe perspective : 80, 102.
Gerbeville : 199.
gestion de la documentation : 183.
Gevaert : 219.
Gignac : 17.
gisement : 39, 59.
glissement de facettes : 133.
GOULIER : 50.
grade : voir unités de mesures.
grain d'argent : 79.
Grand-Pressigny (Le) : 161, 169.
graphe : 208.
Graphos : 141.
graticulage : 174.
gravure : 180.
GREUTER : 30.
GULLIVER : 170, 223.
gyroscopique : 57.
- hachures : 146, 210.
halo : 79.
HAUSSMANN : 189.
héliographique : 175.
héliogravure : 180.
HELMERT : 223.
historique du relevé : 20.
Hollande (carte de) : 21.
HOLLAR : 181.
homographie : 131, voir projection.
hyper focale : 74.
hyperstéréoscopie : 218.
- ichnographie : 167.
I.G.N. : voir Institut géographique national.
image : plastique : 103 ;
 de synthèse : 171.
immatriculation des phototypes : 182, 223.
indépendance des mesures : 36.
I.N.S.E.E. : 223.
Institut géographique national : 56, 168, 222 ;
 galerie des instruments : 20, 21, 22, 23, 25,
 31, 37, 43, 44, 45, 48, 50, 51, 56, 73, 142,
 168.
- instruments : topométriques : 43 ;
 photogrammétriques : 73.
interpupillaire (espace) : 88.
intersection : 40, 55, 68.
isométrie : voir axonométrie orthogonale.
- Jacob : voir bâton de.
JANTZEN : 220.
JOBIN : 180.
Juvisy : 224.
- Kodak : 219.
KUTCH : 140, 221.
- LAHIRE : 224.
LALLEMAND : 225.
LAMBERT : 57.
LANGLOIS : 56.
Laon : 37.
laser : 52, 222.
latte : 218, 224.
LAUSSEDAT : 23, 24, 77.
Laval : 201.
LAZARUS : 221.
LECLERCQ : 158.
LE CORBUSIER : 189.
lecture : du dessin : 150 ;
 du relevé schématique : 160 ;
 des angles : voir angle.
- LEDoux : 19.
légende : 148.
Leica : 93, 95 ; voir Wild.
LÉONARD de VINCI : 23, 24.
LESCOT : 164, 228.
lettres : voir écriture.
LEVÊQUE : 154.
Levroux : 26, 157.
ligne : 224 ; voir unités de mesures.
ligne (comme limite de zone, comme arête) : 143.
limbe : 49.
Limoges : 213.
lithographie : 180, 181.
LOMBARDINI : 225.
Londres : 24.
Louvre (Palais du) : 164, 228.
- Mac Guff Ligne : 169, 227.
MACHABEY : 224.
magnétique : 57.
magnification du signal : 121.
maille : 171.
MALRAUX : 223.
maquette : 167, 222.
marégraphe : 56.
Marseille : 56.
MARTIN : 223.
masque : 125, 126, 127, 128.
Médicis (Villa) : voir *Rome*.
médimarémètre : 56.
MEMNON : 223.
mémoire photographique : 23, 190.

