

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Legros, Victor (1843-1905 ; commandant)
Titre	Description et usage d'un appareil élémentaire de photogrammétrie
Adresse	Paris : Société d'éditions scientifiques, 1895
Collation	1 vol. (87 p.) ; 20 cm
Nombre de vues	88
Cote	CNAM-BIB 8 Ke 373
Sujet(s)	Photogrammétrie -- Instruments -- 19e siècle
Thématique(s)	Technologies de l'information et de la communication
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	03/10/2014
Date de génération du PDF	05/09/2022
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8KE373

*offert par l'auteur à la bibliothèque
du Conservatoire des Arts et Métiers*

L. Seyewitz

DESCRIPTION ET USAGE D'UN APPAREIL ÉLÉMENTAIRE
de
PHOTOGRAMMÉTRIE

8^e - Ke 373

BIBLIOTHÈQUE GÉNÉRALE DE PHOTOGRAPHIE

DESCRIPTION ET USAGE
d'un Appareil élémentaire
DE
PHOTOGRAMMÉTRIE

PAR

Le Commandant **V. LEGROS**



PARIS
SOCIÉTÉ D'ÉDITIONS SCIENTIFIQUES
PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE
4, RUE ANTOINE-DUBOIS, 4

—
1893

Tous droits réservés

Idée générale de l'appareil

En rédigeant nos *Éléments de Photogrammétrie* (1), nous n'avions eu d'autre intention que de rendre accessibles à la grande majorité des photographes tous les résultats de pratique courante de la méthode créée par le colonel Laussedat, récemment appelé à faire partie de l'Institut où sa place était depuis longtemps marquée. Notre seule prétention avait été de démontrer que la pratique de cette méthode n'implique en aucune mesure la nécessité de connaissances géométriques supérieures à celles que l'on peut acquérir dans toutes les écoles primaires ou professionnelles, aussi bien que dans les cours de *lettres* de l'enseignement secondaire.

Pour justifier cette assertion, nous n'avions eu qu'à détacher les passages les plus immédiatement

(1) *ÉLÉMENTS DE PHOTOGRAMMÉTRIE*, par le commandant V. LEGROS. Société d'Éditions Scientifiques. Paris, 1891.

pratiques des mémoires originaux de l'éminent initiateur, mémoires destinés par lui aux corps savants qu'il prenait alors pour juges, plutôt qu'à des élèves. Nous y avons ajouté, pour l'usage des profanes, les éclaircissements indispensables, sous la forme du rappel de notions élémentaires et presque intuitives que quiconque a été écolier pourrait retrouver dans ses souvenirs, s'il ne les avait laissé échapper faute d'avoir jamais jusque-là rencontré l'occasion de les appliquer.

Nous entendions démontrer en outre que rien dans la technique du procédé n'exige l'emploi d'appareils essentiellement différents de ceux qui se trouvent entre les mains de tous les amateurs ; sauf quelques dispositions particulières et quelques additions de peu d'importance, qui n'en modifient ni n'en restreignent aucunement les propriétés usuelles, et qui n'en altèrent pas la physionomie.

Dans notre pensée, il ne s'agissait que de dispositions ou d'organes accessoires élémentaires, susceptibles d'être adaptés à tout appareil déjà existant. Rien, on le voit, n'était plus éloigné de ce programme que l'idée de la création d'un nouveau type d'appareil à ajouter à la variété infinie de ceux qui ont déjà été spécialement établis en vue de la photogrammétrie. Cependant, notre excellent ami, M. Fleury-Hermagis, l'habile constructeur qui maintient dans un esprit si élevé de science désintéressée la répu-

tion d'une maison remontant aux origines de la photographie, ayant à plusieurs reprises reçu de divers clients la commande d'un « appareil V. Legros », fit appel à notre concours avec une telle insistance, que nous n'avons pu résister à la tentation de lui voir réaliser nos desiderata.

Le maintien de notre programme primitif dans ses traits essentiels était à nos yeux la seule raison d'être d'un nouveau modèle. Aussi, sans discuter aucunement les avantages revendiqués pour les appareils rigides, à mise au point invariable à l'infini, exclusivement appropriés à la photogrammétrie, nous entendions avant tout conserver dans leur intégrité toute l'étendue des ressources variées qu'offre à son possesseur l'appareil photographique ordinaire. Et, sous ce rapport, le nom du constructeur était une sûre garantie que l'appareil en lui-même serait de premier ordre.

Il en est tout autrement avec les « photothéodolites » rigides, auxquels nous venons de faire allusion; avec lesquels il est, par exemple, impossible d'obtenir un portrait de dimensions suffisantes, pour être utilisable au point de vue des études ethnographiques. Les auteurs de ces appareils justifient leur exclusivisme en alléguant que, si les explorateurs auxquels ils les destinent sont désireux de collectionner les documents de tout ordre qui relèvent de la pratique usuelle de la photographie, rien n'est

plus simple pour eux que d'adjoindre à leur matériel un appareil ordinaire, tel que l'on en peut trouver chez tous les fournisseurs d'articles photographiques.

La spécialisation s'est encore affirmée dans un sens tout différent du précédent et, on pourrait presque dire, diamétralement opposé, s'ils ne pouvaient dans une certaine mesure se réclamer l'un et l'autre du principe commun de la division du travail. Considérant que tout explorateur est nécessairement pourvu d'un théodolite, qui lui permet de déterminer avec une précision supérieure tous les éléments géométriques des perspectives photographiques, certains ingénieurs ont rejeté comme superflue l'addition à la chambre noire de tout organe destiné à suppléer au besoin à ces déterminations. Ils en sont ainsi arrivés à adopter, comme pièce essentielle de leur équipement photographique, une chambre noire dépourvue de mise au point, parce qu'ils comptent disposer d'un autre appareil photographique; et également dépourvue de tout organe géodésique, parce qu'ils s'en rapportent à ce point de vue à leurs théodolites.

Ici encore, nous ne discutons pas des dispositions que peut parfaitement justifier l'ensemble des arrangements de ceux qui les adoptent. Nous nous contentons de faire remarquer que notre propre plan est conçu en vue de situations toutes différentes. Nous ne pouvons cependant nous abstenir de noter à ce propos l'observation si judicieuse du colonel Laussedat : que

les stations les mieux appropriées aux opérations des triangulations géodésiques ne sont qu'exceptionnellement, comme nombre et comme emplacement, celles qui répondent le mieux aux exigences des opérations photogrammétriques. L'opérateur à l'appareil photographique n'est donc pas indissolublement lié à l'observateur au théodolite ; et nous croyons pouvoir facilement établir que la mise en station d'un appareil photogrammétrique convenablement agencé est incomparablement plus simple que celle du théodolite, partout où cette dernière n'a pas été imposée par l'assiette générale de l'ensemble des opérations. Au point de vue d'une logique scientifique rigoureuse, elle est plus correcte que celle dans laquelle deux instruments différents combinent leurs erreurs.

En réduisant au nécessaire le plus strict les organes géodésiques de notre appareil, nous avons néanmoins entendu en faire un appareil jouissant d'une autonomie complète ; ne requérant pour son fonctionnement aucun accessoire étranger, que ceux que l'opérateur est à même d'improviser en toutes circonstances : jalons, fils à plomb, etc.

Cependant, nous avons tenu compte que, parmi ceux des organes de cette catégorie dont il n'est pas absolument impossible de se passer, il en est qui augmentent les ressources de l'opérateur, ainsi que la facilité et la sûreté des opérations, dans une mesure de beaucoup supérieure à celle des inconvé-

nients résultant du surcroît de frais et de volume qu'ils peuvent entraîner. Dans les *Éléments de Photogrammétrie*, nous avons cherché à démontrer qu'en se donnant quelque peine, on peut arriver à faire quelque chose avec rien du tout. Pour le moment nous nous proposons d'établir qu'il suffit de peu de chose pour être à même de réaliser, sans peine aucune, la plénitude des résultats de la Photogrammétrie.

II

Cercle divisé

En première ligne, on peut citer à ce point de vue un cercle divisé K, pour servir de base à l'appareil.

Une forme quelconque de platine à niveau et à vis calantes est au nombre des organes qui deviennent d'une nécessité absolue dès que l'on prétend posséder un appareil qui puisse se mettre sérieusement d'aplomb sans des tâtonnements à perte de vue. Dès lors, on ne modifie plus le poids, et on n'accroît pas sensiblement la dépense, en faisant de cette platine un cercle divisé. Notons que si, pour les premiers exemplaires, à raison du luxe avec lequel le cercle avait été primitivement établi, cette appréciation peut être discutée en ce qui concerne la dépense, le défaut, qui n'est pas sans compensation, est facile à corriger.

Le cercle divisé avec vis calantes et niveau procure les avantages suivants :



Quand, dans une certaine station, on a réglé l'instrument et déterminé ses constantes en opérant dans une direction donnée, il permet de faire, dans le tour d'horizon, autant de visées que l'on voudra dans des directions différentes, sans nouveau réglage et sans nouvelles déterminations, à condition que l'on s'abstienne rigoureusement de modifier la mise au point, et que l'on se borne à agir sur le mouvement de rotation.

Il permet même de transporter l'appareil d'une station à un autre sans autre réglage que celui qui consiste à remettre le cercle de niveau, tant que, dans le transport, l'appareil n'a pas été soumis à des chocs assez violents pour compromettre le réglage antérieurement établi des autres organes de l'appareil.

Il permet encore de déterminer immédiatement ou de vérifier la ligne d'horizon de l'image obtenue, par l'observation de l'image d'horizontales authentiques, et, spécialement, par l'observation de l'image de la ligne d'horizon naturelle, définie par une vaste surface liquide, toutes les fois qu'une telle surface peut être observée dans une direction quelconque en l'une quelconque des stations dans lesquelles on se propose d'opérer ; ou même, en un point voisin de l'une des stations. Il fournit en toutes circonstances un moyen de détermination de cette ligne, dont la généralité ne laisse rien à désirer.

Il permet de déterminer la position de la station,

soit graphiquement, soit par le calcul, d'après la méthode dite : « du Problème de la carte. » Nous verrons que cette détermination comprend naturellement celle de la longueur focale effective sous laquelle l'appareil a travaillé dans la série particulière d'opérations au cours de laquelle on l'a effectuée.

Enfin, parmi toutes les observations de mesure d'angles horizontaux auxquelles il met l'opérateur à même de procéder, il permet, au point de vue spécial de la photogrammétrie, de fractionner d'une manière régulière et sans aucun tâtonnement le tour complet d'horizon, ou la fraction de tour d'horizon que l'on a à relever, en un certain nombre de clichés pouvant se raccorder à coup sûr pour former un panorama, avec des excédents bien définis pour assurer ce raccordement; alors que, sans son assistance, cette opération exige les précautions les plus minutieuses, pour ne donner que des résultats précaires et aléatoires.

En particulier, il permet de fixer sur la minute la position d'un cliché quelconque par une mesure d'angle unique, sans intervention d'aucune mesure de distance à effectuer sur le terrain (voir : *Éléments de Photogrammétrie*). Et quiconque possède la moindre expérience de la topographie sait que la mesure d'un angle sur le terrain est une opération incomparablement plus facile et plus sûre qu'une mesure de distance, dès que l'on dispose d'un instrument propre à mesurer les angles.

