# RECHERCHES

SUR

# LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES

ET

# LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES.

27589. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

# RECHERCHES

SUR

# LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES

ET

# LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES,

PAR

**le Colonel A. LAUSSEDAT,**

Membre de l'Institut,

Directeur honoraire du Conservatoire des Arts et Métiers.

---

## TOME II.

PREMIÈRE PARTIE :

ICONOMÉTRIE ET MÉTROPHOTOGRAPHIE.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1901

(Tous droits réservés.)

# RECHERCHES

SUR

# LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES

ET

# LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES.

---

## CHAPITRE III.

## ICONOMÉTRIE ET MÉTROPHOTOGRAPHIE.

CONSIDÉRATIONS ET NOTIONS PRÉLIMINAIRES. PRÉCÉDENTS HISTORIQUES.

### I. — *Application directe ou indirecte de la perspective au lever des plans.*

Les progrès de la Topographie, comme ceux des autres arts, ont été naturellement dirigés en vue d'économiser le temps et la dépense pour obtenir un même résultat utile, généralement même supérieur. L'exposé historique qui a fait l'objet des deux premiers Chapitres était destiné à montrer que, dans le cas qui nous intéresse, c'était surtout la durée des opérations sur le terrain que l'on avait cherché à abréger de plus en plus, en simplifiant les mesures directes des distances et des différences de niveau.

Sans revenir sur les détails des procédés en question lesquels se sont modifiés, comme on l'a vu, à mesure que les instruments eux-mêmes se perfectionnaient, abstraction faite toutefois de la méthode des alignements appliquée au Cadastre qui, de propos délibéré, emploie à peu près exclusivement la

chaîne ou les règles, on reconnaît aisément que le but proposé a été atteint plus complètement qu'auparavant depuis que l'on a réduit le nombre des stations, en s'appuyant instinctivement sur les propriétés de la perspective. En chacune de ces stations, en effet, on ne mesure pour ainsi dire plus que des *angles visuels* horizontaux ou verticaux, les premiers (que l'on obtient aussi graphiquement avec la planchette) servant à multiplier les repères de la planimétrie, et les seconds, ceux du nivellement; enfin, depuis le commencement et surtout depuis le milieu de ce siècle, on a eu recours aux *angles visuels* micrométriques pour lever les détails de la planimétrie par rayonnement, la même visée sur la mire parlante pouvant servir à déterminer la cote du point considéré. C'est ainsi que l'on est parvenu à réduire considérablement les opérations manuelles, et il est facile de se rendre compte du rôle prépondérant que joue déjà la perspective dans ces simplifications.

Des considérations semblables ont été présentées dans l'Avertissement du premier Volume, mais nous devions les reproduire ici pour insister sur les conséquences, si intéressantes, à notre point de vue, de la méthode la plus expéditive dont on se soit avisé jusqu'à présent, laquelle suppose d'ailleurs toujours la détermination préalable d'un nombre suffisant de repères obtenus à l'aide d'une triangulation et d'un nivellement de précision.

Rappelons tout d'abord que, sur les cartes et les plans topographiques complets, le figuré conventionnel du terrain par des hachures n'a été accompagné de cotes de nivellement que fort tard et surtout après l'invention des courbes de niveau; on sait, d'un autre côté, que ce n'est qu'exceptionnellement et pour des plans à d'assez grandes échelles destinés aux ingénieurs que les levers *nivelés par courbes* sont effectués rigoureusement, à grands frais. Généralement, au contraire, le tracé des courbes est exécuté au sentiment, en partant des repères auxquels nous venons de faire allusion, en nombre très restreint, et l'opérateur se laisse guider par les formes du terrain telles qu'elles lui apparaissent aux différentes stations, ce qui exige de sa part une grande attention

et une expérience consommée, les effets de la perspective pouvant lui faire souvent commettre des erreurs graves (1).

Ce rapide aperçu des procédés en usage dans la Cartographie réputée jusqu'ici la plus perfectionnée suffit, pensons-nous, à justifier cette affirmation réitérée de notre part que les vues photographiées (ou dessinées à la chambre claire) prises dans des conditions bien déterminées, de stations habilement choisies, fournissent des éléments tout à fait analogues à ceux que les topographes recueillent sur le terrain, mais beaucoup plus nombreux et dans un temps incomparablement moindre. On serait même tenté de dire que le nombre de ces éléments est en quelque sorte illimité et il convient d'ajouter, à leur très grand avantage, que les vues photographiées qui fixent invariablement les formes apparentes du terrain à chaque station étant des documents que l'on peut consulter toutes les fois que l'on en éprouve le besoin, facilitent singulièrement le travail du topographe dans le cabinet et en assurent l'exactitude en lui permettant de multiplier les repères et *d'interpréter à loisir les apparences,* quand il cherche à tracer les courbes de niveau, ce qu'il ne pouvait faire sur place à moins d'y consacrer un temps considérable (2).

Cette thèse, que nous n'avons cessé de soutenir depuis un si grand nombre d'années, est désormais généralement admise à l'étranger et même en France par tous les esprits indépendants qui ont pris la peine de l'examiner et d'expérimenter la méthode photographique avec l'attention qu'elle mérite.

## II. — *Association des vues pittoresques et des plans.*

Il y a d'ailleurs bien d'autres arguments à faire valoir en faveur de l'utilisation des vues pittoresques dans l'art de lever

(1) C'est ce qui explique celles que l'on constate en si grand nombre sur la Carte de l'État-Major et, en général, sur les cartes analogues publiées à l'étranger. — *Voyez,* à ce sujet, un article paru récemment dans la *Revue scientifique,* numéro du 12 novembre 1898.

(2) Il est évident, en outre, que les vues photographiées procurent à ceux qui ont le contrôle des travaux topographiques les moyens de vérification les plus prompts et les plus sûrs.

les plans ou plus généralement en Topographie. Il est aisé, par exemple, de montrer qu'en s'abstenant de le faire, on semblerait ignorer les services qu'elles ont déjà rendus à cet art avant l'invention de la Photographie, c'est-à-dire alors qu'il était incomparablement plus difficile de les obtenir.

Après avoir indiqué au Chapitre précédent (Chap. II), les phases par lesquelles a passé le dessin topographique dans les temps modernes, principalement depuis l'invention de la gravure jusqu'au règne de Louis XIV, nous avons constaté que, à cette dernière et brillante époque, les créateurs de la Topographie régulière avaient continué à se servir de la perspective pour *illustrer* leurs plans, aider à les mieux faire comprendre.

Parmi les exemples les plus frappants de cette association préméditée des vues pittoresques et des cartes ou des plans levés géométriquement, nous avons signalé surtout l'œuvre qui porte le nom de *Grand Beaulieu* (1), et les trois Planches IV, V et VI qui en sont extraites montrent clairement le but que se proposaient leurs auteurs et jusqu'à quel point ils l'ont atteint. Si la tradition ne s'est pas perpétuée sous cette forme précise, on se tromperait assurément en méconnaissant le rôle qu'a continué à jouer le dessin pittoresque dans les travaux d'exploration et de reconnaissances topographiques exécutés pendant les deux siècles écoulés depuis la publication du *Grand Beaulieu*.

Il suffirait de se reporter aux Atlas de l'expédition d'Égypte et des campagnes de Bonaparte en Italie par Baggetti et par Carle Vernet dont nous avons déjà parlé, à celui de l'expédition de Morée et à bien d'autres encore (nous nous bornons aux plus célèbres parmi les publications faites en France) pour constater ce besoin du pittoresque à côté des œuvres topographiques les plus parfaites et des relevés d'architecture les plus soignés.

Ainsi, en nous en tenant à l'expédition d'Égypte, où les plus illustres savants étaient accompagnés d'ingénieurs et d'archi-

(1) On sait que l'on désigne ainsi le Recueil général qui a pour titre: *Les glorieuses Conquêtes de Louis le Grand; Cartes, profils, plans des villes avec leurs attaques, combats, batailles,* etc.

tectes du plus grand mérite chargés de lever les plans des champs de bataille, des villes, des magnifiques monuments des pharaons, on n'avait pas oublié de leur adjoindre d'habiles dessinateurs, et il arrivait même souvent que les talents de savant, d'ingénieur et d'artiste se trouvaient réunis chez le même opérateur.

Si les plans et les vues des édifices, des villes ou des sites célèbres ne sont pas toujours rapprochés, mis en regard les uns des autres, dans cet admirable Ouvrage, il n'est pas moins facile, dans la plupart des cas, de reconnaître l'étroite relation qui existait entre les deux opérations (1).

---

(1) Deux des plus jeunes membres de cet *Institut d'Égypte,* dont notre pays aura toujours le droit de s'enorgueillir et le devoir de se souvenir, Caristie et Jomard, sortis de l'École Polytechnique à peine créée et que j'ai eu l'insigne honneur de connaître, déclaraient chacun à qui voulait l'entendre que leurs collègues comme eux-mêmes n'avaient jamais séparé les deux conditions essentielles de l'œuvre entreprise : la précision des mesures et des relevés de toute sorte et l'effet artistique des monuments représentés en perspective ainsi que des paysages qui les encadraient le plus souvent.

Caristie, qui était entré à l'École des Beaux-Arts à sa sortie de l'École Polytechnique, et qui dessinait admirablement, avait souvent fait usage de la chambre obscure en Égypte, en attendant la chambre claire dont il se servit en Italie dès les premiers temps de son invention. Il devint membre de l'Académie des Beaux-Arts et a laissé la réputation d'un très savant et très habile architecte. C'est avec la chambre claire qui lui avait appartenu que j'ai fait mes premiers essais d'Iconométrie et je devais lui payer ici un tribut de reconnaissance.

Jomard était ingénieur-géographe et, en dessinant les monuments couverts d'hiéroglyphes en même temps qu'il exécutait ses travaux topographiques, il avait acquis une véritable érudition qui l'aida à entrer à la Bibliothèque nationale en qualité de Conservateur au département des Cartes et Plans; il s'était beaucoup occupé de la gravure des planches de l'Atlas du grand Ouvrage sur l'Égypte, ce qui fut cause, lors de son élection à l'Académie des Inscriptions, de la célèbre boutade de l'un de ses concurrents qui n'était autre, malheureusement pour lui, que Paul-Louis Courier. (*Voyez* dans les Œuvres du célèbre pamphlétaire la *Lettre à Messieurs de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres.*)

Malgré le talent incontestable des architectes et des ingénieurs de l'Institut d'Égypte et malgré l'emploi accidentel fait par quelques-uns d'entre eux de la chambre obscure, on ne saurait comparer l'exactitude de leurs dessins, surtout au point de vue des détails, avec celle que donne aujourd'hui sans peine la Photographie. C'est ce que faisait déjà si bien ressortir Arago dans le Chapitre X de sa *Notice sur le Daguerréotype,* intitulé : *Avantages de la Photographie* (t. IV des *Notices scientifiques* dans les *Œuvres complètes.* Paris, Gide; 1858).

« A l'inspection des premiers tableaux que M. Daguerre a fait voir au

On n'avait pas attendu, d'ailleurs, l'expédition d'Égypte pour attacher des dessinateurs, en même temps que des naturalistes, aux missions scientifiques et géographiques confiées à nos hardis et illustres navigateurs du siècle dernier, dont la tradition s'est conservée jusqu'à nos jours (1).

La tâche de ces artistes commençait dès que les navires sur lesquels ils étaient embarqués arrivaient en vue d'une terre dont ils dessinaient les aspects, même du large, et l'on aperçoit là l'origine des vues de côtes si merveilleusement utilisées par Beautemps-Beaupré qui, même avant d'avoir servi à la construction des cartes et en dehors de cette préoccupation, avaient été et continuent à être annexées à celles qui contiennent des rades, des ports ou des mouillages pour guider les navires qui veulent y entrer ou les atteindre sûrement.

L'association des vues et des plans est ici des plus évidentes, des plus intimes, les points d'où ont été prises les vues étant marqués sur les cartes, ce qui permet dès lors d'orienter chacune des premières et de constater l'accord des détails qu'on y découvre avec ceux qui figurent sur la carte.

---

public, disait l'illustre physicien, chacun a songé à l'immense parti qu'on aurait tiré pendant l'expédition d'Égypte d'un moyen de reproduction si exact et si prompt; chacun a été frappé de cette réflexion que, si la Photographie avait été connue en 1798, nous aurions aujourd'hui des images fidèles d'un bon nombre de tableaux emblématiques dont la cupidité des Arabes et le vandalisme de certains voyageurs ont privé le monde savant. Pour copier les millions et millions d'hiéroglyphes qui couvrent, même à l'extérieur, les grands monuments de Thèbes, de Memphis, de Karnak, etc., il faudrait des vingtaines d'années et des légions de dessinateurs. Avec le Daguerréotype, un seul homme pourrait mener à bonne fin cet immense travail. Munissez l'Institut d'Égypte de deux ou trois appareils de M. Daguerre, et sur plusieurs des grandes planches de l'Ouvrage célèbre, fruit de notre immortelle expédition, de vastes étendues d'hiéroglyphes réels iront remplacer des hiéroglyphes fictifs ou de pure convention; et *les dessins surpasseront partout en fidélité, en couleur locale, les œuvres des plus habiles peintres; et les images photographiques étant soumises, dans leur formation, aux règles de la Géométrie permettront, à l'aide d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices.* »

(1) M. le Dr Hamy rappelait encore récemment les services rendus à la Géographie et à l'Ethnographie par les dessinateurs attachés à la mission de d'Entrecasteaux. Dans bien des cas, les aptitudes artistiques des officiers de terre et de mer ont été mises elles-mêmes à profit avec le plus grand succès, par exemple, pendant l'exploration du Mékong par Doudart de Lagrée.

On trouve de même, quelquefois, dans les relations des explorateurs aussi bien que dans les Ouvrages descriptifs des contrées connues depuis longtemps, des vues pittoresques et des cartes sur lesquelles les points de vue et même l'angle visuel sont aussi indiqués, mais cette précaution, si simple cependant, est assez rarement prise et cela est à regretter, car elle éviterait souvent au lecteur la question qu'il est naturellement obligé de se faire sans cesse et la peine de chercher à y répondre.

Quoi qu'il en soit, de tout temps, les relations de voyages *illustrées* ont été les plus recherchées, et aujourd'hui plus que jamais (1). Il est incontestable, en effet, que lorsque l'on y trouve à la fois des cartes, des plans et des vues pittoresques, le récit gagne en intérêt et surtout en clarté (2).

La Géographie générale qui s'occupe des différentes contrées, de leur étendue, de leur climat, du nombre des villes ou des villages et de leurs habitants, de la division de chacune d'elles en pays de plaines, de collines ou de montagnes, de savoir si ces pays sont boisés ou non, cultivés, laissés en friches ou même arides, en d'autres termes, de la population, de la nature du sol et des productions que l'on en peut tirer,

---

(1) On sait que la vogue des publications illustrées s'est développée, il y a déjà plus de soixante ans et surtout depuis les progrès de la gravure sur bois, d'une manière on peut dire merveilleuse. La popularité de l'illustration en France peut même être précisée : elle date de la création du *Magasin pittoresque,* en 1833, par l'excellent Éd. Charton, qui publiait encore et successivement, dans le même esprit et l'on peut dire avec la même préoccupation philosophique et patriotique à la fois, une *Histoire de France,* d'après les monuments de toute nature, un choix des plus judicieux des voyages et découvertes géographiques, sous le titre de : *Voyageurs anciens et modernes,* et organisait enfin cette importante publication de journaux et de récits des voyageurs contemporains : *Le Tour du Monde,* qui forme un recueil si précieux, dont la maison Hachette a assuré le succès en ne cessant de lui donner tous ses soins, en y intéressant des artistes de grand mérite et en mettant à profit toutes les ressources des procédés nouveaux auxquels la Photographie a donné naissance.

(2) Avant l'invention de l'Imprimerie et de la gravure, les relations manuscrites des voyages étaient souvent accompagnées de miniatures enluminées qui avaient un grand charme, quoiqu'elles ne fussent pas toujours d'une vérité irréprochable. Le *Livre des Merveilles* et d'autres encore que l'on trouve à notre Bibliothèque nationale donneraient une idée souvent avantageuse de ces premiers temps de l'*illustration.*

comprend en outre l'étude détaillée des accidents du terrain, celle de la direction, de l'importance des cours d'eau, de leur navigabilité, des autres voies de communication, des travaux d'art, qui sont le principal objet de la Topographie et de la Cartographie, et qui donnent également l'occasion de fixer par le dessin, et aujourd'hui si facilement par la Photographie, le souvenir des sites, celui des vues intérieures et extérieures des villes, de l'architecture des édifices, sans parler de tout ce qui se rapporte à l'Ethnographie.

Tels sont, en effet, les renseignements et les documents que l'on rencontre dans les grands traités de Géographie, dans les Guides de plus en plus précis, enfin dans les journaux de voyage (1).

## III. — *La Géologie et les formes du terrain.*

Une science relativement nouvelle, créée à la fin du siècle dernier, d'abord en Allemagne et en France, la *Géognosie,* appelée depuis *Géologie,* et qui s'est développée avec une rapidité prodigieuse dans tous les pays civilisés, est venue à son tour provoquer l'étude plus attentive des *formes du terrain.* Les aspects pittoresques chers aux paysagistes et aux voyageurs en quête d'impressions, si nombreux aujourd'hui sous les noms de *touristes,* d'*alpinistes,* et même de *cyclistes* et d'*automobilistes*, prenaient, en effet, un tout autre caractère aux yeux de ceux qui avaient l'ambition de pénétrer les mystères de la structure du globe terrestre ou tout au moins de l'histoire de son écorce.

---

(1) Nous pourrions citer, en France, après le grand Ouvrage d'Élisée Reclus, une foule d'autres publications faites chez nos meilleurs éditeurs qui, depuis un quart de siècle déjà, mettent à contribution la Photographie sous toutes ses formes, *documents* et *procédés.* Enfin, dans ces derniers temps, on a publié un grand nombre d'Albums qui renferment les reproductions en phototypie ou en photogravure de monuments et de paysages avec lesquels, moyennant quelques indications, rien ne serait plus facile que de relever, sur les uns des points de fuite et des points de distance, sur les autres des angles qui serviraient soit à la restitution des plans et des élévations des monuments, soit à la construction des plans topographiques.

Or on peut voir, dans la plupart des Monographies concernant tel ou tel terrain, telle ou telle contrée (délimitée précisément, presque toujours, par sa nature géologique), publiées depuis un siècle, des dessins d'abord assez naïfs, ou simplement schématiques, puis exécutés avec plus d'art, souvent même avec un véritable talent (1). Ces croquis, plus ou moins habilement tracés, étaient destinés à illustrer, d'une manière particulière, les descriptions géologiques, à rendre évidentes et, dans bien des cas, à faire deviner les explications qu'ils accompagnaient (2).

Les Monographies et les Ouvrages de Géologie qui contiennent des dessins de ce genre sont désormais innombrables, et nous nous contenterons de rappeler que déjà notre grand géologue Élie de Beaumont, dans sa magistrale *Description de la Carte géologique de France*, publiée de 1841 à 1848, en collaboration avec le célèbre minéralogiste Dufrénoy, avait eu souvent recours aux vues pittoresques dans le but que nous venons d'indiquer (3).

Aujourd'hui, ce moyen d'abréger les explications et de rendre visibles, sous tous leurs aspects, les couches géologiques dé-

---

(1) Par exemple, les vues prises dans les Vosges et dans la vallée du Rhin supérieur, de Hogard; celles des volcans d'Auvergne, dans le bel Ouvrage de Poulett-Scrope, etc.

(2) Pour guider les futurs géologues, vers 1840, des leçons de *Perspective appliquée au dessin du paysage* étaient faites à l'École supérieure des Mines par l'un des plus anciens élèves de Monge, M. Girard, qui y enseignait en outre le dessin et le lever des plans; mais cette tradition artistique n'a pas été maintenue après la mort de Girard, remplacé par le savant géomètre Delaunay, qui n'a jamais su dessiner.

(3) Depuis cette époque, il a été publié en France et à l'Étranger, particulièrement en Allemagne et en Autriche-Hongrie, un grand nombre d'Ouvrages, Livres ou Mémoires, dans lesquels on a cherché à faire ressortir les relations qui existent entre la nature géologique et les formes extérieures du terrain. On a étudié aussi les causes qui ont déterminé le modelé actuel et celles qui peuvent le modifier. Nous sommes heureux de pouvoir signaler, à ce propos, deux excellents Ouvrages français parus dans ces derniers temps : *Les Formes du Terrain*, par MM. G. DE LA NOË et Emm. DE MARGERIE (Paris, Imprimerie nationale; 1888), et *Leçons sur la Géographie physique*, par M. A. DE LAPPARENT (Paris, Masson et Cie; 1896), qui mériteraient tous les deux de devenir classiques. Ajoutons que tous les Ouvrages, tous les Recueils de Mémoires sur la Géologie, publiés en France et à l'Étranger, sont actuellement ornés de nombreuses figures qui sont des reproductions de photographies de plus en plus parfaites.

nudées, leurs contournements, leurs plissements, les fractures des roches, les traces des arrachements, les dénivellations produites dans les failles, les érosions, les éboulements, les déjections, les formes géométriques qu'affectent le plus souvent les masses volcaniques, granitiques, calcaires, argileuses, schisteuses, sablonneuses agglomérées (grès) ou pulvérulentes (dunes, cordons littoraux, etc.), ce moyen, disons-nous, de mettre le lecteur (ou l'auditeur) en présence de tels ou tels accidents naturels est devenu si simple, grâce à la Photographie, que tous les Mémoires, tous les travaux des géologues, aussi bien que les reconnaissances et les récits des voyageurs, les leçons des conférenciers, sont désormais remplis à profusion de vues, d'une exactitude irrécusable, d'une vérité saisissante, et qui ont en outre cet avantage inappréciable de n'avoir pris que fort peu de temps à l'observateur.

D'un autre côté, si les vues photographiques peuvent rendre tant de services aux géologues, on devine aisément que la *science du terrain* (*Terrain Lehre, Terrainformen Lehre* des Allemands) que ceux-ci ont véritablement créée à leur tour, devra être souvent d'une grande utilité au topographe, par exemple quand il aura à construire une carte ou un plan à l'aide d'un nombre restreint de vues, sur lesquelles il lui faudra interpréter, identifier des formes géométriques altérées par la perspective; et ce secours lui sera particulièrement précieux, ainsi que nous l'avons déjà fait pressentir, quand il s'occupera du nivellement.

Nous indiquerons plus loin les précautions très simples, mais indispensables, qu'il serait désirable de voir prendre par tous ceux qui, selon l'expression de M. Courtellemont (1), voyagent l'objectif à la main, pour tirer le meilleur parti possible de tant de matériaux, de tant de documents qui vont s'accumulant le plus souvent pour l'unique plaisir des yeux, dans l'intérêt de la Géographie physique et de la Topographie de détail, mais il convient auparavant de remonter aux origines

(1) M. Courtellemont est cet avisé et hardi voyageur qui a parcouru, « l'objectif à la main », la plupart des pays musulmans et est allé, non sans danger, jusqu'à La Mecque pour faire connaître à tout le monde cette ville mystérieuse et les mœurs de ceux qui en accomplissent le pèlerinage.

des arts nouveaux que nous avons qualifiés des noms d'*Iconométrie* et de *Métrophotographie,* et qui tous les deux découlent très simplement des propriétés de la perspective et, pour tout dire, n'en font qu'un.

## IV. — *Origines de l'Iconométrie et de la Métrophotographie.*

LAMBERT ET BEAUTEMPS-BEAUPRÉ. — On a fréquemment cité les deux passages suivants de la *Notice* d'Arago *sur le Daguerréotype,* dont nous avons nous-même déjà reproduit le premier dans la note de la page 5, pour prouver que l'idée d'une application possible du nouvel art aux levers topographiques et d'architecture datait de l'époque même de la découverte de la Photographie :

« Les images photographiques étant soumises, dans leur formation, aux règles de la Géométrie permettront, à l'aide d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices. »

Et plus loin :

« Nous pourrions, par exemple, parler de quelques idées que l'on a eues sur les moyens rapides d'investigation que le topographe pourra emprunter à la Photographie (¹). »

---

(¹) C'est dans le Chapitre II de la même Notice qu'Arago avait attribué au physicien napolitain Jean-Baptiste Porta l'invention complète de la chambre obscure. Nous avons reconnu (t. I de ces *Recherches,* p. 392), d'après Libri, dont les assertions ont été confirmées encore récemment par M. Eug. Müntz, que Léonard de Vinci avait précédé Porta dans cette découverte, et nous avions même eu soin d'ajouter que l'observation des phénomènes que l'on provoque en pratiquant une ouverture dans l'un des volets d'une chambre fermée était peut-être plus ancienne encore. Nous ne nous étions pas trompé, car M. Curtze, de Thorn, constate dans le n° 4 de la *Bibliotheca mathematica* de 1898 que, dès le XIVe siècle, Lévy Ben Gerson, que nous connaissons déjà comme l'inventeur de l'arbalestrille, avait établi le principe de la chambre obscure dans un Ouvrage sur la Trigonométrie et le bâton de Jacob (arbalestrille) dont une copie existe à la Bibliothèque nationale de Paris (manuscrit latin 7293 qu'a bien voulu nous signaler M. Enestrom) : CAPITULUM TERTIUM. *In tertio Capitulo ponitur unum primum utile ad cognoscendum semidiametrum Solis et Lunæ per*

On ne saurait placer la thèse que nous entendons soutenir, que nous soutenons depuis si longtemps, sous un meilleur patronage, et l'on ne sera pas surpris quand nous ajouterons que le même pressentiment se trouvait exprimé dans le Rapport de Gay-Lussac à la Chambre des Pairs; mais il faut bien convenir que, dans les premiers temps, alors que les images étaient si péniblement obtenues sur des plaques métalliques, leur utilisation par les topographes n'eût guère été facile et, d'un autre côté, on savait bien que les images d'une certaine amplitude éprouvaient sur les bords des déformations sensibles et présentaient des défauts de netteté dues aux aberrations des objectifs.

Pour éviter ces inconvénients et dans le but de permettre des mesures plus simples et plus exactes sur les photographies, un inventeur français, Martens, imaginait, dès 1845, une chambre noire cylindrique, imitée par plusieurs autres personnes en France, en Angleterre et en Allemagne (1), avec des variantes ou de réels perfectionnements dans la construction, depuis 1858 jusque dans ces derniers temps, et sur les propriétés de laquelle nous reviendrons un peu plus loin.

On peut toutefois faire remarquer, dès à présent, que la déformation des images n'était évitée sur le tableau courbe que dans le sens horizontal; si donc on eût voulu « remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices », comme l'annonçait Arago, ou même prendre des mesures angulaires sur un paysage en pays de montagnes, on aurait pu se trouver encore exposé à commettre des erreurs appréciables, si bien qu'un autre inventeur, le célèbre Porro, en était venu, pour éviter ces dernières, nous l'avons déjà dit (t. I. p. 374), à concevoir une chambre noire sphérique qui n'a d'ailleurs jamais été réalisée et ne semblait guère réalisable.

---

*comparationem ad circulum quem describit extra suam deferentem experientiæ tempore et quantitate radiorum ipsorum quæ* PER FENESTRAS DOMORUM INTROEUNT.

(1) Garella (1858), Johnson, Harrison, Silvy (1865), Brandon, Koch, Busch, Benoist (de 1865 à 1875), et plus récemment encore Moëssard et Damoiseau.

Nous décrirons également, dans un autre paragraphe, des appareils panoramiques d'un genre particulier, destinés surtout à enregistrer les angles horizontaux sur toute la circonférence autour de la station, et nous montrerons les graves inconvénients de ce système; mais nous devons, auparavant, faire connaître les véritables origines de celui qui est désormais généralement employé.

Quelques-uns des historiens de la Photogrammétrie ou de la Phototopographie, en Allemagne et en Italie, ont cherché à découvrir dans les anciens auteurs l'idée de la restitution des plans du terrain, d'après les vues pittoresques naturelles, et ils ont cru en apercevoir le germe dans la *Perspective libre* de l'illustre géomètre Lambert (de Mulhouse), publiée à Zurich en 1759. Nous donnons ici le passage visé de cet Ouvrage, afin de ne laisser subsister aucun doute à ce sujet dans l'esprit de nos lecteurs:

« On voit facilement, dit Lambert, que *le problème de la restitution du plan au moyen de la perspective* présente une analogie complète avec celui de la Géométrie (pratique) dans lequel on se sert de la hauteur d'une maison, d'une tour ou d'une montagne comme d'une station, pour représenter en plan la surface environnante, et, pour cela, on utilise la hauteur du lieu, on mesure les angles de dépression des objets, et l'on détermine leur écartement de la méridienne (leur azimut) sur un rapporteur, ou par les angles formés avec cette méridienne..., on peut ainsi déterminer la position de ces points sur le plan absolument de la même manière que si celui-ci avait été fait sur le terrain d'après les règles de l'arpentage (1) ».

Il semble bien, d'après ce texte, ou plutôt il est évident que Lambert suppose qu'il s'agit de *restituer le plan de la surface environnante* au moyen d'une *perspective unique,* et par conséquent dans le cas d'un terrain parfaitement horizontal. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'il n'existe, à notre connais-

(1) LAMBERT, *Freie Perspective.* Zurich, 1759.

sance du moins, aucun exemple de l'application de ce principe restreint, tandis qu'en se reportant à l'invention du trait perspectif en Italie, qui date du XVI^e^ siècle, il est indubitable que le problème inverse de la mise en perspective d'un ou même de différents monuments rapprochés les uns des autres, d'après leurs plans et leurs élévations, c'est-à-dire la restitution de ces plans et de ces élévations d'après des perspectives, a été résolu depuis longtemps de la manière la plus complète. On sait, en effet, que cette solution est enseignée de vieille date dans nos écoles, et pratiquée constamment depuis plus d'un siècle, car elle était familière aux artistes attachés à l'expédition d'Égypte dont plusieurs, nous l'avons rappelé plus haut, ont fait usage de la chambre obscure (1) pour se procurer des perspectives exactes des monuments.

Nous continuerons donc, ainsi que nous l'avons déclaré si souvent, à considérer Beautemps-Beaupré comme le premier qui ait construit des *plans topographiques à l'aide de vues pittoresques prises de deux stations au moins*, et, toujours pour mettre le lecteur à même de se prononcer en connaissance de cause sur ces questions de priorité, nous allons reproduire, une fois de plus, un passage que nous avons souvent cité dans nos publications antérieures :

« Après avoir adopté, dit Beautemps-Beaupré, le cercle à réflexion pour mesurer les distances angulaires des points remarquables des côtes et avoir reconnu la possibilité d'observer *au même instant* un très grand nombre d'angles, je jugeai qu'il fallait encore chercher le *moyen le plus sûr et le plus facile de désigner les positions auxquelles appartenaient ces angles, soit qu'ils fussent pris d'une station à la mer ou* D'UNE STATION À TERRE. L'emploi des lettres de l'alphabet et des chiffres pour désigner les objets qui n'avaient point de noms conduisait, il est vrai, au but qu'il fallait s'efforcer

(1) On pourra remarquer que nous disons tantôt chambre *obscure* et tantôt chambre *noire;* nous supposons que le lecteur sait que le premier de ces deux noms est le plus ancien et que c'est depuis l'invention de la Photographie que l'on a été amené à désigner l'instrument sous le nom de *chambre noire,* en réservant celui de *chambre obscure* pour la pièce du laboratoire où l'on développe les épreuves.

d'atteindre, mais en se bornant à ce moyen, on s'exposait à commettre des erreurs d'autant plus graves qu'il n'y avait pas à espérer de vérification. *Je crois avoir trouvé la manière d'éviter ces erreurs* en faisant, à CHAQUE STATION, UNE VUE DE CÔTE où non seulement on indique par des lettres ou par des chiffres les objets les plus remarquables, mais *où l'on écrit les mesures des angles observés* ainsi que les gisements des pointes relevées les unes par les autres, l'estime des distances, etc.

« *Cette manière d'opérer, que j'ai constamment suivie, m'a procuré l'avantage d'avoir toujours sous les yeux, en construisant mes cartes, les objets tels qu'ils s'étaient présentés lors des relèvements, et bien souvent elle a servi à me faire reconnaître des erreurs qui s'étaient glissées dans les observations* (1) ».

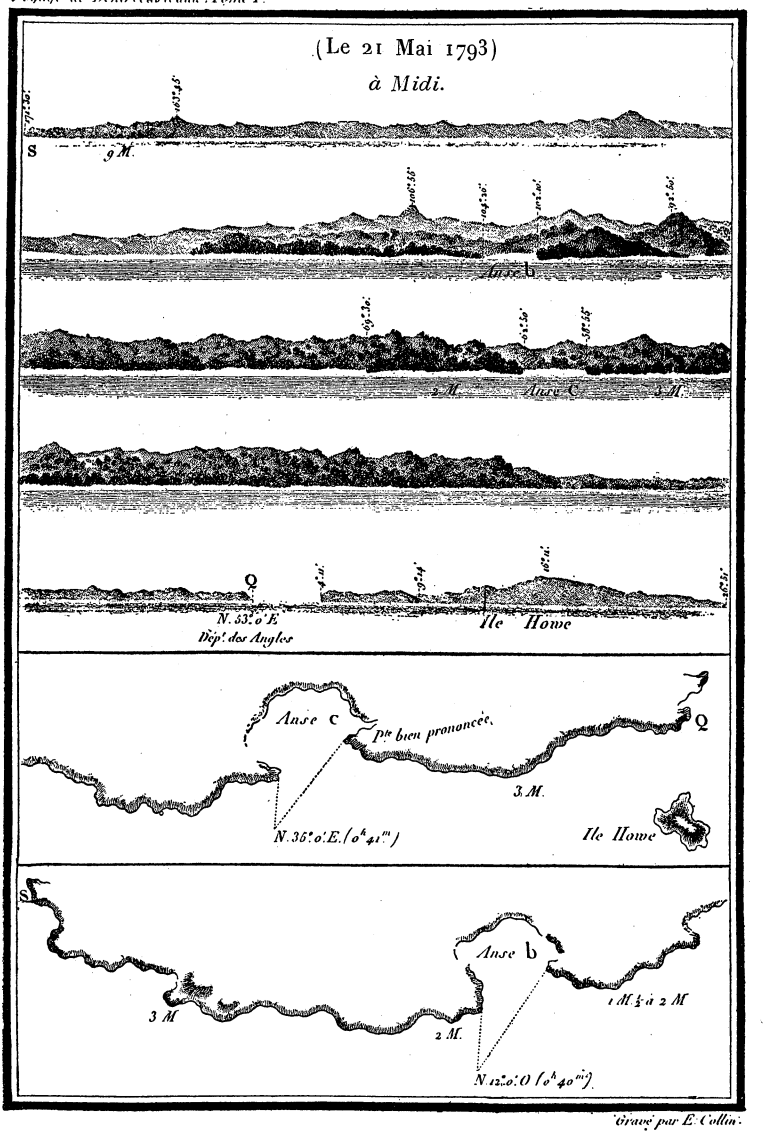
Ces dernières lignes, qui font si bien ressortir les propriétés des *perspectives dessinées,* devraient être imprimées en lettres d'or en tête de toutes les instructions données à ceux que l'on charge de travaux de reconnaissances, à terre comme en mer, car aujourd'hui, qu'ils sachent ou non tenir un crayon, ils ont la *Photographie instantanée* à leur disposition, et les vues qu'elle leur procure si libéralement et si fidèlement jouissent encore plus complètement que les autres de cette propriété inappréciable de *dénoncer les erreurs qui pourraient s'être glissées dans les observations,* on peut même dire de les éviter tout à fait, car il reste un si petit nombre d'angles à observer, avec la méthode photogra-

---

(1) *Méthode pour la levée et la construction des Cartes et Plans hydrographiques,* par BEAUTEMPS-BEAUPRÉ. Paris, Imprimerie impériale, 1811, déjà publiée en 1808.

Nous empruntons à cet important Ouvrage trois figures destinées à bien préciser en quoi consiste la méthode de Beautemps-Beaupré et à en démontrer la supériorité sur celles qui étaient en usage auparavant. La *fig.* 1 donne un spécimen des vues de côtes sur lesquelles sont inscrits les angles observés. Les deux autres représentent (*Pl. I*) la Carte de l'*Archipel de Santa-Cruz* levée par Beautemps-Beaupré, à l'aide de sa méthode, en regard de la Carte du même archipel sous le nom de *Queen Charlotte's Island,* du capitaine anglais Carteret, qui l'avait levée antérieurement par les anciens procédés de relèvement au compas.

Fig. 1.




Fac-similé réduit d'une planche de l'Ouvrage de Beautemps-Beaupré sur *la levée et la construction des cartes et plans hydrographiques.*

phique, qu'il faudrait être bien négligent ou bien distrait pour commettre des erreurs de lecture ou d'inscription.

On nous pardonnera cette digression et ces réflexions que nous appuierons en rappelant que nous n'avons pas attendu les progrès de la Photographie pour mettre en pratique, *à terre,* les conseils de Beautemps-Beaupré, car en dessinant, de 1849 à 1851, des *vues géométriquement exactes,* à l'aide de la chambre claire, nous étions arrivé à des résultats tellement satisfaisants, qu'ils nous avaient aussitôt inspiré à la fois une grande confiance dans la méthode et le désir de l'appliquer aux vues photographiées, en dépit des difficultés que présentaient alors les procédés employés sur le terrain.

Nous aurons à revenir, avec tous les détails nécessaires, sur des essais qui remontent à 1852, et qui sont incontestablement les premiers de ce genre qui aient réussi, ainsi que sur ceux qui les ont suivis, dans lesquels nous avons été habilement secondé par les officiers de la division du Génie de la Garde impériale en 1861, et surtout par M. le capitaine, depuis commandant Javary, de 1863 à 1871. Mais nous voulons auparavant passer en revue les tentatives faites, vers la même époque, par d'autres personnes, soit pour recueillir des documents destinés à construire des panoramas, soit pour poursuivre des études de Géographie physique et de Géologie, soit enfin pour lever des plans topographiques.

## V. — *Premières tentatives faites, à partir de* 1853, *pour utiliser la Photographie dans les reconnaissances topographiques.*

Pendant le siège de Sébastopol, des photographes français et anglais avaient déjà cherché à prendre des vues des travaux de défense des Russes, et le service photographique anglais, qui était régulièrement organisé, opérait même pendant les sorties et les rencontres auxquelles elles donnaient lieu (1).

(1) Ce service avait été créé d'après le conseil d'un professionnel anglais, J. Majall; le matériel ne comportait pas moins de trente-six grandes caisses avec un équipage un peu bizarre, que les soldats comparaient à une voiture

Dans l'hiver de 1855, quelques mois après la prise de la place, le colonel Langlois, ancien élève de l'École Polytechnique et le célèbre auteur de beaux panoramas militaires, s'était rendu sur les lieux pour composer celui du *Siège de Sébastopol.* Après avoir visité les travaux de l'attaque et de la défense avec le général Niel, « il levait, du haut de la tour Malakoff, dit M. Germain Bapst (d'après les documents communiqués par M. le baron Larrey, de l'Institut), au moyen d'appareils photographiques, les *plans* des positions occupées par les armées et *appliquait ainsi, pour la première fois, la Photographie à la levée des plans panoramiques* (1). »

L'expression de *plan panoramique* ne saurait être confondue toutefois avec celle de *plan topographique.* Le colonel Langlois n'avait nullement besoin de songer à faire une restitution du plan des travaux du siège, déjà exécuté avec le plus grand soin par les officiers du Génie et par les méthodes ordi-

---

d'ambulance et une machine à prendre les bains (*ambulance van and a bathing machine*). Le personnel se composait de deux enseignes, MM. Brudow et Dawson, exercés expressément à la Photographie et placés sous les ordres du capitaine Foulke, sans parler des auxiliaires. Des copies des épreuves obtenues étaient jointes aux rapports des généraux et expédiées à Londres où le Ministre de la Guerre, Lord Panmure, les consultait avec beaucoup d'intérêt. Aussi, en dépit des difficultés que présentait alors la pratique de la Photographie, celle-ci fut introduite dans l'enseignement des écoles militaires, notamment à Woolwich, puis employée en 1857-1858 pendant l'insurrection indienne, dans la guerre de Chine en 1860, pendant la campagne en Abyssinie en 1868, etc. (a). Il convient de faire remarquer qu'il ne s'agissait encore que de vues pittoresques, remplaçant avantageusement d'ailleurs les dessins ou les croquis, que l'on consultait utilement, mais sur lesquelles on n'effectuait aucune mesure précise.

L'armée française fit également usage de la Photographie en Italie, où il avait été question de créer un corps spécial, puis au Mexique, mais toujours en recourant à des auxiliaires civils improvisés et en ne se servant que très accidentellement de leurs épreuves, sans les rattacher aux cartes existantes ou aux reconnaissances topographiques, sans les faire concourir à corriger celles-ci ou à les compléter.

(1) *Essai sur l'histoire des Panoramas et des Dioramas,* par Germain Bapst (*Extrait des Rapports du Jury international de l'Exposition universelle de* 1889). Paris, Imprimerie nationale; MDCCCXCI.

(a) Renseignements en partie empruntés à l'Ouvrage intitulé : *Die Anwendung der Photographie zu militärischen Zwecken,* bearbeitet von Kiesling. Halle, 1896.

L. S.

naires, précisément sous la direction du général Niel (1). Il ne s'agissait, en effet, pas du tout du plan proprement dit, mais d'une succession de vues embrassant le panorama que l'on découvrait de la tour Malakoff. Il n'y avait là, en réalité, rien de nouveau que l'emploi très naturel de la Photographie substitué au dessin d'après nature que le colonel Langlois avait jusqu'alors employé avec un rare talent (2). La chambre noire cylindrique de Martens, qui était connue depuis dix ans, aurait trouvé là son application la plus naturelle.

Quelques années plus tard, vers 1858, un médecin de la marine, le Dr Chevallier, imaginait une sorte d'appareil panoramique auquel il donnait le nom de *planchette photographique*, et qu'il destinait spécialement au lever des plans. Nous en parlerons plus en détail en traitant précisément la question du choix de l'appareil photographique, mais nous pouvons dire dès à présent que cet instrument n'a donné et ne pouvait donner que des résultats peu satisfaisants, à cause de la déformation excessive des images, auxquelles il eût été tout à fait vain de recourir (on le verra par les spécimens que nous reproduirons par la suite) pour se faire une idée de l'aspect véritable et du relief du terrain.

---

(1) *Siège de Sébastopol. Journal des opérations du Génie,* par le général NIEL. Paris, 1858; in-8° avec planches.