- MÉRILIERS (de) : 52.
mesurage : 19, 70.
mesure : des angles : 47 ;
directe des distances : 52, 53 ;
indirecte des distances : 54, 55 ;
à vue : 116.
mètre : 224 ; voir unités de mesures.
métrophotographie : 23.
meuble à plans : 182.
MEYDENBAUER : 24.
microfichage : 211.
micromètre : 21, 49.
migration du grain d'argent : 79.
militaire (perspective) : voir axonométrie.
millième : 224 ; voir unités de mesures.
minute : de dessin : 182 ;
voir unités de mesures.
mire : 46, 47, 53, 54, 55.
mirette : 121.
mise en station : 57 ;
trépied : 57 ;
théodolite : 57.
mise en station photogrammétrique : 115, 127 ;
orientation azimutale : 115 ;
calage : 117 ;
cas normal : 118 ;
prise de vue photographique : 119.
mité (trait) : 221.
modèle : virtuel : 103 ;
mathématique : 164 ;
numérique : 171.
modélisation : 164, 171.
modello : voir maquette.
modénature : voir mouluration.
Modern-style : 189.
module : 163.
moirage : 146, 210.
MONTESSON : 24.
MONTI : 222.
Montjean : 199.
Montréal : 93.
Mont-Saint-Michel (Le) : 168.
Mora de Rubielos : 29.
MORIN : 87.
Moulins : 100.
mouluration : 159.
Nancy : 169, 200, 217.
Nantes : 170, 171, 172, 203, 210.
Neufchâteau : 202.
NIEPCE : 218.
niveau : d'eau : 44 ;
de maçon : 44 ;
du topographe : 46 ;
de chantier : 47.
nivelle : 44 ;
calage : 58 ;
réglage : 58 ;
photogrammétrique : 117.
Nivellement général de la France : 56 ; voir alti-
métrie.
nord : 57.
normalisation : 27, 28, 208.
normes du dessin : 143, 144, 198-210.
Noyon : 206, 215.
numérisation de photos : 100.
objectifs des chambres métriques : 76.
offset : 180.
Orcières : 208.
ordonnée : voir coordonnées.
orientation photogrammétrique : 102, 103.
orientement : 59.
orthographe : 167.
orthophotographie : 99.
orthophotoplan : 99.
ossature : voir polygonaion.
ozalid : 175.
PALLADIO : 28.
Panthéon : voir Rome.
pantographe : 173, 175.
parallélogramme : 116.
parc immobilier : 188.
Paris : 172, 198, 206.
PASCAL : 220.
patrimoine : 188.
PÉLERIN : 20, 20, 24, 136, 140.
pendule : 45.
pénétrante : voir polygonaion.
pente : 50.
périmétrique (cote) : 64, 65.
PERINI : 50.
Pérou : 37.
PERRAULT : 222.
perspective : 132, 136 ;
photographique : 96 ;
militaire, cavalière : 132 ;
voir axonométrie oblique.
photocopie : 175.
photogrammétrique : théorie : 75 ;
distance principale : 76 ;
paramètres : 80 ;
détermination graphique : 84,
calculée : 86 ;
précision : 106 ;
mise en station : 115 ;
calage des prises de vues : 120,
123.
photographie : 190 ;
appareils : 74 ;
utilisation graphique : 96 ;
redressée : 98 ;
mise au point : 74, 119 ;
stéréoscopique : 86.
photométallographie : 180.
photonumérique (appareil) : 78.
photoplan : 98.
photothéodolite : 81.
PICARD : 37, 224.
pied : 224 ; voir unités de mesures.
pistolet : 141.
pixel : 178.
plan : 134 ; voir géométral.
planches-types : 198-210.
planchette : 50.
planète : 76.
plans de référence : 56.
plans-reliefs : 17, 168.
plaque photogrammétrique : 76, 119, 219.
plomb : optique : 46 ; voir fil à plomb.
plume : 141.
point : 224 ; voir unités de mesures ;
dans le plan : 34 ;
dans l'espace : 36 ;
inaccessible (voir intersection) : 68 ;
de calage : 121.
pointillé : 144.
POIVILLIERS : 95.
polarisée (lumière) : 88.
politique (documentaire) : 187.
polyèdre : 222.
polygone, polygonaion : 39, 62, 63.
poncif : 144, 146, 221 ; voir normes.
ponctuel : 26, 92.
PONS (table de) : 25, 218.
PORTA (della) : 23, 218.
portillon : 20.
pouce : 224, voir unités de mesures.
pratiques documentaires : 187.
précision : 41 ;
photogrammétrique : 106 ;
relative : 42, 131.
primaire (document) : 191.
prise de vue photogrammétrique : 101, 119, 127.
prisme : voir réflecteur.
profil : 68.
profondeur : voir champ.
progettazione : voir conception architecturale.
projection : 131 ;
centre de : 131 ;
orientation du tableau et des rayons :
132 ;
voir perspective.
pseudocopie : 88, 218.
PTOLÉMÉE : 224.
PULFRICH : 73, 88, 92, 95.
Puy-Notre-Dame (Le) : 105.
PYTHAGORE : 39, 225.
quadratique : voir erreur.
quadrillage : voir carroyage.
quadrique : 165, 218.
Quimper : 200.
raccourci : 133.
radian : 224 ; voir unités de mesures.
RAMÉE : 16.