III

Réglage du niveau

Il est à présumer que tout photographe qui se lance dans la dépense d'un appareil photogrammétrique, si modeste que soit cet appareil, est déjà familier avec les détails du réglage d'un cercle. Cependant, pour rester dans la note des *Éléments de Photogrammétrie*, nous continuerons à supposer chez le lecteur une inexpérience complète ; et nous entrerons, aussi brièvement que possible, dans tous les détails de l'opération.

Pour une première opération, la mise en station du cercle comporte le réglage préalable du niveau par rapport au plan de rotation du limbe du cercle.

Pour cet objet, par la combinaison des mouvements du pied P de l'appareil et des vis calantes, le cercle est amené approximativement dans une position horizontale ; de telle façon que la bulle du niveau soit visible dans la partie moyenne de la

graduation qui mesure ses déplacements. On observe exactement les divisions auxquelles correspondent les extrémités de cette bulle.

On fait exécuter à la partie mobile du cercle un demi-tour, de manière que le niveau se trouve retourné bout pour bout. (Il est transporté en même temps dans le demi-cercle opposé à celui dans lequel il était d'abord, dans une position symétrique par rapport à l'axe de rotation). Il n'est pas nécessaire de s'attacher minutieusement à obtenir un déplacement de 180° . Quelques degrés de plus ou de moins sont sans importance.

Si le niveau était déjà réglé, la lecture de l'échelle de la bulle doit donner les mêmes chiffres que précédemment, mais en sens inverse. S'il en est autrement, on note la différence; et, avec la clef *j* du niveau, on agit sur sa vis de réglage de façon à réduire de moitié la différence observée. Le niveau doit alors être réglé; ce qui se constate par un nouveau retournement qui le ramène à sa position primitive. En tout cas, la différence entre les deux nouvelles lectures doit être fortement réduite; et, s'il y a encore lieu, on procède de même à une nouvelle rectification; tant que la différence constatée dans deux lectures consécutives soit devenue négligeable.

Toutes les opérations de réglage s'effectuent de même par une série de tâtonnements procédant,

toujours à peu près suivant le même principe, par une double manœuvre. Quand, à la suite de celle-ci, on est théoriquement fondé à croire le réglage assuré, on ne doit pas moins retourner à la position initiale, à titre de vérification.

Le réglage du niveau n'a généralement pas besoin d'être renouvelé dans le cours d'une même série d'opérations. Il se vérifie d'ailleurs de lui-même à chaque mise en station.

IV

Réglage du Cercle

Avant d'aller plus loin, on doit s'assurer que le pied de l'appareil est assez solidement établi pour qu'il n'y ait plus à craindre de sa part aucun déplacement.

Le niveau étant réglé comme il vient d'être dit, on fait tourner la partie supérieure de l'appareil de manière à amener le plan vertical de symétrie qui divise longitudinalement le niveau en deux parties égales, à être sensiblement parallèle à celui de deux des vis calantes n et p par exemple. On agit alors sur l'une ou l'autre de ces vis de manière à amener la bulle du niveau exactement entre les deux repères qui marquent la position moyenne.

On fait de nouveau tourner la partie supérieure du cercle de façon à amener le même plan de symétrie du niveau à être sensiblement parallèle à celui de l'une des vis calantes précédentes et de la troisième vis q . Si la

bulle du niveau s'est déplacée dans ce mouvement, on la ramène exactement entre ses repères ; mais, cette fois, *en agissant exclusivement sur la vis q.*

Le cercle doit dès lors être horizontal. On s'en assure en constatant que la bulle de niveau ne sort plus de ses repères pendant que l'on fait effectuer une rotation complète à la partie supérieure du cercle.

Il serait impossible d'arriver à ce résultat, si le niveau s'était dérégulé dans des opérations antérieures. Cette impossibilité indiquerait précisément la nécessité d'un nouveau réglage du niveau.

Il est évident que l'on abrègera quelque peu les deux opérations précédentes, d'ailleurs aussi simples que possible, en les combinant de façon à amener le niveau dans la direction parallèle à celle des deux premières vis du pied à l'instant même où l'on procède à son propre réglage.

V

Passage d'une station à une autre.

Les opérations qui précèdent sont le point de départ nécessaire de tout réglage complet de l'appareil. Quand celui-ci a été complètement effectué, et que la détermination des constantes instrumentales a été assurée pour une direction particulière en une station particulière, ce réglage et cette détermination n'ont plus à être repris pour toute autre direction autour de la même station. Pour une station nouvelle, le seul réglage nécessaire se réduit à établir de niveau le cercle divisé, sans s'occuper des autres parties de l'appareil ; tant que l'on n'a en rien volontairement altéré les dispositions arrêtées dans le réglage précédent, ou que l'on n'a pas à craindre que celles-ci aient été accidentellement altérées par les chocs qui ont pu se produire dans le maniement de l'appareil ou dans son transport.

VI

Plate-forme supérieure

La chambre noire se fixe sur le cercle par l'intermédiaire d'une plate-forme supérieure horizontale, rectangulaire *i*, supportée par deux forts montants verticaux établis sur la partie mobile du cercle qui porte les verniers.

Cette plate-forme est double et constituée par deux plaques métalliques résistantes, articulées à charnière par l'un de leurs côtés, et dont l'écartement est réglé par une vis de rappel agissant vers le milieu du côté opposé.

L'arrière de la chambre est pourvu d'une bascule horizontale. En montant la chambre sur le cercle, on a soin de la fixer de telle façon que l'axe de la bascule soit, dans l'espace, dans une direction sensiblement perpendiculaire à celle de la charnière de la plate-forme supérieure.

L'ensemble de ces deux mouvements permet de rendre verticales les verticales tracées sur la glace dépolie, indépendamment des mouvements propres du cercle.

VII

Glace dépolie. Mise au point.

Sur la glace dépolie a été tracé avec le plus grand soin un quadrillage formé par un double système de parallèles, devant correspondre respectivement aux directions de l'horizontale et de la verticale quand l'appareil est réglé.

Les traits de ce quadrillage sont à l'équidistance d'un centimètre. Ils sont suffisamment nets et fins pour admettre l'observation sous un grossissement plus fort que celui des loupes ordinaires à mettre au point.

La question la plus délicate dans la mise au point à l'aide de la loupe sur une glace finement dépolie et à peu près transparente est celle du réglage parfait de cette loupe. Celle-ci, en effet, formant alors en réalité avec l'objectif une lunette astronomique, sans obstacle sérieux résultant de l'opacité de la glace, n'accuse plus que la coïncidence

du plan de l'image fournie par l'objectif avec son propre plan focal, que ce dernier plan coïncide ou non avec la surface dépolie de la glace.

Ce réglage se vérifie avec la plus grande facilité dans l'opération même, d'après la méthode exposée par M. Clarence E. Woodman sous le titre de : « Mise au point parallaxique, » imitée de celle qui est en usage dans le maniement des instruments astronomiques.

On commence par mettre au point à la manière ordinaire, en choisissant un objet présentant un point nettement défini dont l'image se produise sur la glace dépolie dans le voisinage de l'une des croisées des lignes horizontales et verticales qui occupent le centre du champ de la glace. Par un léger déplacement de la chambre ou de la planchette à décentrer, on assure la superposition parfaite de l'image et de cette croisée de lignes.

La coïncidence peut encore cependant jusqu'ici n'être qu'apparente, et résulter de la simple superposition sur le prolongement d'un même rayon visuel des deux images formées dans la loupe par l'objet extérieur et par le quadrillage. Pour savoir à quoi s'en tenir, il suffit de déplacer légèrement la loupe, et même l'œil. Si la coïncidence était effective, elle ne cessera pas de subsister ; sinon, on verra les deux images se dissocier. Il résultera de là un moyen d'une grande délicatesse de régler à la fois la mise au

point et la loupe elle-même. Le quadrillage aura ainsi rempli le rôle du réticule de la lunette astronomique.

On trouve parfois avantage, pour faciliter la mise au point dans des circonstances difficiles et en assurer la précision, à recourir au dispositif recommandé par M. E.-J. Smith. Au centre de la glace dépolie et en quatre autres points symétriques par rapport au centre sur l'horizontale et la verticale moyennes, formant losange, on fixe au baume du Canada cinq disques de glace mince (couvre-objets de microscopie). En regard de ces disques, la glace redevient complètement transparente ; cependant, l'altération de l'homogénéité de la surface permet encore d'y percevoir une image d'une clarté et d'une finesse extrêmes, que l'on peut mettre au point à la loupe même avec l'éclairement le plus défavorable. C'est surtout en pareil cas que le réglage de la loupe est d'importance capitale. On met généralement au point sur le disque qui occupe le centre de la plaque. Quand on a fait usage dans une mesure notable des mouvements de décentrement de l'objectif, on a recours à celui de ces disques qui se trouve le plus voisin de la direction de l'axe optique ; la faible ouverture angulaire des loupes employées ne permettant pas de recueillir des rayons d'une obliquité marquée. Il faut dire toutefois que cette addition a été rendue généralement superflue par la finesse du dépoli des glaces employées ; et,

comme elle prive le possesseur de l'appareil de la faculté, très appréciée par quelques-uns, d'obtenir par contact des reproductions du quadrillage sur des plaques sensibles, constituant des glaces de rechange, il a été jugé opportun de ne l'effectuer que dans les cas où elle serait spécialement demandée.

La mise au point est la seule partie des opérations qui prête véritablement à la critique avec les appareils qui n'ont pas été construits à foyer fixe expressément en vue de la Photogrammétrie. C'est un fait généralement admis par les praticiens qu'en faisant usage, dans la mise au point, des plus grands diaphragmes que supportent les objectifs photographiques, il subsiste encore dans l'appréciation une incertitude qui peut s'élever jusqu'à trois millimètres pour la mise au point à l'infini. Cette incertitude s'accroît beaucoup quand l'ouverture du diaphragme diminue ; et, avec les objectifs grands angulaires, à peu près exclusivement employés en Photogrammétrie, les plus grands diaphragmes compatibles avec une bonne définition ne peuvent déjà passer que pour des diaphragmes d'ouverture médiocre.

Si, au lieu de mettre au point sur un objet dont la distance peut pratiquement être regardée comme infinie, on met au point sur un objet rapproché, les écarts dans la fixation de la longueur focale n'ont plus de limites.

On peut pratiquement admettre qu'avec un dia-

phragme de bonne ouverture, l'appareil photographique travaille correctement avec la mise au point à l'infini dès que la distance de l'objet à photographier s'élève à cinquante ou cent fois la distance focale. Mais, si l'on intervertit l'ordre des opérations, il n'est pas douteux que la mise au point à une distance aussi réduite aurait une tendance très marquée à faire pencher dans le sens d'un allongement sensible de la longueur focale l'incertitude dont est naturellement affectée la mise au point à l'infini.