(2) Peut-être, pour se rendre compte d'un seul coup d'œil de l'effet général, le colonel Langlois, comme Baker, l'inventeur des panoramas, rabattait-il circulairement les vues successives et dessinait-il la *perspective rayonnante* dont il sera question plus loin et que l'on peut, à la rigueur, qualifier de *plan panoramique.*

Pour tout ce qui concerne l'exécution actuelle des panoramas et le rôle qu'y jouent la Perspective et la Photographie, on consultera avec le plus grand intérêt l'excellente brochure de M. Germain Bapst; on y verra, notamment à propos des Panoramas de MM. de Neuville et Detaille, comment ces grands artistes, ménagers de leur temps, ont su habilement mettre à profit les ressources de la Photographie, les agrandissements, etc., pour l'exécution du fond du tableau, c'est-à-dire du paysage, en réservant tout l'effort de leur talent pour la composition et la mise en place de leurs figures. Nous pourrions ajouter, de notre côté, que les mêmes procédés sont très habilement employés dans la composition de ses beaux panoramas par M. Poilpot. — Il ne faut pas oublier, d'ailleurs, que c'est à l'habitude qu'avait Daguerre de dessiner à la chambre obscure pour faire ses dioramas qu'il dut d'entrer en relations avec Niepce et de prendre part à la découverte de la Photographie.

## VI. — *Tentatives faites à la même époque, pour utiliser la Photographie dans les reconnaissances orographiques et géologiques.*

A la même époque, c'est-à-dire en 1858, un ancien officier du Génie, Aimé Civiale, commençait, avec des appareils de la forme ordinaire, de grandes dimensions et munis d'organes de précision, une série de travaux sur l'importance desquels il convient d'insister, car ils sont les premiers de ce genre qui aient été entrepris, en ouvrant une voie féconde.

Il s'agissait, en effet, d'appliquer la Photographie à l'étude de la constitution physique et géologique des hautes montagnes. Après de premiers essais faits dans les Pyrénées, le courageux et habile opérateur n'hésitait pas à entreprendre l'exploration méthodique de toute la chaîne des Alpes suisses, françaises, italiennes et autrichiennes (1). Partout Civiale s'attachait à déterminer, d'une part, la nature géologique des roches et, de l'autre, l'orientation et la situation exacte, sur la carte, des vues panoramiques qu'il allait prendre le plus souvent à de très grandes altitudes.

On se fera une idée du mérite et des difficultés de cette entreprise pour peu que l'on veuille se souvenir qu'à l'époque dont il s'agit, de 1858 à 1868, il fallait employer en pareilles circonstances le papier ciré sec et des appareils de grandes dimensions, les manipulations du collodion humide étant à peu près impraticables et les glaces en général trop fragiles (2), enfin les épreuves ne pouvant pas subir, comme aujourd'hui, des agrandissements sensibles. Le format qu'il avait adopté

---

(1) Il devait y consacrer dix années de sa vie et des sommes considérables. Aussi croyons-nous devoir donner quelques détails sur cette œuvre de dévouement dont les résultats dépassaient de beaucoup tout ce qui avait été tenté ou même pressenti jusqu'alors dans cet ordre d'idées.

(2) Deux opérateurs français, très habiles et très entreprenants, les frères Bisson, avaient cependant fait, d'un autre côté, d'assez nombreuses ascensions, en se chargeant de plaques de grandes dimensions et de tout l'attirail nécessaire pour l'emploi du collodion humide, mais ils n'avaient pas persévéré pendant bien longtemps.

était celui de $30 \times 40$ dont il sacrifiait les bords et qui se trouvait réduit à $27 \times 38$.

Les travaux de Civiale soumis, année par année, à l'Académie des Sciences, ont reçu la haute approbation des juges les plus compétents (1); il les a résumés dans un Ouvrage où l'on peut découvrir un premier et large sillon dans le champ de la *Photogéologie*, dont il sentait bien que celui de la *Topophotographie* était inséparable, mais en même temps trop vaste pour qu'il pût l'aborder à lui seul et avec ses propres ressources (2).

Si Civiale n'avait pas eu la prétention irréalisable de construire la Carte générale des Alpes (celle qu'il a dressée pour résumer ses études était déduite des Cartes d'État-Major des quatre pays traversés ou limités par la grande chaîne), ses panoramas n'étaient pas moins exécutés avec un appareil et dans des conditions de précision tels qu'ils lui permettaient de faire de nombreuses vérifications et souvent de constater et de corriger des erreurs.

« Dans chaque station, dit le Rapporteur de la Commission de l'Académie, composée de MM. Regnault, Daubrée et Ch. Sainte-Claire Deville, dans la séance du 16 avril 1866, on a consigné exactement la position et l'orientation de l'axe optique de l'appareil, on a mesuré barométriquement l'altitude, noté l'angle dans lequel le panorama est compris et déterminé, à l'aide d'un goniomètre fort simple, imaginé par l'auteur, les angles verticaux des différents sommets au-dessus de la station. Il sera alors facile, avec l'épreuve photographique et une carte topographique détaillée, de connaître les coordonnées de chaque sommet ou d'un point intéressant par rapport au plan horizontal qui passe par la station. »

Civiale, aussi passionné géologue que vaillant alpiniste et habile photographe, recueillait partout des échantillons de

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXII, 1866, p. 873, et t. XCIX, 1882, p. 1074.

(2) *Les Alpes au point de vue de la Géographie physique et de la Géologie*. Paris, J. Rothschild; 1882.

roches et notait sur chaque épreuve la nature du terrain qui s'y trouvait représenté. Pour les sept années consécutives de 1859 à 1866 dont il était rendu compte dans les Rapports de Ch. Sainte-Claire Deville, l'ensemble de ses travaux photographiques comprenait 25 grands panoramas de 14 vues chacun; le champ de l'appareil était de 30° seulement et le nombre des épreuves un peu supérieur au strict nécessaire pour faciliter les raccordements) et 450 vues de détail.

L'Ouvrage dans lequel Civiale a résumé ses travaux, publié seulement en 1882, contient 14 héliogravures qui sont des réductions données comme spécimens des photographies de l'auteur, toutes très remarquables par le choix du point de vue et de l'éclairement du terrain, dont la collection est déposée dans les archives de l'Académie des Sciences (1).

A l'occasion de ces études orographiques par la Photographie, nous mentionnerons encore les vues que le professeur Bardin faisait prendre, à peu près à la même époque, de plusieurs stations convenablement réparties dans le massif du mont Blanc pour l'aider à compléter les renseignements contenus dans la nouvelle et remarquable Carte du commandant Mieulet dont il voulait se servir pour exécuter le modèle en relief du Géant des Alpes. Malheureusement cette œuvre intéressante a été interrompue par la mort du savant homme qui était en même temps un véritable artiste. Nous verrons d'ailleurs que le mont Blanc n'a pas cessé d'être exploré photographiquement et dans des conditions encore plus favorables par d'autres investigateurs du plus grand mérite.

---

(1) Civiale avait fait reproduire en phototypie et en vraie grandeur toutes ces épreuves et en avait distribué un assez grand nombre d'exemplaires à ses amis et aux savants qui s'intéressaient à ses études. Pour donner une idée de l'intérêt que présentait cette œuvre vraiment merveilleuse, eu égard à la date à laquelle elle a été entreprise et poursuivie, nous donnons la réduction en demi-grandeur de l'une des 450 vues de détail dont il est fait mention dans le Rapport de l'Académie, et nous ajoutons qu'elle a été prise pour ainsi dire au hasard, dans la collection que nous tenons de Civiale, car elles sont toutes excellentes. (Voyez *Pl. II.*)

## VII. — *Premiers essais de Photographie en ballon et plus tard au moyen de cerfs-volants.*

Après une première tentative infructueuse faite en 1856, la même année 1858, déjà souvent citée, voyait s'accomplir une nouvelle merveille de la Photographie qui parut cependant alors peu sérieuse et fit sourire bien des gens, son auteur étant allé jusqu'à dire qu'il pourrait faire en ballon et en très peu de temps une Carte de France plus complète et plus exacte que celle de l'État-Major, et même le Cadastre de tout le pays. Nous voulons parler de la vue, bien décidément à *vol d'oiseau,* de la région de l'arc de triomphe de l'Étoile et de Neuilly déjà très nette et très intéressante qu'avait prise Nadar de la nacelle du ballon captif de Godard alors installé au plus ancien Hippodrome.

On sait les progrès réalisés par les aéronautes photographes depuis que l'on peut opérer instantanément, et nous y reviendrons plus loin en montrant par quelques exemples frappants que la prétention, sans doute exagérée, de Nadar n'était cependant pas de tout point aussi extravagante qu'elle avait pu le paraître d'abord.

En attendant, nous donnons (*Pl. III*), à titre non seulement de curiosité mais de document historique, une reproduction de cette première photographie aérienne.

Les ballons ne sont plus d'ailleurs les seuls engins dont on puisse se servir pour élever dans l'air l'appareil photographique à une hauteur suffisante, permettant d'embrasser de grandes étendues de terrain et d'en faire une rapide reconnaissance; nous aurons, en effet, à signaler des résultats aussi remarquables qu'imprévus obtenus, à l'aide de simples cerfs-volants, par deux ingénieux inventeurs, MM. Arthur Batut, de la Bruguière (Tarn), et Wentz, de Reims.

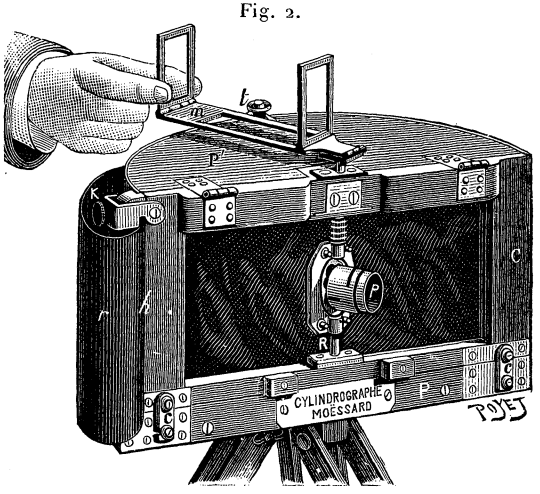
Nous verrons enfin que les principes généraux de la Métrophotographie n'ont pas été seulement appliqués à la Topographie et à la Géographie physique, mais à d'autres arts et à

d'autres sciences, principalement à la Météorologie et à l'Astronomie.

## VIII. — *Appareils et méthodes essayés ou proposés.*

Chambres noires cylindriques ou sphériques. — Nous pourrions, à la rigueur, nous dispenser de nous arrêter à l'examen de ces divers appareils, puisque la méthode universellement adoptée aujourd'hui est celle qui s'applique aux images sur tableaux plans, habituellement verticaux, des chambres noires ordinaires ; mais il n'est peut-être pas sans intérêt d'entrer, à ce sujet, dans quelques détails, certains de ces appareils étant

Fig. 2.




Cylindrographe Moëssard.

assurément très ingénieux, et d'expliquer pourquoi, après les diverses tentatives que nous avons mentionnées à leur date et qui ont été renouvelées à plusieurs reprises, les opérateurs ont toujours fini par revenir à l'ancienne chambre noire, qui est la plus simple.

La première idée qui était venue à l'esprit des inventeurs avait été, on le sait déjà, celle des chambres cylindriques dont

nous donnons (*fig.* 2) une figure du type le plus récent et le plus perfectionné.

On cherchait ainsi, avons-nous dit, à éviter, au moins dans le sens horizontal, les déformations dues à l'objectif et à exécuter le panorama entier sur un petit nombre d'épreuves, trois au plus, enfin à avoir sur la ligne d'horizon circulaire, devenue rectiligne après le déroulement, sur une surface plane, des images cylindriques, une graduation en parties égales pour mesurer des angles égaux correspondants, et sur des parallèles à cette ligne, les points situés à la même hauteur angulaire par rapport à l'horizon.

Dans ces derniers temps même, grâce à la sensibilité des pellicules impressionnées et à leur flexibilité, à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie ou même en conduisant à la main un appareil très bien conçu, appelé *Cyclographe,* son inventeur, M. Damoiseau, est parvenu à obtenir d'un seul coup un tour d'horizon entier, dont les images sont très nettes, et jouissent naturellement des propriétés qui résultent de la forme cylindrique engendrée par la révolution de l'appareil.

Ces propriétés, que nous venons d'énumérer, ne sauraient cependant compenser les inconvénients que présenterait l'emploi des vues dont il s'agit, déroulées pour les aplanir, dans la construction des plans.

Avant d'aller plus loin, rappelons que les déformations produites par les objectifs sont devenues insensibles sur les tableaux plans pour des amplitudes très grandes, puisqu'elles atteignent facilement 90° et au delà, en sorte qu'à la rigueur on pourrait faire le tour de l'horizon avec quatre épreuves [au lieu de trois, avec les appareils cylindriques ordinaires (1)].

Mais il est rare que l'on ait besoin de ces tours d'horizon complets; et d'ailleurs, dans la pratique, c'est-à-dire quand on

(1) Il y a bien des moyens, connus de tous les photographes, de vérifier les propriétés des bons objectifs aplanétiques. Pour les mettre en évidence d'une manière frappante sur l'un de ceux que nous avons adaptés à nos phototh éodolites, nous avions pris, du Champ-de-Mars et du balcon de la galerie centrale des palais de 1889, une vue générale des galeries latérales et des promenoirs couverts qui présentaient une série de lignes droites de grandes longueurs, dans un champ de plus de 90°, sur lesquelles une règle peut être exactement appliquée d'un bout à l'autre.

en vient à construire les plans, il faut éviter de dépasser l'amplitude de 60°, limite déjà élevée pour l'opérateur, qui ne cesse pas d'être un spectateur, et dont l'attention serait fatiguée s'il avait à embrasser d'un seul coup d'œil de trop grandes étendues angulaires.

Il est à noter, à ce propos, que les épreuves obtenues dans les chambres cylindriques et, à plus forte raison, sur les surfaces flexibles du Cyclographe devant être développées sur toute leur étendue, il devient indispensable de les fractionner, de les découper en morceaux pour les examiner et les orienter, quand on veut les utiliser en Topographie.

D'un autre côté, la conservation de la grandeur des angles horizontaux ne présente aucun avantage sérieux, ou plutôt donne lieu à un inconvénient, car elle suppose et exige même que l'on fasse des *lectures*, alors que la méthode employée avec les vues sur tableaux plans les supprime complètement et avec elles les erreurs qu'elles occasionnent si souvent (1).

Enfin, et c'est peut-être la considération la plus sérieuse à invoquer en faveur des images familières de la chambre noire ordinaire, la théorie de la perspective a été faite pour elles, ou du moins pour les vues dessinées sur des tableaux plans dont elles ne diffèrent en aucune façon, et il ne serait pas aisé de l'étendre aux panoramas cylindriques. Or cette théorie sera toujours d'un très grand secours, non seulement quand il s'agira de la restitution des plans de monuments d'architecture, mais dans bien d'autres cas dont nous nous occuperons à l'occasion, au nombre desquels nous pouvons déjà citer celui des paysages renfermant des lacs, des côtes baignées par la mer ou même des cours d'eau à faibles pentes (2).

---

(1) C'est le cas de signaler, dès à présent, l'analogie de la méthode dont il s'agit et de celles qui s'appliquent avec la planchette ordinaire, qui a été imaginée précisément pour éviter la lecture des angles que l'on trace immédiatement, au lieu d'avoir à les mesurer et à les rapporter, c'est-à-dire à faire deux opérations mentales successives dont chacune peut être une cause d'erreur.

(2) Le tracé des bords du lac ou de la mer ou celui des deux rives des cours d'eau peuvent être, en effet, obtenus très rapidement, à l'aide d'une seule épreuve, soit par points, soit en craticulant, comme nous l'expliquerons ailleurs, et ces procédés sont impraticables avec les panoramas cylindriques.

Ajoutons que l'on peut avoir besoin d'incliner les appareils; c'est ce que l'on fait notamment presque toujours en ballon, et alors encore les règles de la perspective plane s'appliquent aisément et efficacement.

Nous ne dirons que quelques mots de la chambre sphérique projetée par Porro, dont il n'a donné qu'une idée très vague et qui n'a pas été réalisée. L'inventeur croyait, ou plutôt supposait que les déformations dues aux objectifs ne permettaient même pas d'atteindre une amplitude de 10° sur les tableaux plans, ce qui eût obligé de porter à 36 au moins (il parlait même de 50!) le nombre des épreuves nécessaires pour faire le tour de l'horizon. Il s'est également inquiété des déformations dans le sens vertical, et c'est ce qui l'avait conduit à adopter la forme sphérique. Comme avec les chambres cylindriques, il comptait effectuer le tour de l'horizon en trois poses et, sans être jamais entré dans d'autres détails, il prétendait qu'il relèverait tous les angles dont il aurait besoin sur ses clichés, non développables, bien entendu, au moyen d'un petit théodolite spécial (*di tavolino*), ajoutant qu'il opérerait ainsi dans le cabinet, comme il l'aurait fait sur le terrain, mais bien plus à son aise, avec une grande exactitude et une rapidité singulière. Tout cela, il faut en convenir, ressemblait à un rêve qui, nous le répétons, n'a jamais été réalisé et peut être considéré comme irréalisable.

Il est certain, dans tous les cas, que le Mémoire de Porro, qui date de 1863, est resté à l'état de lettre morte, aussi bien dans son pays qu'ailleurs. Il est bien probable, au surplus, que, s'il eût vécu un peu plus longtemps, il se serait vu obligé de revenir de ses préjugés, en présence des progrès accomplis dans la construction des objectifs *aplanétiques* et *rectilinéaires* et qu'il aurait reconnu les avantages des images planes.

## IX. — *Appareils et méthodes essayés ou proposés* (Suite).

Panoramas rayonnants. — L'appareil du Dr Chevallier était tout à fait différent de ceux qui viennent d'être mentionnés

et s'éloignait beaucoup plus encore de la forme ordinaire de la chambre noire des photographes.

Avec la *planchette photographique*, il ne s'agissait plus, en effet, d'obtenir une perspective conique sur un tableau plan, cylindrique ou sphérique, mais bien d'opérer la transformation de la perspective panoramique du tour d'horizon entier en la ramenant sur une surface horizontale.

L'idée de cette transformation ou, pour mieux dire, de cette anamorphose remontait au moins à 1827, époque à laquelle le savant géodésien Puissant avait imaginé, pour la réaliser, un instrument qu'il désignait sous le nom de *Panoragraphe* (1).

Le professeur Bardin, qui fut pendant longtemps chef des travaux graphiques à l'École Polytechnique, et dont la science, l'habileté manuelle et le goût sont restés proverbiaux, avait fait à Metz, sur le mont Saint-Quentin et de la butte de Charles-Quint comme point de vue, un essai tout à fait remarquable de ce genre de *perspective rayonnante*, comme on l'a justement qualifiée.

Nous ne pensons pas pouvoir mieux faire, pour mettre le lecteur à même de juger favorablement la perspective rayonnante, que de donner (*Pl. IV*) une réduction du charmant dessin de Bardin qui en est le spécimen le plus intéressant que nous connaissions.

On y remarque, tout d'abord, que les verticales déterminées, par exemple, par la direction habituelle des tiges des arbres, concourent au centre du tableau, et pour peu que l'on veuille y réfléchir, on se rendra compte des difficultés qu'avait présentées la transformation effectuée par Bardin d'un panorama cylindrique *développé*, préalablement exécuté, à sa demande, par un artiste de beaucoup de talent, M. Gaillot, alors attaché à l'École d'application de Metz. Nous ne sachions pas que cette œuvre de patience si réussie ait été répétée.

---

(1) L'invention des panoramas, généralement attribuée à l'Anglais Baker et qui remonte au siècle dernier, avait conduit à l'exécution préparatoire de vues rayonnantes ou en rabattement circulaire, dont on trouvera des spécimens dans l'Ouvrage de M. Germain Bapst, cité plus haut : *Essai sur l'Histoire des Panoramas et des Dioramas*. Mais cette manière de figurer des tours d'horizon, pris particulièrement de points élevés, avait été ima-

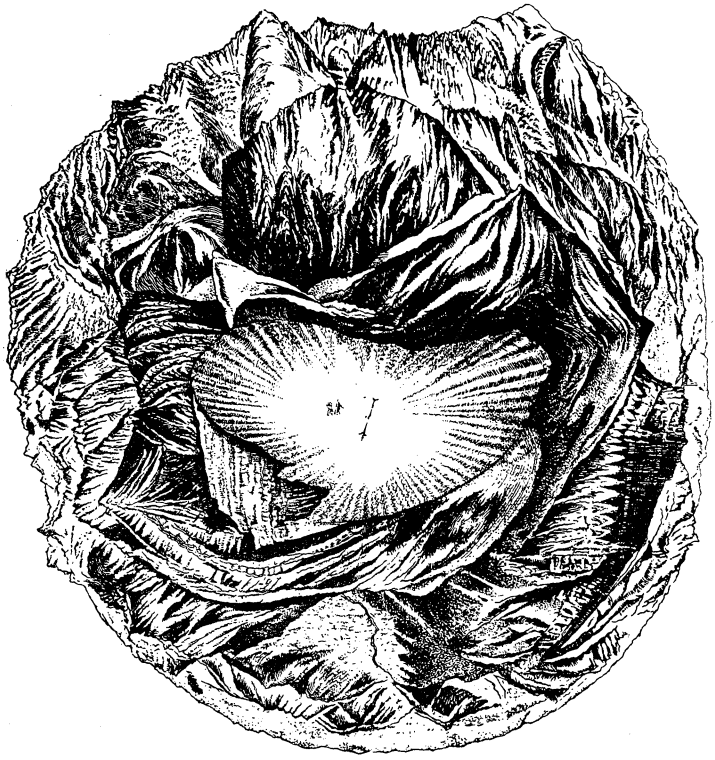
Le Panoragraphe de Puissant avait pour objet de permettre de dessiner directement et sans peine, par parties successives, les vues anamorphosées, et la planchette du Dr Chevallier atteignait le même but photographiquement.

L'un et l'autre de ces instruments étaient basés sur le principe de l'ancienne chambre obscure de campagne, composée d'un miroir plan ou d'un prisme à réflexion totale et d'un

---

ginée indépendamment par d'autres personnes et dans un autre but. Nous donnons, comme exemple, une vue panoramique rayonnante des environs

Fig. 3.

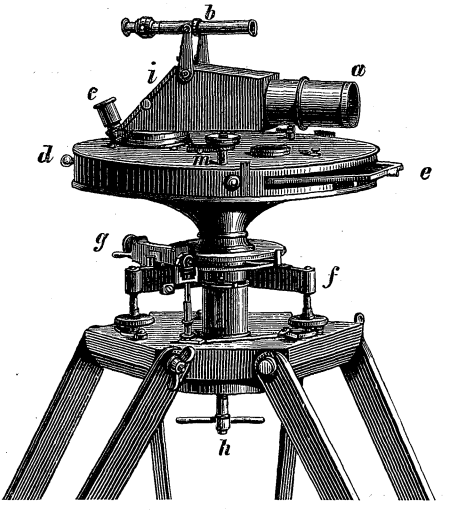


du mont Blanc, dessinée du sommet du Buet par l'illustre naturaliste de Saussure (*fig.* 3).

objectif qui donnait l'image partielle du paysage sur une tablette horizontale.

Dans l'appareil Chevallier (*fig.* 4), cette image était limitée à un secteur très étroit par un écran à lames mobiles autour du centre de la planchette, que l'on pouvait, par conséquent, rapprocher ou écarter. En faisant tourner tout le système

Fig. 4.



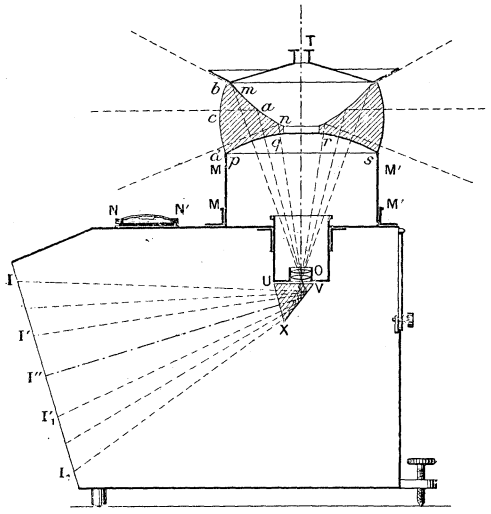

Planchette photographique du Dr Chevallier.

optique autour de l'axe de l'objectif qui passait par le centre, on parvenait à découvrir et à enregistrer successivement les différentes parties du paysage sur la tablette fixe.

Un appareil analogue, mais plus savamment combiné, le *Périgraphe instantané* du colonel Mangin (*fig.* 5) est formé d'un miroir torique à réflexion totale, d'un objectif placé sur le même axe vertical et à une distance convenable, enfin, d'un prisme également à réflexion totale disposé immédiatement au-dessous de l'objectif et servant à la fois à retourner l'image et à la projeter latéralement sur la plaque sensible disposée parallèlement à la face de sortie du prisme et au foyer dévié de l'objectif.

La forme du méridien du tore, qui est l'organe vraiment original de ce système, a été très habilement déterminée par l'auteur, et les images obtenues d'un seul coup sont d'une bien plus grande netteté que celles de l'appareil Chevallier, dont les éléments successifs empiètent nécessairement les uns

Fig. 5.




Périgraphe instantané du Colonel Mangin.

LÉGENDE :

*man*, profil de la surface torique fonctionnant par réflexion totale; — *bcd*, profil de la surface d'entrée des rayons lumineux; — *pqrs*, surface sphérique de sortie des rayons réfléchis ayant pour centre le centre optique O de l'objectif photographique; — UVX, prisme à réflexion totale, isoscèle en U, placé sous l'objectif O; — II' $I_1$ $I'_1$, écran sur lequel se forme l'image annulaire panoramique dont la largeur est II' ou $I_1 I'_1$; — T, petit trou ménagé au sommet du couvercle de l'appareil pour faire apparaître le centre I'' de l'image panoramique sous forme d'un point blanc; — MM M'M', manchon cylindrique fixé à la base de la surface sphérique *bcd* du miroir torique et supportant ce miroir sans intercepter aucun rayon lumineux utile; — NN', niveau à bulle d'air pour assurer la verticalité de l'axe de révolution du miroir.

sur les autres. Nous donnons, d'ailleurs, des spécimens des perspectives rayonnantes des deux systèmes, qui permettront de les comparer (*Pl. V*).

La propriété caractéristique de ces perspectives est évidemment de donner, *sans lecture et sans aucune opération gra-*

*phique*, les angles compris entre les plans verticaux des différents points du panorama.

L'enregistrement des projections des rayons visuels, que l'on effectuait une à une et en petit nombre sur l'antique planchette circulaire, à laquelle on est ainsi ramené, se trouve, en effet, réalisé pour tous les points visibles de la station, et il n'est pas nécessaire d'insister sur ce que ce résultat a de séduisant au premier abord.

Pour le nivellement, on comprend aussi facilement que les points situés aux mêmes hauteurs angulaires se trouvent sur des cercles concentriques, et que la ligne d'horizon est elle-même un de ces cercles dont le centre commun est naturellement celui de la perspective.

Mais, malgré cette simplicité apparente de la disposition des perspectives rayonnantes et de l'emploi que l'on en pouvait faire, malgré la faveur avec laquelle plusieurs personnes autorisées avaient accueilli la planchette photographique (1), enfin, malgré le mérite réel de la solution élégante du même problème donnée par le colonel Mangin, on n'a pas tardé à reconnaître que les images ainsi obtenues étaient de simples curiosités dont on ne pouvait tirer aucun parti, les anamorphoses qu'elles présentent devenant même déconcertantes dans la plupart des cas. Aussi ne faudrait-il pas songer à les comparer aux vues régulièrement tracées sur des tableaux plans pour l'étude des formes du terrain et le tracé des courbes de niveau (2).

A peine est-il nécessaire d'ajouter que des vues circulaires, en forme d'anneau ou de cocarde, seraient peu propres à servir d'illustrations, et qu'elles désorienteraient à chaque instant le spectateur, à moins de s'astreindre, comme l'avait fait

(1) Viollet-le-Duc, d'Abbadie, plusieurs officiers du Génie, s'étaient faits les parrains de la planchette photographique du Dr Chevallier et lui avaient donné une notoriété passagère.

(2) Certains officiers, attachés à divers titres au Service géographique de l'Armée, n'en ont pas moins prôné le périgraphe instantané et sont allés jusqu'à déclarer qu'il résolvait le problème de la Phototopographie. Au fond, ils ne le pensaient pas, et cela leur servait simplement à reculer encore l'emploi d'une méthode qu'ils avaient condamnée sans avoir pris la peine de l'étudier et surtout de l'expérimenter.

Bardin, à placer dans la partie centrale libre de chaque image, c'est-à-dire pour chaque station, le fragment de carte correspondant. (Voy. *Pl. IV.*)

En un mot, les dernières tentatives dont nous venons de rendre compte, si ingénieuses qu'elles soient, doivent être considérées simplement comme les solutions de problèmes d'Optique plus ou moins intéressants, mais conduisant à des résultats inadmissibles dans la pratique.

Indépendamment des critiques précédentes, nous ferons encore remarquer que, au point de vue géométrique, les images concentrées, condensées dans un anneau de peu d'étendue, sont telles que les lignes de visée et de construction y sont très courtes.

Tandis qu'avec les vues ordinaires simplement rabattues autour de leur ligne d'horizon, comme on le verra bientôt, les constructions s'opèrent habituellement à l'intérieur, c'est-à-dire entre le point de vue et l'image, il faudrait en général, avec les vues rayonnantes, prolonger les lignes de visée à l'extérieur, et, par conséquent, augmenter les erreurs graphiques.

## X. — *Propriétés et avantages des images sur tableau plan.*

Conditions essentielles imposées aux objectifs. — Les appareils photographiques ordinaires, beaucoup plus simples que tous ceux dont il vient d'être question, ont le très grand avantage de produire des vues en tout semblables à celles qu'ont exécutées de tout temps les peintres et les dessinateurs. Le centre optique de l'objectif, qui est le point de vue de la perspective, étant supposé projeté perpendiculairement sur le plan du tableau et sa distance à ce tableau (distance focale principale de l'objectif) invariable et exactement déterminée, si celui-ci est bien vertical, et que l'appareil soit muni des organes d'observation et de rectification habituels des instruments de Topographie pour le régler et pour prendre quelques mesures destinées à rattacher les vues entre elles,

rien n'est plus facile que de se servir de celles-ci pour construire des plans par la méthode des intersections. Il y a toutefois une condition essentielle à imposer aux objectifs, c'est qu'ils soient construits de façon à ne produire aucune déformation sensible dans toute l'étendue utilisée de l'image photographique.

Cette condition remplie, il est aisé de voir que l'on se trouve en présence de perspectives, dont les propriétés sont bien connues, et l'on peut s'attendre, par conséquent, en les employant, à obtenir des résultats plus exacts et plus complets que ceux que l'on pouvait relever sur des dessins exécutés à vue avec quelques angles mesurés et inscrits entre les points les plus remarquables (*fig.* 1), dont Beautemps-Beaupré avait cependant su tirer un si grand parti.

Les vues de Beautemps-Beaupré se trouvaient, en effet, dans les mêmes conditions que les panoramas cylindriques dont nous venons de nous occuper; il fallait *lire et rapporter* les angles, et les vues servaient seulement à rectifier, à prévenir les erreurs de lecture, les positions relatives des points observés y étant conservées et guidant l'opérateur.

PREMIERS PROGRÈS DE LA MÉTHODE DUS A L'EMPLOI DE LA CHAMBRE CLAIRE. — Un progrès sensible, décisif, pourrions-nous dire, a donc été fait quand, nous avisant, en 1849, de recourir à la chambre claire, nous avons substitué, pour les opérations faites à terre, aux dessins à vue toujours plus ou moins incorrects, des images rigoureusement géométriques tracées sur un tableau plan vertical, et dans une position parfaitement déterminée par rapport au point de vue, rappelant la glace ou la gaze des premiers peintres qui ont étudié la perspective.

Nous supprimions, en effet, ainsi les lectures d'angles, par conséquent les erreurs qui peuvent en résulter, et jusqu'à la préoccupation de ces erreurs.

AJOURNEMENT TEMPORAIRE DE L'EMPLOI DE LA PHOTOGRAPHIE. — Nous avions bien aussitôt pensé à la Photographie; mais, d'une part, les aberrations de l'objectif limitaient alors le champ de l'épreuve à 30° au plus, — et c'est ce qui avait fait

imaginer les appareils cylindriques, dont personne ne s'est d'ailleurs servi couramment pour faire de la Topographie, — et, d'un autre côté, les manipulations étaient encore si délicates que nous avions jugé qu'il valait mieux attendre et commencer par étudier la méthode des perspectives à l'aide d'un instrument à la fois simple et précis, qui donne sans peine, sur un tableau plan, des images d'une amplitude de plus de 60° absolument sans déformations. La position de ce tableau à une distance de l'œil qui est celle de la vue distincte, — de $0^m,25$ à $0^m,30$ par conséquent, — procurait d'ailleurs des *lignes de visée* d'une longueur comparable à celle de l'alidade de la planchette. Ces conditions réunies permettaient donc d'appliquer aux reconnaissances faites à terre, et sûrement encore avec plus de succès, l'ingénieuse méthode imaginée par Beautemps-Beaupré pour la reconnaissance des côtes.

## XI. — *Principes généraux de la perspective.*

Définition. — Avant de donner la description de la chambre claire, et d'indiquer la manière d'utiliser les vues que cet instrument permet de dessiner correctement et assez rapidement, il convient de rappeler quelques définitions et les principes généraux de ce que l'on est convenu d'appeler le *trait de perspective,* dont nous aurons l'occasion de faire usage aussi bien avec les vues photographiées qu'avec les vues dessinées (1).

Il doit être entendu, tout d'abord, que nous ne recourrons qu'à la perspective conique obtenue sur un tableau plan, le plus ordinairement vertical.

La figure suivante (*fig.* 6) permet de suivre facilement les autres définitions quand on sait que l'on appelle *perspective conique* ou *centrale* (2) le dessin laissé sur une surface inter-

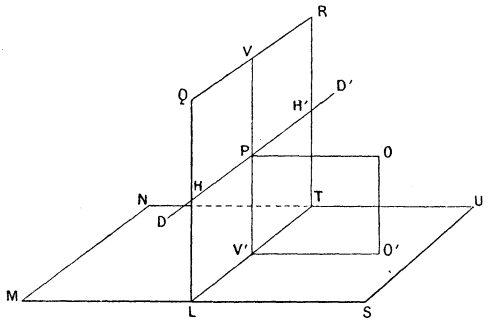
(1) Le lecteur familiarisé avec la pratique de la perspective peut se contenter de parcourir rapidement les deux ou trois paragraphes suivants destinés surtout à guider les opérateurs plus novices.

(2) Les géomètres considèrent et les ingénieurs emploient, pour repré-

posée et provisoirement supposée transparente par la rencontre de tous les rayons visuels allant du point de vue, c'est-à-dire de l'œil de l'observateur, aux divers points de l'objet ou des objets perçus à travers cette surface que l'on nomme le *tableau.*

QRLT est ce tableau que nous supposons plan et vertical (1); O est le *point de vue,* OP la perpendiculaire abaissée

Fig. 6.




de ce point sur le tableau dont la longueur est la *distance du point de vue* au tableau; le plan horizontal qui passe par le point de vue s'appelle le *plan d'horizon* et sa trace HH' sur le plan du tableau est la *ligne d'horizon;* le plan vertical perpendiculaire au plan du tableau qui passe par le point de vue est le *plan principal,* sa trace sur le plan du tableau VV' la *ligne principale,* et le point P qui est à l'intersection de la ligne d'horizon et de la ligne principale est le *point principal* de la perspective et s'appelle aussi le *point de fuite principal :* on verra tout à l'heure pourquoi.

La longueur OO' de la perpendiculaire abaissée du point de

---

senter certains objets de formes régulières, différents systèmes de projections dont ils désignent les résultats sous le nom de *perspectives.* La perspective conique, dont nous rappelons les définitions et les principes, est la seule dont les artistes fassent usage et la seule aussi dont nous nous occuperons.

(1) Exceptionnellement, nous pourrons avoir à recourir à des tableaux inclinés à l'horizon ou même horizontaux.

vue sur un plan horizontal MNSU sur lequel on suppose qu'est placé debout l'observateur est la *hauteur du point de vue* au-dessus de la *station* O′ ; enfin la trace LT du plan du tableau sur ce plan horizontal inférieur s'appelle la *ligne de terre*.

Signalons encore les deux points D et D′ marqués sur la ligne d'horizon, de part et d'autre du point principal et tels que PD et PD′ sont égaux entre eux et à la distance OP du point de vue au tableau. On les désigne sous le nom de *points de distance* et les peintres en font un fréquent usage.

Bien que les ombres produites par la lumière solaire donnent plus d'expression aux images et qu'on les trouve le plus souvent sur les épreuves photographiques dont nous aurons surtout à nous occuper, sans renoncer à les utiliser accidentellement, nous ne considérerons, quant à présent, sur les vues dont nous voulons nous servir, que les formes linéaires apparentes des objets eux-mêmes qui s'y trouvent représentés.

Quand on n'emploie pas les perspectographes usuels, comme la chambre claire ou l'objectif photographique (1), et qu'au lieu d'être en présence d'un monument existant ou d'un objet de formes bien définies, une machine par exemple, on se propose de tracer la perspective de ce monument ou de cette machine qui peuvent n'être qu'un projet, d'après leurs projections horizontales et verticales dessinées à une échelle déterminée par un architecte ou un ingénieur, le problème à résoudre est celui qui fait l'objet de la *perspective linéaire*.

Les deux projections sont naturellement indispensables et l'on verra comment il convient de les employer, mais on commence toujours par la mise en perspective des figures de la projection horizontale, que l'on désigne sous le nom de *géométral* et au devant de laquelle on place le tableau dont

(1) Nous verrons, au Chapitre IV, que l'on a imaginé aussi des perspectographes mécaniques destinés à résoudre immédiatement le problème de la perspective et même le problème inverse, celui dont nous avons précisément à nous occuper.

le plan coupe celui du géométral suivant une ligne droite appelée *ligne de terre* (1).

PROPOSITIONS FONDAMENTALES. — Le premier problème qui se présente est donc de trouver sur le tableau la perspective d'un point quelconque du géométral. Pour le résoudre et pour traiter les autres questions de la perspective linéaire, on s'appuie sur les propositions suivantes faciles à établir en se fondant sur les notions les plus simples de la Géométrie élémentaire :

1° La perspective d'une droite quelconque est elle-même une droite; si la droite considérée rencontre le tableau, sa perspective passe par le point de rencontre; si elle est parallèle au tableau, sa perspective lui est parallèle; toute parallèle au tableau est dite une *droite de front*, et le plan vertical qui la contient est un *plan de front*.

Le plan qui passe par le point de vue et par la droite à mettre en perspective est un *plan perspectif;*

2° Toutes les droites verticales ont pour perspectives des verticales, c'est-à-dire des perpendiculaires à la ligne d'horizon;

3° Les perspectives de plusieurs droites parallèles entre elles, mais inclinées sur le plan du tableau, concourent en un même point, qui est celui où la parallèle passant par le point de vue rencontre ce tableau. Ce point de concours se nomme le *point de fuite* des parallèles ;

4° Si les droites considérées sont horizontales, leur point de fuite est sur la ligne d'horizon, qui devient ainsi un lieu géométrique; enfin, si ces horizontales sont perpendiculaires au plan du tableau, leur point de fuite est le *point principal* défini plus haut et tous les autres points de fuite sont dits *accidentels*.

La plupart de ces vérités ou, comme on dit en Géométrie, de ces propositions, sont bien connues de tous ceux qui ont cherché à se rendre compte des aspects que présentent de longues allées d'arbres, les bords d'une route ou d'un canal

(1) Nous expliquerons plus loin le sens qu'il faut attacher à cette expression.

rectilignes, les rues droites d'une ville ou d'un village, les grands monuments, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Les règles qui en découlent sont appliquées journellement par les artistes dans la composition de leurs tableaux, mais il n'est pas moins certain que la Photographie a contribué à les vulgariser en fixant, en toutes circonstances, avec une grande fidélité, ces effets de la perspective.

Sans qu'il soit nécessaire d'en donner ici des exemples, on sait que ce qui caractérise en particulier les vues des monuments et des édifices, œuvres de l'homme, c'est l'existence de nombreuses lignes droites, pour la plupart verticales ou horizontales (restées telles ou devenues *fuyantes*), et c'est pourquoi il importe tant de conserver les appareils ordinaires qui fournissent des images conformes aux règles de la perspective. On va voir, en effet, tout à l'heure, avec quelle facilité s'effectue géométriquement la restitution d'un édifice dont on peut n'avoir qu'une seule perspective conique sur tableau plan.

## XII. — *Mise en perspective d'un édifice dont on a le plan et les élévations.*

Nous rappellerons d'abord les principes de la mise en perspective d'un édifice, qui serviront naturellement à résoudre le problème inverse.

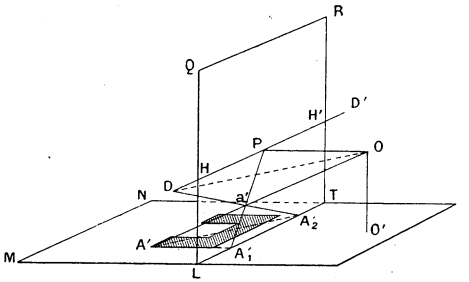
Perspective d'un point du géométral. — Soient A′ (*fig.* 7) le point du géométral à mettre en perspective, O le point de vue, HH′ la ligne d'horizon, P le point principal de fuite et, par conséquent, OP la distance du point de vue au tableau, enfin LT la ligne de terre.

Abaissons $A'A'_1$ perpendiculaire à la ligne de terre; le point cherché sera sur $A'_1P$ perspective de $A'A'_1$; portons sur la ligne d'horizon, de part et d'autre du point principal, les deux longueurs PD et PD′ égales à OP; D et D′ seront les points de distance et, chacun des triangles OPD et OPD′ étant isoscèle, on voit qu'ils sont les points de fuite des horizontales inclinées à 45° sur le plan du tableau. (Il est bon de savoir aussi qu'aux

points de fuite *accidentels* correspondent également des points de distance *accidentels* dont on peut avoir l'occasion de faire usage.)

Si l'on porte maintenant de $A'_1$ en $A'_2$ sur la ligne de terre une longueur égale à la distance $A'A'_1$ du point donné à cette

Fig. 7.




ligne de terre appelée l'*éloignement* du point A', le triangle rectangle $A'A'_1A'_2$ sera également isoscèle et son hypoténuse sera parallèle à OD; D sera donc le point de fuite par lequel devra passer la perspective de $A'A'_2$, qui est par conséquent $A'_2D$, et le point d'intersection $a'$ des deux perspectives de $A'A'_1$ et de $A'A'_2$ sera la perspective cherchée du point A'.