- Rangeval* : 29, 203.
 rapport base/éloignement : 108, 113, 127.
 rapporteur : 71, 142.
Ravenna : 100.
 rayonnement : 64.
 reconnaissance : 62, 70, 114.
 recouvrement : 114, 123.
 rédaction du document graphique : 129.
 redressement : 98.
 réduction : à l'horizontale : 54, 60 ;
 voir raccourci.
 référence : du plan horizontal : 56 ;
 de l'orientation : 57.
 réflecteur : 52, 52.
 règle : 37, 140, 141 ;
 alidade : 50, 50.
Reims : 24, 96.
 relevé : d'architecture : 16, 66, 218 ;
 planimétrique des détails : 64 ;
 par abscisses et quasi-hauteurs : 64 ;
 par abscisses et ordonnées : 65 ;
 altimétrique : 66 ;
 régulier, expédié : 214, 218 ;
 schématique : 154.
 relèvement : 35.
 rendu : 27.
 repère : 56.
 report : des points : 71 ; voir dessin.
 représentation de l'architecture : 13.
 reproduction : 29, 173 ;
 dessiné : 174 ;
 par photocopie : 175 ;
 héliographique : 175 ;
 photographique : 176 ;
 par scannérisation : 176.
 résolution : voir séparateur.
 restauration : 188, 223.
 restitution de l'architecture : 15, 159, 159, 220,
 221.
 restitution photogrammétrique : 89, 102, 151 ;
 analogique : 24, 25, 92 ;
 analytique : 92 ;
 commande : 151.
 réticule : 54.
 retournement (double) : 225.
Riom : 138, 147.
Rochelle (La) : 154.
Rome : *Villa Médicis* : 16, 30, 169, 187, 227 ;
 Panthéon : 28, 38.
Rosny-sur-Seine : 166.
Rouen : 196.
 ruban : 52, 60.
 rums : 38.
Saint-Aubin-des-Coudrais : 211.
Saint-Max : 199.
Saint-Nicolas-de-Port : 201, 205, 209.
Saint-Thomé : 203.
 SANGUET : 51.
 scaenographie : 167.
 scanner, scannérisation : 176.
 SCHEIMPFLUG : 98.
 schéma : 153, 155 ;
 de prises de vues : 114, 151, 221.
 séculaires (variations) : 57.
Sedan : 193.
 SENEFELDER : 180.
 senseur : voir capteur CCD.
 sensibilité : 219.
 SEPTIME-SÉVÈRE : 223.
 séparateur (pouvoir) : 78.
 SERLIO : 28.
Sienna : 26.
 somme des angles d'un triangle, d'un polygone
 fermé : 63, 222.
Souvigné-sur-Même : 209.
 SPECKLIN : 180.
 spolvero (a) : 223.
 stabilité : 140, 174, 220.
 stadia : 54.
 stadimètre : 54.
 stéréogramme : 87.
 stéréophotogrammétrie : 24, 88, 102 ;
 couple : 108.
 stéréoscope : 87.
 stéréoscopie : 86.
Strasbourg : 168, 180, 181.
 stratégie du relevé : 195.
 STRIEDEBECK : 180.
 stylo à plume tubulaire, stylo-bille, stylomine : 141.
 support : 140.
 surface d'exception : 218.
 surfacique : 171.
 survol : 125.
 symbole : 146 ; voir normes.
 synthèse : voir image de.
 système : métrique : 37 ;
 architectural : 102 ;
 de projection : 131, 167.
 table : 140.
 tableau : 96, 131, 132, 133.
 tachéomètre : 50.
 taille-douce : 180.
 télémètre : 55.
 temps : 21, 37, 218.
 texture : 172.
Thann : 193, 177.
 théodolite : 47, 115.
 THOMPSON : 92.
 tire lignes : 141.
 toise : 224 ; voir unités de mesure.
 tolérance : 41.
 tore : 218.
 TORSELLO : 222.
Toul : 17.
 tour d'horizon : 38, 224.
 tourillons, tourillonnement : 47.
 traction : 60, 225.
Tracy-le-Val : 97, 170.
 trait : 143, 202.
 trame : 146, 210, 221 ; voir normes.
 transcription photographique : 75.
 transparence : voir découverte.
 Trapu : 168, 222.
 traçante (table) : 94.
 trépied : 57.
 triangulation : voir polygonaion, trilatération.
 trigonométrie : 38.
 trilatération : 65.
 trimétrie : voir axonométrie orthogonale.
 trirectangulaire : voir coordonnées.
 troglodytique (habitat) : 210.
Troyes : 197.
 typologie : 212.
 unités de mesures : 37.
 vaccinostyle : 141, 221.
Valence : 165, 193.
Valpûseaux : 99.
 vectorisation : 177.
Venise : 129.
 verge : voir compas.
 vernier : 21.
Vésinet (Le) : 87, 126, 155, 206.
Veules-les-Roses : 158.
Vézelay : 134.
 VIANELLI : 225.
 Viator (le) : voir PÈLERIN.
 vidéodisque : 30.
 VILLARD de HONNECOURT : 222, 227.
Villejuif : 224.
Vincennes : 24.
 VIOLLET-LE-DUC : 129, 134, 149, 172.
 virtuel (modèle) : 103.
 visée : 58.
 viseur (de la C120) : 225.
 vision : 86, 224.
 visualisation : 171.
 vitesse (d'obturation) : 119.
 VITRUBE : 167, 222.
Viviers : 194, 204, 207.
 volume architectural : 92, 135, 219.
 volumétrique (représentation) : 135.
 VON OREL : 24, 92, 95.
 voûtement : 26, 135, 139, 146, 155, 156, 165, 169,
 171, 203, 204, 205, 206.
 WHEASTONE : 24.
Wien : 100.
 Wild : 25, 47, 49, 53, 81, 82, 83, 84, 87, 90, 91, 94, 95,
 98, 104, 110, 111, 117.
 WOLLASTON : 20.
 xylographie : 179.
 Zeiss : 84, 84, 117.
 zincographie : 180.
 ZUBLER : 21.