La distance focale de l'objectif de notre appareil a été fixée à une longueur comprise entre 145 et 140 millimètres. Pour un angle utilisé de 60° sur plaque 13 $\times$ 18, cette fixation laisse disponible de chaque côté une marge de 6 à 9 millimètres, très convenablement suffisante pour le raccordement des clichés. Mais il s'agit là, bien entendu, de la mise au point à l'infini et d'une mise au point correcte. Une erreur de mise au point par défaut n'a d'autre inconvénient que d'accroître quelque peu la proportion de l'excédent non utilisé, et de réduire imperceptiblement l'échelle des épreuves sur lesquelles doit s'exécuter le travail graphique; mais une erreur par excès peut avoir des conséquences beaucoup plus fâcheuses.

Si, par suite d'une erreur de cette nature, on vient à allonger la mise au point jusqu'à 15 centimètres, en maintenant une variation angulaire constante de 60°

dans le passage d'un cliché au suivant, la marge se réduit à 3 millimètres, théoriquement. Mais, si l'on tient compte des écarts de dimension des glaces, et des défauts qu'elles présentent fréquemment sur les bords, elle se réduit à beaucoup moins; et le raccordement devient tout à fait précaire. La marge disparaît complètement, et il n'y a plus du tout de raccordement dès que la mise au point vient à correspondre à une distance focale de 155 millimètres.

Si, au lieu de régler la succession d'un cliché au suivant par la graduation du cercle, ce qui est la marche la plus rationnelle, on la règle par l'observation de l'image sur la glace dépolie, en réservant à la vue, à l'aide de points de repère, la marge que l'on entend laisser disponible pour les raccordements, il arrivera, dans le cas d'une mise au point trop allongée, que les six clichés ne suffiront plus pour embrasser le tour entier d'horizon.

Le moyen d'éviter ces inconvénients résulte de l'exposé même des conditions qui peuvent y donner naissance. On devra donc ne mettre au point qu'avec le plus grand diaphragme que comporte l'objectif, et sur un objet véritablement très éloigné; on devra de plus invariablement s'astreindre à résoudre dans le sens d'une réduction de la longueur focale, et non dans le sens d'un allongement, les incertitudes qui peuvent encore subsister dans ces conditions.

On pourra encore à ce point de vue tirer parti de la

graduation du chariot et d'un système de repères tracé sur la tringle de connexion, après une première opération à la suite de laquelle la mise au point aura été reconnue complètement satisfaisante. Si la bascule de l'appareil est du système dit Anglais, on devra avoir attention d'opérer constamment avec la bascule tirée à fond; ou bien, toujours avec la bascule rentrée à fond dans les cas où son fonctionnement n'aura pas été jugé nécessaire pour assurer dans une mesure suffisante la verticalité de la glace dépolie.

VIII

Tringle de connexion

Avant tout réglage de l'appareil proprement dit, le cercle étant préalablement réglé, on met au point avec le plus grand soin, ainsi qu'il vient d'être expliqué, sur les objets marquants et éloignés du terrain que l'on se propose de relever. La mise au point ainsi établie doit, dès lors, être rigoureusement maintenue, tant que l'on ne veut pas se mettre dans la nécessité de recommencer toute la partie des opérations du réglage qu'il nous reste à exposer. Pour assurer cette invariabilité et la rigidité de la chambre noire dans tout le cours du travail sur le terrain, celle-ci porte, à la partie supérieure, une ou deux tringles de connexion métalliques, résistantes, reliant les corps d'avant et d'arrière de la chambre sur lesquelles elles se fixent et qu'elles immobilisent au moyen de vis de pression. Ces vis glissent dans des coulisses, qui laissent une course suffisante

pour permettre, en toutes circonstances, la mise au point la plus avantageuse.

Le constructeur a judicieusement substitué aux tringles cylindriques que l'on rencontre dans d'anciens modèles, et dont on ne sait que faire quand on replie l'appareil, une tringle plate, dont l'extrémité libre vient, dans le reploiement, s'appliquer sur le même corps que l'extrémité fixe. Un écrou *b* a été pratiqué dans ce corps pour recevoir la vis de serrage.



IX

Rendre la glace dépolie verticale

La mise au point ainsi assurée, en avant de l'appareil et vers les deux extrémités du champ embrassé par la glace dépolie on fait établir deux fils à plomb (de préférence, des cordelettes fixées à des branches d'arbres, et supportant des pierres d'un certain poids ou quelques pièces disponibles du matériel de l'opérateur). Il est avantageux que les images de ces fils à plomb tombent sensiblement sur deux verticales de la glace dépolie, autant que possible symétriques par rapport à la verticale médiane.

En général, quand l'appareil n'est pas réglé, on observera tout d'abord, dans la direction de ces images, des inclinaisons quelconques, de même sens ou de sens contraires, et inégales entre elles, par rapport à l'une et à l'autre des verticales voisines. La première chose à faire sera de s'efforcer d'amener ces images à se superposer aux deux verti-

cales considérées, ou, du moins, à leur être parfaitement parallèles, en faisant fonctionner la vis de rappel de la plate-forme supérieure.

Le plus souvent, on ne pourra par ce seul moyen atteindre à ce résultat ; mais on réussira seulement à amener les deux images à présenter par rapport aux verticales correspondantes, des inclinaisons symétriques (égales et de sens contraires). Quand cette disposition se présente, c'est signe qu'il n'y a rien à attendre de plus de ce côté ; on doit toutefois commencer par la réaliser. Quand on y est parvenu, on arrête le mouvement de la vis de rappel ; et on se met à agir sur la bascule G de la glace dépolie jusqu'à ce que les mêmes images aient été amenées à la coïncidence, ou au parallélisme absolu avec les verticales.

La première partie de l'opération présente toujours quelque incertitude, à raison de la difficulté d'apprécier la symétrie. De là peut résulter la nécessité d'une série de tâtonnements successifs, dans chacun desquels on resserre les limites des écarts existants.

On a encore indiqué, pour assurer la verticalité de la glace dépolie, à part l'intervention d'un théodolite auxiliaire que nous laissons de côté, l'emploi d'une équerre de charpentier portant sur sa plus courte branche un niveau à bulle d'air.

Cette équerre, appliquée contre la glace dépolie

verticalement et normalement à sa surface, indiquera par l'horizontalité du niveau la verticalité de la glace. Comme notre méthode met en jeu non seulement la verticalité de la glace dépolie, mais la verticalité des verticales tracées à sa surface, l'équerre devra, pour ce dernier objet, pouvoir s'appliquer en outre à plat contre la glace, la grande branche le long d'une verticale.

Ce procédé ne vérifie toujours que la verticalité de la face extérieure de la glace, tandis que toutes les opérations photographiques se rapportent à la face intérieure ; et il n'a pas été jusqu'ici question de faire intervenir des glaces à faces parallèles, dont le prix, pour ces dimensions, serait extrêmement élevé.

Il n'a pas été jugé nécessaire de munir l'appareil de la platine porte-objectif réglable décrite dans les *Éléments de Photogrammétrie*. Cet accessoire, en effet, ne devient indispensable que quand on fait usage d'un objectif insuffisant, ou insuffisamment corrigé pour la dimension de plaque que l'on entend lui faire couvrir. C'est là une condition que l'on ne doit pas avoir à prévoir pour un appareil convenablement établi. Avec un objectif qui couvre largement et correctement la dimension de plaque employée, un axe secondaire de l'objectif, pourvu qu'il soit suffisamment rapproché de l'axe principal, jouit exactement, au point de vue de la perspec-

Legros. — 3.

34 RENDRE LA GLACE DÉPOLIE VERTICALE

tive, des mêmes propriétés que celui-ci. La façon la plus pratique de vérifier que cette condition est remplie consiste à constater que l'objectif donne jusque sur les bords de la glace dépolie des images correctes des horizontales et des verticales parallèles au plan de cette glace, et, par suite, des angles droits que ces lignes forment entre elles.

Quand on a ainsi reconnu que l'axe secondaire de l'objectif qui, pour le moment, se trouve perpendiculaire au plan de la glace dépolie, est compris dans les limites de ceux qui peuvent être acceptés comme rayon principal de la perspective, le problème est ramené à la détermination du point où cet axe rencontre le plan de cette glace : point qui sera le point principal de cette perspective. C'est précisément et uniquement à cette détermination que conduisent les méthodes exposées dans l'ouvrage précité ; les conditions relatives à la détermination de l'axe optique lui-même se trouvant satisfaites par tous les axes qui peuvent le suppléer au point de vue de la photogrammétrie.

X

Détermination de la ligne d'horizon.

Pour la détermination de la ligne d'horizon et de la verticale principale, on peut toujours avoir recours aux méthodes exposées dans les *Éléments de Photogrammétrie*. Mais il sera généralement beaucoup plus pratique d'avoir recours aux propriétés mentionnées dans l'énumération des avantages résultant de la possession d'un cercle divisé.

La ligne d'horizon de l'image obtenue sur la glace dépolie, ligne sur laquelle se projettent indistinctement tous les objets visibles situés dans le plan d'horizon, quelle que soit leur situation dans ce plan, est caractérisée par ce fait même. Si l'on fait pivoter l'appareil autour de son axe vertical de rotation, dans toutes les positions successives qu'il pourra prendre l'image d'aucun des objets situés dans ce plan ne cessera de se reproduire invariablement sur la même horizontale de la glace

36 DÉTERMINATION DE LA LIGNE D'HORIZON

dépolie, bien qu'en se déplaçant sur cette horizontale. Cette ligne sera ainsi la ligne d'horizon de toutes les perspectives successives dans tout le cours de ce mouvement de rotation.

On facilitera cette vérification en usant du mouvement de décentrement vertical a de l'objectif pour amener l'image reconnue ou présumée de la ligne d'horizon à coïncider avec l'une des horizontales matériellement tracées sur la glace dépolie ; le plus fréquemment, avec l'horizontale médiane. Supposons pour fixer les idées que cette coïncidence a été réalisée.

Si la position de la ligne d'horizon a été inexactement appréciée, on verra l'image d'un point quelconque d'abord projetée sur l'horizontale médiane de la glace dépolie, s'éloigner progressivement de cette horizontale dans un sens ou dans l'autre, à mesure que s'accroîtra le mouvement de rotation. Pour un sens déterminé du mouvement de rotation, et pour une position donnée de l'image du point sur la glace dépolie, le sens dans lequel cette image s'écartera de la ligne d'horizon présumée indiquera si celle-ci est au-dessus ou au-dessous de la ligne d'horizon réelle ; et l'amplitude de cet écart pour une même amplitude du mouvement de rotation sera une indication de la grandeur de la correction à faire subir à la position appréciée de la ligne d'horizon.

D'après un principe bien connu : dans cette révolution de l'appareil autour d'un axe vertical supposé passer par le point nodal d'avant de l'objectif, l'image d'un

point extérieur non situé dans le plan d'horizon décrit sur la glace dépolie une branche d'une hyperbole qui a pour axe transverse la verticale principale ; et, pour axe non transverse, la ligne d'horizon *vraie* de la perspective obtenue sur la glace dépolie (1). Bien que cette propriété ait été signalée par le colonel Laussedat dès ses premières études sur l'application de la chambre claire au lever des plans, nous n'avons pas connaissance que l'on se soit jusqu'ici préoccupé de l'utiliser systématiquement en photogrammétrie.