Dans la pratique, on place à côté l'un de l'autre le géométral MNLT (*fig.* 8) et le tableau QRLT (*fig.* 9) qu'il suffit

Fig. 8.

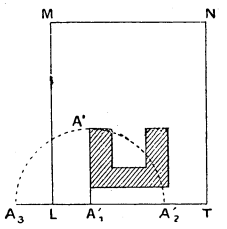
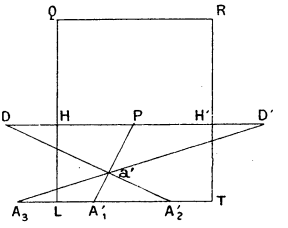



Fig. 9.




d'examiner un peu attentivement pour voir comment s'effectue la construction (1).

(1) On a indiqué sur les deux figures que $A'A'_1$ pouvait être porté sur la ligne de terre, soit à droite, soit à gauche de $A'_1$, en changeant de point

On peut systématiser la mise en perspective d'un plus ou moins grand nombre de points d'une figure dessinée sur le géométral, en considérant les bords LT et LM de ce géométral comme deux axes coordonnés auxquels ils sont rapportés.

Prenons le cas le plus simple, celui d'un triangle ABC (*fig.* 10 et 11).

Les perspectives des deux axes sur le tableau étant LT et LP, on portera successivement, à partir de L, sur la ligne LT du

Fig. 10.

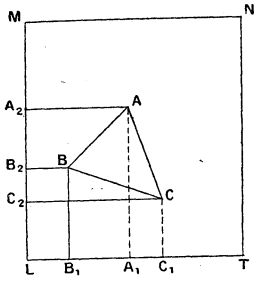
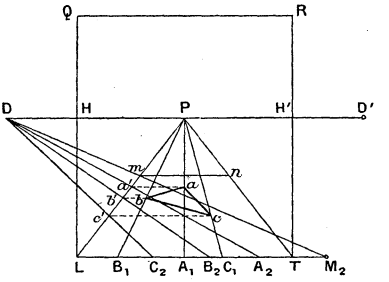



Fig. 11.




tableau, les distances $LB_1$, $LA_1$, $LC_1$, et ensuite les distances $LC_2$, $LB_2$, $LA_2$; on joindra $B_1$, $A_1$ et $C_1$ au point principal P, puis $C_2$, $B_2$ et $A_2$ au point de distance D; les points d'intersection $a'$, $b'$, $c'$ des lignes $DA_2$, $DB_2$ et $DC_2$ avec LP seront les perspectives des points $A_2$, $B_2$ et $C_2$, et en les ramenant par des parallèles à LT sur $A_1P$, $B_1P$ et $C_1P$, on a les perspectives *a*, *b*, *c* de A, B, C.

Il est à remarquer que les abscisses portées sur LT, appelée *échelle des largeurs,* conservent naturellement leurs vraies grandeurs, tandis que, sur la fuyante LP, appelée *échelle des éloignements,* les ordonnées sont altérées et d'autant plus réduites que les points considérés sont plus éloignés.

Les dimensions du géométral étant nécessairement limitées, si l'on porte la plus grande distance LM en $LM_2$ sur la ligne de terre LT du tableau et que l'on joigne le point $M_2$ au point

---

de distance, et l'on voit sur la seconde figure que l'on aurait ainsi, au besoin, un moyen de vérification.

de distance D, *m* sera sur LP la perspective du point M du géométral et la parallèle *mn* arrêtée à TP perspective de TN sera elle-même la perspective de MN. Le trapèze L*mn*T contient donc les perspectives des figures dessinées sur le géométral, et tout ce qui peut être tracé en dehors sur le tableau se rapporte à des points non compris dans ce géométral.

PERSPECTIVE D'UNE FIGURE QUELCONQUE TRACÉE SUR LE GÉOMÉTRAL. CRATICULATION. — Pour réduire ou amplifier le dessin d'une étude, les peintres emploient souvent des séries de droites parallèles équidistantes tracées dans deux sens rectangulaires et formant un réseau de carrés dont les côtés du modèle et ceux de la copie sont dans le rapport voulu. On conçoit immédiatement comment les lignes homologues servent de guides dans l'exécution du dessin réduit ou amplifié, et cette opération a reçu le nom de *craticulation* (même étymologie que *grille*).

En perspective, un semblable quadrillé (*treillis perspectif* des anciens géomètres) étant tracé sur le géométral (*fig.* 12 et 13) dont nous supposerons les côtés égaux, en joignant

Fig. 12.

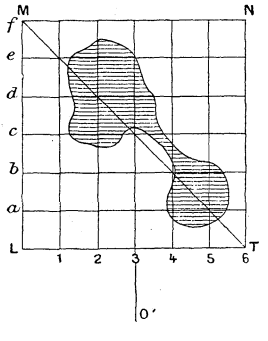
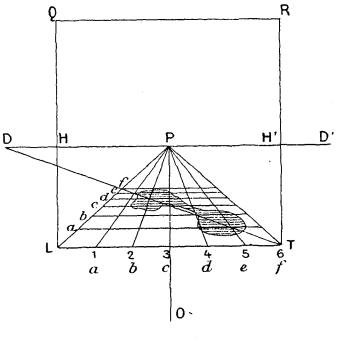



Fig. 13.




tous les points de division de la ligne de terre LT du tableau au point principal P et le dernier, T, au point de distance D, ce qui donne les perspectives des perpendiculaires à LT du géométral et celle de la diagonale TM, enfin en menant par

les points d'intersection des parallèles à la ligne de terre, on obtient une série de trapèzes dont les côtés correspondent à ceux du géométral. Cette craticulation terminée, les figures tracées sur le géométral se transforment par le même procédé que celui de la réduction ou de l'amplification dont il vient d'être question. C'est ce que l'on voit exécuté sur les *fig.* 12 et 13 dont la première représente le plan des bords d'un lac et la seconde la perspective de ces bords.

Nous avons supposé que le géométral était un carré, ce qui permettait d'obtenir d'un seul coup, par la perspective TD de la diagonale TM, un point de chacune des parallèles à la ligne de terre, mais il est aisé de concevoir que la même construction s'étendrait facilement à un rectangle.

Nous n'entrerons dans aucun détail sur la mise en perspective des figures géométriques régulières, qui ne présente d'ailleurs aucune difficulté; nous ne voulons indiquer ici que les principes généraux destinés à nous servir de guides dans les applications qui nous intéressent. Ainsi nous savons que l'on rencontre sur les photographies de paysages des perspectives de lignes situées dans un même plan horizontal, c'est-à-dire au même niveau, et l'exemple que nous venons de donner des bords d'un lac en plan et en perspective a servi à montrer comment on peut passer de l'un à l'autre.

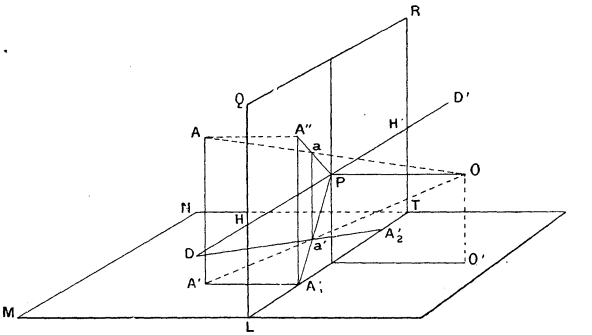
La comparaison un peu attentive des deux figures dont il s'agit permet de prévoir encore que les transformations produites par la perspective seront d'autant plus grandes que la ligne d'horizon sera plus rapprochée de la ligne de terre ou, pour mieux dire, que le point de vue sera moins élevé au-dessus du niveau du lac, car, il convient de le faire remarquer dès à présent, la hauteur du point de vue au-dessus du géométral n'est pas nécessairement, comme on pourrait être disposé à le croire, celle de la taille de l'observateur, et les règles que nous venons d'établir s'appliquent quelle que soit la distance verticale du point de vue au géométral.

PERSPECTIVE D'UN POINT QUELCONQUE SITUÉ AU-DESSUS OU AU-DESSOUS DU GÉOMÉTRAL. — Nous procéderons, comme nous l'avons déjà fait quand il s'agissait d'un point du géomé-

tral, en cherchant cette fois à construire la perspective d'un point de l'espace dont on connaît la projection et la hauteur au-dessus de ce plan.

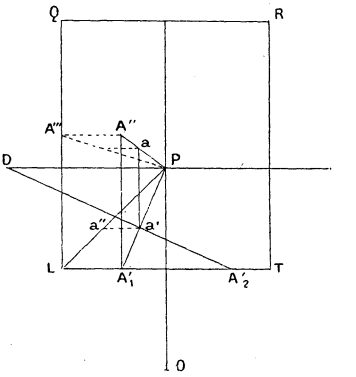
En reprenant la *fig.* 7, complétons-la en indiquant la hauteur AA′ du point A considéré (*fig.* 14). La perspective *a′* de la

Fig. 14.




projection A′ s'obtiendra comme précédemment et si nous projetons AA′ sur le tableau par deux perpendiculaires A′A′₁ et AA″, la première a, comme nous le savons, pour perspective A′₁P et la seconde aura évidemment pour perspective A″P.

Fig. 15.




Mais, d'un autre côté, A″A′₁ est la hauteur du point A ramenée en vraie grandeur sur le tableau ; enfin, la perspective de

AA′ passe par le point $a'$ perspective de A′ et est une verticale dont la rencontre avec A″P donne la perspective $a$ du point considéré. $aa'$ est donc aussi la perspective de AA′; d'où la construction facile à suivre sur la *fig.* 15.

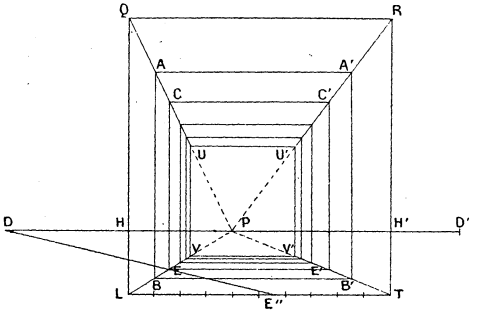
## XIII. — *Problème inverse de la perspective, dans le cas des édifices.*

La construction inverse serait tout aussi facile à exécuter si, étant donnée une vue dessinée ou photographiée sur laquelle on considérerait une verticale $aa'$ arrêtée au *plan de terre* en $a'$, on demandait la vraie grandeur de la droite AA′ dont elle est la perspective et la projection A′ du point A sur le géométral.

Nous allons appliquer cette construction inverse, si simple, au cas de la perspective d'intérieurs comme les grandes galeries, les nefs d'églises, etc., dont la Photographie fournit de si nombreux exemples, et l'on verra que les restitutions cherchées en découlent immédiatement.

Réduisons ces vues d'intérieur au schéma de la *fig.* 16. LTQR étant le tableau dont les quatre côtés encadrent la

Fig. 16.




galerie en hauteur et en largeur, les quatre lignes fuyantes LP, TP, QP, RP, qui sont autant d'échelles d'éloignement, représentent les limites du plancher ou du dallage de la galerie

et celles du plafond (celui-ci pouvant d'ailleurs être en forme de voûte).

Il suffira de mesurer la largeur LT de la galerie pour en déduire les autres dimensions et tous les détails de l'architecture, et, par conséquent, pour dessiner le plan (ou les plans du plancher et du plafond) et les élévations à une échelle déterminée.

Supposons que cette longueur soit de $10^m$, et divisons LT en dix parties égales que l'on subdiviserait au besoin à leur tour ; on pourra aussitôt mesurer la hauteur du pilastre représenté par LQ sur le tableau lui-même, et les éloignements successifs des pilastres suivants AB, CE, ..., UV, celui de CE, par exemple, en joignant le point de distance D au point E de l'échelle des éloignements LP et en prolongeant DE jusqu'en E″ ; LE″ sera, en vraie grandeur, l'éloignement cherché. On trouverait ensuite la hauteur d'un point quelconque de CE, en joignant ce point à P, et en prolongeant la ligne résultante jusqu'à sa rencontre avec LQ, et l'on opérerait de même pour déterminer les trois coordonnées d'un point remarquable quelconque de la galerie et des objets qu'elle pourrait contenir.

Il ne nous semble pas nécessaire d'entrer dans d'autres détails à ce sujet, l'expérience nous ayant appris avec quelle rapidité un dessinateur exercé parvient à exécuter une restitution tout à fait satisfaisante de l'architecture, dès qu'il s'est procuré un nombre de repères convenable.

Ligne de terre. — Nous profiterons de l'occasion qui se présente pour bien préciser le sens de cette expression de *ligne de terre* en perspective. Dans le cas actuel, c'est-à-dire quand l'opérateur, dessinateur ou photographe, est installé sur un sol parfaitement horizontal, dallage ou plancher, le bord inférieur du tableau peut reposer effectivement sur le sol, et c'est de l'hypothèse qu'il en est ainsi que viennent les noms de *plan de terre*, dont nous nous sommes servi, très employé autrefois (*Grundriss* des Allemands) et de *ligne de terre* qui l'est toujours. Dans le cas d'une vue d'ensemble d'un monument prise de l'extérieur et plus généralement

encore d'une vue de paysage, la station de l'opérateur n'est pas toujours située sur un sol horizontal ou plutôt cela n'arrive que rarement, mais il n'est pas moins permis de concevoir un plan horizontal mené par cette station et sur lequel on projette le monument ou les accidents du terrain. La ligne de terre dont on ne continue pas moins à se servir pour les constructions géométriques devient alors tout à fait conventionnelle, car, en réalité, le bord inférieur du tableau peut s'élever au-dessus, ou descendre au-dessous d'elle. Il suffit de jeter les yeux sur des photographies prises en pays de montagnes ou simplement dans une ville dont le terrain est accidenté, pour se rendre compte de l'importance qu'il y a à ne pas confondre le bord inférieur du tableau avec la ligne de terre théorique.

## XIV. — *Restitution des édifices en général (plans et élévations) d'après leurs perspectives.*

Pour effectuer ces restitutions, il n'est pas nécessaire, comme on pourrait être tenté de le croire, d'après ce qui vient d'être dit pour celles des plans et des élévations des galeries intérieures, d'avoir résolu les problèmes si variés et souvent si délicats de la mise en perspective des édifices d'architecture (1), pour employer des méthodes de construction inverses.

---

(1) La perspective a fait naturellement l'objet des méditations des artistes de tous les temps et particulièrement des architectes. On en trouve la preuve jusque dans les dessins des plans d'édifices égyptiens mêlés de perspectives, dont nous donnerons un spécimen dans l'une des notes placées à la fin de ce Volume.

Le nom de *Scénographie* déjà cité, donné aux dessins de perspective, viendrait, d'après les érudits du XVI^e^ siècle, de ce que les architectes grecs étaient très habiles dans l'art de produire les illusions de la scène, au théâtre, en un mot, dans l'art de la perspective théâtrale.

Il est certain, d'ailleurs, que si les peintres et les sculpteurs en bas-reliefs avaient besoin de connaître les lois de la perspective et que plusieurs d'entre eux, Pietro della Francesca, Léonard de Vinci, Albert Dürer, Cousin, ont contribué à les découvrir, le plus grand nombre des traditions et des Ouvrages sur la perspective est dû à des architectes; ainsi l'on peut citer, dès la fin du XIV^e^ et le commencement du XV^e^ siècle, Brunelleschi et Ghi-

Les exemples que nous allons donner suffiront à démontrer que rien n'est plus facile, en général, que de restituer les

---

berti, puis Vignole commenté par Egnatio Danti (a), Sebastiano Serlio (peintre de perspective, architecte et graveur), Palladio, notre Androuet du Cerceau, contemporain de Frederigo Commandino, de Guido Ubaldo del Monte et du célèbre Desargues, le Monge du XVI^e^ siècle, qui ont été les premiers à établir les règles géométriques de la perspective, c'est-à-dire le *trait* dont nous nous servons après l'avoir perfectionné, et beaucoup d'autres encore en France, en Allemagne, en Angleterre, en Italie, dont il serait à peu près impossible de donner une liste complète. Nous signalerons seulement à part, comme l'œuvre de perspective architecturale la plus considérable que nous connaissions, le magnifique Ouvrage du P. Andreas Puteus (Pozzo), intitulé : *Perspectiva pictorum et architectorum Andreæ Putei e Societate Jesu, in quâ proponitur modus excellentissimus delineandi opticè omnia quæ pertinent ad architecturam.* 2 vol. grand in-4°; Romæ, MDCCXXIII et MDCCLVIII.

Depuis cette époque du milieu du XVIII^e^ siècle, il a été publié un grand nombre de Traités de perspective, mais nous n'avons voulu rappeler ici que les noms des artistes célèbres et ceux des principaux géomètres qui ont créé la théorie de la perspective, et les perfectionnements plus récents, quels que soient leur importance et leur mérite, ne sont que le développement des principes généraux dont nous avons indiqué les plus essentiels.

On sait cependant que Monge et son école avaient fait entrer cet art, comme celui des ombres, comme tous ceux de la Stéréotomie, dans la méthode générale de la Géométrie descriptive où l'on emploie simultanément deux plans de projection. (Voyez, à ce sujet, *la Géométrie descriptive* par G. MONGE, *augmentée d'une théorie des Ombres et de la perspective extraite des papiers de l'auteur,* par M. BRISSON, ancien élève de l'École Polytechnique, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. 4^e^ édition; 1820 (Paris, V^e^ Courcier).

Mais la tradition du trait de perspective n'en a pas moins persévéré chez les artistes, et des auteurs, qui étaient en même temps d'excellents professeurs, l'ont entretenue et en ont tiré le plus grand parti. On peut citer, en France, les Ouvrages de Vallée, de Thibault, de J. Adhémar et de Jules de la Gournerie. Ce dernier a donné, en particulier, l'explication et la justification des dérogations aux règles de la perspective géométrique que se sont permises les plus grands peintres et les sculpteurs en bas-reliefs et en ronde-bosse; il a également étudié, avec une grande sagacité, la question si délicate des décorations théâtrales et indiqué une méthode exacte pour la construction des perspectives sur châssis obliques.

(a) L'admiration du commentateur pour l'auteur des *deux règles de la perspective*, M Joanno Barozzi di Vignola, se traduit sous toutes les formes; ainsi il cite les peintures de cet excellentissime architecte et perspecteur « *come sono le quattro colonne Corinte ne' cantoni d'una sala, talemente fatte che ingagnano la vista de chiunche le mira* ». Et il termine sa biographie par cet éloge : « *Onde restera sempre nella memoria degl'huomini il nome suo, havendo anco lasciato scritto à posteri le due opere non mai a bastanza laudate, quella dell' architettura nella quale fu mai da veruno de' suoi tempi avanzato, e quella della prospettiva, con laquale ha traspassato di gran lunga tutti gli altri, che alla memoria de nostri tempi siano pervenuti.* »

plans et les élévations des parties apparentes d'un ensemble d'édifices ou d'un édifice isolé, quelle que soit leur importance, avec une seule vue sur laquelle se trouvent tracée la ligne d'horizon et marqué le point principal, à la condition que l'on connaisse ou que l'on puisse déterminer la distance du point de vue au tableau.

RESTITUTION DU PLAN DE LA COUR DU QUARTIER DE PANTHEMONT, D'APRÈS UNE VUE DESSINÉE A LA CHAMBRE CLAIRE. — Cette vue a été prise, cela est manifeste sur la figure, à un étage d'une maison voisine qui est sensiblement au même niveau que celui de l'aile de la caserne située à gauche (*fig.* 17).

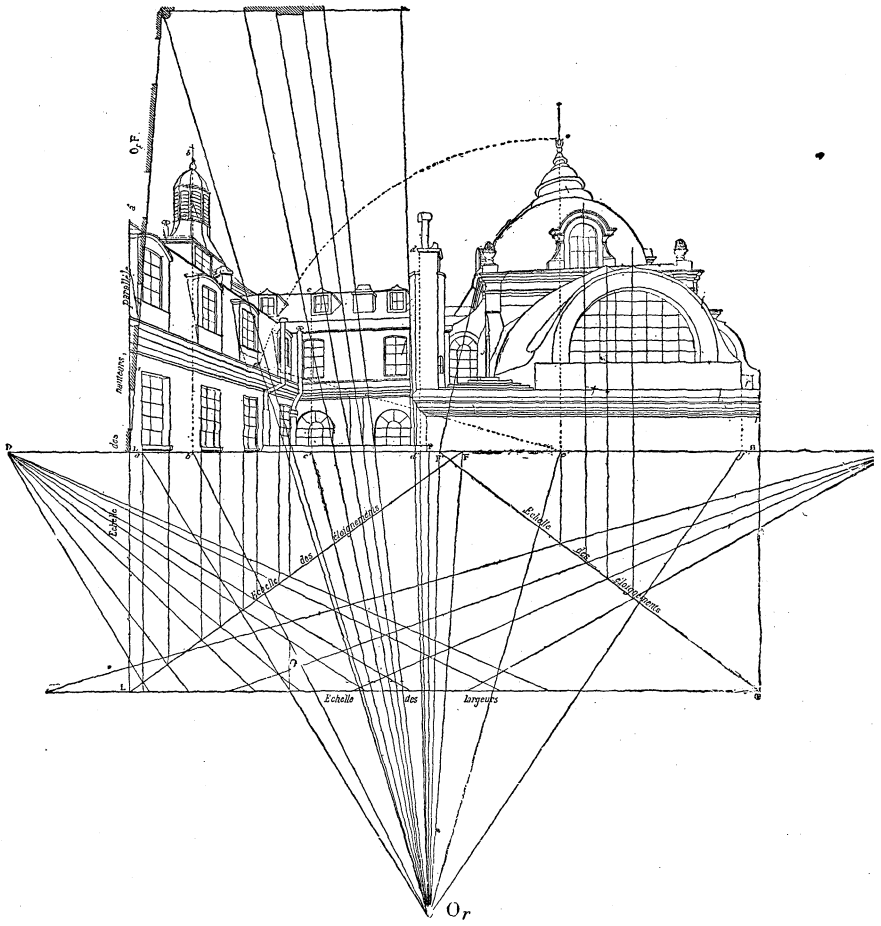
La ligne d'horizon et le point principal étant tracés, et la distance du point de vue au tableau déterminée, comme on l'expliquera au paragraphe des Instruments, on a tous les éléments nécessaires pour construire les angles réduits à l'horizon des rayons visuels dirigés sur les points remarquables des édifices et au besoin les angles de hauteur de ces mêmes rayons visuels ou, après la restitution du plan, pour calculer les différences de niveau des points considérés et de la station.

Pour obtenir les angles réduits à l'horizon, il suffit, en effet, de rabattre le point de vue O autour de la ligne d'horizon dans le plan du tableau en $O_r$, puis, après avoir abaissé des perpendiculaires $aa'$, $bb'$, $cc'$, ... des points considérés sur la ligne de terre, de joindre $O_r$ aux pieds $a'$, $b'$, $c'$, ... de ces perpendiculaires. L'angle de hauteur d'un point quelconque, par exemple du sommet $e$ du dôme du temple, s'obtiendrait aussi facilement par le rabattement du triangle rectangle O $e'e$ autour de O $e'$ qui donne sur la figure l'angle $e'$ $O_r e$ cherché. Mais on a rarement besoin de considérer ces angles de hauteur et l'on se sert plutôt des hauteurs apparentes linéaires mesurées sur le tableau dans les calculs du nivellement.

Revenons à la figure sur laquelle, après avoir déterminé le point de fuite F des appuis des fenêtres, des bandeaux, de toutes les lignes horizontales apparentes sur la façade de l'aile gauche de la caserne et le point de fuite F′ de la corniche de la base du dôme du temple, on a marqué les points de dis-

tance D et D′. En prenant le bord de gauche du tableau pour échelle des hauteurs et en menant la ligne de terre LT à

Fig. 17.




Restitution du plan de la cour du quartier de Panthemont.
Réduction à $\frac{1}{5}$ de l'original.

une distance de la ligne d'horizon LH égale à la hauteur du point de vue au-dessus du sol de la cour inférieure dont l'aile

en question forme l'un des côtés, hauteur réduite à cette même échelle, enfin, en joignant le point de fuite F au point L, de la ligne de terre, on a eu les trois axes coordonnés ou échelles des hauteurs, des largeurs et des éloignements. En prolongeant alors les verticales de la perspective de l'aile considérée jusqu'à la rencontre de l'échelle des éloignements et en joignant le point de distance D à ces points d'intersection, on a restitué les largeurs des fenêtres et des trumeaux de toute la partie visible de la façade. Les hauteurs et les largeurs étant ainsi obtenues à la même échelle, le plan et l'élévation de cette partie de l'édifice se construiraient immédiatement à cette échelle ou à telle autre que l'on voudrait choisir. On voit encore sur la figure comment, après avoir tracé le côté de la cour formé par la façade de l'aile (par une parallèle à $O_r F$), on a obtenu le côté formé par la façade du bâtiment du fond avec ses ouvertures, le trumeau et le pilastre qui y est appliqué. En passant au monument qui occupe le côté droit de la perspective (temple de Panthemont), on a déterminé, à l'aide du point de fuite F′ et du point de distance D′, les positions respectives des axes de quatre parties de l'édifice, dont la projection horizontale et l'élévation se déduiraient facilement.

Il doit être bien entendu, d'ailleurs, qu'avant d'exécuter définitivement le plan et les élévations dont nous venons de parler en indiquant la marche à suivre pour en recueillir les éléments, on doit faire choix d'une échelle et s'être procuré, par conséquent, par une mesure directe, la grandeur réelle d'une ligne de l'un des édifices, hauteur d'un étage, distance horizontale de deux ouvertures suffisamment espacées, etc.

Restitution partielle de Santa Maria delle Grazzie, a Milan. — Nous avons pris pour second exemple la restitution d'une partie du plan, de la façade principale et de l'une des façades latérales de Santa Maria delle Grazzie, de Milan, dont le dôme élégant est l'œuvre du célèbre Bramante, d'après une photographie trouvée dans le commerce et sans aucun autre renseignement (*Pl. VI*).

Ainsi, nous ne connaissions immédiatement ni la distance focale de l'appareil, c'est-à-dire la distance du point de vue au

tableau, ni la ligne d'horizon, ni la position du point principal, ni enfin l'une des dimensions au moins relevée sur l'édifice, nécessaire pour déterminer l'échelle du plan et celle des élévations. Or il est aisé de voir, néanmoins, qu'il est indispensable de connaître ces données essentielles, et nous ne saurions trop, dans l'intérêt de tous, recommander aux opérateurs de les recueillir et de les inscrire sur leurs clichés, mais nous avons voulu montrer qu'en leur absence on peut encore souvent utiliser de bonnes photographies de monuments.

La question de l'échelle, en particulier, ne doit pas empêcher d'effectuer les restitutions. Ainsi, nous avons sûrement commis une légère erreur en *estimant* la hauteur du pilastre d'angle des deux façades, et nous en avons été quitte pour prévenir que l'échelle dont nous nous servions était seulement approximative, ce qui ne nuit d'ailleurs en rien à l'exactitude des proportions dans les restitutions.

Il n'y a pas lieu d'insister sur la manière de fixer sur le papier la position du sommet de l'angle droit des deux façades d'après la distance du point de vue à l'arête du pilastre d'angle sur la ligne d'horizon, en tenant compte de l'échelle choisie. Ce problème se résout par une règle de trois que tout le monde peut appliquer. On sait, d'un autre côté, que les directions des deux façades sont respectivement parallèles aux deux côtés de l'angle droit qui a son sommet au point de vue et aboutissent aux deux points de fuite.

Le reste de la construction du plan ne présente aucune difficulté, mais nous devons nous arrêter pendant quelques instants au procédé, d'ailleurs également très simple, à employer pour obtenir, soit à l'échelle du plan, soit à une autre échelle, les hauteurs des différents points de l'édifice dont on a besoin pour dessiner les élévations.

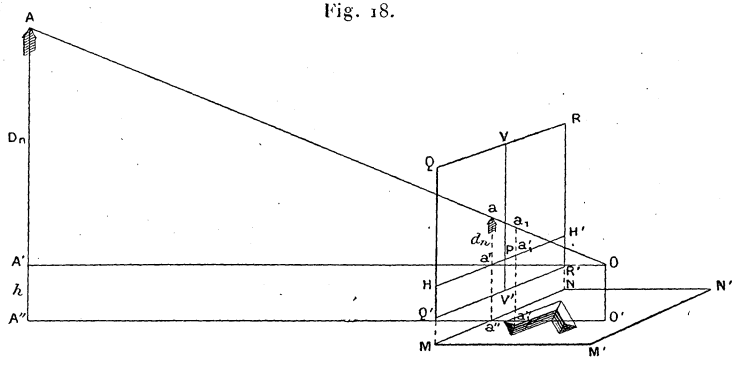
La figure suivante (*fig.* 18) permet de bien se rendre compte de ce procédé.

O étant le point de vue, QRQ'R' le tableau, HH' la ligne d'horizon, VV' la ligne principale, enfin OO' la hauteur du point de vue au-dessus de la station, si nous supposons le plan construit par la méthode précédente et disposé en avant du tableau en MNM'N' (pour éviter de compliquer la figure, nous

avons admis que ce plan était posé sur le sol, c'est-à-dire au niveau de la station); en considérant un point quelconque A d'un monument ou d'un paysage, sa perspective $a$ déterminée par la rencontre du rayon visuel OA et du tableau, enfin le point $a_1''$ qui en est la projection horizontale sur le plan, à l'échelle adoptée, on voit aisément comment s'obtient la différence de niveau $D_n$ du point A et du plan de l'horizon, et par suite la hauteur de ce point par rapport à la station.

En abaissant la perpendiculaire $aa'$ sur la ligne d'horizon et en menant $Oa'$ dans le plan d'horizon, cette ligne prolongée

Fig. 18.




rencontrera en A' la verticale AA' du point A. Les deux triangles semblables OAA' et $Oaa'$ donneront donc la proportion $\frac{D_n}{d_n} = \frac{OA'}{Oa'}$ dans laquelle la différence de niveau $D_n$ est seule inconnue. En effet, $aa'$ ou $d_n$ peut être mesuré en millimètres sur le dessin ou la photographie, $Oa' = O'a''$ se mesurera sur le plan, toujours en millimètres, et OA' est représenté par $O'a_1''$ sur le même plan, mais en tenant compte de l'échelle pour l'exprimer en mètres.

Supposons, par exemple, que l'on trouve

$$aa' = d_n = 0^m,060; \qquad Oa' = O'a'' = 0^m,324$$

et

$$O'a_1'' = 0^m,275,$$

l'échelle du plan étant supposé $\frac{1}{200}$ : d'où il résulte que $OA' = 55^m$.

On aura

$$D_n = \frac{d_n}{Oa'} \times OA' = \frac{60}{324} \times 55^m = 9^m,41.$$

Mais le point de vue est situé à une hauteur $h$ au-dessus de la station. Supposons $h = 1^m,50$, qui est la hauteur habituelle des instruments (mais qu'il convient de mesurer exactement), la différence de niveau du point A et de la station sera

$$D_n + h = 9^m,41 + 1^m,50 = 10^m,91.$$

Nous n'avons pas craint de donner ces détails, sans doute inutiles pour un grand nombre de lecteurs, mais indispensables pour les débutants. Ils nous dispenseront, d'ailleurs, de revenir sur la question du nivellement en général, quand nous nous occuperons plus spécialement de la construction des plans topographiques et du tracé des courbes de niveau qui en expriment le relief.

Ce que l'on vient de voir fait d'ailleurs parfaitement comprendre comment, avec le plan d'un édifice comme Santa Maria delle Grazzie et l'unique photographie sur laquelle se trouvent les deux façades, il a été facile de restituer le profil du dôme en quelque sorte point par point, et les justes proportions des autres détails des deux façades elles-mêmes.

La *Pl. VI*, qui est une réduction au tiers de la photographie et des restitutions qu'elle a servi à obtenir, donne une idée de la perfection avec laquelle peuvent être effectuées ces restitutions. Nous ajouterons simplement que l'ensemble a été exécuté en douze heures : la partie géométrique par un dessinateur exercé, et la partie artistique par un architecte de talent.

Il nous semble que ce dernier exemple devrait suffire pour décider les photographes qui s'occupent d'Archéologie et d'Architecture en général, et ceux qui opèrent si souvent sur les chantiers des ingénieurs pour relever les grands travaux d'art,

à prendre la peine d'indiquer sur leurs épreuves la distance focale de leur objectif, et à y inscrire la grandeur réelle mesurée d'un élément au moins pour servir d'échelle. Il serait également à souhaiter, et cela est généralement facile, comme on pourra le voir aux paragraphes des instruments, qu'ils prissent quelques précautions dans la mise en station des appareils, et pour assurer le moyen de retrouver la ligne d'horizon et le point principal sur chacune de ces épreuves.

Nous reviendrons naturellement sur ce sujet, mais nous ne saurions trop insister, en ce moment même et après avoir traité précisément dans ce but la question spéciale précédente, sur l'utilité des précautions conseillées, ni trop engager nos architectes et nos ingénieurs à profiter de toutes les ressources que leur offre la Photographie (1).

## XV. — *Quelques observations sur les conditions de la vision.*

LIMITATION DE LA DISTANCE DU POINT DE VUE AU TABLEAU ET DE L'ANGLE VISUEL. — Pour terminer les considérations générales dont nous avons voulu faire précéder la Métrophotographie appliquée au lever des plans, nous présenterons encore quelques observations sur les limites de la distance du tableau à l'observateur, et de l'amplitude de l'angle visuel qui influent nécessairement sur l'usage que l'on peut faire des perspectives dessinées ou photographiées pour restituer aux objets représentés leurs véritables positions relatives et leurs dimensions. Ces limites sont imposées par notre organisation elle-même.

On se rendra immédiatement compte des meilleures conditions dans lesquelles il convient de se placer pour dessiner

(1) On a compris la sérieuse importance de cette branche de la Métrophotographie dans d'autres pays, principalement en Prusse, où l'on est allé jusqu'à organiser un service public sous le nom d'*Institut photogrammétrique,* pour restituer les plans avec leurs élévations en nombre suffisant de tous les édifices publics intéressants et des grands travaux d'art.

une perspective ou pour regarder un tableau exécuté, en se reportant à la *fig.* 140, page 391 du tome I de cet Ouvrage, qui représente l'un des perspectographes les plus anciens et les plus simples, composé d'une vitre et d'un œilleton. On conçoit, en effet, que la distance de l'œilleton, qui figure matériellement le point de vue, à la vitre, c'est-à-dire au tableau, est celle de la vue distincte ordinaire, de $0^m,25$ à $0^m,30$, et l'on pourrait ajouter que la longueur du bras de l'opérateur ne lui permettrait pas d'augmenter beaucoup cette distance. Quant à l'angle visuel ou champ du tableau dans le sens horizontal, il ne semblerait pas impossible de lui donner une grande amplitude, mais, à de rares exceptions près, les peintres ont toujours cherché à permettre au spectateur d'embrasser le tableau d'un seul coup d'œil, afin de rendre plus parfaite l'illusion de la restitution du sujet dans l'espace, et ils ont été conduits ainsi à donner à ce tableau une largeur tout au plus égale à la distance du point de vue, ce qui donne 50° environ pour l'amplitude de l'angle visuel (1).

Hâtons-nous de dire que, dans la pratique de la peinture, on amplifie généralement, en craticulant, le dessin exécuté dans ces conditions rigoureuses ou dans des conditions analogues, mais alors, naturellement, la distance du point de vue au tableau s'accroît proportionnellement, et c'est ainsi que, pour se placer au point de vue, on regarde les grandes toiles d'assez loin.

Nous pourrions insister, à cette occasion, sur la convenance, quand on tient à accroître l'illusion, de se placer exactement au point de vue, aussi bien pour des peintures,

---

(1) Dans le tableau de *la Cène,* de Léonard de Vinci, la distance du point de vue est égale à la largeur de ce tableau. Ce grand peintre avait cependant donné deux règles qui augmentaient encore cette distance : dans la première, il la voulait triple, et dans la seconde, elle était double de la largeur du tableau.

Raphaël a souvent réduit aussi la distance à la largeur du tableau.

Egnatio Danti lui donnait une fois et demie à deux fois cette largeur.

D'autres peintres et d'autres auteurs ont varié pour la distance toujours entre une largeur et trois largeurs; aucun n'a admis une distance inférieure à celle de la perpendiculaire abaissée du point de vue pris pour sommet d'un triangle équilatéral construit sur la largeur du tableau, ce qui donne le champ maximum de 60°.

des dessins, ou même des photographies de dimensions réduites que pour les plus grands tableaux; mais cette question, tout intéressante qu'elle soit, ne crée pas de condition absolue, et nous renvoyons le lecteur qui voudrait en faire une étude approfondie au *Traité de Perspective* de M. de la Gournerie, et à l'excellente brochure de M. le commandant Colson intitulée : *La Perspective en Photographie* (1).

Il nous suffit, en effet, d'avoir indiqué les conditions générales de la vision pour en conclure qu'il doit être avantageux de s'en rapprocher autant que possible, et nous ferons remarquer, en passant, que c'est précisément ce qui arrive quand on emploie la chambre claire pour dessiner des vues de monuments ou de paysages.

On peut prévoir également que, lorsqu'on a recours aux appareils photographiques, la distance focale n'étant autre chose que la distance du point de vue au tableau, ne devrait pas trop s'éloigner de celle de la vue distincte, de $0^m,25$ à $0^m,30$.

Il y a d'ailleurs une autre considération que nous avons déjà fait valoir et sur laquelle nous insisterons plus loin, à savoir que les *lignes de visée* dont on se sert dans les constructions graphiques doivent être de cet ordre de grandeur.

---

(1) COLSON (R.), *La Perspective en Photographie*. In-18 jésus; 1894 (Paris, Gauthier-Villars et fils). — Dans l'Avant-propos, le commandant Colson précise en quelques mots les conditions d'exactitude de l'effet que doit produire la vue d'une peinture :

« La nécessité d'une perspective géométrique conforme à la vue directe du modèle s'impose tout d'abord. Cette condition est remplie lorsque, le dessin ou le tableau étant supposé transparent et interposé à distance convenable entre l'œil et les objets eux-mêmes, les rayons lumineux qui partent des différents points de ces objets et qui aboutissent à l'œil passent par les points correspondants des images représentées.

» Inversement, toutes les fois que l'œil sera placé dans cette même position par rapport au dessin ou au tableau, l'observateur remontera par la pensée le trajet de ces rayons lumineux et reconstituera instinctivement la notion des objets, placés à leurs distances, comme s'il les apercevait directement.

» Telle est l'explication du mot *perspective*, formé de deux mots latins : *specto*, je vois, *per*, au travers. »

Nous arrêterons ici le long préambule dont nous avons cru devoir faire précéder l'exposé d'une méthode et la description d'appareils employés par nous depuis près d'un demi-siècle, et celui des développements et des perfectionnements qu'ils ont reçus, dans ces dernières années, d'un grand nombre de savants et d'habiles constructeurs, en France et surtout à l'Étranger. Peut-être eussions-nous pu nous dispenser d'entrer aujourd'hui dans autant de détails, la cause que nous avons eu tant de peine à défendre paraissant bien définitivement gagnée. Mais le titre que nous avions adopté nous imposait l'obligation de ne pas passer sous silence les tentatives faites par d'autres, et, d'un autre côté, il nous semblait nécessaire, pour un assez grand nombre de lecteurs, de rappeler les notions principales de la perspective, auxquelles nous avons eu et nous aurons encore souvent besoin de recourir.

# ICONOMÉTRIE TOPOGRAPHIQUE.

Quod quoniam vinco fieri, nunc esse docebo.

LUCRÈCE.

## MÉTHODES.

### I. — *Solution générale du problème inverse de la perspective.*

Si l'on peut, à l'aide d'une vue unique, restituer en plan et en élévations les parties apparentes d'un édifice ou même d'un groupe d'édifices présentant un grand nombre de lignes verticales et horizontales, il n'en est plus de même quand on se trouve en face d'un paysage, c'est-à-dire de la nature avec ses formes accidentées.

Les règles de la perspective sont toujours utiles, indispensables même, car on les applique incessamment et instinctivement, mais elles deviennent insuffisantes, dans le cas supposé, pour permettre de restituer des formes qui ne présentent plus la simplicité, la régularité particulière aux constructions faites de mains d'hommes.

Il convient donc, alors, d'envisager le problème dont il s'agit dans toute sa généralité et l'on est ainsi ramené à la nécessité de changer de station, c'est-à-dire de recourir à l'emploi de vues combinées, en un mot à l'idée des premiers géomètres qui, pour éviter de multiplier les mesures des longueurs, ont imaginé la méthode des intersections.

Nous allons d'ailleurs présenter la solution de cette question sous la forme d'une démonstration de Géométrie descriptive, comme nous l'avions fait dans le *Mémoire sur l'emploi de la chambre claire dans les reconnaissances topographiques* inséré au *Mémorial de l'Officier du Génie,* n° 16, année 1854.

« Supposons un observateur transporté successivement à deux points de vue dont il connaîtrait la distance et la différence de niveau.

» Si, de chaque station, il suit de l'œil une ligne remarquable du terrain, le bord d'une route ou d'un cours d'eau, par exemple, cette ligne pourra être considérée comme l'intersection de deux surfaces coniques ayant respectivement leurs sommets aux deux points de vue et pour génératrices les rayons visuels indéfiniment prolongés. Projetons ces surfaces sur un plan horizontal quelconque; les intersections deux à deux des projections des rayons visuels qui aboutissent aux mêmes points du terrain seront les projections de ces points, et, en les joignant convenablement, nous aurons la projection horizontale, c'est-à-dire le *plan* du bord de la route ou de toute autre ligne visible des deux stations. Or, les surfaces coniques sur lesquelles nous venons de raisonner se trouvent géométriquement déterminées, lorsqu'on emploie la chambre claire, puisque les perspectives prises de chaque point de vue sont les traces de ces surfaces sur des plans verticaux et que l'on connaît la position de leurs sommets par rapport à ces plans.

» On conçoit donc qu'en opérant convenablement sur ces perspectives, on doit pouvoir parvenir au résultat que nous venons d'indiquer.

» On obtiendra d'abord les projections horizontales des rayons visuels à chaque station, en abaissant, de tous les points remarquables de la perspective dessinée de cette station, des perpendiculaires sur la ligne d'horizon et en joignant le point de vue aux pieds de ces perpendiculaires. Cette construction s'exécutera dans le plan même du tableau, en opérant le rabattement du point de vue dans ce plan, autour de la ligne d'horizon prise pour charnière.