Crédit photographique

Inventaire général :

Alsace, Marius Hermanowicz : p. 180 et 181
Centre, Robert Malnoury : p. 13 et 14
Lorraine, Daniel Bastien : p. 20, 136, 140.
Poitou-Charentes, Alain Maulny : p. 154
Pays de la Loire, Denis Pillet et Patrice Giraud : p. 101, 170.

Leica : p. 25, 49, 53, 58, 93, 95, 98.

Jean-Paul Saint Aubin : p. 14, 26, 37, 38, 77, 79, 146, 170, 206.

La reproduction des documents a été assurée
par Bernard Emmanuelli avec l'aide de Daniel Lebée.

Les images de synthèse ont été photographiées directement sur l'écran de la station-image
par Philippe Fortin,
qui a effectué les reportages sur les instruments en action et sur quelques-uns des instruments anciens
que l'Institut Géographique National
nous a autorisé à photographier, dans sa galerie des instruments à Saint-Mandé.



L'Inventaire recense, étudie et fait connaître
le patrimoine artistique de la France.

Cet ouvrage retrace l'expérience des équipes de l'Inventaire général confrontées aux problèmes de la collecte documentaire et notamment à ceux qu'imposent l'apprentissage et l'usage des techniques du relevé d'architecture.

Il constitue à la fois une réflexion sur la représentation d'architecture et un manuel pratique sur les méthodes du relevé, de la plus simple aux plus sophistiquées.

De l'*orrizonte* d'Alberti et de la planchette de l'arpenteur aux analyses numériques que permettent la photogrammétrie et l'informatique, il décrit les instruments, en compare les usages et les possibilités, en propose des applications. Abondamment illustré de croquis, de relevés et de photographies, il se voudrait, pour l'historien de l'architecture, pour l'archéologue et pour l'architecte mais aussi pour les praticiens du bâtiment, l'outil d'initiation pour apprendre à faire et à lire, donc à critiquer, le relevé d'architecture.



PRIX : 180 F