(1) En effet, si l'on fait abstraction des erreurs de collimation et de l'interstice des points nodaux de l'objectif, on peut admettre que le rayon lumineux émis du point considéré vers le point nodal situé sur l'axe de rotation reste immobile, ainsi que le rayon réfracté qui le prolonge vers la glace dépolie, tandis que celle-ci est entraînée dans le mouvement de rotation, en restant tangente à un cylindre vertical de révolution qui a pour rayon la longueur focale. On ne changera manifestement rien à la courbe tracée par le rayon fixe sur la glace en mouvement, si l'on maintient celle-ci immobile, en imprimant au rayon lumineux, autour du même axe vertical, un mouvement de rotation de sens inverse du premier. Mais, dans ce dernier mouvement, ce rayon, qui rencontre l'axe, engendrera un cône de révolution à axe vertical ; et la courbe tracée sur la glace dépolie également verticale ne sera autre chose que la section de ce cône par le plan de cette glace, c'est-à-dire, par un plan parallèle à son axe ; et, par conséquent, une hyperbole.

Les écarts de collimation, dont il a été fait abstraction, peuvent intervenir au point de vue de la théorie rigoureuse, pour modifier les paramètres de la courbe, et même son caractère de section conique ; mais, au point de vue pratique, ils n'en altèrent pas la physionomie dans une mesure appréciable ; et ils sont sans influence sur les propriétés dont nous avons à faire usage.

A mesure que le point considéré se rapproche de la ligne d'horizon vraie, cette branche d'hyperbole s'aplatit, en tendant insensiblement à se confondre avec son axe horizontal ; et le caractère perd de sa précision. On pourrait alléguer ici que, la méthode photogramétrique étant une méthode graphique, il devient superflu de tenir compte d'écarts qui cessent d'être appréciables dans l'observation à la loupe par rapport à des lignes de repère d'une précision micrométrique. Le même principe offre toutefois les éléments d'une solution dont la rigueur ne laisse plus rien à désirer.

En même temps que l'image du point supposé situé dans le plan d'horizon, image amenée, à l'aide du mouvement de décentrement vertical, en coïncidence avec l'horizontale médiane de la glace dépolie, observons celles de deux autres points situés sur la même verticale, à égale distance de part et d'autre du plan d'horizon, et se projetant sur deux horizontales de la glace dépolie symétrique, par rapport à l'horizontale moyenne. Ces images, ne tendant plus à se confondre avec la ligne d'horizon, auront en tout cas dans le mouvement de rotation un déplacement vertical d'amplitude sensible. Si la position de la ligne d'horizon a été correctement appréciée, les trajectoires des images des deux points extérieurs correspondront aux deux branches de la même hyperbole : les déplacements par rapport aux horizontales avec lesquelles la coïncidence avait été primitivement établie seront

rigoureusement égaux et de sens contraire. Sinon, les trajectoires des deux images représenteront les branches de deux hyperboles différentes, mais ayant toujours toutes deux en direction pour axe transverse la verticale principale ; et pour axe non transverse la ligne d'horizon vraie. On sait de plus que cette dernière est plus rapprochée de la branche de courbe qui affecte la forme la plus aplatie. Il y aura donc lieu d'opérer progressivement une correction en ce sens jusqu'à ce que la symétrie des deux branches de courbes soit réalisée. Le caractère est d'autant plus précis que l'on fait porter l'observation plus en dehors de la verticale médiane de la glace dépolie.

Si, par impossible, on s'était trompé sur la position de la ligne d'horizon au point d'obtenir deux branches de courbes de même sens, il y aurait lieu de rejeter tout d'abord la position présumée de la ligne d'horizon en dehors de ces deux branches de courbes. C'est d'ailleurs une erreur qui ne pourra se produire qu'exceptionnellement, avec des écarts aussi étendus que ceux que nous avons supposés entre les parallèles considérées.

Il est à remarquer que les erreurs de collimation n'exercent pas d'influence essentielle dans cette détermination. Il est donc superflu de s'attacher à rechercher pour l'effectuer des points de repère situés à une distance considérable. Il suffit qu'ils

soient simplement assez éloignés pour donner encore des images nettes dans l'appareil mis au point à l'infini. Avec de petits diaphragmes, tels que ceux des objectifs grands-angulaires à peu près exclusivement employés en photogrammétrie, cette condition est suffisamment remplie dès que l'objet considéré est situé à une distance de l'objectif équivalente à quarante à cent fois sa distance focale : soit, pour un objectif de 15 centimètres de foyer au plus, de 6 à 15 mètres. C'est dire que l'on pourra faire usage pour cet objet d'une mire ordinaire de nivellement ; de repères de papier au nombre de trois, enfilés sur un long fil à plomb suspendu à un arbre ; de bracelets en cordonnet noir ou blanc glissant sur un jalon de couleur opposée, ou sur un tronc d'arbre ; de traits horizontaux tracés sur une muraille à l'aplomb d'une même verticale, etc.

Il est bien évident que ce mode de détermination, essentiellement pratique, n'implique dans aucune mesure la nécessité d'une étude approfondie des propriétés de l'hyperbole. La notion la plus vague de la forme de la courbe est tout ce qui est nécessaire pour cette application ; au point que l'on ne peut même pas dire qu'une connaissance plus étendue soit un avantage appréciable en cette circonstance.

XI

Détermination de la verticale principale

L'emploi combiné des mêmes organes de l'appareil fournit également un mode extrêmement simple de détermination de la verticale principale, détermination qui est d'ordinaire un des points scabreux de la méthode.

Supposons trois points nettement définis : A, B, C, très éloignés, dont l'image se forme respectivement sur la verticale médiane de la glace dépolie, provisoirement présumée verticale principale de la perspective observée ; et sur deux autres verticales symétriques par rapport à la première et voisines des bords de la glace. Si la verticale moyenne est réellement la verticale principale, les angles de position horizontaux, pris du centre de la station, et correspondant à l'intervalle des verticales B,A et B,C, seront rigoureusement égaux. S'il en est autrement, ces angles seront différents ; et leur différence sera

une indication du sens et de la grandeur de la rectification à faire subir à la position présumée de la verticale principale.

On conçoit que l'on pourrait appliquer ce principe en commençant par lire exactement la position des verniers, la verticale médiane dirigée sur le point B. On ferait pivoter l'appareil sur son axe de rotation de manière à amener sur la verticale médiane l'image de l'objet de gauche A, par exemple. On ferait de nouveau la lecture, et on déterminerait par soustraction l'amplitude du déplacement angulaire. On ferait ensuite tourner l'appareil de manière à amener sur la verticale médiane l'image de l'objet de droite C : nouvelle lecture du cercle. A partir de cette position, par un mouvement de rotation en sens inverse du dernier mouvement effectué, on ferait tourner l'appareil d'un angle exactement égal à l'angle précédemment relevé. Si la verticale médiane était rigoureusement la verticale principale, elle viendrait alors d'elle-même se placer en coïncidence avec la verticale du point central B. Sinon, l'écart de l'image du point B et de cette verticale médiane mesurerait sensiblement le double de l'écart qui existe entre celle-ci et la verticale principale vraie.

En réalité, nous n'avons parlé de trois points de repère extérieurs que pour la commodité du langage et la clarté de l'explication. Au point de vue de la pratique, il suffira d'un point de repère unique, que

l'on choisira le plus distant possible pour éliminer les effets des erreurs de collimation. On fera pivoter l'appareil de manière à amener successivement l'image de ce point à tomber exactement sur la verticale médiane de la glace dépolie, et sur deux verticales symétriques par rapport à la première, voisines des bords de la glace, en faisant pour chacune de ces positions la lecture des cercles.

Si la position de la verticale principale a été correctement appréciée, les deux angles horizontaux correspondant aux intervalles entre la verticale moyenne et chacune des verticales extrêmes seront rigoureusement égaux. Sinon, leur différence représentera sensiblement le double de l'erreur dont la position présumée de cette verticale est affectée.

Pour effectuer la correction : ayant amené l'image du repère à se former exactement sur la verticale médiane de la glace dépolie, à l'aide du mouvement lent du cercle on fera tourner l'appareil en sens convenable d'un angle égal à la moitié de l'erreur évaluée. L'image du repère s'éloignera proportionnellement de la verticale médiane. A l'aide de la vis de rappel *e* du mouvement horizontal de décentrement de l'objectif on ramènera alors cette image à tomber de nouveau sur la verticale médiane.

La théorie rigoureuse de cette opération est quelque peu plus complexe que l'exposé qui précède ne le donnerait à entendre. Pour simplifier l'énonciation, nous

parlions comme si nous n'avions absolument affaire qu'à l'axe principal vrai de l'objectif; et comme si cet axe était matériellement relié au centre de la glace dépolie par une sorte de système articulé qui nous permit de lui faire effectuer autour de ce point comme centre un mouvement de rotation dans le plan d'horizon. Ayant constaté que cet axe n'était pas perpendiculaire à la ligne d'horizon, et mesuré l'écart, nous le redressons par la pensée de la quantité voulue pour établir la perpendicularité.

En réalité, le mouvement dont nous disposons pour effectuer notre correction est un mouvement de translation dans le sens de la tangente à l'arc qui serait décrit dans l'hypothèse précédente. Nous opérons en général non sur l'axe principal de l'objectif; mais sur l'un quelconque des axes secondaires qui peuvent être considérés comme susceptibles de lui être équivalents dans le rôle de rayon principal de la perspective photographique. Et, après avoir constaté que celui de ces axes aboutissant au point central de la glace dépolie qui a été essayé le premier ne répond pas aux conditions qui définissent le rayon principal d'une perspective, nous faisons défiler devant ce même point toute la série de ceux de ces axes qui sont situés dans le plan d'horizon, jusqu'à ce que nous en rencontrions un qui satisfasse à ces conditions.

Au point de vue pratique, cette distinction est de peu d'importance à raison de la petitesse des angles

sur lesquels elle peut porter dans un appareil convenablement construit. Au point de vue théorique : que la marche suivie ait été plus ou moins rationnelle, on est bien certain d'avoir mis la main sur le rayon principal vrai de la perspective quand on a constaté que la droite considérée comme telle, droite passant par le point de vue, est située dans le plan d'horizon, et qu'elle est à la fois la bissectrice et la médiane d'un triangle ayant pour base la ligne d'horizon. Cela ne peut se produire en effet que si le triangle est isocèle et si cette droite en est la hauteur : si elle est par conséquent la perpendiculaire abaissée du point de vue sur la ligne d'horizon et sur le plan du tableau. Et il n'est pas douteux que la méthode indiquée conduit à cette constatation, par une voie qui ne semble pas pouvoir être sensiblement abrégée.

Dans les cas où l'on dispose réellement d'un tel choix de repères éloignés que l'on puisse en amener fût-ce seulement deux à former simultanément leur image respectivement sur la verticale médiane et sur une verticale voisine des bords de la glace dépolie, on sera à même de déterminer la position exacte de la verticale principale, même avec un appareil non monté sur un cercle divisé. Il suffira que le quadrillage de la glace soit lui-même exact; que l'objectif soit pourvu d'un mouvement de décentrement; et que le pied de l'appareil soit disposé de manière à présenter à celui-ci une surface d'appui à peu près horizontale, sur laquelle

il puisse pivoter quand on vient à desserrer un peu la vis.