» On transportera ensuite ces opérations sur un plan (une feuille de dessin), en conservant les rapports de position des deux points et d'un troisième point du terrain au moins, et, pour cela, il suffira de rattacher la direction de la base à celle de l'un des rayons de chaque perspective, au moyen de l'observation de quelques angles que l'instrument permet de mesurer directement; enfin il ne restera qu'à chercher les intersections des projections des rayons visuels aboutissant aux mêmes points.

» Nous avons supposé deux stations seulement, parce

qu'elles sont, en effet, suffisantes pour la détermination des points qui se trouvent contenus dans les deux perspectives; mais habituellement les divers accidents du terrain se projettent les uns sur les autres, et il devient indispensable de multiplier les points de vue pour découvrir tout ce qui intéresse la reconnaissance : les mêmes points sont alors répétés sur plusieurs perspectives, et il en résulte de nombreuses vérifications entièrement analogues à celles que l'on obtient par la méthode ordinaire des intersections, méthode avec laquelle celle des perspectives a tout naturellement les plus grands rapports.

» Nous ferons encore remarquer qu'une fois le plan construit, on peut obtenir sans peine les cotes de nivellement de tous les points directement déterminés; car, en prenant le plan d'horizon de l'une des perspectives pour le plan de comparaison, on trouvera les distances réelles des différents points à ce plan au moyen des distances verticales de leurs perspectives à la ligne d'horizon (hauteurs linéaires apparentes), soit en rabattant chaque rayon visuel autour de sa projection horizontale et en évaluant, à l'échelle de la carte ou du plan, la longueur de la perpendiculaire élevée par le point correspondant jusqu'à la rencontre du rayon visuel, soit, ce qui revient au même, en cherchant le quatrième terme d'une proportion dont les trois autres connus sont : la distance du point de vue au point considéré mesuré sur le plan, la longueur de la projection horizontale du rayon visuel jusqu'à la ligne d'horizon et la *hauteur apparente positive ou négative* du point sur le plan du tableau.

» Telle est la solution générale du *problème de la transformation des perspectives en plans.* »

Il serait inutile de rien ajouter, pensons-nous, à cet exposé très simple d'une méthode qui s'est appliquée aussi bien aux vues photographiées qu'aux vues dessinées à la chambre claire pour lesquelles elle avait été proposée.

## II. — *Premières expériences faites avec des vues dessinées à la chambre claire.*

Il va suffire d'ailleurs de prendre un ou deux exemples pour montrer avec quelle facilité on opère et pour faire pressentir le degré de précision sur lequel on peut compter. On nous permettra de reproduire, dans ce but, les deux plus anciennes expériences faites sur des vues prises avec la chambre claire et qui remontent à l'année 1850 (1).

La *fig.* 19 représente le plan de l'un des côtés du fort de Vincennes et deux des trois vues qui ont servi à le construire. Les points A, B et C sont les stations d'où ces vues ont été dessinées; les deux vues *aa* (reportée en *aa'* pour éviter l'entrecroisement des images et la confusion qui en résulterait) et *bb*, prises des stations A et B, rabattues autour de la ligne d'horizon de chaque perspective, ont été orientées sur la feuille de dessin, en avant de chacune de ces stations, d'après trois opérations entièrement identiques avec celles que l'on exécute habituellement sur le terrain, savoir :

1° La mesure de la distance AB des deux stations, à la chaîne ou à la stadia, rapportée sur le dessin à l'échelle adoptée pour le plan;

2° et 3° La mesure des angles que forment avec la base deux rayons visuels partant l'un du point A et l'autre du point B et aboutissant au même point du paysage, par exemple, dans le cas actuel, à la pointe du paratonnerre que l'on voit au sommet du donjon situé vers le milieu de chacune des perspectives.

---

(1) Les vues dessinées à la chambre claire, quoique nécessairement moins complètes et moins arrêtées dans leurs détails que des vues photographiées, étant exemptes de déformations dans toute leur étendue, devaient être, à l'époque dont il s'agit, considérées comme plus exactes que les dernières. Mais aujourd'hui, avec les perfectionnements apportés à la construction des objectifs, il n'en est plus de même et le degré de précision que l'on peut obtenir en employant des photographies est plutôt supérieur, à cause de la netteté des images beaucoup plus grande que sur les dessins les plus soignés.

Il est bien entendu que chaque vue rabattue autour de sa

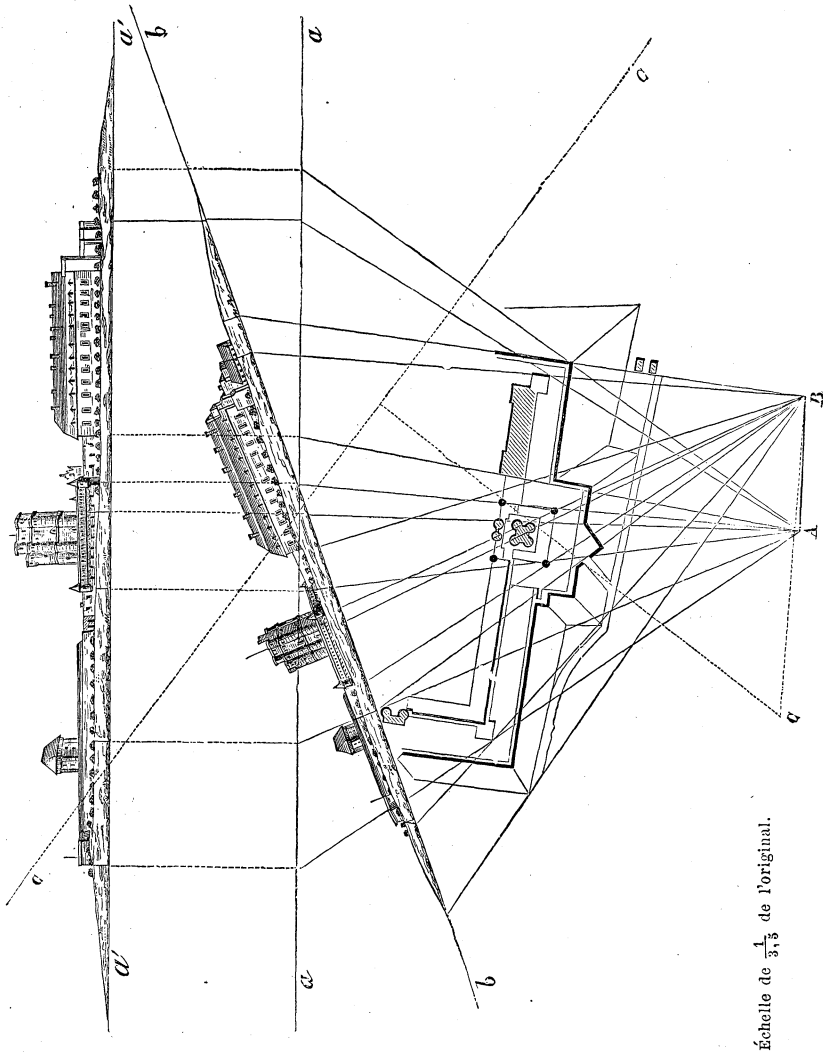



Fig. 19.

Échelle de $\frac{1}{3,5}$ de l'original.

ligne d'horizon fait corps, pour ainsi dire, avec la perpendiculaire abaissée du point de vue sur cette ligne, c'est-à-dire

avec la distance du point de vue au tableau et par conséquent avec ce point de vue lui-même.

*Planimétrie.* — Les deux vues étant orientées par rapport à la base, en abaissant de chacun des mêmes points remarquables que l'on y découvre, des perpendiculaires sur les lignes d'horizon *aa* et *bb*, et en joignant les pieds de ces perpendiculaires respectivement au point A et au point B, l'intersection des deux lignes ainsi tracées détermine, sur le plan, la projection de chaque point considéré.

Il est aisé de reconnaître sur la figure comment ont été trouvées, par exemple, la longueur de la façade de la grande caserne que l'on voit sur la droite des perspectives, les positions des petites guérites de pierre (échauguettes) situées aux angles de l'enceinte crénelée qui enveloppe le bas du donjon, etc.

On opérerait de la même manière en combinant la vue *cc* prise du point C avec l'une des deux autres, soit pour déterminer de nouveaux points, soit pour vérifier ceux qui résultent de la combinaison des deux premières.

*Nivellement.* — La ligne d'horizon d'une perspective étant la trace du plan horizontal qui passe par le point de vue sur le plan du tableau, tous les points du paysage situés sur cette ligne sont au même niveau que le point de vue.

Cela étant, il est aisé de concevoir, et on l'a déjà vu plus haut, page 47, § XIV, comment on peut calculer les différences de niveau de ce point de vue (ou de la station qui est un point du terrain situé au-dessous d'une quantité variant de $1^{m},20$ à $1^{m},50$ que l'on doit mesurer exactement) et de tous les points reconnaissables sur les perspectives.

Ainsi, en admettant que le plan soit construit à l'échelle de $\frac{1}{7000}$ (en réalité, il a été construit à l'échelle de $\frac{1}{2000}$, mais il a été réduit pour faire tenir la figure dans le texte), mesurons en millimètres : la hauteur apparente, $15^{mm}$, du sommet de la tige du paratonnerre au-dessus de la ligne d'horizon; la distance du point de vue A au pied de la perpendiculaire abaissée sur la ligne d'horizon, $67^{mm}$; enfin la distance de ce même

point de vue au donjon, sur le plan, $37^{mm}$; faisons la proportion $\frac{15}{67} = \frac{x}{37}$, d'où $x = 8^{mm},28$, qui, multipliés par le dénominateur de l'échelle 7000, donnent pour la hauteur cherchée $57^{m},96$.

La même opération effectuée rapidement avec la règle à calcul permet de déterminer les différences de niveau de tous les points de la perspective rapportés sur le plan.

Il ne faut pas oublier de tenir compte de la hauteur du point de vue au-dessus de la station considérée. Ainsi, dans le cas actuel, ce point de vue était situé à $1^{m},40$ au-dessus du sol et la différence de niveau cherchée était, par conséquent, de $57^{m},96 + 1^{m},40 = 59^{m},36$.

Enfin, il est clair qu'en répétant la même opération sur une seconde perspective qui contient le même point, la différence de niveau des stations d'où ont été prises les deux perspectives étant connue, on a un moyen simple de vérification.

Le second exemple se rapporte à la reconnaissance de la forteresse du Mont-Valérien et est tout aussi facile à suivre sur la *Pl. VII*. La base $xy$ mesurée sur le terrain avait été rapportée sur la feuille de dessin en $x'y'$ à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ adoptée pour le plan que nous avons construit, mais qui a été réduite à $\frac{1}{10000}$ pour la figure gravée.

Pour orienter sur cette base les deux vues dessinées à la chambre claire et rabattues autour de leur ligne d'horizon, on se servit des deux angles $a'x'y' = 26°30'$ et $b'y'x' = 57°$ évalués très simplement au moyen de la chambre claire elle-même.

On parvint ensuite facilement à identifier sur les deux vues, et malgré les déplacements dus à la perspective, les différents édifices de l'intérieur de la forteresse, leurs mêmes arêtes verticales, les angles des glacis de la fortification, etc.; puis, en opérant comme on l'a expliqué plus haut, on détermina sur le plan un assez grand nombre des points correspondants. Enfin, en marquant ces points sur une feuille de papier à calquer et en portant cette feuille sur un plan du

Mont-Valérien à la même échelle de $\frac{1}{5000}$, levé par les méthodes rigoureuses, la superposition n'accusa aucune erreur, *il y avait une coïncidence parfaite pour tous les points.*

Il serait sans doute inutile d'insister sur les conséquences d'un semblable résultat que tout le monde peut pressentir; il suffit donc de faire remarquer qu'il démontrait péremptoirement que la chambre claire modifiée dont nous avions fait usage ne produisait aucune déformation, conformément à la théorie d'ailleurs, ni aucun déplacement de l'image virtuelle, déplacement ou *parallaxe* dont on avait tant de peine à se débarrasser avec les anciens instruments du même genre.

Nous ne reviendrons pas, à propos de ce second exemple, sur ce que nous avons dit plus haut du calcul des cotes de nivellement, et quoique la gravure des vues du Mont-Valérien soit très nette, leur réduction a rendu les détails du terrain trop difficiles à identifier pour que l'on puisse les employer à se rendre compte de la marche à suivre dans le tracé des courbes de niveau. Nous n'avions pas essayé d'ailleurs d'exécuter ce tracé sur les vues originales de plus grandes dimensions, parce que le but que nous nous étions proposé était atteint, et c'est l'année suivante seulement, dans des reconnaissances étendues faites dans un pays encore plus accidenté, que nous avons pu constater avec quelle facilité on obtenait des cotes de nivellement assez nombreuses pour permettre de bien saisir et de reproduire les formes du terrain.

Nous donnerons plus loin des spécimens des résultats de ce genre obtenus surtout depuis que l'on a substitué aux dessins à la chambre claire des images photographiées.

### III. — *Des cas où l'on peut recourir à des vues isolées.*

Quoique nous venions de voir qu'il est à peu près indispensable, pour construire le plan d'un terrain plus ou moins mouvementé, de changer de point de vue et de combiner plusieurs perspectives de ce terrain, il peut se présenter des cas où des vues isolées ou même une vue unique deviennent très avantageusement utilisables.

Ainsi, pour vérifier ou compléter des reconnaissances anciennes faites par les procédés ordinaires, des cartes ou des plans gravés plus ou moins exacts du commerce, des vues isolées prises de points favorablement situés, quoique indépendants les uns des autres, sont toujours d'un grand secours; nous avons eu bien des occasions d'en faire l'expérience.

Dans d'autres circonstances, une perspective unique peut même suffire pour aider à construire immédiatement quelques parties d'un plan qui serviraient au besoin de canevas et sur lesquelles on rapporterait d'autres mesures faites au pas ou à l'estime. En se plaçant, par exemple, au sommet d'un escarpement, d'une hauteur où d'un édifice d'où l'on découvre le rivage de la mer (les phares sont ainsi des stations très favorables), les bords d'un lac, d'un canal ou même ceux d'un fleuve, d'un cours d'eau dont la pente est faible, un observateur qui prend la perspective exacte de ces bords peut en exécuter le plan au moyen d'une construction géométrique.

Nous connaissons déjà le procédé de la craticulation indiqué aux *Notions préliminaires,* page 39, § XII, mais il y en a un autre, également applicable au cas d'une perspective dessinée sur tableau plan vertical et à celui d'une perspective tracée sur un tableau incliné à l'horizon, qui est fondé sur le principe très simple formulé de la manière suivante dans la *Géométrie descriptive,* de Monge :

« Lorsqu'on a un tableau offrant la perspective d'un objet déterminé, on peut en déduire la perspective du même objet prise du même point de vue et sur un tableau différent. En effet, l'œil et le premier tableau étant déterminés de position, la direction des rayons visuels menés de l'œil à chacun des points de l'objet se trouve fixée et l'on peut en déduire, par conséquent, leur rencontre avec la surface d'un autre tableau dont la position est donnée. »

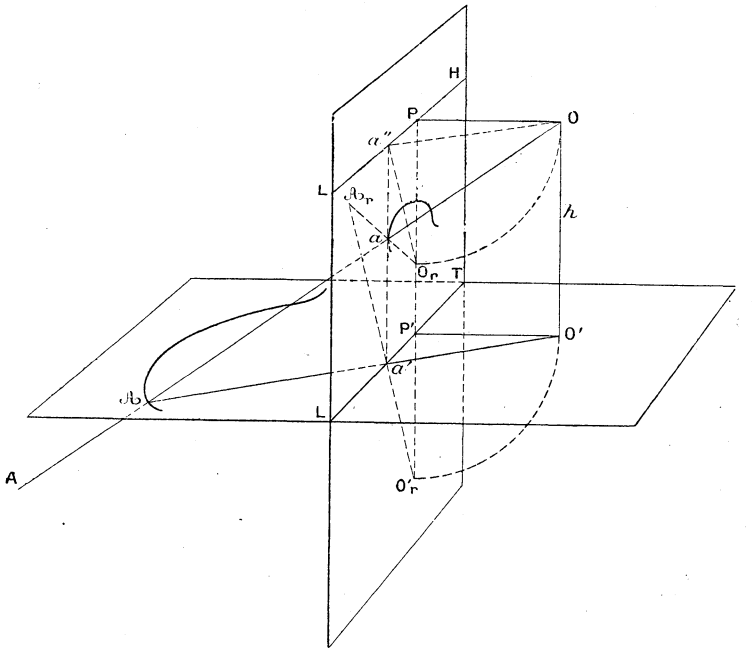
Dans le cas dont il s'agit, l'objet ou les objets considérés sont supposés contenus dans un même plan horizontal; en traçant donc les rayons visuels au moyen de la perspective verticale dessinée (ou photographiée) et en cherchant leurs traces sur un tableau horizontal, on obtiendra une figure

semblable au contour naturel, c'est-à-dire un plan dont l'échelle sera généralement facile à déterminer par une mesure prise sur le terrain.

Cherchons à effectuer, le plus simplement possible, cette transformation d'une perspective verticale en une perspective horizontale.

Il est évident d'abord, par la nature même de la question, que la ligne d'horizon laissera tous les points considérés de la

Fig. 20.




perspective au-dessous d'elle. Soit donc O (*fig.* 20) le point de vue, LH la ligne d'horizon et P le point principal; à une distance $OO' = h$ qui, selon l'échelle adoptée, peut être plus grande ou plus petite que OP, menons le plan horizontal qui doit actuellement être pris pour plan du tableau, joignons le point de vue O à un point quelconque $a$ de la perspective

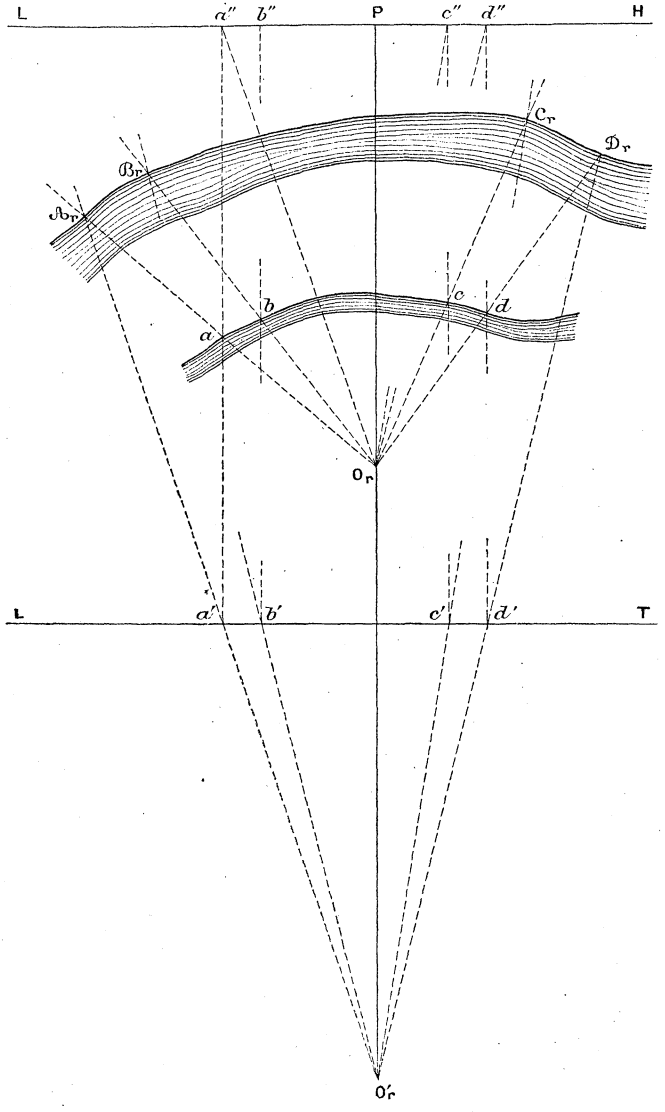
verticale et prolongeons indéfiniment le rayon visuel O$a$ : ce rayon percera le tableau horizontal en un point $\mathfrak{A}$ ; supposons ce point trouvé et joignons-le à la projection O′ du point de vue, O′$\mathfrak{A}$ coupera la ligne de terre en $a'$. Par le point de vue, menons dans le plan d'horizon la ligne O$a''$ parallèle à O′$\mathfrak{A}$, les trois points $a''$, $a$ et $a'$ étant dans le plan vertical du rayon visuel seront sur une même ligne droite perpendiculaire à la ligne de terre et à la ligne d'horizon. Rabattons maintenant sur le tableau vertical, d'une part, le plan d'horizon qui aura la ligne d'horizon pour charnière et, de l'autre, le tableau horizontal que nous ferons tourner autour de la ligne de terre. Après cette double opération, les lignes $a''\mathrm{O}_r$ et $\mathfrak{A}_r a' \mathrm{O}'_r$ seront encore parallèles comme l'étaient dans l'espace les lignes O$a''$ et O′$a'\mathfrak{A}$ dont elles sont les rabattements et la similitude des triangles $a''\mathrm{O}a$ et $\mathfrak{A}a'a$ donnant la proportion $aa'' : aa' :: \mathrm{O}a'' : \mathfrak{A}a'$, les triangles $a''\mathrm{O}_r a$ et $\mathfrak{A}_r a a'$ que l'on formera en joignant le point $a$ aux points $\mathfrak{A}_r$ et $\mathrm{O}_r$ seront semblables, d'où il suit que les trois points $\mathrm{O}_r$, $a$ et $\mathfrak{A}_r$ sont en ligne droite.

On est ainsi conduit à la construction suivante faite sur le plan même du tableau vertical.

La perspective *abcd* (*fig.* 21) étant donnée ainsi que la ligne d'horizon et la distance OP du point de vue au tableau, à une distance $h$ que nous pouvons prendre ici arbitrairement, menons la ligne de terre LT parallèle à la ligne d'horizon ; par les points $a$, $b$, $c$, $d$ abaissons des perpendiculaires $aa'$, etc. sur la ligne de terre ; en joignant $\mathrm{O}_r$ au point $a$ et $\mathrm{O}'_r$ au point $a'$, l'intersection des deux lignes $\mathrm{O}_r a$ et $\mathrm{O}'_r a'$ prolongées donnera le point $\mathfrak{A}_r$ de la perspective horizontale ou du plan de la ligne sinueuse dont *abcd* est la perspective verticale, si tous les points de cette ligne sont situés dans un même plan horizontal.

La figure $\mathfrak{A}_r\mathfrak{B}_r\mathfrak{C}_r\mathfrak{D}_r$ est, en effet, semblable à ABCD et l'échelle du dessin sera le rapport $\frac{\mathfrak{A}_r\mathfrak{B}_r}{\mathrm{AB}}$ des deux lignes homologues ou celui $\frac{h}{\mathrm{H}}$ de la distance $h$ du tableau horizontal au point de vue à la hauteur H de ce point de vue au-dessus

Fig. 21.




du niveau de **ABCD**; il suffira, par conséquent, de mesurer

sur le terrain la distance qui sépare deux des points A, B, C, D, ou de déterminer H.

Cette construction est la plus simple que l'on puisse imaginer; mais, si l'on voulait opérer sur une feuille de dessin de longueur réduite, on pourrait ne pas employer le point $O'_r$ et arrêter l'épure à la ligne de terre. Il suffirait alors de tracer la perpendiculaire du point $a$ entre les deux lignes LT et LH, de joindre $O_r$ à $a$ et à $a''$, puis de mener par $a'$ une parallèle à $O_r a''$ jusqu'à la rencontre de $O_r a$ prolongée s'il est nécessaire.

Cette modification, facile à justifier en se reportant à la figure, a toutefois l'inconvénient d'exiger un peu plus de temps.

Pour que les constructions que l'on vient de décrire réussissent, il convient évidemment que le point de vue soit assez élevé au-dessus de la surface de l'eau ou du terrain, et que les bords dont on cherche la projection horizontale ne soient pas trop éloignés de la verticale du point de vue; enfin, pour les points situés dans le plan principal ou tout près de ce plan, les intersections des droites qui servent à les déterminer se feraient sous des angles trop aigus; on doit alors avoir recours au rabattement, sur le plan du tableau, des plans verticaux de chaque rayon visuel.

Dans les pays de plaines où l'on rencontre quelquefois des édifices d'une grande hauteur, un seul panorama pris du sommet de l'un de ces édifices et qui contiendrait les routes, les canaux, les cours d'eau et les autres accidents remarquables du terrain environnant, même des maisons dont on découvrirait le pied, fournirait les éléments d'une reconnaissance partielle, qui pourrait être encore passablement exacte (dans un rayon limité toutefois, comme nous le verrons bientôt), à la condition que le sol fût sensiblement de niveau (1).

La solution précédente, que nous avons appliquée, dès 1851, à des vues de côtes dessinées du haut des falaises de

(1) C'est le cas restreint considéré par Lambert, de Mulhouse, dans sa *Perspective libre*, cité antérieurement page 11.

la Manche, a acquis un bien plus grand intérêt depuis que l'on fait de la Photographie instantanée en ballon captif ou en ballon libre et même, comme nous l'avons déjà annoncé, au moyen de cerfs-volants. Il convient donc d'examiner les conditions dans lesquelles on pourrait avoir quelques chances d'opérer avec succès en se servant de ces stations aériennes.

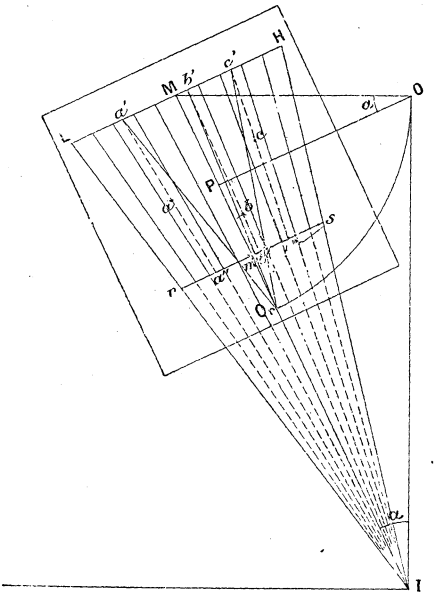
Il y a, on le conçoit, de précieuses propriétés communes à des vues prises de points très élevés au-dessus du terrain, mais il n'est pas moins indispensable de distinguer les cas où les tableaux sont verticaux, inclinés à l'horizon ou horizontaux. Le premier et le dernier cas ne présentent pas de difficultés particulières, et dans le dernier on peut même souvent obtenir des images qui sont de véritables plans ; mais, dans les deux cas, l'étendue du terrain embrassé est plus limitée que lorsqu'on incline convenablement le tableau. En pays de montagnes, on peut aussi être amené accidentellement à incliner l'axe optique de l'appareil pour découvrir des ravins profonds et rapprochés ou pour atteindre des parties élevées de roches abruptes dont le pied est également trop rapproché de la station.

### IV. — *Tableaux inclinés sur l'horizon.*

La mesure de l'inclinaison du tableau et le repérage de la ligne d'horizon et du plan principal sur l'épreuve ont besoin d'être effectués avec le plus grand soin, mais le degré de précision que l'on peut obtenir dépend de la disposition des appareils spéciaux dont il ne sera question que dans le Chapitre suivant. Nous supposerons, en conséquence, pour le moment, que ces éléments sont parfaitement déterminés, ainsi que la distance du point de vue au tableau. Les données sont donc la ligne d'horizon LH tracée sur l'épreuve (*fig.* 22), l'inclinaison $\alpha$ du tableau et la distance OP du point de vue au tableau ; la position du point P, centre de l'épreuve, ou celle du point M, milieu de la ligne d'horizon, sont également connues et servent à la construction suivante.

Il s'agit encore d'obtenir les angles des rayons visuels réduits à l'horizon, non plus sur un tableau vertical, mais sur le tableau incliné. Or les lignes projetantes des points de la perspective oblique ne sont plus des perpendiculaires à la ligne d'horizon, mais des droites qui convergent vers le point

Fig. 22.




de rencontre de la verticale du point de vue et du plan du tableau. Ces droites sont, en effet, les traces des plans verticaux qui passent par le point de vue et par les différents points considérés, et leurs intersections avec la ligne d'horizon, jointes au point de vue ou à son rabattement sur le plan du tableau, donneront les projections horizontales cherchées des rayons visuels.

$\alpha$ étant l'inclinaison du plan du tableau sur la verticale, le point d'intersection I de la verticale du point de vue et du plan du tableau sera situé sur la perpendiculaire menée à la

ligne d'horizon dans ce plan à une distance $MI = \frac{OM}{\sin\alpha}$, et comme $OM = \frac{OP}{\cos\alpha}$, $MI = \frac{OP}{\sin\alpha\cos\alpha} = \frac{2\,OP}{\sin 2\alpha}$.

Si cette distance était trop grande pour que le point I pût être rapporté sur la feuille de dessin, on mènerait au bas de cette feuille une parallèle *rs* à la ligne d'horizon sur laquelle, et d'après la distance M*m* des deux parallèles, on prendrait une longueur *rs* proportionnelle à la longueur LH marquée sur la ligne d'horizon et près de ses extrémités. En divisant LH et *rs* en un même nombre de parties égales, les lignes projetantes des points *a*, *b*, *c* de la perspective, c'est-à-dire $a'a''$, $b'b''$, $c'c''$, ..., sont aisément obtenues en se guidant sur ces divisions. En joignant ensuite le point de vue rabattu $O_r$ aux points $a'$, $b'$, $c'$, ... de la ligne d'horizon, on a les angles réduits $a'O_rb'$, $a'O_rc'$, $b'O_rc'$, ....

Si une ou plusieurs vues sur tableau incliné ont été prises à terre et rattachées à d'autres vues prises dans des conditions ordinaires, c'est-à-dire sur des tableaux verticaux, la méthode qui vient d'être indiquée pour en déduire les angles réduits à l'horizon permettra de faire concourir ces éléments à la construction de parties du plan ou de la carte de la région ainsi explorée qui, autrement, eussent été peut-être inaccessibles.

## V. — *Utilisation des vues aériennes sur tableaux inclinés dans les reconnaissances.*

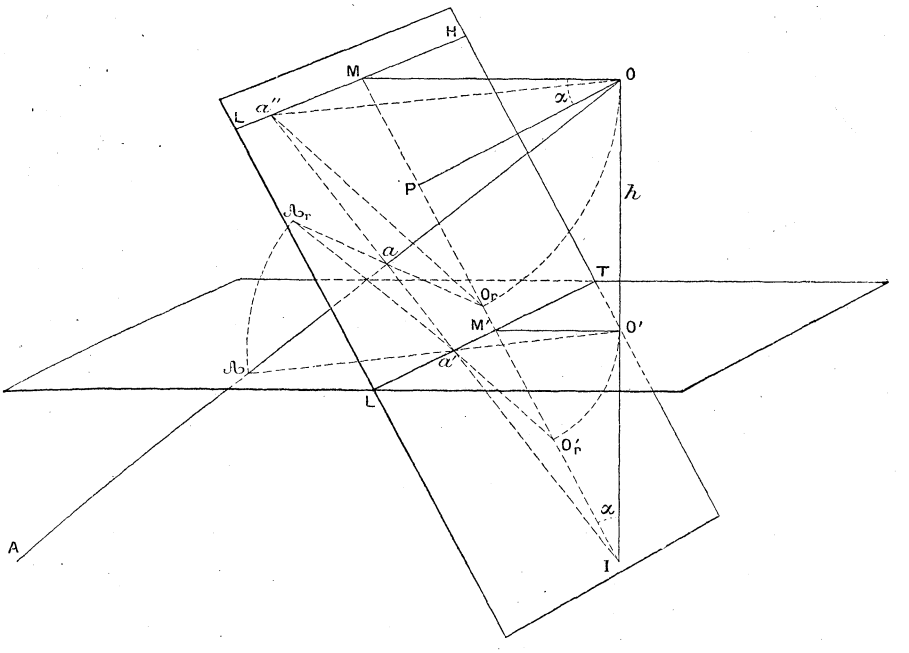
Mais nous devons surtout considérer indépendamment les vues aériennes obtenues sur des tableaux inclinés et tâcher d'y découvrir le parti que l'on en pourrait tirer dans des reconnaissances difficiles à tenter par les procédés ordinaires.

Pour opérer la transformation de ces perspectives ou du moins des parties qui sont certainement ou sensiblement horizontales, comme les bords de la mer, des lacs, des cours d'eau à faible pente, on peut suivre une marche analogue à

celle que nous avons indiquée pour la transformation des perspectives verticales en projections horizontales.

Soient LH (*fig.* 23) la ligne d'horizon, O le point de vue et M le pied de la perpendiculaire abaissée du point de vue sur

Fig. 23.




la ligne d'horizon, c'est-à-dire la trace du plan principal sur cette ligne. Parallèlement au plan d'horizon et par la ligne de terre LT, faisons passer le plan du nouveau tableau; projetons le point de vue en O′ et prolongeons la verticale OO′ jusqu'à sa rencontre en I avec le plan du tableau oblique. La trace MI du plan principal MOI rencontre la ligne de terre en M′; joignons O′M′ et considérons un rayon visuel OA passant par le point *a* de la perspective et qui rencontrera le nouveau tableau horizontal en $\mathfrak{a}$; c'est ce dernier point qu'il s'agit de déterminer. La solution de cette question ne diffère de celle de la précédente qu'en ce que les plans verticaux des rayons

visuels, au lieu de couper le tableau suivant des droites parallèles perpendiculaires à la ligne de terre, le coupent suivant des droites divergentes et partant du point I que l'on détermine comme nous venons de l'expliquer un peu plus haut.

Si l'on joint $O'\mathfrak{h}$ qui coupe la ligne de terre en $a'$ et que l'on mène par le point de vue la ligne $Oa''$ parallèle à $O'a'$, les trois points $a''$, $a$ et $a'$ seront sur la ligne droite qui passe par le point I. Après le rabattement du plan d'horizon autour de LH et celui du tableau horizontal autour de LT, le point de vue étant en $O_r$ et sa projection $O'$ en $O'_r$, les droites $O_r a''$ et $O'_r a' \mathfrak{h}_r$ seront parallèles et de plus les trois points $O_r$, $a$ et $\mathfrak{h}_r$ seront en ligne droite.

En effet, les deux triangles dans l'espace $Oaa''$ et $\mathfrak{h}aa'$ étant semblables, on a la proportion $\frac{\mathfrak{h}a'}{Oa''} = \frac{aa'}{aa''}$. Après les rabattements, les lignes $\mathfrak{h}_r a'$ et $O_r a''$ n'ayant pas changé de grandeur, on aura toujours $\frac{\mathfrak{h}_r a'}{O_r a''} = \frac{aa'}{aa''}$, d'où l'on conclut que les deux triangles tracés sur le tableau oblique $O_r aa''$ et $a'a\mathfrak{h}_r$ sont semblables et que les trois points $O_r$, $a$ et $\mathfrak{h}_r$ sont bien en ligne droite.

La transformation des perspectives obtenues sur des plans obliques à l'horizon se déduit immédiatement de cette remarque, quand on connaît la hauteur du point de vue au-dessus du terrain supposé horizontal, la distance du point de vue au tableau et l'inclinaison du plan du tableau sur l'horizon.

En partant, en effet, de ces données, comme il est aisé de le voir ou plutôt comme on l'a déjà vu, $\alpha$ étant toujours l'inclinaison du plan du tableau sur la verticale ou le complément de l'inclinaison sur l'horizon, on a

$$MI = \frac{2OP}{\sin 2\alpha}, \qquad OM = \frac{OP}{\sin \alpha}, \qquad O'M' = OM - h \tan \alpha,$$

pour calculer les longueurs MI, OM et O'M' dont on a besoin. Une simple construction graphique suffit d'ailleurs pour obtenir ces quantités avec toute l'exactitude nécessaire, puisqu'il

s'agit, en définitive, d'en arriver à des constructions du même genre.

## VI. — *Emploi de deux ou plusieurs vues prises sur des tableaux inclinés.*

Quand on est parvenu à photographier plusieurs vues d'un même site et de stations différentes, soit en ballon, soit à l'aide d'un cerf-volant, il est naturel de se demander comment on peut les combiner.

En supposant toujours que ces vues présentent des cours d'eau ou même simplement des routes sensiblement horizontales, on peut espérer parvenir assez souvent à déterminer, avec une précision suffisante, un certain nombre de points isolés choisis parmi les plus remarquables, les extrémités d'une digue, les arches d'un pont au niveau de l'eau, les coudes de la rivière ou de la route, les carrefours, etc.

Ces points, retrouvés sur deux photographies au moins, deviendraient alors autant de repères à l'aide desquels on pourrait orienter ces photographies pour les faire concourir simultanément à la construction du plan et, dans certains cas, quoique plus difficilement, au nivellement suivant la méthode générale que nous avons exposée.

En effet, sur chacune des feuilles qui ont servi à déterminer les repères, la projection du point de vue, c'est-à-dire de la station aérienne, se trouve rapportée elle-même en $O_r$ (*fig.* 23 et *Pl. VIII, fig. b* et *c*), comme on le verra tout à l'heure.

Or, si sur l'une d'elles on relève, avec un papier à calquer, deux ou trois repères ou même davantage ainsi que la station, en plaçant ce calque sur l'autre feuille, on déterminerait immédiatement la position relative des deux stations.

Il y a là un fait assurément intéressant et peut-être assez inattendu à signaler, à savoir que les stations aériennes deviennent ainsi tout à fait indépendantes les unes des autres, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire de se préoccuper d'un moyen de les relier autrement entre elles comme on relie habituellement les stations terrestres par des mesures de

distances et d'angles, par des triangulations ou des cheminements, opérations d'ailleurs à peu près irréalisables dans la plupart des circonstances supposées (1).

L'économie de cette méthode dépend toutefois de la précision des données que les progrès des instruments spéciaux rendront sans doute de plus en plus grande.

Pour faire apprécier sa praticabilité qui n'est pas toujours très facile, il faut bien en convenir, nous allons prendre un exemple en partant des données relatives à une photographie obtenue par M. A. Batut à l'aide de son cerf-volant.

En se reportant aux *fig. b* et *c* (*Pl. VIII*), dont la première représente les constructions préparatoires effectuées dans le plan principal et la seconde le plan sur lequel on restituera quelques-uns des points de la perspective, et en conservant les notations précédentes, le cerf-volant ayant été élevé à $90^m$ de hauteur et son inclinaison sur la verticale évaluée à 33°, enfin la distance focale de la chambre noire étant de $0^m,166$; on a donc

$$\alpha = 33°, \qquad OP = 0^m,166 \qquad \text{et} \qquad H = 90^m.$$

Si l'on convient maintenant d'adopter pour le plan l'échelle de $\frac{1}{2000}$ et en réduisant encore les figures de moitié, on aura

$$OP = 0^m,083 \qquad \text{et} \qquad h\,\frac{90^m}{2 \times 2000} = 0^m,0225.$$

Pour obtenir la ligne d'horizon sur la photographie, on n'aura, en général, qu'à s'arranger de manière à retrouver facilement le point principal P de la perspective (qui devrait être exactement au centre de la plaque, mais qui peut être vérifié d'après des vues prises à terre et sur tableau vertical), pourvu que l'on ait en même temps l'inclinaison du tableau.

Les constructions préliminaires étant effectuées sur la *fig. b*

(1) On sait que les stations terrestres deviennent également indépendantes les unes des autres quand on emploie la méthode des recoupements avec laquelle celle que l'on vient d'indiquer n'a cependant qu'une analogie assez éloignée, car la première suppose les points de repère déjà déterminés à l'aide d'une triangulation ou d'un cheminement.

(*Pl. VIII*), graphiquement ou à l'aide des éléments calculés, soient LH la ligne d'horizon sur le plan (*Pl. VIII, fig. c*), LT la ligne de terre tracée parallèlement à LH, à la distance $MM' = h$, sur la ligne correspondant à la médiane de la photographie; les distances MI, OM et O'M' sont rapportées sur cette médiane et déterminent les points I, $O_r$ et $O'_r$.

La ligne de terre étant une charnière, les points tels que *b* situés sur cette ligne appartiennent à la fois à la perspective et au plan.

Considérons maintenant un point *a* de la perspective situé au-dessous de la ligne de terre; pour obtenir le point correspondant du plan, il suffira, d'après ce qu'on a vu plus haut, de mener d'abord I*a* prolongée jusqu'à la ligne de terre en *a'*, puis de mener $O_r a$ et enfin de joindre *a'* à $O'_r$, l'intersection de $O_r a$ et de $O'_r a'$ sera le point A cherché.

Si nous considérions un autre point *c* situé au-dessus de la ligne de terre, la même construction servirait à obtenir le point C du plan. On remarquera seulement que, dans le premier cas, l'intersection A se fait en deçà du point *a* de la perspective et que, dans le second, elle se fait au delà du point *c*. Une autre remarque importante et de laquelle il résulte qu'on aurait de la peine à tracer complètement, d'après la perspective unique dont il s'agit, les bords d'un cours d'eau sur toute leur étendue, c'est que les angles sous lesquels se rencontrent les lignes de construction sont généralement très aigus.

Nous avons choisi l'exemple précédent, c'est-à-dire le cas d'une station située à $90^m$ au-dessus du sol, parce que cette hauteur dépasse déjà celle des monuments les plus élevés, à très peu d'exceptions près, sur lesquels on pourrait songer à s'installer pour faire une reconnaissance rapide à l'aide de la Photographie sur des tableaux verticaux ou inclinés, mais les escarpements et les falaises peuvent atteindre souvent plusieurs centaines de mètres et avec les ballons captifs ou libres et même avec des cerfs-volants on peut s'élever ou élever des appareils beaucoup plus haut et modifier avantageusement les conditions précédentes, car alors, les points $O_r$ et $O'_r$ s'éloignant

l'un de l'autre, les lignes de construction se rencontreraient sous des angles moins aigus et la précision deviendrait plus grande.

Il existe déjà un grand nombre de vues photographiées prises en ballon, à des hauteurs qui ont varié de 200$^{m}$ à 1000$^{m}$ et au delà, sur lesquelles on aurait pu essayer des restitutions si l'on avait pris seulement la peine, la distance focale étant toujours supposée connue, de bien déterminer, chaque fois, la hauteur de la nacelle et l'inclinaison de l'axe optique de l'appareil.

Nous avons cherché, dans les explications qui précèdent, à démontrer la possibilité de tirer encore un meilleur parti de documents déjà très intéressants par eux-mêmes et qui ne cessent de se multiplier chaque jour.

## VII. — *Limitation de l'emploi des vues aériennes.*

Nous terminerons ces considérations que nous n'avons pas craint de développer, précisément à cause de l'emploi fréquent de la Photographie dans des stations élevées, aériennes ou terrestres, et parce que les images ainsi obtenues jouissent de propriétés très précieuses qui ne sauraient échapper à personne, en appelant l'attention sur les limites du champ efficace des épreuves qui dépendent toujours nécessairement de la hauteur de la station.