Après avoir constaté la coïncidence des verticales précédemment définies de la glace dépolie avec celles des images des deux repères correspondants, on fera pivoter l'appareil de manière à amener en coïncidence avec ces mêmes images encore la verticale médiane, et, d'autre part, la verticale symétrique par rapport à celle-ci de celle qui a figuré dans la première observation.

De la possibilité ou de l'impossibilité de réaliser cette deuxième coïncidence, on conclura l'exactitude de l'appréciation de la position de la verticale principale, ou l'étendue de la correction à lui faire subir.

Après la détermination précise de la verticale principale, aussi bien qu'après celle de la ligne d'horizon, il est indispensable, pour en conserver la trace, d'user du double mouvement de décentrement de l'objectif pour amener en coïncidence avec les positions ainsi déterminées, respectivement, l'une des verticales et l'une des horizontales tracées sur la glace dépolie. Le plus fréquemment on choisira dans ce but la verticale et l'horizontale médianes ; mais, parfois aussi, il pourra y avoir intérêt à adopter une ligne d'horizon notablement éloignée de l'horizontale médiane.

Ces lignes fondamentales de la perspective photographique seront également repérées par les griffes

mobiles expressément établies pour cet objet dont il sera question plus loin. Mais, surtout dans les débuts de l'emploi de l'appareil, il arrivera fréquemment de déranger ces griffes dans la manœuvre des châssis ; et, en pareil cas, si l'on s'en était reposé exclusivement sur elles pour la permanence de la constatation des résultats du réglage, toute l'opération serait à recommencer.

L'appareil, définitivement réglé, peut dès lors être employé comme une alidade ou comme une lunette ordinaire montée sur un cercle, pour obtenir la mesure numérique des angles horizontaux de position des objets extérieurs autour du centre de la station. D'ailleurs, toute verticale de la glace dépolie pourra être utilisée pour les mêmes mesures, sous la seule réserve de ne pas faire de confusion entre celle que l'on aura d'abord employée et ses voisines ; et de ne s'adresser qu'à des objets assez éloignés pour que l'erreur de collimation reste négligeable.

XII

Détermination de la longueur focale effective.

Grâce au soin avec lequel a été établie la division de la glace dépolie, sa graduation, combinée avec l'emploi du cercle, conduit à un mode de détermination extrêmement simple de la longueur focale particulière sous laquelle l'appareil travaille dans une série d'opérations donnée.

L'horizontale et la verticale médianes de la glace dépolie ayant été amenées, comme il vient d'être dit, en coïncidence avec la ligne d'horizon et avec la verticale principale de la perspective photographique, on fait pivoter l'appareil autour de son axe de rotation de manière à amener l'image d'un point extérieur parfaitement défini, et le plus éloigné qu'il sera possible, en coïncidence avec une des verticales les plus rapprochées du bord de la glace dépolie ; la septième ou la huitième, par conséquent, à partir de la verticale médiane. On fait la lecture de la

division du cercle. Par un mouvement de rotation en sens inverse, on amène le même point en coïncidence avec la verticale symétrique de la première à la même distance de la verticale médiane du côté opposé. On fait de nouveau la lecture du cercle. On fait la différence des deux lectures et on prend la moitié de cette différence. L'angle ainsi obtenu a pour tangente la moitié de la distance horizontale des verticales extrêmes qui ont servi de repères (soit sept ou huit centimètres), dans le cercle dont le rayon est la longueur focale cherchée. Une simple référence à une table de tangentes naturelles donnera la valeur du rayon.

Les éléments de cette détermination ne sont autres en somme que ceux de la détermination de la position de la verticale principale; pourvu que dans celle-ci le point de repère ait été choisi suffisamment éloigné.

Legros. — 4.

XIII

Récapitulation des avantages de la méthode.

Si nous récapitulons les avantages qui résultent pour la détermination des éléments fondamentaux des levés photogrammétriques de l'emploi combiné d'une glace quadrillée *de précision* avec un cercle divisé, nous voyons : que la glace divisée suffit à la rigueur à elle seule pour la détermination de la verticale principale ; et cela, par une méthode notablement plus simple que celle que nous avons exposée dans nos *Éléments de Photogrammétrie*. L'adjonction du cercle divisé apporte toutefois encore une simplification nouvelle et sérieuse à la solution de ce même problème.

La méthode correspondante de détermination de la ligne d'horizon réclame, concurremment avec l'emploi du quadrillage de la glace dépolie, l'intervention de la platine de niveau du cercle ; sans qu'il soit nécessaire de faire appel à sa graduation.

Enfin, dans la détermination de la distance focale interviennent à la fois le quadrillage et l'emploi complet du cercle divisé.

Ce mode de détermination de la longueur focale de l'objectif est le plus simple et le plus sûr de tous ceux qui ont actuellement cours dans la pratique. Il ne donne pas la longueur focale abstraite de l'objectif mis au point à l'infini ; mais la longueur focale effective sous laquelle cet objectif travaille pour produire l'image observée sur la glace dépolie dans chaque cas particulier.

Dans des études absolument élémentaires telles que les nôtres, nous ne pouvons avoir en vue l'application de la photogrammétrie que pour les cas où les distances considérées sont assez grandes pour que l'on puisse regarder comme négligeables les erreurs de collimation résultant tant de l'excentricité du mouvement de rotation, que de l'interstice des nœuds de l'objectif. Dès lors, la longueur focale invariable correspondant à la mise au point à l'infini sera celle à laquelle il sera le plus naturel de s'en tenir. Mais, dans les appareils non rigides, cette mise au point, en dépit de toutes les graduations, laisse prise à des incertitudes. Les appareils rigides eux-mêmes n'ont qu'une rigidité limitée ; et les opérateurs qui en font exclusivement usage posent en règle la vérification de la longueur focale au moins au début de toute série impor-

tante d'opérations. C'est donc un avantage qui n'est pas à dédaigner que celui de posséder, dans un agencement aussi simple, le moyen de procéder à tout instant à cette vérification, avec une facilité et une sûreté qui ne se rencontrent dans aucune des méthodes, actuellement adoptées pour cet objet.

Le levé photogrammétrique à grande échelle d'objets très rapprochés, le levé de machines, par exemple, soulève des difficultés qui n'ont peut-être pas encore été pratiquement résolues d'une manière tout à fait satisfaisante. Il est cependant à remarquer que, bien que donnant prise à la critique au point de vue de la théorie rigoureuse, les procédés que nous indiquons ne cessent pas dans leur ensemble d'être applicables ; et que la limite de leur application n'est guère que celle qui résulte de la limite même de définition des détails appartenant aux différents plans figurant dans la photographie.

Les propriétés que nous avons invoquées dans cette étude n'ont probablement rien de bien nouveau. Peut-être même une investigation minutieuse amènerait-elle à constater qu'il n'en est aucune qui n'ait été signalée en connexion directe avec la photogrammétrie comme point de départ *possible* d'une solution pratique de quelqu'un de ses problèmes essentiels. Cependant, tandis qu'elles apportent dans ces solutions des simplifications et une sûreté décisives, nous ne croyons pas qu'aucun des opérateurs qui ont créé pour leur

usage personnel les appareils les plus compliqués et les plus dispendieux, y ait attaché assez d'importance pour se laisser entraîner en leur honneur au très modeste surcroît de dépense d'une glace finement dépolie et soigneusement quadrillée.

L'ingénieur Friedrich Steiner lui-même, en faisant établir pour son propre appareil un quadrillage au millimètre « au prix de 30 Marks » ne paraît pas avoir songé à en tirer d'autre avantage que celui de faciliter l'évaluation des mesures de hauteur. Pour la détermination des éléments fondamentaux de la perspective photographique il s'en rapporte exclusivement, avec la presque unanimité des géodésiens, à des observations auxiliaires faites au théodolite; sans tenir compte de l'étendue des ressources que cette modification si élémentaire apporte à la technique de la photogrammétrie.

Trop souvent jusqu'ici, les géodésiens même qui ont consenti à introduire dans leur outillage normal les appareils photogrammétriques, fascinés par les organes géodésiques dont ils ont surchargé ces appareils, et que leur expérience antérieure leur avait rendus familiers, ne peuvent consentir à admettre qu'une chambre noire est un instrument plus complet qu'une lunette; pour tant qu'elle puisse encore laisser à désirer sous le rapport de l'exécution. Ils n'ont qu'un regard de dédain pour les organes purement photographiques; alors que parfois ces derniers leur donneraient des

solutions incomparablement plus simples, et mathématiquement même plus satisfaisantes.

Loin de nous la pensée de disconvenir que la construction des appareils photographiques a encore un immense chemin à parcourir avant d'atteindre à la précision des instruments d'astronomie et de géodésie. Mais, en tout cas, comme nous l'avons déjà dit ailleurs, la précision de la méthode photogrammétrique est fatalement limitée à la précision des données photographiques. En compliquer l'application par une superfétation de déterminations géodésiques, ce n'est, le plus souvent, que superposer gratuitement, aux erreurs propres inséparables de la méthode, les erreurs peut-être très inférieures, mais non absolument négligeables, de chacune des observations surérogatoires que l'on fait intervenir.

Si ce n'était une présomption excessive de la part d'un simple outsider de porter un jugement sur les agissements de géodésiens de carrière, nous serions presque tenté de dire que cette méfiance que beaucoup de ceux-ci témoignent à l'égard des propriétés des perspectives photographiques a principalement pour origine le caractère par trop superficiel des études qu'ils ont faites de ces propriétés.

Ainsi, pour déterminer les lignes fondamentales des perspectives, au lieu du quadrillage continu dont nous faisons usage, quelques constructeurs ont adopté un encadrement métallique, portant sur ses bords des encoches équidistantes en dents de scie qui représentent

l'amorce des traits de notre quadrillage. Or, d'après plusieurs notices que nous avons sous les yeux, émanant des savants les plus autorisés en la matière, on aurait une vérification du fait que l'horizontale déterminée par deux encoches opposées, et présumée correspondre à la ligne d'horizon, est bien effectivement cette ligne, quand, dans la révolution de l'appareil autour de son axe vertical, un repère extérieur, qui formait d'abord son image sur l'une des deux encoches, vient former son image sur l'autre.

Une semblable assertion est radicalement fausse et ne peut pas même être acceptée comme correspondant à la plus grossière approximation. Cette constatation prouve tout au plus que l'horizontale dont il s'agit est bien une horizontale. C'est une corde horizontale de l'une quelconque des hyperboles dont nous avons parlé ; mais non nécessairement la ligne d'horizon, ou l'hyperbole elle-même aplatie jusqu'à se confondre avec son axe horizontal. Pour cette dernière constatation, la disposition du cadre entaillé, déterminant une droite uniquement par ses deux extrémités, devient absolument insuffisante quand on en arrive à ne plus avoir à apprécier que de faibles courbures ; et un trait continu est de toute nécessité pour mettre celles-ci en évidence.

Dans l'excellente description de son remarquable Photothéodolite, que le Professeur Schell a insérée dans *Eder's Handbuch der Photographie*, l'auteur insiste à plusieurs reprises sur les dispositions

adoptées pour faire passer l'axe vertical de rotation par le point nodal *d'arrière* de l'objectif. Or, dans nos *Éléments de Photogrammétrie* nous avons pu donner une démonstration absolument élémentaire et, pour autant dire, intuitive, du fait que, si c'est effectivement au point nodal *d'arrière* que doit être rapportée la presque totalité du travail graphique ; c'est au contraire le point nodal *d'avant* que doivent prendre en considération les opérations faites sur le terrain ; tant qu'on s'en tient aux images planes obtenues d'un seul coup sans déplacement de l'objectif. Au point de vue de la pratique, la distinction est généralement oiseuse ; puisque, des observations du Dr Koppe il résulte que, dans les objectifs généralement employés en photogrammétrie, l'interstice des nœuds s'élève rarement au-delà de quelques millimètres ; mais, quand on vise à la rigueur théorique, elle ne peut être négligée.

XIV

Enregistrement sur le cliché des données fondamentales de la perspective.

L'avantage de la facilité des opérations exécutées à l'aide de l'appareil photogrammétrique simplifié ne doit pas nous faire perdre de vue que le travail sur le terrain n'est réellement qu'un travail préliminaire ; et que le travail définitif est celui qui s'exécute dans le cabinet ; en général, sur des épreuves positives. Or, c'est une expérience qui n'est que trop constante, qu'entre l'image observée sur la glace dépolie, et l'épreuve positive sur papier, des divergences peuvent se produire. La perspective sur laquelle on opère en dernière analyse correspond en quelque sorte à un objectif fictif, différent de celui dont on avait précédemment déterminé les constantes. Il y aura donc lieu de ne négliger aucun des moyens que nous avons indiqués dans nos *Éléments de Photogrammétrie* pour enregistrer et conserver à travers toute la série des manipulations, la trace des éléments

fondamentaux de la perspective photographique ; afin d'être à même de les reconstituer avec les valeurs nouvelles qui peuvent ressortir pour certains d'entre eux de l'épreuve définitive. Toutefois, il est à remarquer que cette partie du travail sera extrêmement simplifiée par la suppression de tout tâtonnement, conséquence de la détermination immédiate de ces éléments par l'appareil, en tant qu'ils se rapportent à l'image observée sur la glace dépolie.

En premier lieu, il est essentiel de conserver sur le cliché, ainsi que sur les épreuves que l'on en tirera, l'indication de la direction de la ligne d'horizon. Une règle excellente sous ce rapport est celle que donne le D^r G. Le Bon : de ne jamais négliger de noter sur son carnet l'indication des repères naturels nettement définis qui peuvent se trouver situés sur cette ligne ; et, à défaut, toutes les fois que la chose est praticable, d'en établir d'artificiels. Mais les repères naturels peuvent faire défaut, et les circonstances ne pas permettre d'y suppléer par des repères artificiels. Il est donc prudent, puisque la chose est possible, de pourvoir à l'enregistrement de la ligne d'horizon en toutes circonstances par l'agencement même de l'appareil photographique.

Cet enregistrement de la ligne d'horizon est la fonction principale de l'encadrement métallique à contours en dents de scie dont nous venons de

parler. Dans d'autres appareils, il est assuré plus simplement à l'aide d'une seule paire de pointes saillantes, fixées sur le cadre d'arrière de la chambre qui reçoit la glace dépolie et les châssis. Avec les châssis ordinaires, l'une ou l'autre de ces dispositions présente cet inconvénient que, pour laisser libre le jeu des châssis et des rideaux, on est contraint de tenir ces dents ou ces pointes fixes à une certaine distance de la glace dépolie et de la plaque sensible. Par suite, au lieu de s'imprimer par contact, elles ne forment plus qu'une ombre, dont les contours, plus ou moins nettement définis, se modifient suivant les conditions de l'exposition et de l'éclairement.

Cet inconvénient peut être évité avec les appareils à magasin ou les châssis à rouleaux. Malheureusement, les magasins, non plus que les pellicules ne sont point encore arrivés à présenter la sûreté sur laquelle il est permis de compter dans l'emploi des plaques de verre avec les châssis ordinaires.

Pour le moment, nous avons donc donné la préférence au système des griffes métalliques mobiles recommandées par le Dr Vogel, et que nous voyons adoptées par les auteurs d'une moitié à peu près des appareils photogrammétriques dont la description nous a passé sous les yeux ; ce qui n'est pas dire que nous tenions ce système pour un idéal qu'il n'y a plus à songer à dépasser. Chacune de ces griffes est formée par une lame de métal rectangulaire de quel-

ques millimètres de largeur, de longueur suffisante et convenablement coudée pour pouvoir venir s'appliquer à plat par son extrémité libre sur le bord vertical de la glace dépolie ou de la plaque sensible, sur lequel elle fait légèrement saillie. Cette extrémité porte une encoche nettement taillée. Deux griffes semblables sont disposées en regard l'une de l'autre sur les deux côtés du cadre ; la ligne d'horizon est définie par le sommet des deux encoches opposées.

Ces griffes sont fixées sur deux tringles verticales qui coulisent à frottement dur dans l'épaisseur de l'encadrement de la glace. Leur position est réglée de l'extérieur par le moyen de deux têtes moletées, *c*, à l'aide desquelles on imprime aux tringles un mouvement de translation, pour déterminer la position des griffes en hauteur ; et un mouvement de rotation, pour éloigner celles-ci de la glace dépolie et de la plaque sensible, ou pour les amener en contact avec leur surface.

Dans certains modèles, les griffes sont elles-mêmes mobiles à frottement dur sur les tringles qui les portent ; de manière à permettre de donner à leur déplacement une amplitude au moins égale à celle du décentrement de l'objectif. Elles sont alors amenées à la main, la glace étant ouverte, approximativement à la position qu'elles doivent occuper. Cette position est ensuite assurée avec précision, la glace fermée, au moyen des boutons extérieurs, dont le jeu ne peut

sans inconvénient dépasser un à deux centimètres. L'alignement des encoches représente absolument alors la ligne d'horizon. Dans d'autres modèles, les griffes sont fixes sur la tringle. Leur déplacement total est donc limité au chiffre qui vient d'être indiqué. Avec cette dernière disposition, dans les cas où il est nécessaire de recourir à un grand décentrement vertical de l'objectif, les griffes ne peuvent plus marquer la ligne d'horizon elle-même ; mais seulement, une parallèle à cette ligne, que l'on choisira parmi les horizontales de la glace dépolie, et dont la distance à la ligne d'horizon sera donnée par la graduation métrique de la glace, et devra être notée avec le plus grand soin. Ce n'est que l'expérience qui peut amener chaque opérateur à se prononcer pour son compte personnel sur les avantages et les inconvénients de chacune de ces deux dispositions.

Après avoir, au moyen du mouvement vertical de décentrement de l'objectif, amené, comme il a été dit, l'horizontale médiane de la glace dépolie, ou une autre horizontale soigneusement notée, à coïncider avec la ligne d'horizon, on applique les griffes contre la surface de la glace de telle façon que les sommets des encoches tombent exactement sur cette horizontale. On les en écarte alors par un mouvement de rotation, et en évitant avec soin tout déplacement longitudinal, pour permettre l'introduction du châssis et le jeu de son rideau. La plaque sensible une fois découverte pour

l'exposition, on y applique de nouveau les griffes par un mouvement de rotation en sens inverse du précédent; toujours en évitant tout mouvement de translation. On éloigne de nouveau les griffes pour fermer le rideau et retirer le châssis.

Pour assurer la conservation de la position en hauteur des tringles métalliques pendant les mouvements de rotation qu'on leur imprime, on peut trouver commode d'y tracer avec un couteau bien aiguisé un trait de repère au point où elles rentrent dans la monture.

L'enregistrement de la verticale principale est assuré de la même façon au moyen de deux griffes portées par des tringles horizontales.

Les tringles mobiles étant nécessairement montées dans la partie fixe du corps d'arrière de la chambre, il est évident qu'elles ne peuvent suivre l'encadrement mobile de la glace et des châssis quand on dispose celui-ci pour opérer dans le sens de la hauteur; et que dès lors, elles ne peuvent plus être utilisées en ce cas. Elles ont été disposées en vue de l'emploi des plaques avec le plus grand côté horizontal, comme cela a lieu à peu près constamment en photogrammétrie; dans le cas contraire, il ne reste évidemment qu'à les relever complètement pour opérer, afin qu'elles ne donnent pas d'image empiétant trop avant sur la plaque.

Si, par exemple en vue de levés de monuments, on tenait à avoir un système de repères fonctionnant en sens contraire, on aurait à faire établir un second

système de griffes mobiles de dimensions convenables, pouvant coulisser sur les mêmes tringles, et qu'il serait facile de substituer au premier au moment du besoin. On pourrait peut-être à la rigueur assurer le fonctionnement du même système de griffes dans les deux sens ; mais la difficulté d'ajustement serait notablement augmentée, à raison de la différence des plans dans lesquels se meuvent les deux couples de tringles qui doivent les porter.

XV

Détermination de la longueur focale sur l'épreuve positive

L'empreinte des griffes correspondant à la ligne d'horizon, constitue un moyen permanent de déterminer la longueur focale de l'objectif, d'après le procédé dont nous avons déjà indiqué l'application en faisant intervenir la graduation de la glace dépolie. Au moment de la mise au point, on aura déterminé avec le plus grand soin l'angle parcouru sur le cercle, tandis que l'appareil exécute un mouvement de rotation tel que l'image d'un repère extérieur qui coïncidait d'abord avec l'une des encoches, définissant la ligne d'horizon, vienne coïncider avec l'encoche opposée. C'est évidemment à ce même angle que devra toujours correspondre l'écartement des images des deux mêmes encoches sur l'épreuve positive ; à quelques déformations que celle-ci ait pu être exposée à travers toute la série des manipulations dont elle est le résultat. La mesure de cet écartement déterminera donc, non pas la longueur focale abstraite, plus ou moins correctement évaluée,

de l'objectif employé supposé mis au point à l'infini ; non pas même la longueur focale effective sous laquelle ce même objectif était mis au point pendant l'observation de l'image sur la glace dépolie ; mais bien la longueur focale virtuelle de l'objectif fictif qu'il serait nécessaire d'employer pour obtenir une image identique à celle de l'épreuve positive.

Cette dernière longueur est véritablement celle qui doit servir de base à tout le travail graphique. Aussi, la méthode de détermination qui y conduit, est-elle celle que préconise le colonel Laussedat. Il est toutefois à remarquer que cette méthode, qui repose sur l'appréciation de la mesure de l'écartement de l'image des extrémités de deux pointes situées dans le champ de l'image de la façon la plus défavorable pour l'observation à la loupe, ne peut avoir une précision approchant celle de la détermination d'une longueur interceptée entre deux traits verticaux tracés à la machine à diviser, ou entre les images de deux jalons verticaux éloignés ; dont la situation peut être choisie, dans toute l'étendue du même champ, de la façon la plus avantageuse à raison des conditions d'éclairement dans lesquelles on opère.