Nous nous bornerons d'ailleurs à examiner les deux cas extrêmes des épreuves obtenues sur un tableau horizontal (en ballon) ou sur un tableau vertical (en ballon ou du sommet d'une station assez élevée), celui des épreuves sur un tableau plus ou moins incliné (en ballon ou d'un cerf-volant) pouvant être considéré sous ce rapport comme se confondant avec le dernier.

*Tableau horizontal.* — Le cas de l'épreuve sur un tableau horizontal est très simple. En effet, le champ angulaire de l'appareil étant supposé constant, la surface du terrain représenté est proportionnelle au carré de la hauteur. Par exemple,

si cette hauteur est de 500$^{m}$ et que le champ angulaire soit de 90°, il est aisé de voir que chacun des côtés de l'épreuve correspondra à une distance de 1000$^{m}$ mesurée sur le terrain et, par conséquent, la surface représentée sera de 100 hectares. Si le même appareil est élevé de 1000$^{m}$, cette surface sera de 400 hectares, etc. D'un autre côté, quand le terrain est peu accidenté, on reconnaît immédiatement que l'image n'est autre chose que le plan de ce terrain à une échelle qui est donnée par le rapport de la distance focale de l'objectif à la hauteur de l'appareil au-dessus du sol.

Nous donnons comme exemple (*fig.* 24) la photographie du pont Louis-Philippe sur la Seine, allant de l'île Saint-Louis au quai de l'Hôtel-de-Ville, prise en ballon monté par MM. G. Tissandier et Ducom le 19 juin 1885, de 600$^{m}$ de hauteur, avec un objectif de Français d'environ 0$^{m}$,40 de distance focale, et nous en rapprochons (*fig.* 25) un extrait du plan parcellaire de Paris ramené à la même échelle.

*Tableau vertical.* — Supposons une station de 500$^{m}$ de hauteur et une distance du point de vue au tableau de 0$^{m}$,15 et cherchons les effets de la transformation de la perspective selon la distance des points considérés à la station.

Nous admettrons encore que le terrain au-dessus duquel on a pris la photographie est une plaine horizontale indéfinie et, sans nous préoccuper du champ angulaire de l'objectif employé, en renversant le problème, de la station O comme centre, décrivons sur la feuille de dessin, à l'échelle de $\frac{1}{20000}$ par exemple, des arcs de cercle concentriques avec des rayons de 500$^{m}$, de 1000$^{m}$, de 1500$^{m}$, de 2000$^{m}$, de 2500$^{m}$ et de 3000$^{m}$, les perspectives de ces arcs de cercle sur un tableau vertical seront des arcs d'hyperbole ayant leurs sommets sur la trace du plan principal (*Pl. VIII, fig. a*).

En déterminant ces courbes par points par une construction inverse de celle de la page 75, on reconnaîtra que l'on peut, dans les conditions supposées, compter sur un degré suffisant d'exactitude jusqu'à 6° ou 7° de part et d'autre du plan principal, et la figure montre aussi que les points de la perspective plus rapprochés de ce plan s'obtiennent aisément à l'aide du

rabattement des plans verticaux qui les contiennent; on pourrait continuer la construction pour des points situés au delà

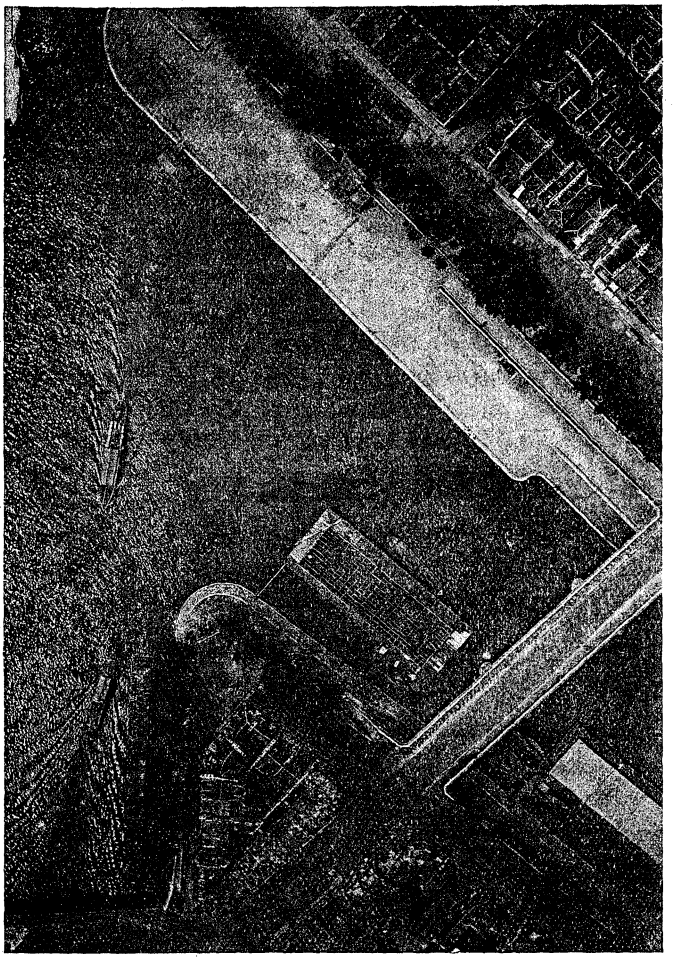


Fig. 24. — Photographie de la pointe de l'île Saint-Louis prise en ballon le 19 juin 1885.

de la distance de $3^{km}$ à laquelle nous nous sommes arrêté, mais les six courbes que nous avons tracées montrent que l'éloignement se traduit par une contraction qui devient déjà très sensible pour les points situés entre $2^{km}$ et $3^{km}$.

La détermination des points de plus en plus éloignés devient donc nécessairement incertaine et l'on conçoit que, selon les

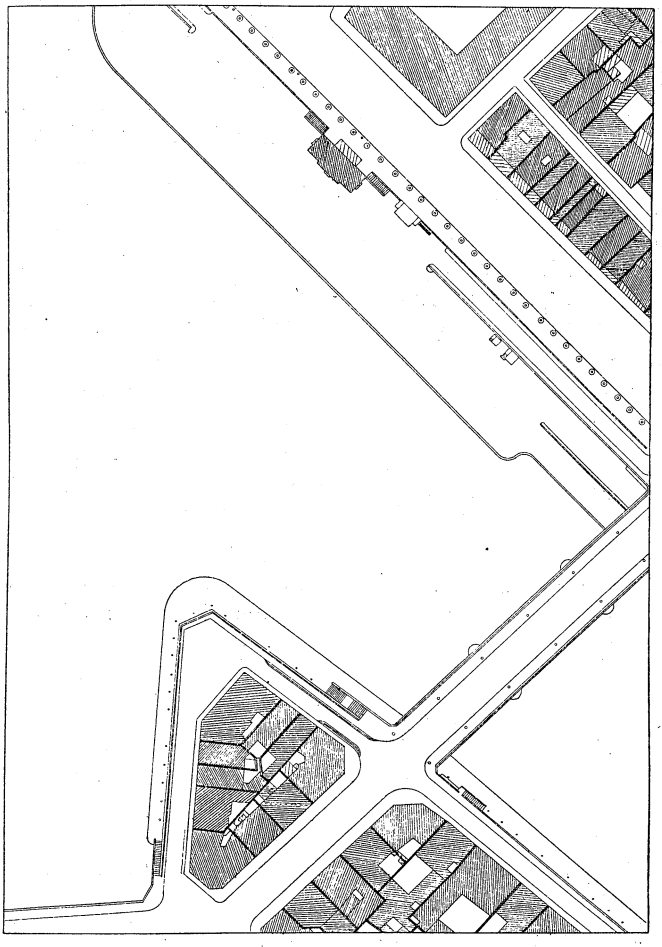


Fig. 25. — Extrait du Plan parcellaire officiel de Paris, à la même époque.

données du problème, on serait conduit à adopter des limites plus ou moins étroites au delà desquelles on devrait renoncer à opérer des transformations immédiates.

On ne saurait donc songer à utiliser cette méthode autre-

ment que pour déterminer un petit nombre de points assez rapprochés et pris dans la plaine à partir de laquelle la hauteur de la station est mesurée.

Après avoir ainsi mis en garde contre les illusions que l'on pourrait se faire sur les propriétés des épreuves photographiques prises de stations aériennes ou de stations terrestres élevées considérées isolément, nous n'hésitons pas à affirmer que, si l'on parvenait à relier entre elles deux ou plusieurs stations d'où l'on aurait découvert le même terrain, par des procédés trigonométriques ou par celui que nous avons indiqué ci-dessus, comme on se retrouverait dans les conditions ordinaires, les restitutions par la méthode des intersections pourraient être tentées avec succès. Alors, en effet, quelle que soit la distance d'un point bien défini sur les deux épreuves que l'on combine, l'exactitude de la détermination ne dépend plus que de la grandeur de la base, c'est-à-dire de la distance horizontale des deux stations et de l'angle sous lequel se rencontrent les projections des rayons visuels.

En ce qui concerne le nivellement, il serait nécessaire, dans certains cas, de tenir compte de la courbure de la Terre, mais on ne s'en préoccupe généralement pas et c'est un motif pour que, dans les levers où l'on vise à une certaine exactitude, on doive renoncer à chercher les cotes des points les plus éloignés.

## VIII. — *Reconnaissances faites à d'assez grandes distances.*

*Amplification des images.* — Même en négligeant la courbure de la Terre, les trop grandes distances ont l'inconvénient d'altérer la précision du nivellement. En effet, les hauteurs apparentes linéaires positives ou négatives des points choisis sur l'une des épreuves sont les éléments qui servent à calculer les différences de niveau. Or l'évaluation de ces longueurs, d'une part, ne se fait qu'avec une approximation d'un dixième de millimètre tout au plus et le tracé de la ligne d'horizon est lui-même entaché d'une incertitude du même ordre; les

erreurs qui en résultent croissent avec la distance des objets considérés et décroissent proportionnellement à la distance du point de vue au tableau et à la grandeur de l'échelle adoptée pour le plan.

La grandeur de cette échelle étant déterminée par des considérations sur lesquelles il ne saurait être question de revenir, c'est seulement en augmentant directement ou indirectement la distance du point de vue au tableau que l'on peut accroître la précision du nivellement ou celle de l'évaluation des distances de signaux dont on connaît les dimensions.

Avec la chambre claire et un point de vue situé, par conséquent, déjà au moins à $0^m,30$ du tableau, pour des points éloignés tels, en général, que les rayons visuels s'écartent peu de l'horizon, on peut obtenir pour le nivellement une assez grande exactitude en se servant d'une lunette disposée au devant du prisme de l'instrument.

Nous n'entrerons, en ce moment, dans aucun détail relativement à la manière de disposer la lunette; pour l'explication que nous voulons donner, il suffira de savoir que les faisceaux de rayons lumineux qui émergent à travers l'oculaire peuvent être réfléchis à l'intérieur du prisme avant d'entrer dans l'œil de l'observateur et que celui-ci voit alors se peindre sur la planchette des images dont les dimensions, comparées à celles qu'il dessinerait avec le prisme seul, se trouvent amplifiées dans un rapport qui est précisément ce que l'on nomme le *grossissement* de la lunette.

Désignons par G ce grossissement qui varie, pour un même instrument, avec l'observateur (1) et que chacun doit déterminer par une expérience directe. Supposons que la lunette porte une croisée de fils à son foyer et que l'on ait tracé sur la planchette la ligne d'horizon et le point principal (2); on

(1) Le grossissement varierait aussi avec la distance des objets, mais ceux que nous considérons sont toujours assez éloignés pour que leurs images viennent se former au foyer principal de l'objectif. Pour un même observateur G est donc constant.

Tout ce qui est indiqué ici sur l'emploi d'une lunette associée à la chambre claire est extrait du Mémoire publié en 1854.

(2) *Voyez* plus loin le paragraphe consacré aux *Instruments* et en particulier à la *Chambre claire*.

pourra faire coïncider l'axe optique de la lunette avec le rayon principal, en projetant, *par un mouvement de rappel,* l'image de la croisée des fils sur le point principal; on fera en même temps en sorte que l'image du fil horizontal de la lunette se projette sur la ligne d'horizon, et les choses étant ainsi disposées, si le point considéré est dans le champ de la lunette ou peut y être amené, l'angle qui mesure l'inclinaison du rayon visuel dirigé sur ce point étant amplifié proportionnellement au grossissement, l'erreur graphique dont il a été question se trouvera diminuée dans le même rapport.

Soient D la distance horizontale du point considéré à la station, $d$ la distance du point de vue au tableau, H la différence de niveau cherchée du point de vue et du point considéré; enfin $h$ la distance de la perspective de ce point à la ligne d'horizon, lorsqu'on observe avec le prisme seul; le nivellement sera donné par la formule $H = \frac{D}{d} \times h$; mais, quand on emploie une lunette dont le grossissement est G, les autres quantités restant les mêmes, au lieu de $h$ on trouve sur le tableau $h' = h \times G$ (c'est comme si la distance du point de vue au tableau avait été augmentée dans le même rapport). Or, l'erreur à craindre étant la même sur $h$ et sur $h'$, quand on divisera $h'$ par G, cette erreur sera divisée par le même nombre. Si l'on emploie, par exemple, une lunette qui grossisse dix fois, une erreur qui, à une certaine distance, pourrait atteindre $0^m,50$, si l'on opérait avec le prisme seul, se trouvera réduite à $0^m,05$.

Cet usage de la lunette se trouve restreint par la condition que nous nous sommes imposée plus haut, surtout quand on opère sur des objets situés à des distances modérées, mais il suffit alors de ne pas employer de forts grossissements pour ne pas trop réduire le champ de la lunette qui lui est inversement proportionnel; en général, quand on opère sur des objets éloignés, il y a, au contraire, avantage à employer d'assez forts grossissements, ces objets restant encore apparents dans le champ réduit.

D'un autre côté, ainsi que nous l'avons fait pressentir, les images amplifiées peuvent devenir elles-mêmes de précieux

éléments de reconnaissance. Pour nous en tenir actuellement à l'une des applications les plus utiles que l'on puisse faire couramment de ce système, nous allons montrer comment il sert à mesurer directement d'assez grandes distances topographiques avec un degré d'approximation suffisant.

Si l'on mesure, en effet, sur le plan du tableau, la longueur $l$ de l'image d'une ligne verticale dont on connaît la vraie longueur L, image que nous supposons amenée dans le plan principal de la perspective; D désignant la distance horizontale cherchée du point de vue à l'objet et $d$ la distance du point de vue au tableau, on aura $D = \frac{L}{l} \times d$; mais $l$ est généralement très petit et D ne serait ainsi obtenu que très inexactement. Si l'on interpose actuellement la lunette en la dirigeant sur l'objet considéré, le prisme suivant le mouvement de la lunette, le champ de celle-ci ne cessera pas d'être représenté sur la planchette par un cercle lumineux, vers le centre duquel on pourra amener l'image amplifiée de l'objet, et, au lieu de la longueur $l$, on trouvera pour cette image $l' = l \times G$, c'est-à-dire que l'erreur à craindre sera encore divisée par G. Ainsi supposons un signal de $10^m$ de hauteur placé à une station dont on cherche la distance D, la distance du point de vue au tableau étant de $0^m,30$; supposons encore que l'image du signal amenée dans le plan principal de la perspective et mesurée sur le tableau paraisse avoir $0^m,01$ de longueur; on en conclurait que la distance D est égale à $\frac{10}{0,01} \times 0^m,30 = 300^m$, mais une incertitude de $0^m,0005$ sur la mesure de $l$ entraînerait une erreur de $15^m$ en plus ou en moins; au lieu qu'avec une lunette grossissant dix fois, l'image paraissant avoir $0^m,10$ pour une erreur de $0^m,001$ avec cette dernière dimension, la mesure serait évaluée à $\frac{1}{100}$ près.

L'approximation est d'ailleurs proportionnelle à la grandeur des signaux et en raison inverse des distances à mesurer.

*Signaux naturels.* — Dans les lieux habités, il existe presque toujours sur les édifices qui font partie des panoramas des lignes verticales, plus ou moins importantes, dont on peut

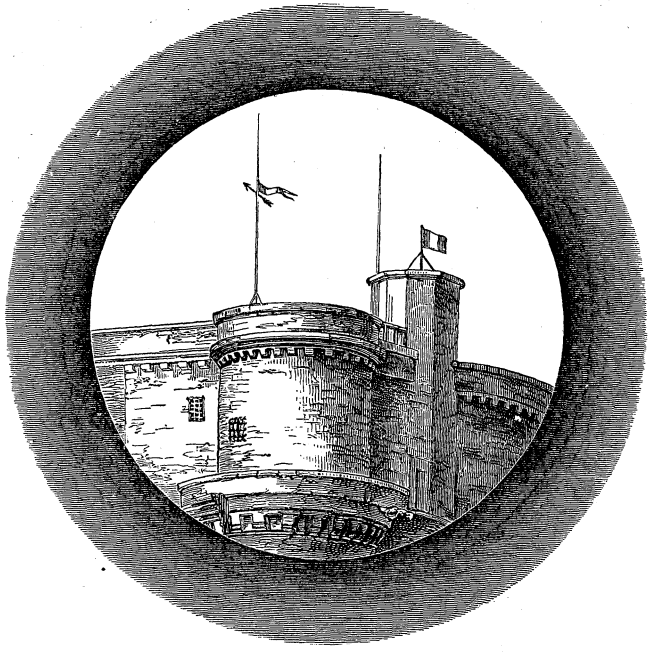
estimer les dimensions, des portes, des fenêtres, des hauteurs d'étages entre deux bandeaux, des chaînes composées d'assises de pierre ou de briques dont on connaît l'épaisseur et qui peuvent être utilisées comme signaux, à la condition de ne pas trop s'en éloigner; les monuments élevés comme la flèche d'un clocher dont on connaîtrait la hauteur au-dessus d'une ligne architecturale bien définie peuvent servir en quelque sorte de mire permanente, de *stadia* dans les reconnaissances rapides faites autour d'une ville. Enfin, tous ceux qui ont pratiqué ces sortes de reconnaissances savent également le parti que l'on peut tirer des autres signaux naturels, comme des arbres à tiges droites et élevées, peupliers, ifs par exemple, des cheminées d'usine, des poteaux télégraphiques, etc., dont la hauteur habituelle est connue ou peut être évaluée facilement. Quand ces signaux se trouvent représentés sur des vues dessinées ou photographiées, prises dans des conditions convenables, leurs images rendent à plus forte raison les mêmes services et l'on peut se dispenser d'entrer dans de plus grands détails à leur sujet.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que la précision que l'on obtient en recourant aux photographies est plus grande que celle que peut atteindre le dessinateur le plus exercé avec la chambre claire, et les agrandissements, que l'on effectue désormais avec tant de perfection, de bons clichés sur verre, peuvent être comparés, dans une certaine mesure, aux grossissements modérés des lunettes, comme ceux auxquels nous avons fait allusion un peu plus haut. Mais on obtient actuellement, avec les appareils spéciaux de la *Téléphotographie* que nous mentionnerons dans le Chapitre suivant, des images directes de grandes dimensions sur lesquelles on opère dans des conditions encore plus avantageuses.

Nous terminerons ce paragraphe par un exemple qui remonte, comme celui que nous avons déjà donné, à propos de la restitution du plan de l'un des côtés du fort de Vincennes, à l'année 1850, c'est-à-dire à cette même époque où nous nous efforcions d'appeler l'attention sur toutes les propriétés des vues pittoresques et leurs applications à la Topographie expéditive.

La figure suivante (*fig.* 26) représente le sommet du donjon de Vincennes, vu de la station B (*fig.* 19) dans le *champ d'une lunette* qui avait un grossissement de quatre fois seule-

Fig. 26.



Champ de lunette du donjon de Vincennes.

ment, dessiné en même temps que les vues de la *fig.* 19 qui sont elles-mêmes réduites, il ne faut pas l'oublier, si l'on vient à comparer les grandeurs des mêmes objets, par exemple le diamètre de la tour qui vient en avant, dans le champ de la lunette (*fig.* 26) et sur la vue *bb* (*fig.* 19).

Voici comment nous avions évalué approximativement la distance de la station au centre de la tour du donjon :

Le grossissement de la lunette étant 4 et la distance du point de vue au tableau ayant été dans ce cas de $0^m,25$ (réduite sur la *fig.* 19 à $0^m,071$), si l'on admet que le parapet du haut de la tour ait une hauteur de $1^m,30$, comme on trouve

sa hauteur apparente mesurée sur la *fig.* 19 égale à $4^{mm},5$, en divisant cette quantité par 4 pour la ramener à ce qu'elle serait sans le grossissement, on trouve $1^{mm},125$ et l'on a la proportion

$$1^{m},30 : 1^{mm},125 :: x : 0^{m},25$$

($x$ étant la distance cherchée de la station à la tour du donjon), d'où

$$x = 289^{m}.$$

Sur le plan de la *fig.* 19 on trouve $x = 280^{m}$; l'erreur commise est donc de $\frac{1}{30}$; mais il n'y a là rien de surprenant, car la hauteur du parapet, déjà bien faible pour servir de stadia, n'était pas rigoureusement connue et l'évaluation de la grandeur de son image était elle-même imparfaite.

Cette expérience improvisée ne doit être considérée d'ailleurs que comme une indication de la marche à suivre, et, si nous l'avons citée de préférence à d'autres plus précises, c'est parce que la figure sur laquelle elle a été faite est une sorte de pièce à conviction vis-à-vis de ceux qui ont voulu s'approprier une idée dont ils n'avaient même pas aperçu la véritable portée (1).

La petite lunette de faible grossissement que nous employions dans les reconnaissances rapides faites en voyageant

---

(1) Cette figure, dessinée en 1850, avait été publiée dans le *Magasin pittoresque,* année 1861; en 1868, un architecte distingué de Nîmes, M. Revoil, ayant eu, à son tour, l'idée fort naturelle d'adapter la chambre claire à une lunette, mais simplement pour dessiner et sans aucune préoccupation de se servir de ses images pour mesurer les distances, apporta à Paris ce qu'il croyait être une invention. En ma qualité de professeur à l'École Polytechnique, et sur l'invitation du général Favé, aide-de-camp de l'empereur, qui commandait l'École, je fus appelé à donner mon avis sur la valeur scientifique et pratique d'une idée qui n'avait absolument rien de neuf, car, depuis la découverte de la chambre claire par Wollaston, cet ingénieux petit instrument avait été immédiatement associé au télescope et au microscope, en Angleterre d'abord et un peu partout ensuite.

M. Revoil était venu à mon observatoire de l'École Polytechnique avec son illustre confrère et ami Viollet-le-Duc. Je fis à ces messieurs l'accueil le plus courtois, tout en les prévenant de la nécessité où j'étais de les désillusionner. Je leur expliquai ce qui avait été fait depuis si longtemps et, après m'être assuré que M. Revoil n'avait pas songé à faire autre chose que des images amplifiées, je leur montrai le passage du *Mémorial de l'Officier du Génie,* année 1854, où se trouve exposé le principe de l'ap-

s'adaptait très simplement à la planchette qui portait déjà la chambre claire, à l'aide d'une tige articulée munie d'une mâchoire, et comme nous ne nous occupons, en ce moment, que des méthodes, nous n'entrerons pas dans d'autres détails à ce sujet. Mais dans l'un des paragraphes suivants, où nous allons entreprendre la description des instruments, nous y reviendrons et nous donnerons celle de l'instrument que nous avons désigné sous le nom de *télémétrographe* (*voyez* la note précédente) et qui comporte l'emploi de lunettes terrestres dont le grossissement a été porté jusqu'à 65, dans les circonstances que nous rappellerons.

## INSTRUMENTS.

### THÉORIE, DESCRIPTION ET USAGE DE LA CHAMBRE CLAIRE.

### IX. — *Historique de la découverte de la chambre claire.*

On sait que nous avons été amené à nous servir de la chambre claire pour exécuter des vues rigoureusement géométriques, au lieu de simples croquis approximatifs, dans le but de donner plus de précision à la méthode de Beautemps-Beaupré. Nous avons déjà montré, par les résultats des expériences faites devant le fort de Vincennes (*fig.* 19) et devant la forteresse du Mont-Valérien (*Pl. VII*), que ce but avait été atteint aussi complètement que possible.

Il nous reste à expliquer en quoi consiste l'instrument en

---

pareil destiné à mesurer les distances, et enfin la figure du *Magasin pittoresque.*

Mais ma consultation était inutile, dès qu'elle ne concluait pas à une approbation. Le siège de ces messieurs était fait et l'instrument (le premier exemplaire était destiné au Prince impérial) fut baptisé *téléiconographe.* Ce fut même ce qui me décida, à mon tour, usant de mon droit de paternité incontestable, en vertu des règles universellement adoptées de l'antériorité garantie par les publications imprimées, à appeler le mien du nom de *télémétrographe* qui indiquait clairement sa destination et avait en même temps l'avantage d'être un peu moins anguleux que celui de sa contrefaçon.

question, à faire connaître les modifications apportées à sa construction primitive pour en rendre l'usage à la fois plus sûr et plus commode, enfin à donner quelques détails sur la nature même des différentes opérations.

Nous commencerons naturellement par un historique de la découverte de ce merveilleux petit appareil qui avait remplacé si avantageusement, entre les mains des dessinateurs, l'antique chambre obscure, laquelle devait bientôt prendre sa revanche en supprimant le dessinateur lui-même.

La chambre claire a été inventée en 1804, par William-Hyde Wollaston. Le phénomène extrêmement simple qui avait mis l'illustre physicien anglais sur la voie de cette découverte se trouve exposé en ces termes, dans le Mémoire où il la fit connaître pour la première fois au public (1) :

« Lorsque je regarde directement et d'aplomb une feuille de papier sur une table, si je présente entre mon œil et le papier un morceau de verre plan, incliné à partir de moi et de haut en bas d'un angle de 45°, j'aperçois par réflexion la perspective qui me fait face, dans la même direction où je vois mon papier à travers le verre. Je puis donc alors tracer une esquisse de cette perspective; seulement les images sont renversées (2). »

Pour redresser les images, Wollaston fit subir aux rayons lumineux deux réflexions successives. A cet effet, il plaça au-dessous et en avant du verre transparent un morceau de glace étamée, et, en inclinant convenablement ces deux réflecteurs l'un sur l'autre, il parvint à voir, à travers celui qui était transparent, des images droites, à la même place où il les voyait d'abord renversées (*fig.* 27).

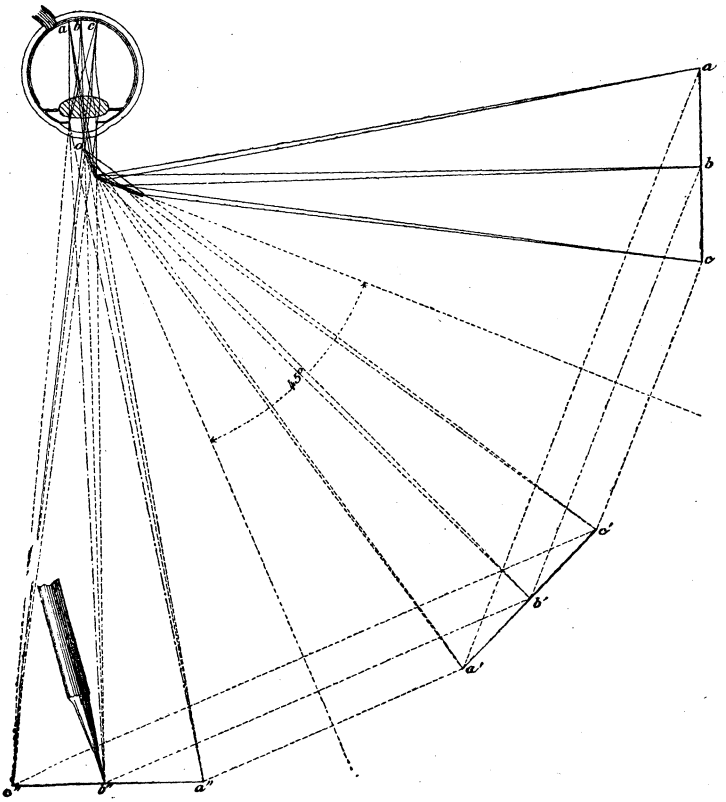
---

(1) *Description of the camera lucida*, by W.-H. WOLLASTON (*Philosophical Magazine*, t. XXVIII).

(2) Les instruments d'optique renversent les images de deux manières qui correspondent aux deux espèces de symétrie définies en Géométrie. Ainsi les images réelles formées dans la chambre obscure paraissent renversées à cause de leur position par rapport à l'observateur, mais elles restent semblables à l'objet (symétrie par rapport à un point), tandis que la réflexion sur les miroirs plans donne lieu à des images que l'on peut comparer à des contre-épreuves (symétrie par rapport à un plan) qu'il faut renverser une seconde fois pour les ramener à la similitude géométrique.

En général, l'objet ou les objets et le papier sur lequel on projette l'image, se trouvant à des distances très différentes, l'œil éprouve une fatigue qui résulte de ce que cet organe tend

Fig. 27.




à s'ajuster différemment pour chaque distance; cet inconvénient fut combattu, à son tour, au moyen d'une lentille convergente placée du côté du papier ou d'une lentille divergente disposée du côté de l'objet.

Enfin, aux deux petits réflecteurs dont le plus voisin de l'œil, qui était transparent, laissait perdre de la lumière, Wollaston substitua, en dernier lieu, un prisme à quatre faces sur deux

desquelles la lumière se réfléchit totalement (1), en vertu d'un principe bien connu de Physique; de sorte que les images vues dans ce dernier appareil ont la plus grande vivacité possible. A la vérité, il faut alors présenter très exactement l'œil au bord d'une arête du prisme pour recevoir la lumière réfléchie qui produit l'image, en même temps que la lumière directe qu'envoie le papier et qui ne peut plus passer à travers le second miroir, comme cela avait lieu précédemment; mais l'habitude fait bientôt surmonter l'espèce de difficulté qui en résulte, et les avantages que présente, d'ailleurs, la forme prismatique compensent bien ce faible inconvénient (2).

Telles sont les phases principales de la découverte de la chambre claire. Dans le Mémoire que nous avons cité et où elles sont décrites, on trouve, en outre, plusieurs observations importantes sur les propriétés de cet instrument et sur certaines particularités que présente sa mise en usage; mais le but que nous nous sommes proposé nous oblige à donner plus de développements à quelques-uns de ces différents sujets.

## X. — *Du champ de l'instrument.*

Nous examinerons tout d'abord la question du champ de l'instrument.

L'amplitude de ce champ exempt de toute déformation est considérable dans les deux sens vertical et horizontal, et c'est l'une des propriétés les plus précieuses de la chambre claire dont Wollaston n'avait pas eu à se préoccuper autant que nous.

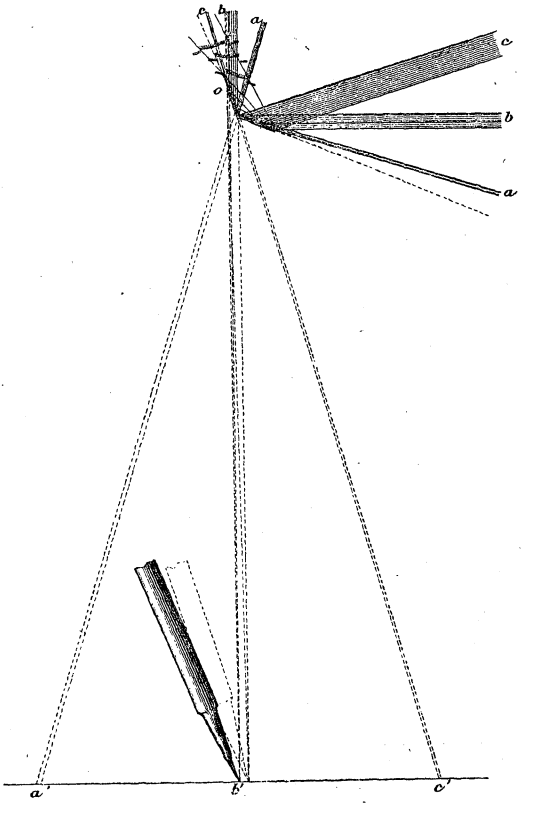
---

(1) Ces deux faces qui servent de miroirs forment un angle de 135°; les deux autres comprennent un angle droit et les angles aigus sous lesquels elles rencontrent les premières sont égaux et, par conséquent, de $67°\frac{1}{2}$ chacun.

(2) Plusieurs autres dispositions que nous ne croyons pas devoir décrire ont été imaginées par divers physiciens. Quelques-unes d'entre elles sont utilisées en Micrographie et ailleurs, mais celle que nous avons adoptée, c'est-à-dire le prisme à quatre faces, est la seule qui convienne à notre objet.

Dans le sens vertical (¹), cette amplitude semble, au premier abord, limitée au plus au supplément de l'angle de 135° que forment les plans des deux miroirs sur lesquels la lumière

Fig. 28.

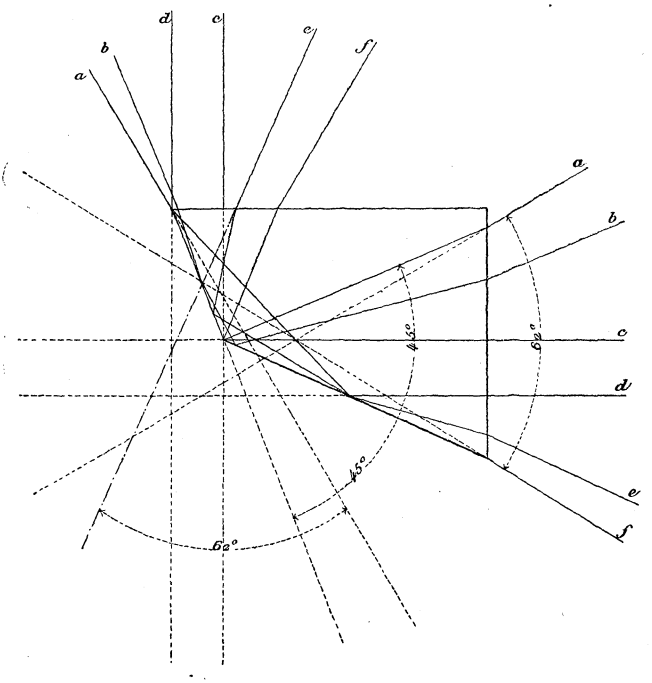



se réfléchit, c'est-à-dire à 45°; car si, en partant d'une incidence très faible sur le premier miroir (*fig.* 28), on considère les positions successives d'un rayon qui s'élèverait au-dessus de ce plan, on voit que, lorsqu'il atteint l'incidence de 45°, il se

(¹) On suppose le prisme ou plutôt l'arête commune des plans des deux miroirs parfaitement horizontale.

relève, après sa réflexion, parallèlement à la surface du second miroir et qu'il ne peut évidemment plus être réfléchi sur cette surface. Il convient même de remarquer que les faisceaux doublement réfléchis varient d'intensité suivant leur inclinai-

Fig. 29.




son sur l'un ou l'autre des miroirs, en approchant des directions extrêmes, d'où il résulte que les images ne présentent plus une clarté suffisante pour permettre à l'opérateur de les suivre facilement avec la pointe de son crayon. Cette manière de raisonner, qui s'applique au cas de la réflexion directe sur deux miroirs ordinaires, se trouve heureusement modifiée lorsqu'on emploie un prisme et que l'on y suit la marche de la lumière, en tenant compte de la réfraction qu'elle éprouve à l'entrée et à la sortie du verre. On reconnaît, en effet, que cette réfraction qui agit deux fois dans le même sens porte la

limite de l'amplitude, dans le sens vertical, de 45° à 62° environ (*fig.* 29).

Mais, d'ailleurs, quelle que soit la nature des surfaces réfléchissantes, cette amplitude peut croître indéfiniment si l'on vient à imprimer au système de ces surfaces un mouvement de rotation autour de leur intersection commune ou d'une ligne parallèle qui en soit très voisine. On sait, en effet, que *la direction d'un rayon lumineux qui a subi deux réflexions successives dans un plan perpendiculaire à ceux des miroirs fait avec sa première direction incidente un angle qui est le double de celui que comprennent ces miroirs* (1).

Si donc nous examinons seulement ce qui se passe dans un plan perpendiculaire aux arêtes du prisme dont nous prendrons l'une pour axe de rotation, les directions dans lesquelles on apercevra les images des points contenus dans ce plan ne dépendant que de l'angle des deux faces qui forment miroirs, et cet angle étant constant, ces directions seront elles-mêmes invariables et, par conséquent aussi, celles de tous les autres points qui ne sont pas situés dans le plan considéré.

Il résulte de là que, pendant le mouvement de rotation imprimé au prisme, l'image reste parfaitement immobile; seulement les différentes régions acquièrent successivement une plus grande clarté, en même temps que l'on en découvre sans cesse des parties qui étaient invisibles pour une position précédente, et que d'autres s'évanouissent. Le champ est donc réellement indéfini dans le sens vertical.

Dans le sens horizontal, ce champ est encore considérable, mais il est nécessairement limité par les positions extrêmes que l'œil doit prendre au-dessus de l'appareil pour admettre les faisceaux très inclinés. L'expérience montre qu'il ne faut pas compter sur plus de 65° à 70° pour son amplitude et nous avons même reconnu qu'il était préférable de ne pas dépasser habituellement 60°, à cause des erreurs auxquelles pourrait donner lieu un phénomène que nous allons étudier avec une attention particulière.

---

(1) C'est le principe même du *sextant*.

## XI. — *Phénomène de la parallaxe.*

Supposons qu'un plan perpendiculaire aux deux miroirs soit le plan principal d'une perspective dont le tableau serait placé en avant de l'appareil, à la distance de la vue distincte; d'après le principe invoqué ci-dessus, les rayons horizontaux contenus dans ce plan, devenant verticaux après leur double réflexion, il est évident que la feuille de papier sur laquelle on dessine remplace alors exactement le tableau dont nous venons d'indiquer la position fictive (voyez *Pl. IX, fig.* 1). Cette feuille de papier représente aussi le lieu exact où irait se former l'image virtuelle d'un objet placé à la distance de la vue distincte; par conséquent, l'œil de l'observateur pourrait se mouvoir au-dessus des miroirs sans qu'il en résultât le moindre changement dans la position apparente de cette image qui serait, en outre, de même grandeur que l'objet supposé, à la vérité, entièrement contenu dans un plan vertical. Ainsi la copie d'un dessin ne présenterait en pareil cas aucune difficulté.

**Mais les choses ne se passent pas aussi simplement quand on considère des objets situés à toutes distances, comme ceux qui composent les paysages.** Le moindre mouvement de l'observateur, le plus léger déplacement latéral de son œil au-dessus de l'appareil entraîne un déplacement semblable, une *parallaxe* de l'image qui deviendrait insaisissable pour la pointe du crayon, si l'on ne remédiait à ce défaut dû à la nature de l'instrument.

On parvient à limiter ce déplacement en se servant d'un diaphragme pratiqué dans la monture de l'appareil, et dont l'ouverture doit avoir au moins le diamètre de la pupille, afin de ne pas diminuer la clarté des images (1). Mais si la parallaxe est ainsi réduite, elle ne subsiste pas moins et rendrait l'exécution du dessin difficile et incorrecte.

(1) C'est également d'après le diamètre de la pupille que doit se régler la largeur de chacun des miroirs; l'examen des *fig.* 27, 28 et 29 fera suffisamment saisir ces rapports qui n'ont, d'ailleurs, rien d'absolu.

Avant d'indiquer le moyen de la faire disparaître, il convient de bien la définir, en mettant ses effets en évidence.

Si, par une ouverture circulaire pratiquée dans une lame opaque fixe, on regarde un objet plus ou moins éloigné, et que l'on vienne à interposer en avant de la lame, parallèlement à son plan, un écran transparent, un verre à glace, par exemple, dans les mouvements involontaires de l'œil, l'axe optique dirigé sur l'un des points de l'objet, au lieu de passer par le centre, pourra s'appuyer sur la circonférence du diaphragme et alors le rayon visuel percera le verre en un point d'autant plus distant de la trace du rayon central que l'objet sera plus éloigné et l'ouverture du diaphragme plus grande. Enfin, lorsque l'objet sera à une distance telle que l'on puisse considérer toutes les directions du rayon visuel comme parallèles, la parallaxe aura pour limite le diamètre même de l'ouverture.

L'écran transparent qui a servi à cette explication n'est autre chose que le tableau fictif de la perspective; ce qui se passerait à sa surface est donc précisément ce qu'on observe sur la feuille de papier de la chambre claire sur laquelle la pointe du crayon suit la trace du rayon visuel; et puisque l'ouverture du diaphragme placé au-dessus des miroirs doit avoir au moins le diamètre de la pupille, il s'ensuit que l'incertitude pour la position de chaque point de la perspective pourrait s'élever à plusieurs millimètres. De là, la nécessité de détruire entièrement la parallaxe, et, d'après la description de ses effets, on conçoit immédiatement que la meilleure manière d'y parvenir serait de ramener les images virtuelles des objets éloignés à se former à la distance de la vue distincte où se trouve déjà placé le tableau, c'est-à-dire le papier sur lequel on doit dessiner; telle serait aussi la condition la plus favorable pour faire cesser toute fatigue d'ajustement de l'œil dans l'emploi de la chambre claire.

## XII. — *Chambre claire périscopique.*

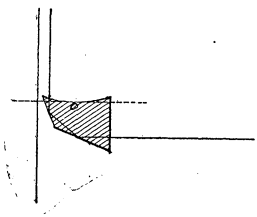
La première idée qui était venue à Wollaston pour atteindre ce but avait été de disposer une lentille concave en avant du

prisme, mais il ne s'en était pas tenu à ce moyen, et, en s'occupant de l'application, à divers instruments, des principes périscopiques dont il est l'inventeur, il avait été conduit à en proposer un autre qui est décrit dans le passage suivant de l'un de ses Mémoires (1) :

« ... Comme un œil ajusté pour voir le papier et le crayon qui sont à une petite distance, ne peut voir distinctement (en même temps) les objets plus éloignés, sans l'emploi d'un verre concave, on peut l'aider sous ce rapport, en donnant un degré convenable de concavité à l'une ou à l'autre des surfaces de transmission du prisme ou à toutes les deux. Toutefois, c'est à la surface supérieure seulement que l'on donne cette concavité; l'œil est alors placé du côté du centre de courbure, et il en reçoit tout l'avantage que l'on peut attendre des principes périscopiques. »

La chambre claire périscopique (*fig.* 30) ne paraissait pas avoir fixé jusqu'alors l'attention des opticiens. La manière dont

Fig. 30.