On améliorera sous ce rapport les conditions de l'observation en ayant soin de limiter les bords de l'encoche ou l'embase de la pointe par des arêtes verticales, qui donneront des limites plus nettement

Legros. — 5.

définies. Cependant cela suppose toujours ces pointes ou ces encoches en contact immédiat avec la glace dépolie et avec la plaque sensible. Si le contact n'a pas lieu, comme c'est nécessairement le cas dans les appareils à châssis ordinaires avec pointes de repère fixées à demeure au cadre d'arrière de la chambre, l'écartement des images des pointes ne peut plus même être considéré comme constant, et doit être mesuré à nouveau pour toute variation dans la mise au point ou dans l'éclairement.

D'ailleurs toutes les opérations que nous décrivons sont d'une telle simplicité qu'il n'y a aucune raison de ne pas mettre de son côté toutes les chances de succès, en effectuant les mesures à la fois sur la glace dépolie et sur l'épreuve. Pour les cas désespérés, avec des papiers aux distorsions particulièrement capricieuses, nous rappelons l'indication donnée dans nos *Eléments de Photogrammétrie*, dont plusieurs opérateurs se sont bien trouvés : d'effectuer les constructions graphiques à la lumière d'une lampe, sur des épreuves sortant directement du châssis-presse, avant toute manipulation de fixage et de virage. On n'a plus alors absolument affaire qu'aux déformations éventuellement inhérentes au cliché. Et l'expérience des astronomes est là pour montrer que celles-ci sont bien inférieures à tout ce dont peut avoir à se préoccuper la pratique usuelle de la photogrammétrie.

XVI

L'influence de l'erreur de collimation atténuée en Photogrammétrie.

Dans un appareil destiné à porter des objectifs de longueurs focales différentes, y compris des téléobjectifs dont le point nodal d'avant peut se trouver rejeté à plusieurs mètres en avant de l'appareil, il ne pouvait être question d'éviter l'erreur de collimation résultant de ce que l'axe vertical de rotation ne passe pas par ce point nodal, auquel nous rappelions précédemment que doit, en toute rigueur, être rapportée la mesure des angles extérieurs : (Voir : *Eléments de Photogrammétrie*). Il peut y avoir quelque satisfaction à reconnaître qu'en photogrammétrie, cette erreur perd le plus généralement toute signification ; et que, dans les cas même où elle intervient, elle peut être considérée comme négligeable, ou corrigée sans la moindre difficulté dès que l'on juge à propos d'en tenir compte.

Ce qui, en géodésie, fait l'importance de cette erreur et oblige à recourir sans cesse pour l'éliminer à des artifices extrêmement délicats ou à des calculs très laborieux, c'est que chaque angle relevé sur le terrain exige pour sa mesure deux lectures distinctes ; et que, par suite des erreurs de collimation, ces lectures se rapportent à un centre différent du sommet de l'angle intercepté par les deux rayons visuels qui sont censés le définir. Les angles mesurés autour d'une même station pour former le tour d'horizon se trouvent ainsi, quand on passe de l'un à l'autre, rapportés à des sommets différents, distants du centre de cette station de quantités variables qui deviennent parfaitement appréciables au degré de précision prodigieuse que comportent les instruments et les méthodes dont on fait usage.

Il n'en est plus du tout ainsi en Photogrammétrie. Les angles de position appartenant en propre à la méthode photogrammétrique sont exclusivement ceux qui sont donnés par une seule et même épreuve, qui se trouvent relevés tous à la fois par une visée unique, qui ont nécessairement un centre unique, défini avec une précision mesurée par le degré même de netteté des détails de l'épreuve photographique ; et qui, par conséquent, ne peuvent être entachés en aucun autre sens d'une erreur de collimation. L'idéal dans l'application de la méthode

est d'arriver à n'avoir à compter qu'avec des angles ainsi définis. Et, de quelque assistance que doive être l'emploi du cercle, l'habileté de l'opérateur consistera en grande partie à savoir s'en rendre indépendant, en se ménageant un système de repères et de vérifications qui ne repose que sur les épreuves même. C'est pour cela que nous avons pu dire que le seul point réellement scabreux dans l'emploi d'appareils non rigides, et à axe de rotation situé en dehors du centre optique, est celui de la mise au foyer.

Où une erreur de collimation proprement dite peut intervenir, ce n'est que dans la combinaison des systèmes d'épreuves sur la minute, autour des points qui représentent les stations.

Ici, il convient de rappeler encore une fois que la méthode photogrammétrique est par essence une méthode graphique, dont la précision est inévitablement limitée à celle des opérations graphiques. L'erreur de collimation s'y traduit par un déplacement, sur la minute du dessin, de la position du point de vue de l'épreuve. Mais rien n'est plus facile à l'opérateur que d'apprécier la valeur de ce déplacement ; et d'effectuer, s'il y a lieu, la correction qu'il comporte. Il lui suffit pour cela de mesurer la distance horizontale du point nodal d'avant de son objectif à l'axe de rotation ; et de déplacer sur sa minute le point de vue de l'épreuve

correspondante de la grandeur ainsi mesurée, réduite à l'échelle du dessin.

On peut à peine dire que l'opération ainsi présentée soit plus compliquée que celle qui consiste à rapporter simplement le point de vue au centre de la station. Cependant, sauf en des cas exceptionnels tels que celui de l'emploi d'un téléobjectif, c'est invariablement à ce dernier cas que l'on se trouve ramené dans la pratique. Dès que l'on passe aux mesures, il devient tout d'abord manifeste que la grandeur de l'écart constaté est absolument négligeable à l'échelle du dessin. L'approximation la plus grossière, relevée à vue de nez par l'opérateur sur un double décimètre tenu horizontalement à l'aplomb du centre de l'objectif et de l'axe de rotation, sera donc plus que suffisante pour mettre sa conscience en repos sur le caractère tout à fait négatif de la correction à effectuer.

Une conséquence de cette différence dans la signification des résultats de la méthode photogrammétrique et de la méthode géodésique est que si, avec un téléobjectif correspondant par exemple à une longueur focale de deux ou trois mètres, on avait, de deux stations conjuguées, obtenu deux images d'un monument éloigné n'embrassant pas un angle total de plus de deux ou trois degrés, avec une incertitude sur les angles de position elle-même de deux ou trois degrés, on n'en serait pas moins en état d'effectuer une restitution à peu près satisfaisante du plan de ce monument. Tout l'effet

de l'erreur angulaire des observations relevées aux deux stations se réduirait à une incertitude approximativement de même amplitude sur la situation et sur l'orientation du monument. Si, au contraire, on cherchait à effectuer la même restitution à l'aide de données recueillies par la méthode géodésique, en supposant des erreurs aussi grossières sur chacune des mesures d'angles relatives aux différentes verticales du même monument, on n'arriverait qu'à des résultats absolument incohérents, auxquels il serait de toute impossibilité d'attribuer aucun sens.

Une autre conséquence de cette latitude, de faire en photogrammétrie abstraction des erreurs de collimation, et de pouvoir sans aucune altération rapporter sur la minute au centre même de la station les angles embrassés par les épreuves consécutives prises sur le terrain autour d'un même point, est parfois d'un certain intérêt dans la pratique.

On s'attache habituellement à couvrir le tour complet d'horizon en six ou huit clichés. Si l'on a eu le soin de s'astreindre à passer de l'un à l'autre par un déplacement constant de l'appareil, de soixante ou de quarante-cinq degrés exactement mesurés, avec des repères bien définis (des jalons, au besoin), aux points de raccordement, on sera à même de simplifier le report sur la minute, ou on en aura une vérification. Dès que l'on aura rapporté l'une des épreuves avec l'orientation exacte du rayon

principal et de la ligne d'horizon, on pourra se contenter, pour faire le report des lignes d'horizon de toutes les autres, de terminer l'hexagone ou l'octogone régulier défini par la première. Ou bien, la constatation de la régularité du polygone déterminé par le report méthodique de chacune des épreuves traitée séparément sera un contrôle de la correction de l'ensemble des opérations ; ainsi que de l'exactitude de la longueur focale évaluée.

Il est à remarquer que, dans cette partie de l'opération, on a jusqu'à un certain point une vérification de la correction des raccordements dans le fait que, si l'on considère un point éloigné figurant à la fois sur la partie utilisée d'une épreuve et sur la partie en excédent de l'épreuve voisine, les projections des deux images sur leurs lignes d'horizon respectives devront, dans le report sur la minute, se trouver situées rigoureusement sur le même rayon passant par le centre de la station.

Si concluant que soit théoriquement ce moyen de vérification, il n'a d'ailleurs en pratique qu'une efficacité assez limitée, et ne peut guère servir qu'à prévenir des erreurs grossières ; à raison de l'exiguïté des longueurs sur lesquelles il porte.

Les propriétés qui précèdent peuvent encore dans une certaine mesure trouver leur application alors même que les opérations ne comportent pas en une station donnée un tour complet d'horizon.

XVII

Graduation du chariot.

Le chariot de la chambre noire porte une division en millimètres qui permet d'en mesurer le tirage. L'usage le plus fréquent de cette division consistera à déterminer, pour chacun des objectifs dont on disposera, une série de repères correspondant à la mise au point relativement à des objets à photographier situés en avant de l'appareil à des distances exactement mesurées ou approximativement évaluées, et, particulièrement, à la mise au point à l'infini.

Cette détermination préalable, faite une fois pour toutes à loisir et avec le plus grand soin, permet une mise au point rapide et précise dans des conditions de lumière défavorables, ou alors même que la glace est brisée.

L'origine de la graduation est nécessairement arbitraire. Les relations de cette origine avec les plans fondamentaux de l'objectif sont essentiellement

variables d'un objectif à l'autre ; et elles ne peuvent être déterminées que par l'opérateur lui-même, pour chacun de ceux dont il se propose de faire usage, lorsque cette détermination lui semblera d'un intérêt quelconque pour les opérations qu'il a en vue.

Cette graduation du chariot pourra encore permettre d'effectuer à l'occasion les corrections qui deviendraient nécessaires si l'on venait à employer un objectif ayant un foyer chimique ; ou si l'on faisait usage, au lieu de plaques sensibles, de pellicules tendues derrière une glace polie d'une certaine épaisseur.

Il va de soi qu'en pareil cas les corrections à effectuer auraient dû faire au préalable l'objet d'une étude expérimentale très soignée.

XVIII

Mouvements de décentrement de l'objectif.

La planchette porte-objectif est à mouvement de décentrement horizontal et vertical, commandé par deux vis de rappel a et e . Dans chaque sens l'amplitude du déplacement est mesurée par une graduation en millimètres d, f . Le mouvement de décentrement vertical sera surtout employé pour permettre en terrain fortement accidenté l'adoption d'une ligne d'horizon notablement différente de l'horizontale médiane. La douceur et la sûreté du mouvement permettent de faire varier dans un même tour d'horizon, et sans qu'il soit besoin d'un nouveau réglage, la hauteur de cette ligne; quand on passe par exemple d'un azimuth dans lequel figurent surtout des hauteurs à un autre dans lequel les objets intéressants sont des dépressions. En ce cas, l'étendue du décentrement doit être relevée avec le plus grand soin sur l'échelle spécialement affectée à cet effet. La grandeur

ainsi notée devient une des données essentielles du travail graphique.

Cette même échelle a également été utilisée par quelques praticiens pour l'évaluation des hauteurs, et aussi pour la mesure par la tangente des angles verticaux.

XIX

Objectif.

L'appareil a été établi pour la grandeur de plaques 13×18 . L'objectif *o* considéré comme normal pour cette dimension est un objectif grand angulaire de 140 à 145 millimètres de longueur focale, qui correspond pour cette plaque à un angle de 60° , avec, de chaque côté, un rebord de quelques millimètres pour les raccordements. Il donne par conséquent le tour d'horizon en six clichés. On a d'ailleurs toute latitude d'employer sur le même appareil l'objectif de 20 centimètres, qui donnerait le tour d'horizon en huit clichés; ou des objectifs à long foyer. Il est toutefois à remarquer que l'on ne peut plus compter sur la même rigidité quand on dépasse 20 centimètres.

L'objectif de 140^{mm} construit pour l'appareil est d'ailleurs du type grand angulaire d'ouverture extrême, de 105° environ, pouvant encore couvrir

avec un petit diaphragme une plaque double de celle de l'appareil. C'est suffisamment dire que l'image est irréprochable jusque dans les coins, même alors que l'on fait intervenir le décentrement.

Quelques lecteurs seront peut-être surpris de voir admettre, dans la longueur focale de l'objectif, des écarts de cinq millimètres. Il ne serait aucunement impossible de resserrer beaucoup ces limites, et d'arriver à réaliser l'identité pratique des longueurs focales de tous les objectifs construits en vue de l'appareil dont nous nous occupons. Cette identité ne s'obtient toutefois que par une série de corrections pratiquées sur un objectif obtenu de premier jet avec un écart plus ou moins notable. Or, il n'est pas rare que la correction nécessaire pour amener cet objectif à l'identité de foyer, ne soit pas du tout de même sens que celle qui serait indiquée pour le rapprocher de la perfection.

D'autre part, il arrive également parfois que l'opticien tombe sur une combinaison de lentilles particulièrement heureuse, d'où résulte une pièce de valeur exceptionnelle, qu'il n'est au pouvoir d'aucune habileté humaine de reproduire à volonté. Toute correction nouvelle tentée en ce moment, serait fatalement une détérioration. Aussi, va-t-il sans dire que l'opticien ne la tentera pas ; mais qu'il réservera précieusement son chef-d'œuvre pour un client moins pointu, et qu'il se mettra en devoir d'établir un

instrument plus banal, à l'intention de celui qui n'en mesure la valeur qu'au millimètre.

En laissant au constructeur une certaine latitude, on se ménage la chance de profiter de ces heureuses rencontres, et d'arriver à posséder une pièce de choix. Nos artistes demandaient un millimètre en chaque sens ; nous n'avons vu aucun inconvénient sérieux à leur en laisser deux et demi. Ces limites assurent très suffisamment le respect des marges ménagées en vue des raccordements, pourvu que l'opérateur s'astreigne à l'observation des précautions recommandées dans ce qui précède. S'il prétend s'en affranchir, ce n'est pas le bénéfice résultant d'un resserrement plus étroit de ces mêmes limites, qui pourrait jamais le préserver des conséquences de sa propre négligence.

Les écarts que nous admettons ainsi ne sont cependant que peu de chose, si on les compare avec ceux qui ont été signalés dans des objectifs, dont on prétend que l'identité est assurée par des procédés de construction d'une précision automatique, et par l'emploi de verres dont les indices de réfraction sont garantis jusqu'à la cinquième décimale. Des écarts sur les longueurs focales annoncées s'élevant à un centimètre, à un pouce anglais (2 c. 54), et même à plus, ont fréquemment été relevés par des observateurs qui en ont entrepris la vérification. Et, si l'on prenait par trop littéralement l'indication

de la construction automatique, un pareil écart sur la longueur focale accuserait inévitablement un écart au moins équivalent dans la qualité.

En enlevant la lentille antérieure de l'objectif, on obtient un objectif simple d'une longueur focale sensiblement double, donnant des vues pittoresques très brillantes, et qui, à défaut d'autre, peut, avec une bonne lumière, servir pour le portrait. Cette dernière longueur focale est d'ailleurs précisément celle des objectifs qu'avec cette dimension d'appareil, on emploie généralement pour le portrait.

Simplifications pratiques.

Quelques-unes des manœuvres décrites dans ce qui précède pourront paraître très minutieuses. Il faut tenir compte qu'elles se rapportent aux cas dans lesquels on tiendra à obtenir le plus haut degré de précision que les ressources de l'appareil mettent à la disposition de l'opérateur. Quand celui-ci se sera familiarisé avec son instrument, dans les détails de sa pratique usuelle il appréciera en chaque cas particulier ce qu'il peut y avoir là-dedans à prendre et à laisser. Ainsi, quand il aura une fois procédé à un réglage complet de l'appareil, il pourra, avec une pointe aiguë ou avec un canif, tracer des traits de repère sur les tringles de connexion et de réglage de la ligne d'horizon et de la verticale principale ; noter sur son carnet les indications des graduations du chariot et des mouvements de décentrement ; et, dans la plupart des opérations

Legros. — 6.

ultérieures sur le terrain, se borner à revenir aux repères ainsi définis.

Il devra se familiariser avec les opérations graphiques de la photogrammétrie, afin d'acquérir le sentiment exact de l'influence que chacune des erreurs commises au cours des opérations photographiques peut exercer sur les résultats définitifs. Il pourra, dans une certaine mesure, se reposer sur ce principe que nous avons énoncé à l'occasion de l'influence de l'erreur de collimation : à savoir, que la véritable base de la précision des opérations photogrammétriques est l'épreuve photographique.

Il est par exemple évident qu'une épreuve de photographie astronomique peut à la rigueur se passer de toute indication de repérage ; puisqu'elle porte en elle-même un repérage déjà surabondant pour définir les conditions dans lesquelles elle a été prise, y compris les incorrections de l'objectif. L'ingénieur Friedrich Steiner a pu effectuer des restitutions très intéressantes à l'aide de photographies absolument quelconques trouvées dans le commerce. Le professeur Meydenbauer croit à la possibilité d'obtenir systématiquement en cas de besoin des épreuves utilisables pour la photogrammétrie à l'aide d'un appareil simplement soutenu sur une canne non fichée dans le sol. Enfin, pour ceux aux yeux desquels l'autorité du professeur Meydenbauer pourrait être sujette à caution, disons que le colonel Laussedat lui-même a, dans ces dernières

années, donné une très élégante méthode de reconstitution des données fondamentales des opérations graphiques de la photogrammétrie, à l'aide d'épreuves obtenues dans des appareils portés par un ballon ou par un cerf-volant; alors que la position de ceux-ci n'a pas été repérée, et que les appareils ont eux-mêmes une inclinaison quelconque sur l'horizon.

XXI

Conclusion.

Dans ce qui précède, il y a lieu de distinguer la description d'un appareil particulier de photogrammétrie, et l'exposition de la méthode en vue de laquelle cet appareil a été construit.

La méthode n'est aucunement limitée à l'appareil. Elle s'étend, au contraire, au prix de modifications insignifiantes, à tous les appareils de photogrammétrie déjà existants. Elle est caractérisée par ce que nous avons appelé la mise en station photographique, en opposition avec le mode de mise en station le plus généralement pratiquée, que l'on peut désigner par la qualification de géodésique. La mise en station photographique jouit du double avantage d'être incomparablement la plus simple, et, géométriquement, la plus correcte.

L'organe essentiel requis par méthode est une *glace quadrillée de précision*. Comme opération

nouvelle elle comporte, indépendamment de l'établissement de la glace dépolie dans un plan parfaitement vertical, l'établissement suivant la direction de la verticale de l'un des systèmes de droites du quadrillage tracé sur cette glace.

Tout appareil de photogrammétrie est déjà nécessairement pourvu au moins d'un dispositif qui permet d'amener correctement la glace dépolie dans un plan vertical. Il suffit donc d'y ajouter, là où il n'existe pas, un organe qui permette d'imprimer à cette glace un léger déplacement angulaire dans son propre plan. Nous avons jusqu'ici adopté pour cet objet la plate-forme supérieure articulée, qui peut s'adapter à peu de frais sur le cercle de tout appareil photogrammétrique. Nous étudions en ce moment s'il ne pourrait pas y avoir bénéfice à réaliser ce même déplacement par un glissement du cadre de la glace sur le corps de la chambre. Le bénéfice dont il s'agit n'est d'ailleurs purement et simplement qu'une question d'ordre économique.

Le remplacement d'une glace par une autre ne peut réellement pas s'appeler une modification. Pour un appareil de dimension 13×18 , la dépense est d'une dizaine de francs. Notons, toutefois, qu'il est essentiel de veiller à ce que la glace quadrillée soit parfaitement maintenue en position dans sa feuillure, au moyen de ressorts, ou, tout au moins, de cales présentant une certaine élasticité ; de façon qu'elle

ne puisse ballotter et se déplacer dans le cours des opérations.

Pour tout le reste des manœuvres que nous avons décrites, il va de soi qu'elles peuvent s'exécuter *a fortiori* avec tous les autres types d'appareils photogrammétriques actuellement existants, généralement établis avec un luxe d'organes accessoires qui touche à la profusion.

Vis-à-vis de ces appareils, le nôtre se caractérise surtout par la préoccupation d'économie qui a présidé à son établissement. Cette économie ressort moins encore de ce que le prix de revient brut de l'instrument est effectivement dans une mesure notable inférieur à celui de tous ses devanciers ; que du fait que la spécialisation étroite de ceux-ci rend indispensable la possession d'un appareil distinct, pour quiconque n'entend pas s'interdire les applications usuelles de la photographie, dont les occasions se présentent à foison devant les yeux de l'explorateur scientifique.

Quand on envisage les frais qu'entraîne l'organisation du matériel complet d'une expédition photographique de quelque envergure, on conçoit que cette considération ne soit pas sans peser d'un certain poids sur les déterminations des organisateurs ; alors même que la caisse qui alimente leur entreprise n'est autre que le budget de l'Etat. Cependant, il n'est pas vraisemblable que cette considération

en vienne à primer toutes les autres ; et nous ne pouvons nous empêcher de considérer comme un témoignage flatteur d'approbation du principe même de la construction, l'acquisition des deux premiers exemplaires de l'appareil par le Ministère des Colonies, pour l'usage de deux jeunes et vaillants camarades, le capitaine Rivière et le capitaine Plé, respectivement chargés de la direction des services topographiques des missions du Haut-Mékong et du Haut-Oubanghi.

Il convient de dire que ce premier succès est dû en grande partie à l'intervention du colonel Laussedat, qui a bien voulu, en cette circonstance, s'effacer en notre faveur, pour appuyer de sa haute autorité l'introduction, sous une forme en quelque sorte atténuée, de la méthode qu'il a créée aux débuts de sa carrière, au nombre des procédés de notre cartographie officielle. Grâce à son généreux désintéressement, il cesse désormais d'être permis de dire que la France, qu'il a dotée de cette méthode il y a quelque quarante ans, est, entre toutes les nations civilisées, la seule où elle soit officiellement ignorée.

FIN.

LE RIGOT FRÈRES. LILLE.