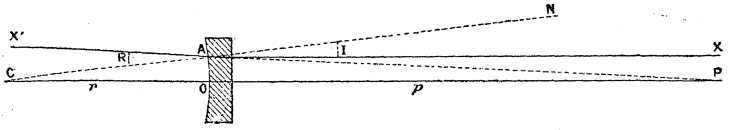
on parvient ainsi à faire disparaître la parallaxe, en même temps que l'on évite la fatigue d'une double adaptation de l'œil, est pourtant d'une simplicité remarquable. En étudiant encore d'un peu plus près la marche des rayons lumineux à travers le prisme et en modifiant en conséquence la forme indiquée par Wollaston, nous sommes enfin parvenu à une construction qui satisfait de la manière la plus complète aux conditions

(1) *Philosophical Transactions,* 1812.

que nous nous étions imposées. Cette construction peut être présentée maintenant comme un simple corollaire des propriétés des lentilles plan-sphériques.

Considérons une lentille plan-concave (*fig.* 31); un faisceau de rayons parallèles, tombant normalement à la face plane, tra-

Fig. 31.




verse sans déviation l'épaisseur du verre et devient divergent à sa sortie dans l'air, après avoir rencontré la surface sphérique.

La position du foyer principal (virtuel) d'où les rayons semblent diverger dépend de l'indice de réfraction de la substance et du rayon de la surface sphérique. On sait, de plus, que ce foyer se trouve sur celui des rayons parallèles qui passe par le centre de la sphère, et l'on reconnaît aisément que le point où ce rayon perce la surface est le *centre optique* de la lentille; car il suffit, pour cela, de remarquer que les normales à la surface plane sont toutes parallèles entre elles et à l'axe de la lentille, et que, par conséquent, les lignes qui passent par le point dont il s'agit font toujours des angles égaux avec les normales aux deux surfaces; en d'autres termes, les rayons inclinés sur l'axe et passant par ce point, reprennent leur direction primitive, après avoir traversé la lentille, ce qui est la propriété caractéristique et la définition même du centre optique (1).

Il suit de là que la position de ce centre est indépendante du rayon de la surface sphérique et de l'épaisseur de la lentille. Soient donc $p$ la distance du foyer principal au centre optique, $r$ le rayon de la sphère, et $l$ l'indice de réfraction de la substance dont est formée la lentille. Entre ces quatre

(1) Nous conservons la théorie du centre optique à laquelle on a substitué, depuis quelque temps, celle des points nodaux de Gauss pour atteindre plus de précision dans l'étude des objectifs photographiques. Dans le cas actuel, la considération des points nodaux serait tout à fait superflue.

quantités on a la relation $r = p(l - 1)$ (1). Or, sachant que pour le verre généralement employé on peut prendre $l = 1{,}50$, pour avoir le foyer principal à la distance ordinaire de la vue distincte, on fait $p = 0^m,30$ et l'on en conclut que $r = 0^m,15$.

Pour un œil placé du côté de la concavité d'une telle lentille, les rayons envoyés par des objets éloignés auront le même degré de divergence que s'ils venaient de points situés à la distance de $0^m,30$.

Cela posé, faisons observer que, dans leur passage à travers le prisme de la chambre claire, les rayons lumineux changent de direction en se réfléchissant sur les deux faces postérieures, mais qu'ils n'éprouvent pas d'autre altération, et que les faces d'entrée et de sortie agissent sur eux simplement à la manière de deux surfaces planes et parallèles; de sorte que, si à la face plane d'émergence on substitue une calotte sphérique de $0^m,15$ de rayon, tout se passera dans le nouveau prisme comme dans une lentille plan-concave dont le foyer serait aussi à $0^m,30$ du centre optique.

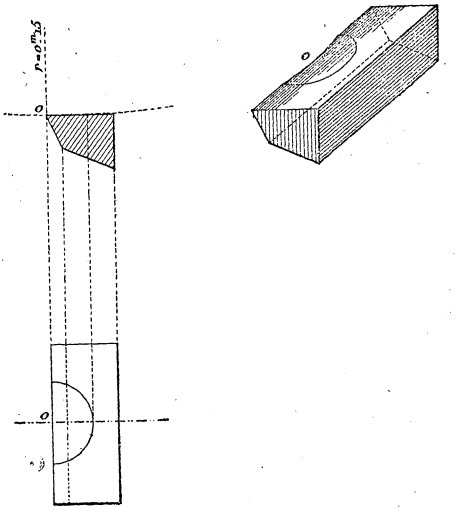
*Chambre claire hémi-périscopique.* — La position de ce centre est très importante à considérer. La note de Wollaston et la figure qui l'accompagne prouvent cependant que l'auteur ne s'y était pas arrêté, car, dans cette figure que nous avons reproduite (*fig.* 30), le centre optique est situé à peu près au hasard sur la surface concave, et, dans tous les cas, assez loin du bord de l'arête du prisme, près duquel l'observateur doit regarder dans l'appareil en même temps que sur la tablette où est posée la feuille de papier. Pour les opérations géométriques que nous nous proposions d'exécuter, il était nécessaire que ce point fût nettement défini et facile à retrouver sur le prisme; nous l'avons donc transporté sur l'arête près de laquelle on place l'œil en prenant le centre de la sphère

(1) Dans le triangle CAP (*fig.* 31), la somme des angles C et P est égale à l'angle extérieur R; I et C sont égaux comme correspondants; on a $R = C + P$. D'ailleurs, $R = lI = lC$, en prenant les arcs pour leurs sinus; donc $(l - 1)\,C = P$ et, en substituant actuellement les arcs aux tangentes, comme on a $C = \frac{AO}{r}$ et $P = \frac{AO}{p}$; $\frac{l-1}{r} = \frac{1}{p}$; d'où $r = p(l - 1)$.

qui entaille la face du prisme sur une perpendiculaire à cette face menée par un point de l'arête elle-même (*fig.* 32).

Cette position du centre optique présentait d'ailleurs les avantages suivants : en premier lieu, quand on regarde dans l'instrument, la pupille étant partagée en deux par l'arête du

Fig. 32.



prisme et l'axe optique de l'œil passant par le centre optique même de l'appareil, la vision devient aussi distincte que possible; l'observateur n'éprouve donc aucune fatigue; enfin, la parallaxe se trouvant entièrement détruite, les images peuvent être dessinées, dans toute l'étendue du champ, avec autant de facilité que s'il s'agissait de prendre un calque. Cette dernière observation a son intérêt, car, avec les lentilles concaves ou convexes que l'on adaptait aux anciennes chambres claires, les rayons trop obliques qui les traversaient produisaient des déformations sur les bords et les images perdaient leur netteté.

Ces résultats étant obtenus au moyen d'une demi-calotte sphérique, creusée dans la face supérieure du prisme, nous avons cru devoir désigner le nouvel appareil sous le nom de *chambre claire hémi-périscopique*.

## XIII. — *Propriétés géométriques de l'appareil.*

Les propriétés géométriques de la chambre claire hémipériscopique sont à la fois très simples et très précieuses pour les applications auxquelles elle est destinée.

Dans tout ce qui va suivre, nous supposerons les arêtes du prisme parfaitement horizontales, sauf à expliquer un peu plus loin comment on réalise cette condition.

Les directions successives que prend l'axe optique de l'œil de l'opérateur, pendant qu'il suit les lignes de la perspective sur le papier avec la pointe de son crayon, sont les génératrices de la surface conique coupée par le tableau, et, malgré les déplacements de l'œil, le centre optique de l'appareil, en vertu des propriétés qu'on lui connaît, peut être considéré comme le sommet de cette surface, c'est-à-dire comme le *point de vue mathématique* de la perspective. Par conséquent, à la condition toutefois que tous les angles du prisme soient exacts, le rayon principal de la perspective naturelle suivra, après la double réflexion, la direction de la verticale menée par le centre optique. En projetant donc ce point sur la tablette horizontale qui porte la feuille de papier, cette dernière représentant le tableau, on aura le *point principal de la perspective* (voy. *Pl. IX, fig.* 5), au moyen duquel on trouvera aisément, comme nous le montrerons plus loin, la *ligne d'horizon*. Enfin, la longueur de la verticale, mesurée entre le centre optique et sa projection, étant la *distance du point de vue au tableau*, on comprend que l'on a, pour ainsi dire, sous la main tous les éléments nécessaires pour effectuer les constructions géométriques auxquelles se prêtent les perspectives, en suivant les méthodes indiquées précédemment.

*Remarques complémentaires.* — On voit encore qu'en prenant l'arête sur laquelle est placé le centre optique (1) pour axe de rotation du prisme pendant le mouvement qu'il peut

(1) Rigoureusement, il en est éloigné de la flèche de la calotte sphérique, mais cette quantité, toujours très petite par construction, est négligeable.

être nécessaire de lui imprimer pour accroître le champ vertical, l'invariabilité de position de ce centre, jointe à la propriété connue des deux miroirs, donnera réellement l'immobilité à l'image projetée sur la planchette; tandis que, si l'axe ne passait pas par ce point, la rotation entraînerait celui-ci et l'éloignerait ou le rapprocherait de la planchette, c'est-à-dire du tableau, ce qui dilaterait ou contracterait les parties de l'image que l'on découvrirait successivement.

La sphéricité de la surface d'émergence ne crée d'ailleurs aucune espèce d'aberration capable de produire des déformations dans les images. Il y a plus : quoique sa courbure soit calculée pour la distance ordinaire de la vue distincte, on peut rapprocher ou éloigner le prisme de la planchette dans des limites assez étendues sans que la parallaxe redevienne sensible (1).

On trouverait l'explication de ce fait dans la forme des surfaces caustiques engendrées par les rayons de chaque faisceau, mais il suffit de l'énoncer ici comme un résultat de l'observation.

Inversement, si le prisme est fixé à $0^m,30$ au-dessus de la planchette, c'est-à-dire si l'on fait occuper à celle-ci le *plan focal principal,* il est également facile de constater que l'objet peut s'approcher beaucoup du prisme sans que la parallaxe devienne une cause d'erreur. Cependant, il y a une limite qu'il ne faudrait pas dépasser, et, si l'on voulait, par exemple, dessiner un objet situé à la même distance que le papier, copier un dessin, la théorie fait voir que la parallaxe deviendrait aussi considérable que lorsqu'on regarde des objets éloignés avec un prisme à faces planes. En définitive, la chambre claire hémi-périscopique est faite pour prendre des vues et peut servir à obtenir des réductions, mais elle ne convient ni pour copier ni pour amplifier des dessins (2). Dans ce dernier cas, le

(1) On n'a généralement intérêt qu'à augmenter la distance du point de vue au tableau; à $0^m,45$, la parallaxe est encore très faible pour le rayon de $0^m,15$ donné à la calotte sphérique.

(2) Pour faire une copie de même grandeur que l'original, on devrait se servir de la partie du prisme qui n'est pas entaillée et au-dessus de laquelle on pourrait, à cet effet, pratiquer un autre diaphragme dans la monture.

mieux serait d'employer une construction particulière ou plus simplement de recourir à des jeux de lentilles, mais nous n'avons pas à nous en occuper dans ce Mémoire.

Ajoutons qu'avec le nouvel appareil, on n'éprouve ni difficulté, ni perte de temps pour la *mise au point,* comme cela peut arriver lorsqu'on corrige la parallaxe au moyen de lentilles qui ont des distances focales différentes. Enfin, et c'est un avantage sur lequel on ne saurait trop insister, la parallaxe reparaît à peine pour les directions les plus obliques qu'il est inutile d'employer, tandis qu'avec des verres lenticulaires placés nécessairement à une certaine distance de l'œil, il n'y a que le milieu du champ qui soit tout à fait à l'abri de ses effets, parce qu'alors les directions obliques vont toujours traverser l'épaisseur de la lentille assez loin de son centre.

## XIV. — *Description et usage des différents organes de l'instrument.*

Le prisme dont se compose essentiellement la chambre claire doit pouvoir être disposé avec précision et maintenu d'une manière stable au-dessus de la planchette, sur laquelle est placée la feuille de papier à dessiner. A cet effet, il est renfermé dans une monture en laiton verni *aa* (*Pl. IX, fig.* 2, 3, 4 et 5), portée par deux tiges à tirage *bc*, *b′c′*, articulées en *d*, *d′*, *e*, *e′* et terminées à leur extrémité inférieure par des mâchoires à vis de pression *f*, que l'on peut fixer solidement aux deux bords opposés de la planchette.

Les articulations *d*, *d′*, *e*, *e′* permettent tous les mouvements d'allongement ou d'écartement des tiges, ainsi que les mouvements inverses, dans les limites nécessaires. Le jeu des premières *d*, *d′* sert encore à faire varier l'inclinaison des arêtes du prisme et à les ramener à l'horizontalité. Le niveau à bulle d'air AA et la vis de rappel *g* servent à guider et à achever cette opération ; les deux goujons à têtes molettées *h* et *h′* qui traversent les tiges et pénètrent dans la monture du prisme permettent d'imprimer à ce prisme un mouvement de rotation autour de l'arête qui passe par le centre optique ;

enfin, la pièce *k* qui forme fenêtre est mobile autour de la goupille *i* et donne la facilité d'introduire le prisme dans sa monture ou de l'en retirer pour enlever au besoin la poussière ou l'humidité qui se seraient déposées sur ses faces (1).

*Mise en station de l'appareil.* — Après avoir fixé les mâchoires à la planchette de manière que les tiges se trouvent exactement en face l'une de l'autre, précaution sans laquelle il pourrait y avoir un gauchissement nuisible à la manœuvre de l'instrument (on peut, au besoin, se servir de lignes de repères tracées sur les bords, comme celles que l'on voit sur la *Pl. IX, fig.* 5), on procédera, dans l'ordre suivant, aux opérations qui donnent les éléments de chaque perspective :

1° *Mettre de niveau la planchette et le prisme* (*Pl. IX, fig.* 2). — Ces deux opérations se font successivement, au moyen du niveau à bulle d'air AA; on cale la planchette comme à l'ordinaire et selon sa construction, qui doit être d'ailleurs la plus simple possible, puis on pose le niveau sur la surface supérieure du prisme dont les extrémités sont laissées à découvert dans la monture pour recevoir les talons *l, l'*, dont le niveau est armé. En agissant sur la vis de rappel *g*, on amène la bulle au milieu du tube, tantôt en pressant seulement avec le doigt sur la tête de la vis, tantôt en la faisant marcher dans son écrou. Le retournement du niveau dans cette position peut d'ailleurs servir à vérifier s'il est bien réglé lui-même; on le rectifie, s'il y a lieu, en serrant ou desserrant la vis de correction dont il est muni.

2° *Déterminer le point principal de la perspective et la distance du point de vue au tableau* (*Pl. IX, fig.* 5). — On trouve très simplement le point principal en laissant tomber un fil à plomb qui rase l'arête du prisme au point même

(1) Le premier exemplaire de cet instrument a été construit par le célèbre artiste G. Froment; j'en ai fait don au Conservatoire des Arts et Métiers; mais le prisme, qui était un chef-d'œuvre de précision de l'habile opticien Bertaud jeune, a disparu à l'Exposition universelle de 1867 et a dû être remplacé par une pièce bien exécutée, quoique peut-être un peu moins parfaite.

où est situé le centre optique *o* (milieu de la partie apparente de l'arête à travers la monture), et en marquant sur le papier la trace P de la pointe S par laquelle se termine le fil à plomb de forme cylindro-conique.

On mesure ensuite directement la distance du point de vue au tableau, en plaçant l'extrémité d'une règle divisée marquée o sur le point principal et en approchant le bord qui porte les divisions du centre optique où l'on fait la lecture.

3° *Tracer la ligne d'horizon.* — Le point principal que l'on vient d'obtenir appartient déjà à la ligne d'horizon; pour achever de trouver celle-ci, on peut employer deux procédés différents :

(*a*). — Suspendre un fil à plomb à quelque distance en avant de l'instrument, quatre ou cinq mètres environ, attendre qu'il n'oscille plus, dessiner sur la planchette son image vue à travers le prisme, et, par le point principal, mener une perpendiculaire à cette image; cette perpendiculaire est évidemment la ligne d'horizon. Ce moyen est extrêmement simple, mais la moindre agitation de l'air peut en compromettre l'exactitude; le suivant, quoique un peu plus long, est donc préférable, dans la plupart des circonstances.

(*b*). — Après avoir examiné la perspective à travers le prisme, on choisit, à sa droite ou à sa gauche, mais du même côté, trois ou quatre points bien différents qu'on marque avec la pointe du crayon, en les désignant, si l'on veut, par une lettre ou par un chiffre, ou même en esquissant l'objet auquel appartient chacun d'eux (*Pl. IX, fig.* 5); du point principal comme centre, on décrit autant d'arcs de cercle passant par ces points; puis, en continuant à regarder dans la chambre claire, on fait tourner la planchette autour de son axe qui n'est jamais très excentrique par rapport au point principal, de gauche à droite ou de droite à gauche, suivant le cas, jusqu'à ce qu'on voie les images de chaque point passer successivement une seconde fois sur les arcs de cercle qui correspondent à leur première position, et l'on marque encore les points de passage; enfin on cherche les milieux de tous les arcs inter-

ceptés, par la méthode géométrique bien connue : ces points devront se trouver, si l'on a bien opéré, sur une même ligne droite qui passera en même temps par le point principal et qui sera alors la trace du plan principal de la perspective sur le plan du tableau. La perpendiculaire à cette droite menée par le point principal sera la ligne d'horizon.

Ce procédé et le principe sur lequel il est fondé sont faciles à saisir pour tous ceux qui ont fait de la gnomonique et employé la *méthode* dite *des hauteurs correspondantes du Soleil,* pour tracer une méridienne. Le plan principal dont on détermine la trace sur le plan du tableau joue, en effet, dans ce cas le même rôle que le plan du méridien dans l'autre opération (1).

*Précaution à prendre pour faire un tour entier d'horizon.* — Les éléments géométriques ainsi trouvés serviront pour toutes les perspectives que l'on voudra prendre d'une même station. Il suffira, avant de changer la première feuille de papier qui porte la trace du plan principal et la ligne d'horizon, de prolonger ces lignes et de les repérer sur les bords de la planchette, ce qui permettra de les reporter facilement sur les feuilles suivantes. On voit, de plus, que si le prisme était invariablement lié de position avec la planchette, les opéra-

(1) Le mouvement de la planchette entraînant le prisme dont l'orientation détermine celle du plan principal de la perspective, revient à la rotation de ce plan autour de la verticale du point de vue ; la planchette ou, si l'on veut, le tableau, conservant d'ailleurs sa position par rapport au plan vertical. Pour étudier la courbe que l'image d'un point du paysage décrit sur le tableau, pendant cette rotation, on peut imaginer que le plan principal reste fixe et que le paysage est entraîné en sens contraire autour de la verticale du point de vue. C'est, du reste, l'illusion qui est produite à travers le prisme et cette substitution des mouvements apparents aux mouvements réels rend encore plus complète l'analogie que nous avons invoquée. Alors chaque rayon visuel, conservant nécessairement son inclinaison sur la verticale du point de vue, décrira autour de cette ligne un cône droit que le plan du tableau coupera suivant une courbe du second degré, comme le plan sur lequel on veut tracer une méridienne coupe le cône droit décrit dans le mouvement diurne par le rayon lumineux qui rase le sommet du gnomon. La construction que l'on emploie pour tracer la méridienne convient donc parfaitement à la détermination de la trace du plan principal.

tions que l'on vient de décrire n'auraient besoin d'être exécutées qu'une fois pour toutes; mais, afin de rendre l'instrument plus portatif, on a dû renoncer à cet avantage; seulement, au moyen de repères tracés sur les bords de la planchette et sur les tiges de l'appareil, on peut toujours replacer celui-ci à peu près dans la même position et n'avoir plus que de rapides vérifications à faire à chaque station.

Lorsqu'on doit prendre, du même point de vue, une perspective étendue ou même un panorama entier, on dessine par parties en faisant tourner, à chaque fois, la planchette autour de son axe (1) d'un angle à peu près égal au champ de l'instrument, c'est-à-dire de 60° environ; ce que l'on reconnaît quand les objets que l'on voyait à l'extrême droite, par exemple, sont passés à l'extrême gauche, la rotation étant supposée s'opérer de gauche à droite. Six perspectives suffiront donc pour chaque panorama qui se trouvera ainsi dessiné sur les faces d'un prisme hexagonal circonscrit au cylindre à base circulaire ayant pour rayon la hauteur du prisme au-dessus de la planchette, c'est-à-dire la distance du point de vue au tableau. Afin, d'ailleurs, de ne rien omettre et pour rendre les raccordements faciles, il est bon que chaque perspective déborde sur celles qui lui sont contiguës, et il convient de profiter, dans ce but, de toute l'amplitude de l'instrument, qui atteint et dépasse même 65°.

*Difficultés que présentent les premières observations et moyens de les surmonter.* — Il suffit de quelques heures d'exercice pour réussir à suivre, avec la pointe d'un crayon, l'image *virtuelle* projetée sur le papier; et l'on finit même par opérer, au moyen de la chambre claire, à peu près aussi vite que si l'image était *réelle* comme dans la chambre obscure, et, dans ce dernier cas, l'opération peut se comparer à celle qu'un dessinateur exécute pour prendre un calque. Il est ce-

(1) Nous avons recommandé la construction la plus simple pour la planchette. Il est indispensable toutefois que la vis que porte le pied et qui pénètre dans l'écrou fixé au centre de la planchette puisse être serrée et desserrée à volonté pour permettre ces mouvements de rotation sans que la fixité de la planchette en soit diminuée dans chaque position.

pendant nécessaire d'être prémuni contre les difficultés que l'on peut rencontrer, lorsqu'on essaye de regarder pour la première fois dans l'instrument, et de connaître les causes de ces difficultés ainsi que les moyens de les surmonter promptement.

En parlant de la substitution du prisme aux deux petits miroirs ordinaires, nous avons déjà fait remarquer que l'œil de l'observateur devait être placé exactement au-dessus de l'arête postérieure du prisme; et, en effet, si la pupille pénètre trop avant au-dessus de la face par laquelle émergent les faisceaux de lumière réfléchie, les images des objets éloignés sont très brillantes, mais la pointe du crayon n'est plus visible : si, au contraire, la pupille ne pénètre pas assez au-dessus de cette face, les images sont trop affaiblies et l'observateur est tenté de repasser brusquement à la première position; de là, des disparitions et des réapparitions alternatives de l'image et du crayon qui lassent quelquefois la patience de l'observateur, mais qu'il ne tarde pas à éviter, dès qu'il sait à quoi les attribuer.

Il faut encore avoir égard à la manière dont sont éclairés les objets éloignés et le papier sur lequel on dessine; ainsi, il est évident que les conditions les plus favorables seront celles où les faisceaux de rayons émanés des objets et ceux qu'envoie le papier auront la même intensité, ni trop grande ni trop faible. Car les faisceaux provenant de chaque origine devant s'accoupler pour pénétrer dans l'œil de l'observateur, une inégalité d'éclat comme une inégalité de divergence produirait à la longue une certaine fatigue; et, d'un autre côté, l'interposition du prisme ne ferait que rendre plus grave l'inconvénient qu'il y a toujours à arrêter longtemps la vue sur des corps vivement éclairés ou à vouloir, au contraire, reconnaître les moindres détails d'objets à peine perceptibles; enfin, l'éclat du papier exposé en pleine lumière est également dangereux. On voit, par le simple énoncé de ces conditions variables, qu'il serait difficile de donner des règles précises pour les ramener à l'uniformité normale nécessaire. Il y a là des questions d'expérience personnelle et de tact sur lesquelles il serait inutile d'insister. Nous nous bornerons donc à indiquer

l'emploi des verres colorés comme moyen de modérer l'éclat des images vues à travers le prisme et celui d'un écran de papier ou seulement de la main gauche, pour projeter de l'ombre sur la planchette (1).

## XV. — *Erreurs particulières à l'instrument.*

Pour connaître le degré réel d'exactitude sur lequel on peut compter quand on construit des plans avec les perspectives dessinées à la chambre claire, il est nécessaire d'analyser et d'évaluer les différentes erreurs dues à la nature de l'instrument et à la manière d'en faire usage.

1° Les angles du prisme peuvent être imparfaitement construits. Considérons d'abord l'angle formé par les deux faces qui servent de miroirs. Quelques minutes en plus ou en moins dans l'ouverture de cet angle modifient les relations de position des rayons incidents et des rayons réfléchis et inclinent au-dessus ou au-dessous de l'horizon le plan sur lequel on projette les rayons visuels. La quantité dont se trouvent ainsi altérés les angles réduits à l'horizon est toujours faible et même négligeable, mais il n'en est pas de même pour les angles de pente; voyons, par exemple, ce qui se passe dans le plan principal.

Soit $e$ l'erreur de l'angle des deux miroirs; après sa double réflexion, le rayon principal fera avec sa direction incidente un angle égal à $2 \times (45° \pm e) = 90° \pm 2e$. Par conséquent, ce rayon qui aurait dû suivre la verticale, s'en écartera d'un angle égal à $2e$, en avant ou en arrière, suivant le sens de l'erreur, et si nous désignons par D la distance réelle du point auquel va aboutir le rayon principal de la perspective, l'erreur commise dans le nivellement de ce point sera

$$\varepsilon = \mathrm{P} \operatorname{tang} 2e.$$

(1) Les verres colorés qui accompagnent l'instrument ont une teinte neutre plus ou moins foncée; ils s'adaptent simplement au devant du prisme. On peut aussi les interposer entre l'œil et le papier, quand celui-ci est par trop éclatant.

Supposons $e = 5'$ et $D = 30^m$, on trouverait déjà $0^m,09$ pour l'erreur $\varepsilon$, ce qui correspond, sur la planchette supposée située à $0^m,30$ du point de vue, à un écart du point P de sa véritable position, égal à $0^m,0009$ ou environ 1 millimètre, on voit donc qu'il est indispensable que l'angle de $135^\circ$ soit aussi exact que possible.

L'angle droit et les deux angles de $67^\circ \frac{1}{2}$ du prisme doivent être également construits avec le plus grand soin, sans quoi la marche des rayons lumineux serait modifiée, et il en résulterait des erreurs analogues à celle que nous venons d'évaluer.

On parviendrait, au besoin, à déterminer expérimentalement l'influence de ces défauts et, par suite, il serait possible d'en tenir compte pour rectifier les résultats, mais il vaudra toujours mieux se procurer un prisme exactement construit.

2° Le procédé employé pour trouver le point principal de la perspective entraîne, dans la position de ce point, une incertitude que l'on peut évaluer à $\frac{1}{2}$ millimètre. L'erreur qui en résulte, comme la précédente, n'affecte que les angles de pente, mais elle est assez grave pour que l'on doive la signaler ; elle peut, d'ailleurs, s'ajouter à la précédente.

3° Enfin, dans le dessin de la perspective, le trait pourra s'écarter légèrement de l'image ; mais, pour peu que l'opérateur soit exercé, l'écart ne dépassera pas non plus $\frac{1}{2}$ millimètre (1).

En réunissant cette erreur graphique avec celle qui provient de la détermination du point principal, nous pouvons admettre que la position de chaque point de la perspective est exacte à moins d'un millimètre près par rapport au plan d'horizon. Or, la plus courte distance du point de vue au tableau étant toujours supposée de $0^m,30$, la tangente de l'angle sous-tendu par un millimètre sur le tableau sera

$$\frac{0^m,001}{0^m,30} = 0,0033$$

qui correspond à un angle de $10'$ à $12'$. Telle est donc, en somme, l'erreur *possible* sur chaque angle de pente. Quant

(1) L'épaisseur du trait pourrait rendre cette erreur plus considérable ; il est donc essentiel de ne dessiner qu'avec un crayon bien taillé et manié avec précaution.

aux angles réduits à l'horizon, comme ils ne sont affectés que de l'erreur du dessin estimée à $\frac{1}{2}$ millimètre seulement, ils seront obtenus à 5′ près.

*Comparaison des angles mesurés avec la boussole en usage dans le service du Génie et avec la chambre claire.* — Les conséquences auxquelles nous venons d'être conduit en nous fondant sur des faits d'expérience que tout dessinateur un peu adroit constaterait aisément, se trouvent pleinement confirmées par les résultats suivants de deux séries d'observations faites en 1850, de concert avec M. le lieutenant-colonel du Génie, depuis général Bichot, alors commandant de la brigade topographique de ce service, résultats consignés dans le Tableau suivant :

| DÉSIGNATION DES ANGLES (1). | ANGLES RÉDUITS A L'HORIZON | | DIFFÉRENCES. | DÉSIGNATION DES POINTS VISÉS (1). | ANGLES DE PENTE | | DIFFÉRENCES. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | lus sur le limbe de la boussole. | mesurés au moyen de la chambre claire. | | | lus sur l'éclimètre de la boussole. | mesurés au moyen de la chambre claire. | |
| 1 $\widehat{AB}$ | 4° 50′ | 4° 45′ | — 5′ | 1 A | 8° 27′ | 8° 30′ | + 3′ |
| 2 $\widehat{AC}$ | 17° 20′ | 17° 20′ | 0 | 2 B | 29° 16′ | 29° 20′ | + 4′ |
| 3 $\widehat{AD}$ | 30° 20′ | 30° 15′ | — 5′ | 3 C | 18° 11′ | 18° 15′ | + 4′ |
| 4 $\widehat{AE}$ | 47° 20′ | 47° 10′ | — 10′ | 4 D | 22° 42′ | 22° 45′ | + 3′ |
| 5 $\widehat{AF}$ | 65° 10′ | 65° 00′ | — 10′ | 5 E | 32° 45′ | 32° 35′ | — 10′ |
| | | | | 6 F | 8° 55′ | 9° 00′ | + 5′ |

(1) Les lettres inscrites dans ces deux colonnes se rapportent à la *fig.* 1 de la *Pl. IX.* Comme on pourrait être tenté d'objecter qu'elles ont été faites dans des circonstances particulièrement favorables, il n'est peut-être pas inutile de dire que le dessin sur lequel ont été prises les mesures avait été exécuté sans autre intention que d'essayer l'instrument nouvellement construit. C'est seulement après coup que l'idée est venue de faire la comparaison des éléments consignés dans ce Tableau, les angles lus sur la boussole par M. le lieutenant-colonel Bichot ne m'ayant été communiqués qu'après l'achèvement complet des mesures que j'avais faites sur le dessin exécuté à la chambre claire.

De l'examen de ce Tableau, il résulte, relativement aux mesures prises sur les perspectives dessinées au moyen de la chambre claire :

1° Que les angles réduits à l'horizon ont, sur ces perspectives, un degré de précision au moins égal à celui des angles lus sur le limbe de la boussole, et je ne crains pas d'affirmer aujourd'hui que leur degré de précision est supérieur et de même ordre que celui des angles relevés, à l'aide d'une planchette et d'une alidade, par les meilleurs opérateurs ;

2° Que les angles de pente, quoique moins exacts que ceux que l'on obtiendrait avec un éclimètre muni d'un vernier, le sont encore suffisamment pour procurer un nivellement passable de tous les points qui ne s'éloignent pas trop des stations. Pour fixer les idées à cet égard, nous rappellerons que l'erreur de 10′, qui est une limite pour un opérateur soigneux, correspond

| | | | |
|---|---|---|---|
| | m | | m |
| à | 0,001 | à la distance de..... | 0,30, |
| à | 0,10 | à la distance de..... | 30,00, |
| à | 1,00 | à la distance de..... | 300,00. |

Je pourrais m'arrêter là et laisser au lecteur le soin de tirer lui-même les conclusions. Il doit cependant m'être permis d'insister sur ce que le *Mémoire sur l'emploi de la chambre claire dans les reconnaissances topographiques*, écrit en 1850, publié en 1854 (1) et dont j'ai reproduit presque textuellement les parties essentielles, renfermait tous les principes qui ont été appliqués, depuis cette époque, par nous et plus tard par beaucoup d'autres, pour utiliser la Photographie dans le même but.

L'art nouveau né de ces tentatives a reçu, en Allemagne, le nom de *Photogrammétrie* (2), et en Italie, celui de *Photo-*

(1) *Mémorial de l'Officier du Génie*, n° 16. Paris, imprimerie et librairie de Mallet-Bachelier, rue du Jardinet, 12; 1854.

(2) J'étais disposé à adopter ce nom, quand on me prévint que le Congrès international des photographes avait émis le vœu que les applications scientifiques de leur art reçussent des dénominations terminées par le mot *photographie* tout entier, exemples : microphotographie, chronophotographie, uranophotographie, etc., les applications industrielles devant être désignées, au contraire, par des noms commençant par photo, exemples:

*topographie* (*fototopografia*) que l'on avait déjà employé en France.

Je n'avais pas songé tout d'abord, je l'avoue, à résumer d'un seul mot les procédés que je faisais connaître en les qualifiant simplement d'applications de la perspective à la Topographie. On me l'a reproché et je me tiens pour averti, aussi bien pour l'application suivante que pour celle qui vient d'être traitée.

## XVI. — *Télémétrographie.*

*Du télémétrographe à forts grossissements.* — Avant de nous séparer de la chambre claire, il convient de revenir sur l'usage qui en a été fait, dans les reconnaissances à de grandes distances, et dont le principe a été indiqué au paragraphe VIII, à propos de l'évaluation des distances modérées, quoique relativement grandes par rapport à celles que l'on emploie habituellement en Topographie.

On a vu, en effet, dans ce paragraphe, le parti que l'on pouvait tirer de l'adjonction d'une lunette de faible grossissement pour évaluer des distances de plusieurs centaines de mètres avec une approximation souvent suffisante. Peut-être nous en serions-nous tenu à ce système des petites lunettes faciles à monter sur la planchette de la chambre claire, sans une circonstance à laquelle nous n'avions pas songé tout d'abord et qui s'est présentée, imposée même, pourrions-nous dire, un peu plus tard. Nous voulons parler des reconnaissances dont nous fûmes chargé par le Gouverneur de Paris pendant le siège entrepris par les armées allemandes.

Il s'agissait alors, en effet, de déterminer les positions et les mouvements de l'ennemi sur toute la périphérie de ses lignes d'investissement, de relever ces lignes elles-mêmes, les travaux

---

photolithographie, photogravure, photoglyptie, etc., au lieu de *phototopographie*, il fallait donc dire *topophotographie*, et, au lieu de *photogrammétrie*, *métrophotographie*. J'ai adopté en conséquence cette dernière dénomination et j'y ai ajouté celle d'*iconométrie* correspondant au *Bildmesskunst* des Allemands, plus générale, puisqu'elle embrasse l'art des restitutions des images dessinées aussi bien que des images photographiées.

de toute nature qui s'y exécutaient journellement, tranchées, épaulements, batteries, abatis d'arbres, crénelage des murs, etc.

On trouvera dans un Appendice, à la fin de ce Chapitre, les dispositions générales qu'en notre qualité de Directeur des Observatoires militaires nous avions prises pour atteindre ce but, et l'on y verra le rôle important rempli par le télémétrographe. Nous devons nous borner ici à indiquer ce qui caractérise cet instrument au point de vue géométrique, et nous n'avons pour cela qu'à donner l'extrait suivant d'un Mémoire présenté à l'Académie des Sciences le 11 mai 1885 :

« L'analogie la plus complète existe entre le procédé dont il s'agit et celui qu'emploient journellement les micrographes. Le point essentiel, dans le cas dont je m'occupe, est de mettre en évidence le degré de précision que l'on atteint en évaluant les angles sur les images, sans le secours d'un micromètre.

» Je dois rappeler tout d'abord que le champ d'une lunette, qui peut supporter un assez fort grossissement, est nécessairement très restreint. En général, dans les lunettes terrestres, le produit du champ par le grossissement est sensiblement constant et de 25° environ. Les grossissements que nous avons employés étaient compris entre 33° et 65°, et les champs entre 45′ et 22′,5.

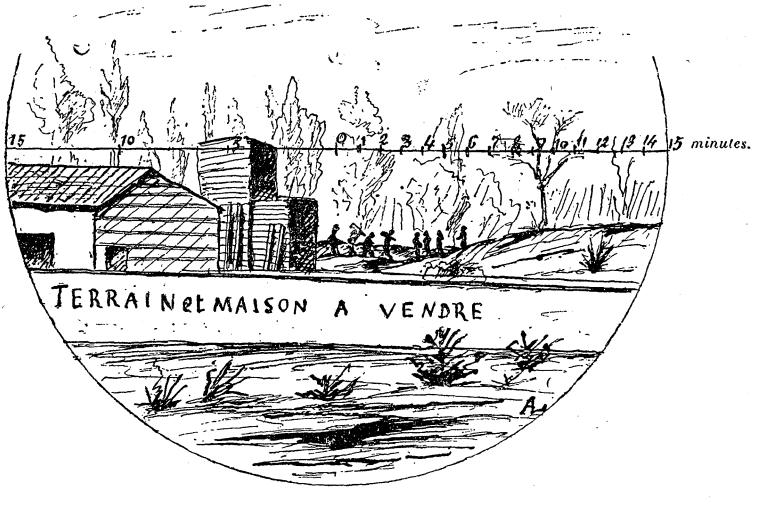
» Pour donner une idée du degré de précision des mesures que l'on peut effectuer sur les dessins télescopiques, je choisirai un de ceux qui ont été obtenus avec une lunette de $75^{mm}$ d'ouverture, dont le champ était de 30′ et le grossissement de 50. Je prendrai aussi le cas d'un opérateur pour qui la distance de la vue distincte était de $0^{m},305$.

» On voit aisément, par le calcul, qu'alors le diamètre du cercle qui limite l'image projetée sur la planchette doit être de $0^{m},135$ et le rayon du panorama de $15^{m},25$ (1).

(1) Le télémétrographe donne, en effet, des panoramas cylindriques, et c'est vraisemblablement sa participation à nos travaux de reconnaissance qui a suggéré au peintre Philippoteaux l'idée de son célèbre *Bombardement du fort d'Issy;* mais les éléments de ces panoramas peuvent être considérés comme plans à cause de la grandeur du rayon, comparée à l'étendue d'un champ ou même de plusieurs champs de lunette juxtaposés.

» La figure ci-après (*fig.* 33) représentant un groupe de soldats allemands en train d'essayer de construire un retranchement dans la redoute de Montretout a été faite dans les conditions que j'ai spécifiées (¹). On reconnaît immédiatement

Fig. 33.




Champ de lunette sur Montretout.
Échelle $\frac{2}{3}$ de l'original.

que les angles peuvent y être, à la rigueur, évalués à 5″ près, car une minute y est représentée (en tenant compte de la réduction de l'échelle) par $4^{mm},5$, ce qui fait entre $0^{mm},3$ et $0^{mm},4$ pour 5″.

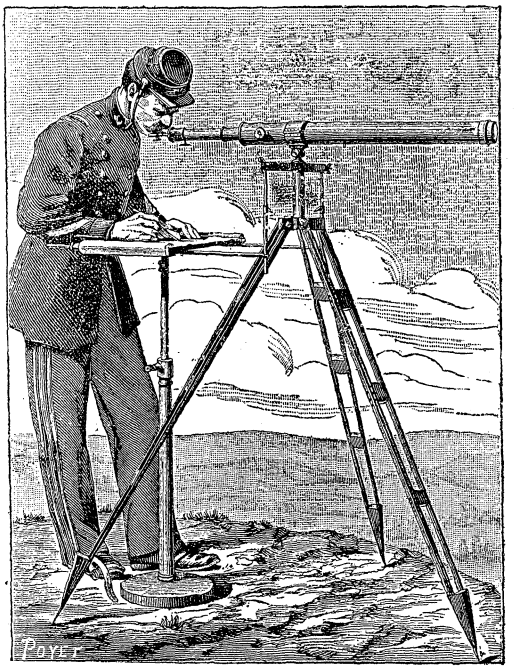
» Le point où se trouvaient ces hommes était à $4500^{m}$ de l'observatoire de Passy, d'où ils ont été dessinés, et leur taille étant supposée de $1^{m},65$, en moyenne, devait correspondre à une hauteur angulaire de 1′15″. Or, c'est ce que l'on trouve effectivement. Nous aurions donc pu, inversement, en con-

(¹) « Qu'il me soit permis de dire que les avis de l'Observatoire militaire de Passy donnés télégraphiquement aux défenseurs du Mont-Valérien, qui immédiatement couvraient d'obus le point désigné, ont empêché l'ennemi de continuer ces travaux. »

clure à peu près la distance de 4500$^{m}$, si nous ne l'avions pas connue.

» J'ai cité cet exemple parce qu'il est très frappant et très facile à suivre sur le dessin, mais je me hâte d'ajouter que nous avons eu recours à d'autres objets de comparaison que la

Fig. 34.



Télémétrographe.

taille de l'homme et à tous les moyens d'appréciation que nous fournissait la perspective, sans négliger la méthode des intersections, toutes les fois que nous pouvions l'employer. Au surplus, je ne saurais donner une meilleure preuve de la sûreté de nos évaluations qu'en renvoyant à la carte sur laquelle on voit des ouvrages ennemis reconnus jusqu'à 10$^{km}$ et 12$^{km}$ des observatoires les plus rapprochés et dont la posi-

tion a été vérifiée après la levée du siège (par un service indépendant du nôtre) (1).

» Je ferai enfin remarquer qu'il n'y a réellement qu'une constante à déterminer : le champ angulaire de la lunette mise au point pour une vue quelconque. Cette détermination faite, on peut confier l'appareil à un dessinateur étranger aux opérations géométriques. Il faut seulement lui faire mettre, une fois pour toutes, la lunette à son point, sur un objet éloigné et la planchette à la distance convenable à sa vue (ce dont il s'assurera en constatant que toute parallaxe optique a disparu), lui faire tracer la circonférence du champ de lunette ainsi obtenu et mesurer la distance de l'arête supérieure du prisme de la chambre claire à la planchette, d'où l'on conclura le grossissement correspondant et le rayon du panorama. Ces précautions prises, le dessinateur n'aura plus qu'à tracer à l'avance les cercles de ses champs de lunette et à y amener les images successives qui forment le panorama, en faisant tourner la lunette et en ajustant sa planchette.

» Parmi les habiles artistes qui m'ont prêté leur concours pendant le siège, il y avait certainement des myopes et des presbytes, à un assez faible degré toutefois, à moins qu'ils n'aient fait usage de besicles. Les diamètres des champs de lunette, dont on a laissé subsister la trace sur la plupart des dessins conservés, varient cependant de $0^m,110$ à $0^m,152$, mais il en résulte simplement que les distances auxquelles on a placé la planchette ont varié de $0^m,25$ à $0^m,35$.

» Je n'ai pas besoin d'ajouter que le degré de précision des mesures angulaires varie avec le champ de la lunette et avec la distance de la planchette. Les rayons de nos panoramas ont toujours dépassé $10^m$ et atteint jusqu'à $20^m$; on comprend donc aisément que, sur de pareils cercles, les angles n'ont pas cessé d'être évalués avec une extrême précision graphique. »

Nous ne croyons devoir rien ajouter à cette citation dans laquelle se trouvent amplement exposées les propriétés géo-

(1) Nous regrettons beaucoup de ne pouvoir pas reproduire cette carte, à cause de son étendue.

métriques du télémétrographe, si ce n'est que l'expérience prolongée pendant les quatre mois de la durée du siège de Paris par nombre d'officiers, d'ingénieurs, de savants et d'artistes du plus grand mérite a fait plus que confirmer nos prévisions.

Tous ceux qui avaient pris une fois la peine de se servir de cet instrument étaient frappés de la netteté et de l'exactitude des résultats qu'ils obtenaient et dont ils se donnaient souvent eux-mêmes la satisfaction de tirer les conséquences avant d'envoyer leurs dessins à la Direction des observatoires militaires où leur rapprochement permettait d'effectuer le travail d'ensemble.

Ainsi que nous l'avons annoncé, on trouvera dans un Appendice les renseignements complémentaires sur l'organisation de ce service de reconnaissances à de grandes distances, qui est sans doute, jusqu'à ce jour, celui qui a fonctionné sur la plus grande échelle.

Ajoutons que nous avons eu la bonne fortune de retrouver, après la Commune, une grande partie des dessins originaux, des artistes de grand mérite nommés dans l'Appendice, qui sont aujourd'hui autant de documents du plus haut intérêt. Ne pouvant les publier dans cet Ouvrage, nous allons seulement en donner deux spécimens très réduits.

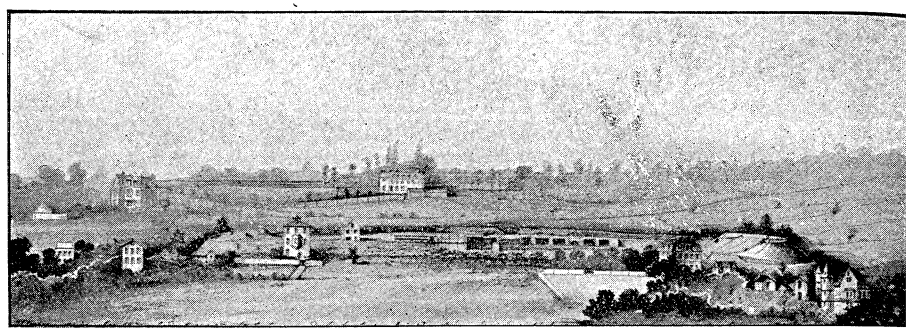
Le premier (*Pl. X*) représente les deux extrémités (formant la dixième partie) du panorama embrassé du clocher de Villejuif, comprenant le plateau entre les deux vallées de la Seine et de la Bièvre, de Choisy-le-Roi à Chevilly. Il avait été dessiné avec beaucoup de talent par M. Maxime Collignon, alors élève à l'École Normale, aujourd'hui membre de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres. Son développement total atteignait $12^{m}$; sur plusieurs points de ce panorama qui donnait une idée complète des travaux de l'ennemi, il y en a dont les distances s'élèvent à $7^{km}$, $8^{km}$ et jusqu'à $10^{km}$; l'échelle de réduction de la figure est de $\frac{1}{2,5}$ (entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{3}$).

Le second spécimen (*fig.* 35) représente la redoute de Montretout vue de la lanterne du Panthéon, c'est-à-dire d'une distance de plus de $10^{km}$ et les derniers plans dépassent $12^{km}$. L'aquarelle très soignée, dont la *fig.* 35 est une réduction à

l'échelle de $\frac{1}{4,5}$, entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{5}$, avait été exécutée par M. Henry, architecte de l'École Polytechnique qui, du haut du même observatoire, avait dessiné plusieurs autres vues très intéressantes et jusqu'à des épisodes de la bataille de Champigny.

Nous avons toujours pensé et les explications dans lesquelles nous venons d'entrer et celles que nous donnerons plus loin (*voir* l'Appendice annoncé du Chap. III) sur le fonctionne-

Fig. 35.



Redoute de Montretout, vue du Panthéon.
Échelle $\frac{1}{4,5}$ de l'original.

ment des observatoires militaires pendant le siège de Paris suffiraient à justifier cette opinion, qu'il serait sage de profiter du temps de paix pour préparer un service analogue. Il serait facile, en effet, en utilisant le talent des jeunes artistes peintres ou architectes pendant leur service militaire, de faire dessiner à l'avance au télémétrographe, les panoramas du *terrain dangereux* autour de chacune de nos forteresses. Enfin, en recourant aux photographes professionnels ou amateurs également sous les drapeaux, on pourrait, grâce à la Téléphotographie, ajouter à l'œuvre d'ensemble des paysagistes des détails d'une merveilleuse précision.

Nous espérons pouvoir donner, dans l'un des paragraphes suivants, une reproduction à plus grande échelle de la vue précédente de Montretout, peinte à l'aquarelle, ainsi qu'un spécimen des vues photographiées et annotées de M. Javary,

exécutées de même pendant le siège de Paris. Ces documents nous semblent, en effet, de nature à convaincre les plus incrédules des services considérables que sont appelés à rendre aux défenseurs, et principalement aux artilleurs, des dessins et des photographies qui peuvent être étudiés à loisir et incessamment comparés, nous le répétons, avec les cartes topographiques.

La méthode à laquelle nous avons été conduit pour effectuer nos reconnaissances à de grandes distances est, en définitive, toujours fondée sur l'ancienne idée de l'association des plans ou des cartes et des vues pittoresques, mentionnée si souvent dans le Chapitre II et au commencement de celui-ci; seulement, la portée des bouches à feu ayant considérablement augmenté, il faut voir aussi plus loin et employer, par conséquent, des lunettes puissantes qui permettent de distinguer les objets et, grâce à la chambre claire ou à la Photographie, d'en fixer les images amplifiées.

## MÉTROPHOTOGRAPHIE.

### XVII. — *Chambre noire topographique ou phototheodolite.*

Les reconnaissances faites avec la chambre claire, non seulement autour de Paris, mais au cours de plusieurs voyages entrepris de 1851 à 1856 et dont les résultats avaient toujours été des plus satisfaisants, ne nous avaient pas fait perdre de vue l'emploi de la Photographie. Le Comité des fortifications avait autorisé, dès la fin de 1851, l'acquisition d'une chambre noire que nous avions munie d'un niveau à bulle d'air et d'une boussole, et avec laquelle quelques expériences furent commencées à l'aide de plaques préparées à l'albumine (1). Mais ce procédé était trop assujettissant, le champ de notre objectif trop réduit, enfin la mise en station de l'appareil si incommode et si peu exacte que nous dûmes renoncer à prolonger des essais qui ne pouvaient conduire qu'à des résultats lents et imparfaits.

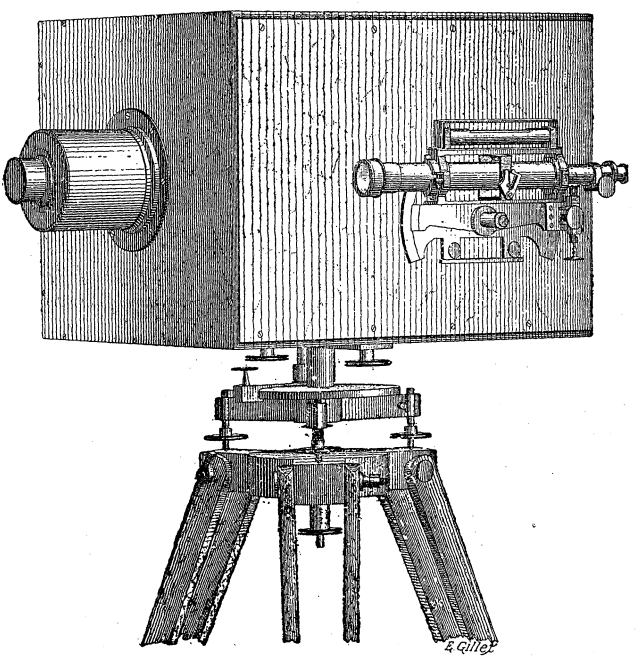
La même chambre noire nous servit encore, un peu plus tard, quand le procédé au collodion fut connu, à nous exercer, puis à étudier les conditions dans lesquelles il conviendrait d'organiser complètement un instrument destiné aux reconnaissances topographiques et accessoirement à la restitution des édifices, car nous n'avions pas oublié que notre première tentative faite avec la chambre claire, inspirée par l'exemple

(1) L'illustre physicien Regnault, dont nous avions l'honneur d'être l'élève et l'ami, avait bien voulu s'intéresser à ces expériences, et les premières préparées dans son laboratoire, au Collège de France, furent exécutées d'une terrasse de cet établissement, en dirigeant l'appareil sur les édifices environnants.

de Caristie, avait eu précisément pour objet de relever des mesures géométriques exactes sur une vue du dôme des Invalides, prise de la place Vauban.

Les procédés d'agrandissement, si simples et si répandus aujourd'hui, étant alors très incommodes et très imparfaits,

Fig. 36.



Chambre noire topographique.

pour avoir des détails suffisamment nets des plans éloignés, nous avions adopté un objectif dont la distance focale était de $0^{m},50$, bien supérieure par conséquent à la vue distincte.

L'excellent opticien Bertaud jeune, qui, dès cette époque (1858), pratiquait très habilement une méthode des *retouches locales* qui lui était propre, était parvenu à nous livrer un objectif simple dont le champ sans aberration sensible dépassait 30°.

Enfin, nous nous étions adressé au célèbre artiste Brunner, pour la construction de la première *chambre noire topographique,* munie des organes essentiels et dont les nombreux appareils analogues ont reçu plus tard, en France et à l'étranger, les noms de *photothéodolites, phototachéomètres, photogrammètres,* etc. Cette chambre noire représentée *fig.* 36 et dont nous allons donner la description détaillée, fut terminée en 1859, et nous ne tardâmes pas à la soumettre aux expériences dont il sera question ci-après.

*Propriétés des images produites dans la chambre noire.*— Rappelons encore quelques notions déjà exposées à propos des vues dessinées à la chambre claire, en les étendant aux images photographiées. Les vues de paysages, qui se peignent au fond de la chambre noire, sont des perspectives coniques sur des tableaux plans entièrement analogues à celles que l'on dessine avec la chambre claire et jouissant, par suite, des mêmes propriétés que ces dernières.

Le sommet du cône est, dans ce cas, un point situé sur l'axe optique de l'objectif et qui, selon la théorie que l'on adopte, est le *centre optique* de cet objectif ou le point *nodal d'émergence* des rayons lumineux. Pour simplifier le langage, et bien que la théorie des points nodaux soit la plus exacte, nous continuerons à désigner le sommet du cône de la perspective sous le nom de *centre de l'objectif,* sans préjuger sa position, que nous chercherons plus tard à déterminer.

Nous admettons tout d'abord que le tableau sur lequel viennent se former les images est fixé à une distance constante de ce centre, qui est le *point de vue* de la perspective, et nous sommes autorisé à faire cette hypothèse puisque nous opérons, en général, sur des paysages composés d'objets assez éloignés pour que leurs images viennent se former dans le même plan focal, celui qu'on appelle le *plan focal principal.*

Ce que nous aurons à déterminer n'est donc théoriquement autre chose que la *distance du point de vue au tableau.*

Cette distance est l'un des éléments essentiels et, il faut

ajouter, des plus importants à considérer dans une perspective, puisque c'est lui qui détermine la longueur des rayons comprise entre le point de vue et le tableau, ce qui correspond à la longueur des *lignes de visée* dans les instruments pourvus d'alidades ou de lunettes.

Toutes les autres définitions que nous avons données à propos des perspectives dessinées à la chambre claire s'appliquent aux perspectives photographiées. La *fig.* 1 de la *Pl. XI* va nous servir à les rappeler ici sommairement.

Soient O le centre de l'objectif, dOP son axe optique supposé horizontal, et QRST le plan focal occupé par une glace dépolie, sur laquelle l'image aérienne se voit nettement. A la distance OP égale à Od et prise en avant de l'objectif, du côté du paysage naturel, concevons une surface plane et transparente QRST parallèle au plan focal. Le centre O de l'objectif étant pris pour point de vue de la perspective que l'on peut concevoir tracée sur la surface QRST, il est évident que cette perspective est superposable avec celle qui se projette sur la glace dépolie vue par transparence, la distance OP du point de vue au tableau étant égale à la distance focale Od ; P étant le point principal et HPN la ligne d'horizon sur la perspective directe, d et HdN sont le point principal et la ligne d'horizon sur la glace dépolie.

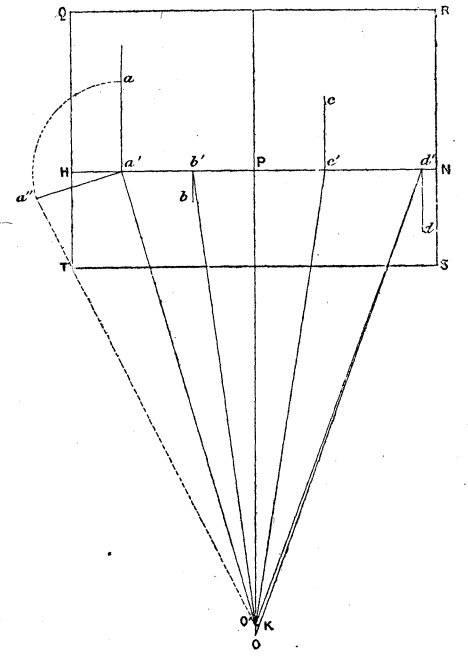
Remarquons enfin que l'image aérienne, vue sur la glace dépolie, est précisément celle que l'on obtient photographiquement sous le nom d'*épreuve positive,* d'où il résulte que l'on peut substituer l'épreuve positive elle-même à l'image idéale de la surface transparente.

En résumé, les vues photographiées représentent bien des perspectives géométriques du terrain ayant le centre de l'objectif pour point de vue, et sur un tableau dont la distance à ce point est égale à la distance focale principale de l'objectif. Par conséquent, étant données sur une vue photographiée QRST (*fig.* 37), la position du point principal P et la ligne d'horizon HPN, connaissant d'ailleurs la distance focale de l'objectif qui a servi à prendre la vue, on peut obtenir immédiatement réduits à l'horizon les angles compris entre les différents points du paysage et déterminer graphiquement ou

par leurs tangentes trigonométriques les hauteurs ou les dépressions apparentes de chacun de ces points.

On n'a, en effet, pour cela, qu'à opérer, comme nous l'avons montré sur les vues dessinées à la chambre claire, c'est-à-dire rabattre le plan d'horizon sur celui du tableau, autour de la

Fig. 37.




ligne d'horizon HPN prise pour charnière. Le point de vue se trouvera rabattu lui-même en O sur la perpendiculaire PO à la ligne HPN, et à une distance OP de cette ligne égale à la distance focale qui est donnée. En abaissant alors, des différents points *a*, *b*, *c*, *d*, les perpendiculaires $aa'$, $bb'$, $cc'$, $dd'$ sur la ligne HPN et en joignant les pieds $a'$, $b'$, $c'$, $d'$ de ces perpendiculaires au point O, $a'Ob'$, $a'Oc'$, $a'Od'$ seront les angles réduits à l'horizon que l'on aurait trouvés au moyen d'un cercle divisé ou d'une planchette et d'une alidade mis en station au

même point que la chambre obscure, en visant successivement sur les points du terrain dont *a*, *b*, *c*, *d* sont les images. Quant à la hauteur angulaire apparente de l'un quelconque de ces points, celle du sommet *a* d'un arbre, par exemple, on l'obtiendrait graphiquement en élevant en $a'$ et sur $Oa'$ la perpendiculaire $a'a''$ égale à $aa'$ et en joignant le point $a''$ au point O. Il est clair, en effet, que l'angle $a'Oa''$ est égal à l'angle cherché $aOa'$ de l'espace. Mais on évite cette construction en se servant, au lieu de l'angle lui-même, du rapport $\frac{aa'}{Oa'}$ qui en est la tangente trigonométrique et que l'on fait entrer directement, comme nous l'avons expliqué au Chapitre des Méthodes, dans les calculs du nivellement.

Arrivons à la description de la première chambre noire topographique expressément construite pour assurer l'exactitude des opérations et celle des résultats que nous voulions obtenir. Nous conserverons la figure de cet appareil et le texte de la description que l'on trouve dans le n° 17 du *Mémorial de l'Officier du Génie,* année 1864, pages 262 et suivantes. Nous indiquerons, dans le Chapitre suivant, les autres formes ou dispositions d'appareils adoptés par les opérateurs qui nous ont succédé dans la même voie, mais nous donnerons auparavant, à la fin de celui-ci, la description de ceux dont nous conseillons l'emploi aux ingénieurs, aux voyageurs scientifiques, enfin aux touristes qui veulent contribuer à faciliter les études du terrain dans les pays qu'ils parcourent.

*De la chambre noire topographique.* — La chambre noire (*Pl. XI, fig.* 2 et 3) se compose spécialement d'une boîte portant à l'avant l'objectif, et, à l'arrière, dans une coulisse, le châssis qui contient la plaque ou la feuille de papier destinée à recevoir l'image.

*De l'objectif.* — Les photographes emploient deux sortes d'objectifs, les uns formés d'une seule lentille achromatique, les autres composés de deux ou trois lentilles convenablement disposées à la suite l'une de l'autre. Les premiers, désignés sous le nom d'*objectifs simples,* sont d'un prix moins élevé

que les seconds et suffisent pour les vues de paysage (1).

Nous réservons d'ailleurs la question du choix de l'objectif; ce qu'il importe de savoir, quant à présent, c'est que, dans tous les cas, il existe un centre optique (2) sur l'axe de figure du système des verres, quel qu'il soit. L'objectif *simple* O (*fig.* 1 et 2) est placé dans une monture formée de deux tuyaux, dont l'un se visse au centre de la face antérieure de la boîte et dont l'autre, qui porte l'objectif, peut ordinairement glisser dans le premier. Ce mouvement de lorgnette sert à *mettre au foyer*, c'est-à-dire à faire coïncider le plan focal de la lentille avec la surface sensible. Enfin, les diaphragmes, qui servent à augmenter la netteté des images, se logent, en général, dans un tuyau plus étroit adapté à celui qui porte l'objectif. Quand on veut empêcher la lumière de pénétrer dans la chambre, on ferme l'ouverture de ce tuyau avec un couvercle (un chapeau) qui doit s'ajuster aisément, pour qu'en le plaçant ou en le retirant, on ne soit pas exposé à déranger l'appareil (3).

*De la glace dépolie et des châssis.* — Pour mettre au foyer, on se sert d'une glace dépolie sur laquelle on peut voir distinctement l'image aérienne formée par l'objectif. Cette image acquiert plus de vivacité quand l'opérateur l'isole de la lumière extérieure, en se couvrant la tête d'une étoffe noire qui enveloppe en même temps la boîte. En retirant ou en enfonçant l'objectif, on saisit sans peine l'instant où l'image acquiert sa plus grande netteté.

Quand la chambre obscure est destinée à reproduire tantôt les images d'objets éloignés, tantôt celles d'objets rapprochés, il est nécessaire de recommencer chaque fois la mise au foyer;

---

(1) Ceci a été écrit en 1859; les progrès de l'Optique photographique, depuis cette époque, ont produit de tels changements dans les habitudes que les objectifs simples ont à peu près disparu.

(2) On sait le sens que nous attribuons à cette expression.

(3) Il est évident que ces détails et plusieurs de ceux qui suivent sont surannés; je ne les ai reproduits que pour ne pas interrompre la description de mon premier appareil, que j'ai cru nécessaire de donner pour éviter toute contestation sur la question de priorité, en ce qui concerne la construction des théodolites photographiques.

mais, lorsqu'on ne veut prendre que des vues de paysage, cette opération peut être faite une fois pour toutes. Dans ce cas, l'objectif doit être fixé définitivement, ou bien on se contente de le ramener toujours à un même repère marqué sur la monture.

La glace dépolie n'en sert pas moins à vérifier de temps en temps l'exactitude du repère et surtout à examiner les vues que l'on veut prendre, pour les diviser au besoin en plusieurs épreuves.

Les châssis *à épreuves négatives,* que l'on substitue à la glace dépolie, doivent être construits avec beaucoup de soin, pour que la surface sensible vienne se placer bien exactement dans le plan focal. C'est ce que l'on reconnaît à la netteté des épreuves elles-mêmes ou à celle des épreuves *positives* qu'elles fournissent.

*Du pied de l'instrument.* — La boîte de la chambre noire repose immédiatement sur un fort croisillon en bronze CC, sur lequel on la fixe au moyen des vis V, V, qui pénètrent dans des écrous noyés au fond de la boîte. Ce croisillon fait corps avec un cylindre creux BB, emboîtant un axe vertical en acier, autour duquel l'appareil peut tourner facilement. L'axe est porté par un trépied à vis calantes T, T, T, posé lui-même sur le plateau d'un pied à trois branches. Une forte vis, armée d'un ressort qui traverse le plateau et pénètre au centre du trépied, travaillé en écrou, relie solidement les deux parties du support de la chambre noire.

*Des organes géodésiques.* — A la base de l'axe vertical est fixé un cercle horizontal HH, dont la division tracée sur la tranche est parcourue par l'alidade DD dans les mouvements de rotation. Cette alidade porte à son extrémité une pince P, qui, lorsqu'elle est serrée, maintient l'appareil dans une direction déterminée; elle porte, en outre, une vis de rappel R, pour faciliter le pointé, et un vernier donnant la minute. Les angles dont on fait tourner l'axe optique de l'objectif s'évaluent donc avec un degré de précision toujours suffisant dans des opérations destinées à être traduites graphiquement.

L'instrument comprend, d'ailleurs, un niveau à bulle d'air et à lunette, disposé sur l'un des côtés de la boîte. La lunette LL, placée dans ses collets J, J, est mobile autour d'un axe horizontal H et entraîne dans son mouvement une alidade DD', dont les verniers parcourent les arcs d'un éclimètre vertical EE; une vis de pression P' sert à arrêter la lunette dans la direction d'un objet pris pour point de mire, et la vis de rappel R' à rendre le pointé tout à fait exact. La lecture des verniers donne, au besoin, l'inclinaison de l'axe optique de cette lunette sur l'horizon.

Le niveau NN, dont les pieds Y, Y reposent sur les tourillons de la lunette, peut s'y retourner sans rester, pour cela, exposé à tomber quand on manœuvre ou quand on transporte l'instrument d'une station à l'autre. A cet effet, la règle inférieure du niveau porte en son milieu une double équerre FF, dont les branches verticales sont armées à leurs extrémités de petites tiges cylindriques qui s'engagent dans les fourches U, U fixées à l'alidade. En relevant les crochets Z, Z qui passent sur ces tiges, le niveau se trouve retenu et, lorsqu'on veut le retourner ou l'enlever tout à fait, on n'a qu'à abaisser les crochets.

La platine qui porte l'axe horizontal, et dans laquelle a été taillé l'éclimètre, s'applique solidement contre la face de la chambre obscure au moyen de vis W, W, qui traversent cette face, et d'écrous que l'on serre à l'intérieur; un contrepoids QQ vissé sur la face opposée ramène le centre de gravité sur l'axe vertical.

Indépendamment du réticule ordinaire, composé d'une croisée de fils, deux autres fils parallèles sont placés au foyer de la lunette pour servir à l'évaluation directe des distances (d'une station à l'autre), en certains cas, d'après le principe de la *stadia*.

Enfin, quatre aiguilles très fines *a, a, a, a,* sont disposées à l'intérieur de la boîte et au milieu des quatre côtés, tout près du bord contre lequel vient s'appliquer le châssis. Ces aiguilles, en interceptant la lumière, marquent sur les épreuves quatre traits de repère qui, joints deux à deux, donnent la ligne d'horizon et une perpendiculaire passant par le milieu de cette

ligne, c'est-à-dire la ligne principale dont l'intersection avec la ligne d'horizon est le point principal.

## XVIII. — *Mise en station et rectification de l'instrument.*

L'objectif et les organes que l'on vient de décrire se démontent et se logent dans une caisse disposée pour les recevoir et d'où on les retire dans l'ordre suivant, quand on veut mettre l'appareil en station :

1° L'objectif que l'on visse sur la chambre noire;
2° Le trépied à vis calantes : on le met sur le pied en bois; on pose ensuite et l'on fixe la chambre noire par le croisillon;
3° L'éclimètre que l'on place contre celle des faces de la chambre qui est percée de trous pour le passage des vis W, W;
4° La lunette;
5° Le niveau.

On suit l'ordre inverse pour rentrer ces différentes pièces dans la caisse.

L'instrument étant entièrement monté et installé au-dessus du point choisi pour station, on procède aux rectifications qui sont au nombre de trois, savoir :

1° *Rendre l'axe de rotation vertical.* — Pour cela on amène d'abord les zéros des verniers des deux alidades en coïncidence avec les zéros des divisions correspondantes.

Le limbe horizontal a été construit de telle sorte que la lunette et le niveau se trouvent alors dans une direction parallèle à la ligne qui joint deux des vis à caler du trépied (1); en

(1) Cette condition n'est pas indispensable et quand elle n'est pas remplie on en est quitte pour prendre d'autres divisions convenables sur le limbe pour y amener les zéros des verniers.

agissant sur l'une de ces vis ou sur toutes les deux à la fois, on amène la bulle du niveau entre ses repères, puis on fait tourner la chambre de 180° *exactement,* autour de l'axe vertical. Généralement, dans cette nouvelle position, la bulle ne revient pas entre ses repères et il faut l'y ramener en faisant une moitié de la correction au moyen des mêmes vis à caler et l'autre moitié à l'aide de la vis de rappel de l'éclimètre. Cela fait, on met le zéro de l'alidade D sur la division 90° du limbe, et l'on ramène la bulle entre ses repères, en agissant, cette fois, seulement sur la troisième vis à caler qui correspond à cette division.

On vérifie alors que l'axe est effectivement vertical, en voyant si la bulle reste entre ses repères pendant une rotation entière, et, si elle éprouve encore des déplacements sensibles, on achève la rectification en répétant une seconde fois la même série d'opérations (1).

2° *Rectifier l'axe optique de la lunette.* — On commence par mettre la lunette *au point,* en retirant l'oculaire jusqu'à ce que les fils du réticule soient parfaitement distincts, puis en pointant sur des objets éloignés et en faisant marcher le système du réticule et de l'oculaire jusqu'à ce que les images de ces objets deviennent également très nettes.

L'un des deux fils de la croisée du réticule étant rendu sensiblement horizontal, on pointe exactement, mais par le seul mouvement de rotation de l'appareil autour de l'axe horizontal, sur un objet bien défini, puis on fait tourner la lunette dans ses collets, jusqu'à ce que le fil vertical soit renversé, c'est-à-dire redevenu vertical dans le sens opposé. Si alors l'image du point visé vient se projeter de nouveau sur la croisée des fils, l'axe optique a une position convenable : sinon, on estime la distance qui sépare l'image du point considéré de la croisée des fils et l'on déplace le réticule de la moitié de cette distance, en agissant sur une vis de correction dont

(1) On se familiarise très rapidement avec ce genre d'opérations beaucoup plus simples dans la pratique qu'elles ne le semblent tout d'abord pour ceux qui ne sont pas encore initiés.

la position est facile à reconnaître sur la lunette elle-même.

Pour juger si l'opération a réussi, on choisit un autre point sur l'une des nouvelles directions que peut prendre l'axe optique, quand on fait tourner l'instrument autour de son axe vertical, et l'on recommence la même épreuve. Le reste de la correction se fait, s'il y a lieu, en agissant sur la même vis du réticule qui abaisse ou élève le fil horizontal de très petites quantités.

3° *Rendre l'axe optique de la lunette horizontal et déterminer l'erreur de collimation.* — La rectification précédente n'a servi qu'à amener l'axe optique de la lunette dans un plan qui passe par l'axe de figure et qui est à peu près horizontal. Pour achever de rendre cet axe optique exactement horizontal, la bulle du niveau étant toujours entre les repères, depuis la première rectification (1°), on retourne le niveau bout pour bout sur les tourillons de la lunette, et, pour cela, il faut d'abord avoir abaissé les crochets Z, Z. Si, dans cette nouvelle position, la bulle revient entre ses repères, comme les tourillons appartiennent par construction à un seul et même cylindre, la surface de ce cylindre aura ses génératrices horizontales et par conséquent l'axe de figure et l'axe optique lui-même seront horizontaux. Dans le cas contraire, on ferait une moitié de la correction avec la vis de rappel R′ de l'éclimètre, et l'autre moitié par la vis de correction K du niveau.

La lecture du vernier de l'éclimètre faite après cette opération est ce qu'on nomme l'*erreur de collimation* (1), et les angles de pente, indiqués par l'éclimètre dans une position quelconque de la lunette, doivent être augmentés ou diminués de cette quantité, suivant le sens de l'erreur et celui de l'inclinaison de la lunette.

*Axe optique et plan focal.* — L'instrument mis en station doit satisfaire, en outre, à plusieurs conditions qui sont remplies quand il sort des mains du constructeur.

---

(1) Ou mieux *collinéation*. *Voir* le Dictionnaire de Littré.

Ainsi :

1° Quand la lunette est horizontale, son axe optique est à la même hauteur que celui de l'objectif et, dans le mouvement de rotation autour de l'axe vertical, ces axes décrivent l'un et l'autre le plan d'horizon.

2° La coulisse pratiquée à l'arrière de la chambre est construite de manière que le plan des épreuves soit vertical et perpendiculaire à l'axe optique. Une légère imperfection dans la réalisation de ces deux premières conditions n'entraînerait aucune erreur sensible dans la pratique.

3° *Aiguilles de repère.* — Il importe, au contraire, en ce qui concerne les aiguilles de repère, et spécialement celles qui déterminent matériellement la ligne d'horizon, que leur position soit exactement fixée.

*Mise en place et vérification des repères de la ligne d'horizon et du point principal.* — Voici un moyen de fixer ou de vérifier la position des repères de la ligne d'horizon :

On a vu que, quand on fait tourner l'appareil rectifié autour de son axe vertical, le plan décrit par l'axe optique de la lunette est le plan de l'horizon même. Il résulte de là que si l'on dirige la lunette, par ce seul mouvement de rotation, sur un objet remarquable d'un paysage, cet objet, qui se trouvera sensiblement au centre de la glace dépolie, y marquera un point de la ligne d'horizon que l'on pourrait même prendre pour le point principal. L'opérateur, ayant bien reconnu l'objet dont il s'agit, n'aura qu'à faire tourner l'instrument d'un certain angle, d'abord de droite à gauche, puis de gauche à droite, pour l'amener alternativement sur les deux bords du cadre de la glace dépolie où il en marquera les traces avec la pointe du crayon. Il est clair que la ligne droite tirée entre ces deux points y représenterait la *ligne d'horizon.*

Les pointes latérales destinées à servir de repères doivent projeter leurs ombres sur cette ligne. C'est ainsi que leur position a été déterminée à l'époque de la construction de l'appareil, et qu'elle peut être vérifiée toutes les fois qu'on le juge nécessaire. Elles sont portées chacune par une petite pince

mobile dans une rainure verticale, ce qui permet de les élever ou de les abaisser au besoin.

Si l'on voulait prendre l'image d'un point sur lequel on dirige la lunette pour point principal, il faudrait s'astreindre à de nouvelles vérifications que l'on évite en plaçant les deux autres points de manière que la ligne qui les unit soit perpendiculaire à la ligne d'horizon et passe sensiblement par le milieu de cette ligne. On reconnaît très facilement que cette double condition est remplie, en se servant à cet effet, non plus de la glace dépolie, mais d'une épreuve positive obtenue à l'aide de l'appareil entièrement rectifié d'ailleurs. Dans ce cas encore, une extrême précision n'est pas de rigueur, et quand les deux pointes ont été placées avec soin par le constructeur, il n'est plus nécessaire d'y toucher, à moins d'accident.

*Remarque.* — L'objectif est habituellement fixé au milieu du côté antérieur de la chambre noire, et, par suite, la ligne d'horizon partage elle-même l'épreuve en deux parties égales.

D'un autre côté, comme, en général, les rayons visuels dirigés sur les objets du paysage ont des inclinaisons qui ne dépassent guère de 10° à 15° (au-dessus ou au-dessous de l'horizon), pour ne pas donner des dimensions exagérées à l'appareil, on règle sa hauteur d'après cette indication.

Il peut arriver cependant, en pays de montagnes ou dans des stations choisies à l'intérieur des villages, que les points de vue soient dominés par les objets environnants ou qu'ils les dominent eux-mêmes, de telle sorte que les images de ces objets ne se trouvent plus entièrement comprises dans le cadre de l'épreuve. Quand c'est le point de vue qui est dominé, la ligne d'horizon, au lieu de passer par le milieu de l'image, devrait en occuper la partie inférieure, et réciproquement, quand c'est lui qui domine, la ligne d'horizon devrait laisser la plus grande partie, sinon la totalité de l'image au-dessus d'elle. Or on peut aisément réaliser le déplacement de la ligne d'horizon, dont la position dépend de celle de l'objectif, en faisant porter celui-ci par un châssis mobile dans deux rainures verticales, pratiquées à la partie antérieure de la chambre noire.

Quant aux aiguilles, on peut les laisser à la même place; seulement la ligne qui les unit ne représente plus invariablement la ligne d'horizon, mais seulement une parallèle à cette ligne, dont le tracé sur les épreuves est d'ailleurs encore très facile. Il suffit, en effet, d'avoir une graduation de centimètre en centimètre sur les bords de la coulisse et des index sur le châssis qui porte l'objectif. Le zéro de cette graduation correspond à la position moyenne de l'objectif, pour laquelle la ligne d'horizon passe par les aiguilles.

Quand on élève l'objectif d'un certain nombre de centimètres, la ligne d'horizon suit ce mouvement, et, comme l'image sur laquelle elle se déplace est renversée, pour l'obtenir il faut, sur l'épreuve redressée, mener une parallèle à la ligne déterminée par les aiguilles et *au-dessous* de cette ligne, à la distance mesurée sur la graduation. Quand, au contraire, l'objectif a été descendu, la parallèle doit être tracée au-dessus de cette même ligne.

On évite, par ce moyen, de donner à la chambre noire des dimensions qui la rendraient inutilement incommode; car, dans la plupart des cas, les vues de paysage sont loin de couvrir toute l'étendue des plaques ou des feuilles de papier placées dans le plan focal, et dont la hauteur est ordinairement moindre que la largeur.

Mais la nécessité d'accroître, dans un sens ou dans l'autre, le champ vertical de la chambre obscure n'en est pas moins réelle, et elle s'était fait sentir, dans les études entreprises par M. le capitaine Javary pour expérimenter l'appareil que nous achevons de décrire et auquel nous avons fait ajouter le dispositif dont il vient d'être question (1).

Il doit être bien entendu, toutefois, que le champ net, dont nous n'avons pas encore parlé, a, dans tous les cas, une limite qui dépend de la nature de l'objectif et qu'on ne peut pas

(1) Ce dispositif est celui qui est employé le plus habituellement pour éviter d'incliner l'axe optique de l'appareil et, par conséquent, le plan du tableau qui, cessant d'être vertical, donne des perspectives sur lesquelles, comme nous l'avons expliqué, les lignes verticales deviennent convergentes.

plus dépasser dans le sens vertical que dans le sens horizontal (1).

## XIX. — *Détermination de la distance du point de vue au tableau.*

Cette distance qui règle, comme on sait, la longueur des lignes de visée et, par suite, celle des lignes de construction, doit être déterminée avec toute l'exactitude possible. On l'évalue indirectement en mesurant, d'une part, soit sur la glace dépolie, soit sur une épreuve positive, la distance linéaire du point principal à un autre point situé sur la ligne d'horizon, et, de l'autre, sur le cercle azimutal, l'angle compris entre les deux mêmes points du paysage naturel.

Revenons, par exemple, à la *fig.* 37, sur laquelle le point O représente le point de vue rabattu sur le plan du tableau. En joignant un point quelconque $b'$ de la ligne d'horizon au point de vue, nous formerons un triangle rectangle en P, qui sera déterminé quand on connaîtra le côté P$b'$ de l'angle droit et l'angle aigu en O. Or, ces deux quantités sont celles dont il vient d'être question et que l'on peut facilement mesurer avec l'approximation d'une minute pour l'angle et d'une fraction de millimètre pour le côté.

La distance cherchée du point de vue au tableau, qui est le côté OP, se calcule ensuite par la formule

$$\mathrm{OP} = \mathrm{P}b' \cot \mathrm{PO}\, b'.$$

Si l'on se reporte à l'époque déjà éloignée où le Mémoire dont nous avons extrait la plus grande partie de ce paragraphe a été écrit, on comprendra que l'étude des déformations produites par les objectifs, même sur les épreuves d'un champ restreint, et celle des moyens de corriger les erreurs qui en

(1) On se souvient, sans doute, qu'avec la chambre claire le champ vertical était indéfini; il convient de reconnaître qu'aujourd'hui, avec les objectifs grands angulaires, le champ vertical des épreuves photographiques n'est en quelque sorte limité que par les dimensions de l'appareil.

pouvaient résulter, constituaient à elles seules un chapitre important. Nous ne reproduirons pas ce chapitre devenu inutile depuis les merveilleux perfectionnements apportés à la construction des objectifs. Nous ne donnerons pas davantage les détails relatifs à la pratique de la Photographie; les publications nombreuses et excellentes répandues aujourd'hui sur un art devenu familier à tant de personnes nous en dispensent.

## XX. — *Expériences officielles faites sur des vues photographiées, de* 1859 *à* 1864.

*Commission de l'Académie des Sciences.* — Avant même que l'appareil en construction chez Brunner nous eût été livré, nous avions soumis le 14 novembre 1859, à l'Académie des Sciences, une copie du Mémoire déjà déposé au Secrétariat du *Comité des fortifications* et qui ne devait paraître qu'en 1864 dans le n° 17 du *Mémorial de l'Officier du Génie* (1), par suite d'un retard de près de dix ans apporté à la publication de ce recueil.

Les commissaires nommés par l'Académie pour l'examen de ce Mémoire, MM. Daussy et Laugier, nous ayant invité à opérer devant eux, nous dûmes emprunter une chambre noire dont l'objectif avait une distance focale de $0^{m},426$, voisine de celle que nous avions adoptée, à l'un de nos camarades, M. Laveine, ancien élève de l'École Polytechnique, qui nous aida aussi à préparer des plaques au collodion sec.

Un niveau à bulle d'air ayant été disposé temporairement à la partie supérieure de l'appareil pour sa mise en station, la ligne d'horizon fut déterminée à part, au moyen d'un niveau de précision dont la lunette était dirigée successivement sur trois des points de chacune des épreuves sur lesquelles il était facile de la tracer ensuite.

Voici l'extrait du Rapport de M. Laugier qui fait connaître

(1) *Mémoire sur l'emploi de la Photographie dans le lever des plans et spécialement dans les reconnaissances militaires.*

les résultats déjà très concluants de cette expérience improvisée (1) :

« Pour s'assurer de l'exactitude de la méthode, M. Laussedat s'est servi d'un plan de Paris exécuté en 1839, à l'échelle de $\frac{1}{6667}$ sous la direction de M. Emmery, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (2). Il a choisi pour stations la tour nord de Saint-Sulpice et l'observatoire de l'École Polytechnique et a photographié, en plusieurs épreuves, une certaine étendue des panoramas pris de ces deux stations. Empruntant ensuite au plan de Paris la distance de l'École à Saint-Sulpice ($1233^m$), il a placé ces deux points sur un plan; puis, au moyen des perspectives photographiées, il a construit les lignes de visée relatives à quelques points remarquables, tels que la tour de l'Horloge (Conciergerie), la flèche du clocher de Notre-Dame, etc.; *les intersections de ces lignes de visée ont donné les positions de ces points avec une exactitude telle qu'on a pu opérer la coïncidence du plan de* M. LAUSSEDAT *et du plan de Paris.* Les points ainsi déterminés sont éloignés des stations de plus d'un kilomètre, mais nous nous sommes assurés qu'avec cette base de $1233^m$ on aurait obtenu avec une exactitude suffisante les positions des points situés à des distances beaucoup plus grandes. A la station de Saint-Sulpice, les épreuves avaient été prises dans les conditions les plus défavorables; c'est cette circonstance qui nous a déterminés à opérer sur des points plus rapprochés. Nous avons pareillement cherché l'élévation de la flèche Notre-Dame au-dessus de l'arête du toit de la nef. La hauteur obtenue ($50^m$), d'après une des photographies prises de l'École Polytechnique, s'est accordée avec la hauteur ($47^m$) mesurée sur le plan même de la cathédrale (3). »

---

(1) *Rapport sur un Mémoire de* M. LAUSSEDAT, etc., dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. L, janvier-juin 1860, p. 1127 et suivantes.

(2) Ce plan avait été apporté par l'autre commissaire, M. DAUSSY, qui désigna les monuments dont il désirait voir retrouver la position au moyen des vues photographiées, au nombre de dix ou douze.

(3) Cette comparaison faite, en présence de Viollet-le-Duc, par les

Nous joindrons à cette citation du Rapport, qui concluait nettement à l'approbation de la méthode, un second passage qui nous dispensera de décrire nous-même la manière expéditive dont nous appréciions l'une des qualités essentielles des objectifs que nous expérimentions, à savoir l'étendue du champ de l'image exempte de déformations :

« Pour que les plans construits d'après les photographies, » est-il dit dans le Rapport, présentent toute l'exactitude dont la » méthode est susceptible, il faut s'assurer que les images pho- » tographiées n'ont éprouvé aucune déformation sensible ; voici » le moyen dont M. Laussedat s'est servi dans cet examen :

» Au point même d'où la vue photographiée a été prise, on » établit une planchette sur laquelle on fixe la photographie. » Deux tiges articulées qui supportent le prisme d'une » chambre claire s'adaptent sur les côtés de la planchette ; en » faisant varier la distance du prisme au plan et en réglant sa » position, on arrive facilement à superposer l'image (vir- » tuelle) de la chambre claire et celle de la photographie. La » superposition ainsi établie pour les objets situés près du » point principal de perspective doit avoir lieu également pour » les objets qui en sont éloignés ; et comme l'image fournie » par la chambre claire dépasse de beaucoup celle de l'épreuve » (il en était ainsi, en effet, à cette époque), on a d'excellents » points de repère dans les lignes qui sont sur les bords de » celle-ci et qui doivent se trouver dans le prolongement des » mêmes lignes prises sur l'image de la chambre claire, si » l'objectif de l'appareil ne donne lieu à aucune déforma- » tion (1). Dans cette position du prisme, sa distance au plan

commissaires eux-mêmes, ne me satisfaisait pas entièrement et je n'ai pas craint d'affirmer et de prouver que l'on pouvait obtenir une plus grande approximation en procédant moins hâtivement qu'on ne l'avait fait et en recommençant l'expérience ; cette fois la hauteur trouvée fut de 48m.

(1) Il y aurait de légères modifications à apporter à cette rédaction, mais nous supposons que le lecteur les fera lui-même sans difficulté. L'expérience dont il s'agit, et dont l'un des effets les plus intéressants était de rendre la couleur à l'image photographiée par la superposition de l'image virtuelle qui est naturellement colorée, avait beaucoup frappé les commissaires ; elle est très facile à réaliser à la condition toutefois que la distance focale de l'objectif employé ne s'écarte pas trop de la distance de la vue distincte.

» de la planchette est égale à la distance focale de l'ob-
» jectif. »

*Commission d'officiers du génie.* — En 1861, le Ministre de la guerre ordonnait, de son côté, que la méthode photographique fût expérimentée en présence des officiers de la division du génie de la garde impériale. Le photothéodolite de Brunner était achevé et avait déjà été soumis à des essais préparatoires qui avaient servi à reconnaître l'excellence de sa construction. Le capitaine Laussedat s'étant mis à la disposition du chef de bataillon Blondeau qui commandait la division du génie, il fut convenu que l'expérience à entreprendre consisterait dans la reconnaissance topographique du village de Buc et de ses environs, près de Versailles.

Malgré l'inconvénient d'avoir à installer une tente doublée d'étoffe noire pour les manipulations, on avait décidé d'employer le procédé au collodion humide, à cause de la finesse qu'il donne aux images.

Le 4 mai, à une heure de l'après-midi, le break du génie transportait de Versailles à Buc le personnel qui devait prendre part ou assister aux expériences et le matériel nécessaire : appareil photographique, tente, ustensiles du laboratoire, jalons et chaîne d'arpenteur.

En arrivant sur le terrain on s'occupait immédiatement de mesurer une base de $334^{m},80$ le long d'un chemin rectiligne assez uni et dont les extrémités étaient propres à servir de stations photographiques, puis on déterminait trigonométriquement les positions de deux autres stations choisies de façon à bien découvrir, avec les premières, tout le terrain que l'on voulait reconnaître.

Cette petite triangulation faite et les quatre stations bien repérées, de chacune de celles-ci on n'eut besoin de prendre que deux vues pour réunir les éléments dont on avait besoin, et, grâce à un temps des plus favorables, les huit épreuves négatives, toutes excellentes, purent être obtenues, développées et fixées en moins de trois heures.

Les opérations extérieures ainsi terminées, l'expédition était de retour à Versailles à cinq heures.

Le tirage des épreuves positives portant chacune les quatre repères de la ligne d'horizon et de la ligne principale mit en évidence les excellentes qualités de l'objectif de Bertaud.

Nous donnons deux spécimens réduits (*fig.* 38 et 39) des vues qui ont servi à construire le plan que nous reproduisons également, toujours en réduction, et l'on doit bien supposer que les originaux sont d'un aspect encore plus satisfaisant (1).

Quoi qu'il en soit, on peut juger que cette expérience avait pleinement réussi, et nous ajouterons, à titre d'indication seulement, car la question de rapidité dans l'exécution était alors moins importante que celle de la praticabilité de la méthode, que le tracé du plan avec les courbes de niveau avait duré trois ou quatre jours au plus, au milieu d'autres occupations.

Les officiers de la division du génie de la garde étaient dès lors si bien édifiés que, à l'automne suivant, ils entreprenaient la reconnaissance du Mont-Valérien, à propos du simulacre de siège de cette forteresse, et le lieutenant, depuis lieutenant-colonel Sabouraud, qui était chargé des opérations photographiques, pensa, avec raison, qu'il convenait, en campagne, d'abandonner le collodion humide et même le collodion sec et de leur substituer le papier ciré sec dont Civiale se servait depuis plusieurs années déjà, comme nous l'avons vu, pour ses études de montagnes.

L'épreuve que nous donnons à titre de spécimen (*fig.* 40)

---

(1) L'Académie des Sciences de Madrid ayant mis au concours la question du *lever des plans à l'aide de la Photographie,* nous lui avions adressé en 1863, un Mémoire accompagné du plan de Buc, à l'échelle de $\frac{1}{1000}$, sur lequel se trouvaient disposées les huit vues photographiées rattachées à leurs stations respectives, ce qui permettait de contrôler immédiatement l'exactitude des détails. Ce travail, qui a valu à son auteur une médaille d'or, est conservé dans les archives de l'Académie, dont le secrétaire, que nous en remercions ici, a bien voulu nous faire parvenir le plan et les photographies et nous a mis ainsi en état de pouvoir en prendre une copie, alors que nous ne devions plus espérer nous en procurer une, l'original primitif resté à Versailles ayant disparu. Nous avons cru devoir reproduire (*Pl. XII*) une réduction plus petite encore de ce document lui-même, tout en regrettant de n'avoir pas pu lui conserver sa vraie grandeur.

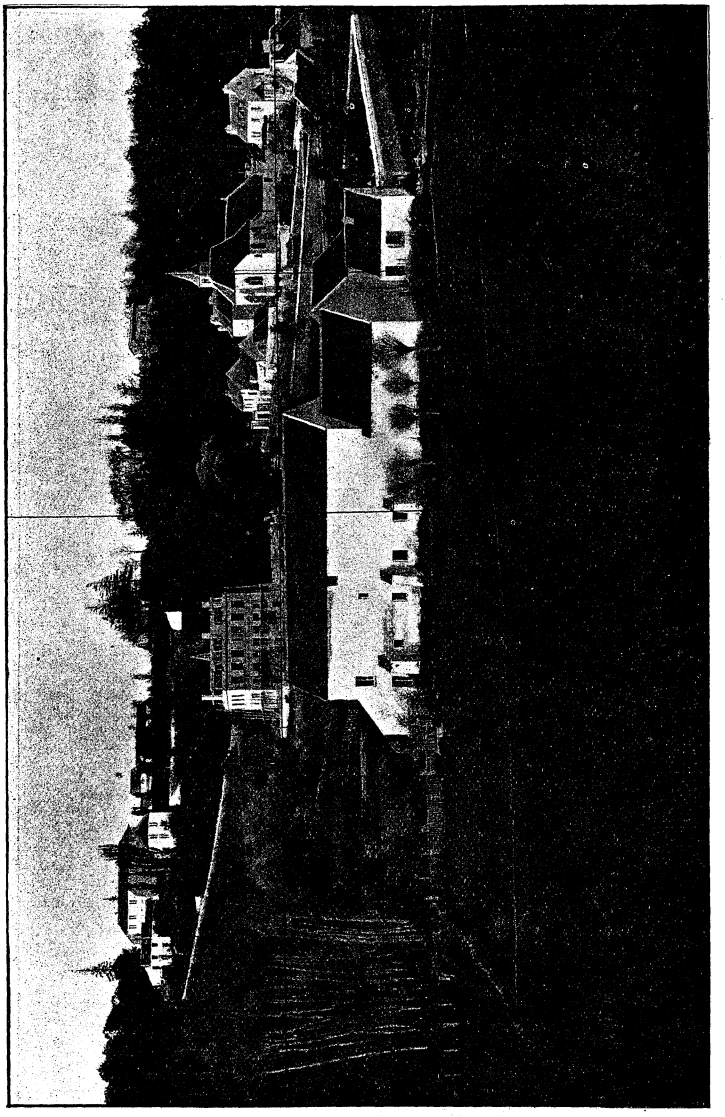


Fig. 38. Vue du village de Buc.

suffit sans doute pour montrer le parti que l'on pouvait tirer de ce procédé et les images qu'il servait à obtenir. Le plan des

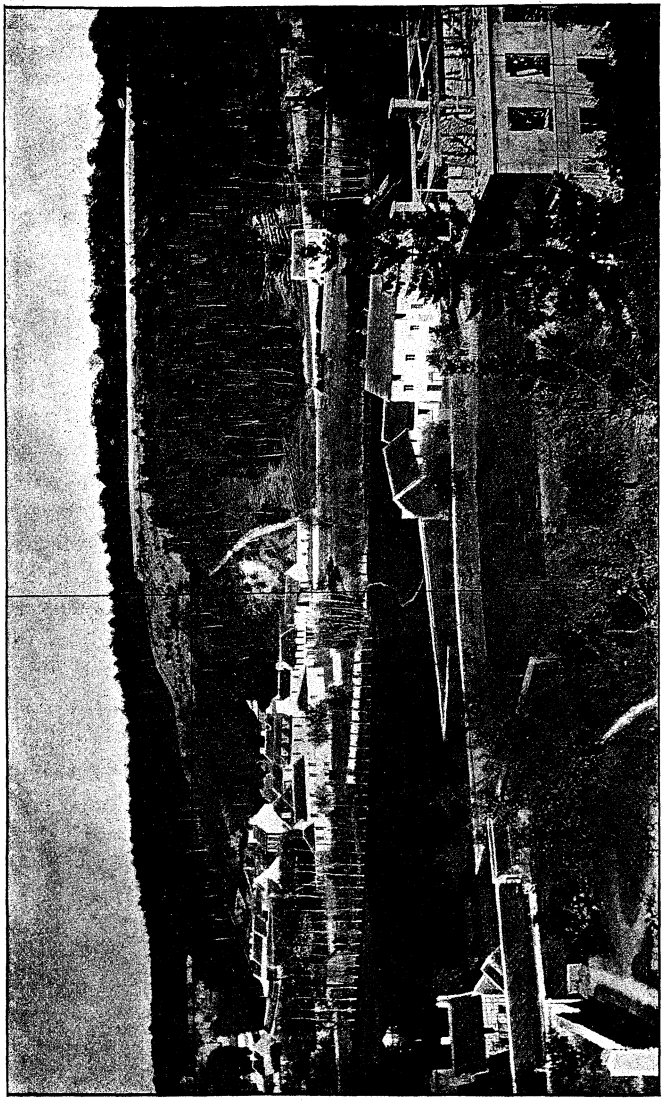


Fig. 39. — Vue du village de Buc.

abords de la forteresse et de la plus grande partie de son enceinte et des bâtiments qu'elle contient fut construit pen-

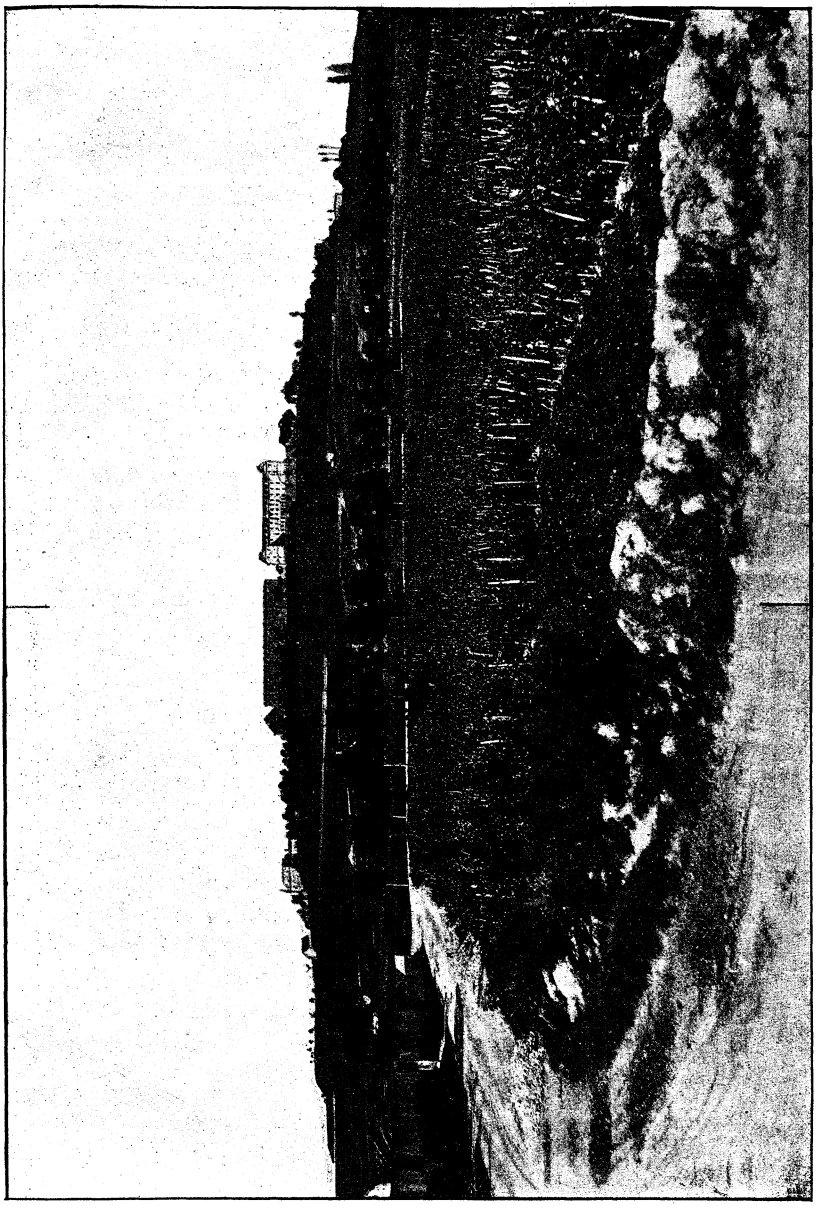


Fig. 40.

Vue du Mont-Valérien.

dant le simulacre de siège à une grande échelle et avec un plein succès.

## XXI. — *Travaux de la brigade phototopographique du Génie de* 1863 *à* 1871.

La période des tâtonnements était donc passée, car tous ceux qui avaient bien voulu prendre part aux expériences dont nous venons de rendre compte, ou simplement y assister, reconnaissaient sans hésiter la simplicité et la fécondité de la méthode. En 1863, sur la proposition du Comité des fortifications, le Ministre de la guerre décidait qu'une petite brigade, composée du capitaine Javary et du garde du génie Galibardy, aidés de porteurs, serait chargée, sous la direction du commandant Laussedat, d'exécuter des levers d'une étendue analogue à celle des plans de la brigade topographique du Génie, aux mêmes échelles de $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{2000}$ ou $\frac{1}{5000}$ et exceptionnellement aux échelles inférieures de $\frac{1}{10000}$ et de $\frac{1}{20000}$. Cette brigade a opéré depuis 1863 jusqu'en 1870-71, et nous donnons dans le Tableau ci-après le relevé de ses travaux pendant les huit années de son existence, en nous abstenant de tout commentaire sur l'étrange mesure prise en 1871 qui décidait sa suppression, en dépit de l'intelligente activité dont avait fait preuve M. Javary, à qui nous tenons à rendre la plus entière justice, en déclarant qu'il avait beaucoup contribué à perfectionner la méthode. Et pour compléter les renseignements officiels qui précisent les phases par lesquelles a passé cette méthode jusqu'à son entier développement, nous reproduisons à la suite de ce Tableau la Note présentée à l'Académie des Sciences en novembre 1864, relative à sa première application à un lever d'une assez grande étendue.

TRAVAUX DE M. LE CAPITAINE JAVARY, ASSISTÉ DU GARDE DU GÉNIE GALIBARDY.

1863-1864. — *Expériences et études préparatoires exécutées autour de Paris.*

| ANNÉES. | LOCALITÉS. | SURFACE du terrain reconnu ou levé. | CHEMINEMENT ou triangulation. | ÉCHELLES. | ÉQUIDISTANCE des courbes. | DURÉE du travail extérieur. | DURÉE de la rédaction. | NOMBRE des stations. | NOMBRE des épreuves. | NOMBRE des points construits et cotés. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1864 | Fortifications et environs de Grenoble..... | 2000 hectares | 9 kilom. | $\frac{1}{5000}$ | 10 mètres | 60 heures | 2 mois | 18 | 29 | 600 |
| 1865 | Forts de l'Est, à Paris (reconnaissance militaire). | 2775 » | 13km,907 | $\frac{1}{5000}$ | 1 mètre | 36 » | » | 24 | 33 | 1450 |
| » | Toulon..... | 3350 » | 35 kilom | $\frac{1}{5000}$ | | 5 jours | 3 » | 14 | 35 | 1850 |
| 1866 | Faverges..... | 12000 » | 6 triangles 118 sommets | $\frac{1}{5000}$ | 5 mètres | 18 » | 5 » | 43 | 125 | 4680 |
| » | Belfort (reconnaissance militaire)..... | » | » | » | » | 6 heures | 8 heures | 6 | 10 | » |
| 1867 | Langres..... | 5600 » | 33 sommets | $\frac{1}{5000}$ | 5 mètres | 12 jours | 3 mois | 33 | 49 | 1900 |
| » | Sainte-Marie-aux-Mines. | 4500 » | 18 » | $\frac{1}{5000}$ | 5 » | 10 » | 2 » $\frac{1}{2}$ | 31 | 52 | 1400 |
| » | Col et vallée du Bonhomme..... | 3500 » | 52 kilom. | $\frac{1}{5000}$ | 5 » | 3 » | 1 » $\frac{1}{2}$ | 15 | 23 | 1450 |
| 1868 et 1869 | Une partie de la plaine d'Alsace, Châtenois, Villé, Steige, Urbeis, plateau de Saales..... | 40000 » | » | $\frac{1}{5000}$ | 5 » | 30 » | » | 79 | 160 | 7500 |

En 1870-71, pendant le siège de Paris, M. Javary avait relevé un grand nombre de vues des positions de l'ennemi, dont il sera question plus loin.

## EXPOSÉ SOMMAIRE DES RÉSULTATS OBTENUS EN APPLIQUANT LA PHOTOGRAPHIE A L'ÉTUDE DU TERRAIN, A GRENOBLE ET DANS LES ENVIRONS, EN AOUT 1864.

[*Note de* **M. Laussedat**, *présentée par M. le général Morin* (1)].

« Dans sa séance du 25 juin 1860, l'Académie a bien voulu, sur le rapport de M. Laugier, accorder son approbation à la méthode que j'ai proposée pour appliquer la Photographie à l'étude du terrain.

» Quelque temps après, M. le Ministre de la guerre, à la demande du Comité des fortifications, ordonna que des expériences régulières fussent entreprises à l'effet de constater l'utilité de cette méthode.

» Ces expériences ont été exécutées en 1861 et 1862 par les officiers du Génie de la garde impériale et elles ont donné les résultats les plus satisfaisants. Toutefois les nécessités du service militaire ne permettaient pas aux officiers de la garde de poursuivre des travaux topographiques d'une grande étendue, et, depuis l'année dernière, M. le capitaine Javary, qui s'était beaucoup occupé antérieurement de Photographie, a été mis à ma disposition pour m'aider à tirer du procédé en question tout le parti possible.

» Les vues et les dessins que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de l'Académie sont le résultat de la dernière et de la plus complète des expériences du capitaine Javary. Ils représentent la ville et les environs de Grenoble. Les vues ont été prises au moyen de deux objectifs de distances focales différentes, $0^{m},50$ et $0^{m},27$.

» Le premier objectif était employé pour obtenir des images assez grandes d'objets éloignés ou dont les détails devaient être étudiés avec soin. Le second, qui avait l'avantage d'offrir un champ net de 60°, était réservé pour les vues rapprochées.

» L'étendue totale du terrain représenté sur la carte dépasse $20^{kmq}$. Cette carte est dessinée à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ et les détails nombreux qu'elle renferme ont été *entièrement*

(1) Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LIX, juillet-décembre 1864, p. 998 et suivantes.

*déduits* de *vingt-neuf vues* prises de *dix-huit stations différentes*, réparties entre deux cheminements dirigés l'un sur la rive droite et l'autre sur la rive gauche de l'Isère. Les sections horizontales sont tracées à l'équidistance de $10^m$ et expriment très nettement le relief si accusé des contreforts de la rive droite, dont le point culminant sur la carte n'est pas à moins de $1000^m$ au-dessus du niveau de l'Isère. Les sinuosités de ces courbes ont été déterminées au moyen de plus de six cents cotes calculées en combinant les distances horizontales résultant de la construction du plan avec les hauteurs apparentes évaluées sur les vues photographiées.

» Il est à remarquer, et le registre de nivellement en fait foi, que le point le plus rapproché de la station qui a servi à le construire en est distant de $940^m$. Il n'y a guère qu'une dizaine de points dont la distance à la station soit inférieure à $1000^m$. Le plus grand nombre est à une distance supérieure à $1500^m$ et il y en a qui vont jusqu'à $4500^m$. Cependant la manière dont les courbes se comportent témoigne de l'exactitude de l'ensemble du nivellement, et il nous semble hors de doute qu'il serait difficile d'arriver à un semblable résultat par les autres moyens expéditifs en usage dans les reconnaissances topographiques. Les opérations sur le terrain ont duré soixante heures. Le travail de cabinet a été entièrement exécuté à Paris en moins de deux mois. »

## XXII. — *Modifications suggérées par la pratique.*

*Séparation des opérations. Simplification des appareils.* — On vient de voir que, dès 1864, la pratique avait fait reconnaître qu'il serait préférable de n'employer qu'exceptionnellement le grand photothéodolite et de le remplacer habituellement par un appareil plus portatif, ce qui offrait à la fois l'avantage de réduire la distance focale à $0^m,27$, c'est-à-dire à celle de la vue distincte et, grâce aux récents perfectionnements apportés à la construction des objectifs, celui d'accroître le champ de l'instrument qui pouvait atteindre déjà $60^o$, sans

déformations sensibles pour les images. M. le capitaine Javary voulut aller plus loin dans la voie de la simplification, en s'affranchissant de munir la chambre noire de tous les organes géodésiques.

« Les vues peuvent être prises avec un appareil quelconque, disait-il (1), mais il faut certaines précautions. L'opération géométrique peut se faire avec tous les moyens dont on dispose. Nous avons pensé que la méthode pourrait ainsi se généraliser et nous avons trouvé dans la séparation des deux parties de l'opération divers avantages.

.....

« Les deux opérations devant être effectuées séparément, ajoutait-il (2), le mieux est de faire chacune d'elles avec un instrument particulier. Du reste, si un cheminement suffit pour relier les stations dans un lever peu important, il faut employer d'autres moyens lorsque le lever embrasse une superficie un peu considérable; l'exactitude de la détermination des stations est alors d'une haute importance. »

Cette dernière observation est tout à fait naturelle et nous ne l'avions jamais perdue de vue en construisant notre première *chambre noire topographique*, autant dire le premier photothéodolite qui avait, à nos yeux, l'avantage d'éviter l'embarras de deux instruments, au lieu d'un seul, mais qui permettait parfaitement la séparation des opérations. Aussi cet instrument a-t-il conservé de nombreux partisans qui ont seulement fait varier les dispositions de sa construction. Nous ne conviendrons pas moins qu'il peut être avantageux, dans bien des cas, de se servir de l'instrument altazimutal que l'on peut avoir sous la main, pour effectuer la triangulation et le nivellement préalables, et de se contenter, pour lever les détails, d'une chambre noire ordinaire ou très simplement organisée.

---

(1) *Mémoire sur les applications de la Photographie aux arts militaires*, par M. JAVARY, capitaine du génie; dans le n° 22 du *Mémorial de l'Officier du Génie*, p. 369; 1870 (Paris, Gauthier-Villars).

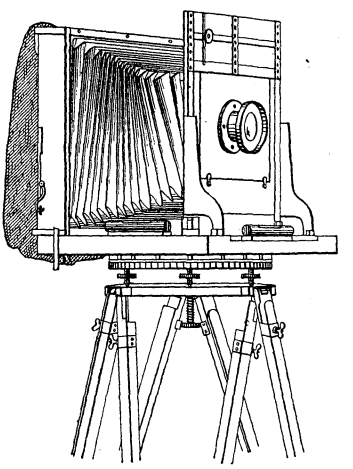
(2) *Ibid.*, p. 370.

Cette manière de voir a aussi ses partisans sur le continent et surtout de l'autre côté de l'Atlantique, notamment au Canada où l'on s'est astreint d'ailleurs à mettre la chambre noire en station avec toute la précision possible (1).

Nous allons mentionner succinctement le procédé indiqué par le capitaine Javary pour ceux qui, en l'absence d'appareils spéciaux, se contenteraient d'utiliser d'une part les théodolites, les tachéomètres, les boussoles nivellatrices que l'on trouve partout et les chambres noires ordinaires encore plus communes aujourd'hui.

*Utilisation de la chambre noire ordinaire.* — Nous donnons ici (*fig.* 41) la figure de la chambre noire à soufflet employée

Fig. 41.



par le capitaine Javary qui avait cependant jugé nécessaire, comme on le voit, de disposer le plateau de cette chambre sur une planchette de forme circulaire portée par trois vis calantes

(1) Nous verrons plus loin que les appareils phototopographiques simplifiés sont généralement connus sur le continent sous le nom de *photogrammètres* pour les distinguer des *photothéodolites* qui sont les instruments complets se suffisant à eux-mêmes.

et dont la tranche était divisée grossièrement en degrés, pour orienter rapidement l'appareil, enfin de se servir de deux niveaux croisés posés sur le plateau pour opérer un calage approximatif (1). Mais, à la rigueur, on pourrait se contenter de la chambre noire telle qu'on la trouve dans le commerce et c'est ce que nous supposerons.

Il doit être bien entendu que, dans tous les cas, on s'arrangera de façon à rendre le plan de la glace dépolie et, par conséquent, celui de la plaque sensible aussi vertical que possible; les épreuves positives étant ainsi obtenues, voici les moyens à employer pour déterminer :

1° La distance *effective* du point de vue au tableau, la distance focale de l'objectif pouvant être altérée par le retrait ou l'allongement du papier (2);

2° La ligne d'horizon qui doit être tracée sur chacune des épreuves.

Il sera toujours facile de faire disposer dans une chambre noire quelconque les quatre aiguilles que nous avons employées dans notre photothéodolite et qui ont été universellement adoptées pour déterminer la ligne d'horizon et le point principal de la perspective sur chaque épreuve. Seulement, la mise en station de cette chambre noire n'étant pas rigoureuse, les indications des quatre aiguilles ne seront elles-mêmes qu'approximatives; il y a donc lieu de les rectifier en même temps que l'on vérifie la distance focale ou plutôt que l'on détermine la distance du point de vue au tableau. Pour cela, il suffit, à chaque station, de mesurer, à l'aide du théodolite ou de l'éclimètre de la boussole, deux ou trois angles de pente de points bien reconnaissables, répartis dans le champ de l'appareil convenablement disposé, et de lire en même temps les angles horizontaux correspondant aux directions des mêmes points.

---

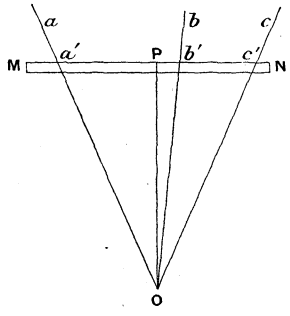
(1) On remarquera aussi sur cette figure le dispositif de la planchette verticale porte-objectif à coulisse qui permet le déplacement dont il a été question page 27.

(2) Nous ne conseillons pas moins de déterminer la distance focale de l'objectif, qui devrait être inscrite sur tous les appareils. Il ne faut pas s'exagérer d'ailleurs l'importance des altérations produites par l'emploi du papier et l'on a les moyens de s'en rendre compte et de corriger la distance focale.

En comparant les données de l'épreuve sur laquelle la ligne d'horizon est tracée fautivement, mais avec une approximation suffisante pour que l'on y puisse projeter les images des points visés, et les angles horizontaux correspondants rapportés graphiquement sur une feuille de dessin, on arrive très rapidement à la rectification cherchée en même temps que la grandeur de la distance du point de vue au tableau se trouve obtenue spontanément.

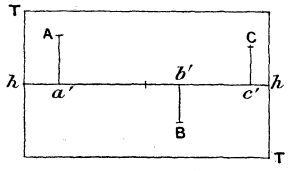
Soient O$a$, O$b$, O$c$ (*fig.* 42), les lignes partant du point de vue O et formant les angles $aOb$ et $aOc$ ou $bOc$ mesurés sur

Fig. 42.




le cercle azimutal du photothéodolite (ou sur le limbe de la boussole); sur l'épreuve TT (*fig.* 43) où les points visés sont

Fig. 43.




représentés en A, B, C, abaissons de ces points les perpendiculaires A$a'$, B$b'$, C$c'$ sur la ligne d'horizon provisoire $hh$, puis relevons sur le bord d'une bande de papier pliée qui forme une excellente règle en ligne droite les points $a'$, $b'$, $c'$ et présentons ce bord transversalement au faisceau O$a$, O$b$, O$c$ de la *fig.* 42; nous arriverons très rapidement à trouver la position

MN de cette bande de papier dans laquelle les intervalles $a'b'$ et $b'c'$ seront interceptés par les lignes $Oa$, $Ob$, $Oc$.

Avec les distances $Oa'$ $Ob'$ et $Oc'$ mesurées en millimètres et fractions de millimètre et les angles lus sur le cercle vertical $\alpha$, $\beta$ et $\gamma$, on calculera les véritables distances

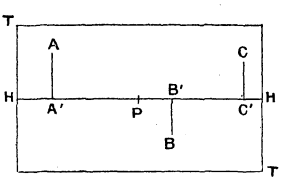
$$AA' = Oa' \tang\alpha, \qquad BB' = Ob' \tang\beta$$

et

$$CC' = Oc' \tang\gamma$$

que l'on portera sur l'épreuve TT (*fig.* 44) et l'on tracera,

Fig. 44.




d'après elles, la ligne d'horizon corrigée HH qui devra passer par les trois points A', B' et C'.

Quant à la distance du point de vue au tableau, elle est évidemment égale à la longueur OP de la perpendiculaire abaissée du point de vue O sur MN.

## XXIII. — *Détails d'exécution pour la construction des plans.*

Le principe de la construction d'un plan à l'aide de plusieurs perspectives combinées deux à deux est si simple (§§ I et II) qu'il semble à peine nécessaire d'insister sur les détails d'exécution. Nous allons cependant donner quelques indications complémentaires destinées à faciliter et à accélérer le travail dans le cabinet.

Il est bien entendu que tout ce qui se rapporte à la triangulation (y compris la mesure d'une ou de plusieurs bases) ou au canevas général comprenant les cheminements qui relient les

stations photographiques et les rattachements des *stations isolées* (1) à l'un au moins des sommets de ce canevas, doit avoir été exécuté préalablement avec le plus grand soin sur la feuille de dessin. Nous n'avons sans doute pas besoin de revenir, à ce sujet, sur des notions familières à tous les topographes, nous réservant d'examiner dans un autre paragraphe les considérations d'après lesquelles on doit se guider pour choisir les sommets de la triangulation ou des cheminements et les stations isolées.

Nous supposons également, d'un autre côté, que l'opérateur ayant relevé sur son carnet les angles nécessaires pour l'orientation de l'*axe* de chacune des épreuves prises aux différentes stations, les traces des plans de ces épreuves, c'est-à-dire des tableaux verticaux des différentes perspectives, sont rapportées sur la feuille de dessin. On n'emploie, en effet, que les traces des perspectives, et si, pour la démonstration, nous avons eu recours au rabattement des perspectives elles-mêmes dessinées ou photographiées, en les déplaçant d'ailleurs pour éviter les superpositions (2), on devine aisément qu'il deviendrait impossible de disposer sans confusion des épreuves nombreuses sur la même feuille de dessin.

Admettons donc que toutes les opérations précédentes ont été effectuées et considérons deux épreuves prises de stations voisines dans des conditions telles qu'elles renferment évidemment des parties communes du terrain à étudier; le premier soin de l'opérateur, et c'est la partie la plus délicate de sa tâche, sera de reconnaître, d'identifier les mêmes objets considérés comme autant de signaux naturels, les mêmes points tels que les angles d'un champ, d'un bois, d'une route, d'un sentier, des bords d'une pièce d'eau ou d'un ruisseau, la même arête d'une maison, d'un rocher, dans les hautes montagnes, les angles rentrants ou saillants des glaciers, des bords des champs de neige, et partout des changements de

(1) On verra plus loin l'importance de ces stations que nous qualifions d'isolées.

(2) C'était ce que nous avions fait tout d'abord pour la reconnaissance du fort de Vincennes (§ II) et pour celle du village de Buc, cette dernière comportant en tout huit photographies.

teintes du sol dus à la nature de la végétation, du terrain lui-même ou de ce qui le recouvre.

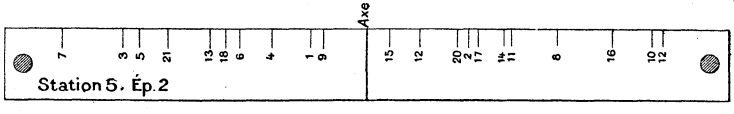
Ici nous laissons la parole à M. le commandant Javary qui, après une pratique continue de huit années, avait résumé ses observations dans le Mémoire déjà cité :

« On doit prendre, dit-il, les points par séries, suivant les cours d'eau, les chemins, les groupes de maisons, les limites des bois; on en répartit ensuite un certain nombre sur le terrain, autant que possible sur les crêtes, les thalwegs, les changements de pente. Les premiers servent à la planimétrie et pour le nivellement; les seconds servent seulement pour le nivellement. Les points qu'on marque ainsi sont des arbres, des arbustes, des limites de culture, des pierres, mille objets que l'on serait quelquefois embarrassé de nommer, mais qu'on voit clairement sur les deux épreuves (1). »

Cette confrontation achevée sur les deux épreuves considérées — et rien n'empêche de l'étendre plus tard à d'autres points que l'on aurait négligés dans une première ébauche, — on projette tous ceux qui sont numérotés sur les lignes d'horizon, puis en se servant de bandes de papier pliées de la longueur de ces lignes d'horizon, on relève avec soin les pieds des perpendiculaires sur le bord de chaque bande, en inscrivant à côté le numéro correspondant.

La *fig.* 45 représente une de ces bandes sur laquelle se

Fig. 45.




trouvent indiqués en outre l'axe de l'épreuve, c'est-à-dire le point principal de la perspective, le numéro de la station et celui de l'épreuve. Chacune de ces bandes est alors portée

(1) Nous n'avons pas besoin de rappeler que le commandant Javary a partout opéré dans des pays très civilisés et à des altitudes moyennes, mais il est aisé d'étendre les indications qu'il donne à toutes les autres contrées.

sur la feuille de dessin le long de la trace du tableau de l'épreuve indiquée, et, après avoir établi la coïncidence des points principaux, on la fixe au moyen de pointes à tête plate appliquées à ses deux extrémités (*punaises* des dessinateurs).

Cela fait, il ne reste évidemment plus qu'à chercher, sur les deux bandes, le même numéro et à tracer deux lignes allant aux stations correspondantes dont l'intersection donne le point du plan qui portera le même numéro. Au lieu de tracer les lignes de construction qui fatigueraient et encombreraient le dessin, on se sert avantageusement de fils attachés à une aiguille piquée à chaque point de station, que l'on tend en les faisant passer successivement par les points portant, deux à deux, le même numéro d'ordre, et l'on n'a qu'à marquer leurs points d'intersection sur le dessin.

*Planimétrie.* — Il n'y a pas lieu d'entrer dans beaucoup de détails relativement au tracé de la planimétrie. Il va de soi que l'on doit s'attacher à obtenir en premier lieu les lignes principales qui en forment pour ainsi dire le canevas, c'est-à-dire les routes, chemins, cours d'eau, groupes d'habitations, murs de parcs ou de grandes enceintes, limites des bois et des cultures bien accentuées, etc. Quant à la marche à suivre pour se reconnaître au milieu des points rapportés, qu'il vaut mieux ne pas trop multiplier en commençant et dont le numérotage systématique auquel il a été fait allusion antérieurement sert de fil conducteur, il faut convenir qu'elle exige un certain apprentissage; mais nous nous hâtons d'ajouter que ceux qui prennent la peine de s'y livrer ne tardent pas à sentir qu'ils n'ont, pour ainsi dire, qu'à se laisser guider par la confrontation incessante des photographies.

Nous pouvons affirmer personnellement que, dès nos premiers essais faits avec les vues dessinées à la chambre claire et, à plus forte raison, avec des vues photographiées, nous avons prévu la satisfaction, nous allions dire le plaisir qu'éprouveraient par la suite ceux qui se livreraient résolûment à ce genre d'opérations.

*Nivellement et tracé des courbes.* — Le nivellement com-

porte deux phases ou même deux opérations distinctes; la première, de beaucoup la plus simple, consiste dans le calcul des côtés des différents points rapportés sur le plan et peut être confiée à un aide (1); la seconde, ayant pour objet la représentation conventionnelle du relief du sol par des courbes de niveau équidistantes, exige, au contraire, la participation attentive de l'ingénieur topographe qui ne se contente pas de consulter les deux épreuves combinées que nous avons supposées, mais toutes celles sur lesquelles se trouvent représentées les mêmes parties du terrain et dont il a dû s'aider, dans bien des cas, pour le tracé de la planimétrie.

La *Pl. XIII,* qui est une réduction, à l'échelle de $\frac{1}{10000}$, du plan de Sainte-Marie-aux-Mines levé photographiquement et dessiné à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ en 1867 par M. le capitaine Javary aidé de M. Galibardy, garde du génie, est un spécimen destiné à donner une idée de l'importance des résultats auxquels on était parvenu en France dès cette époque.

---

(1) On a cherché et proposé différents procédés pour simplifier autant que possible ces calculs; nous les ferons connaître dans le Chapitre suivant et nous nous bornerons ici à rappeler que les différences de niveau de l'axe optique de l'appareil et des différents points considérés s'obtiennent par une quatrième proportionnelle $x$ après avoir mesuré pour chaque point :

1° Sa distance à la station sur le dessin et à l'échelle de ce dessin, D;

2° La distance en millimètres de la station à la projection de la perspective du point sur la ligne d'horizon, toujours sur le dessin, $d$;

3° Enfin la hauteur apparente positive ou négative, c'est-à-dire au-dessus ou au-dessous de la ligne d'horizon, en millimètres, sur l'épreuve photographique, $h$.

Ainsi

$$x = \frac{h\,D}{d}.$$

Ces différents éléments sont inscrits dans les colonnes d'un registre dont voici la forme :

| NUMÉROS des points. | STATION. | ÉPREUVE. | $h$. | $d$. | D. | DIFFÉRENCE de niveau. | ALTITUDE de la station augmentée de la hauteur de l'axe de l'appareil. | ALTITUDE du point. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |

Nous rappelons que la surface du terrain ainsi exploré comprenait 4500 hectares, que le travail extérieur avait duré dix jours seulement, triangulation et mesure d'une base comprises, et la rédaction faite à Paris deux mois et demi, enfin que le nombre des sommets de la triangulation (*voy.* le plan) était de dix-huit et celui des stations supplémentaires de onze. Celui des épreuves était en tout de cinquante-deux, ce qui montre bien que les tours d'horizon sont rarement utiles, puisque cela ne fait pas même en moyenne deux épreuves par station.

Les six vues conjuguées deux à deux (*Pl. XIV*), prises parmi les cinquante-deux épreuves, témoignent, de leur côté, à la fois de la qualité des objectifs dont on pouvait déjà disposer et de l'habileté de l'opérateur. Cela répond à certaines insinuations d'un auteur étranger faites, il y a quelques années, mais qui ne se sont plus reproduites depuis que nous avons averti qu'il nous serait facile de rendre le public juge en rapprochant nos épreuves de celles de l'auteur qui ont été publiées et surtout des restitutions de plans de ce même auteur.

## XXIV. — *Circonstances diverses dans lesquelles on peut avoir à opérer. Instruments proposés selon ces circonstances.*

La Photographie, nous en sommes persuadé aujourd'hui, peut être utilisée à peu près dans toutes les circonstances où l'on a besoin de reconnaître ou d'étudier le terrain, aussi bien pour des levers réguliers et détaillés que pour de simples reconnaissances. Il n'y a lieu de faire de réserve que pour les grandes plaines et les terrains couverts (1); mais partout où les ondulations du sol permettent de trouver des stations d'où l'on découvre bien le pays, la méthode peut s'appliquer avantageusement et il y a des cas où elle devient en quelque

(1) A moins de recourir aux stations aériennes, c'est-à-dire d'employer les ballons ou les cerfs-volants, ce qui n'est pas, nous le savons, sans présenter d'assez sérieuses difficultés.

sorte la seule qui soit praticable. Nous en citerons des exemples nombreux.

Les premières échelles que nous avons employées étaient celles de $\frac{1}{1000}$, de $\frac{1}{2000}$ et de $\frac{1}{5000}$, mais nous sommes descendus à celles de $\frac{1}{10000}$ et de $\frac{1}{20000}$ et d'autres ont opéré depuis nous, avec succès, à des échelles encore moindres.

Sans essayer d'énumérer toutes les circonstances possibles, nous les classerons dans les cinq catégories suivantes :

1° Lever régulier, à une assez grande échelle, de $\frac{1}{2000}$ à $\frac{1}{10000}$, d'un territoire d'une étendue de quelques kilomètres carrés;

2° Lever régulier, à une petite échelle, de $\frac{1}{20000}$ à $\frac{1}{50000}$, d'un territoire d'une assez grande étendue;

3° Étude topographique plus au moins détaillée, aux échelles de $\frac{1}{10000}$, de $\frac{1}{20000}$ et au-dessous, pour l'établissement d'un projet ou d'un avant-projet de route, de canal, de chemin de fer, de drainage, d'irrigations, etc.;

4° Reconnaissances militaires en campagne (levers d'itinéraires, exploration des abords d'une place pour l'attaque ou pour la défense), aux échelles de $\frac{1}{10000}$ ou de $\frac{1}{20000}$;

5° Reconnaissances en pays inconnus ou peu connus (par des explorateurs), aux échelles supposées de $\frac{1}{20000}$ à $\frac{1}{50000}$ (1) et souvent au-dessous.

*Levers réguliers.* — Dans les deux premiers cas, indépendamment de la mesure d'une base dont la longueur peut varier de $500^m$ à $1000^m$ pour le premier, mais qui doit être de plusieurs kilomètres pour le second, il faut procéder à une triangulation dont la longueur des côtés dépend à la fois de la grandeur de l'échelle et de la facilité plus ou moins grande que l'on rencontre à découvrir le terrain dans toute son étendue. Le choix des stations successives est évidemment

(1) Nous n'avons eu l'intention de nous occuper ici que des études et des reconnaissances faites à terre, mais il sera facile de prévoir d'après cela le parti que l'on peut tirer de la Photographie pour la reconnaissance des côtes. La méthode des perspectives due au plus célèbre des ingénieurs hydrographes français ne saurait rester encore bien longtemps indifférente à ses successeurs.

l'une des tâches les plus délicates à accomplir, si bien que, dans certains pays, mais seulement pour le second cas, on a jugé avantageux de séparer le rôle du triangulateur de celui du photographe, qui ne doit pas moins avoir lui-même l'œil très exercé et être un excellent topographe, car il a non seulement à choisir, de son côté, des stations *isolées*, disons plutôt *supplémentaires*, mais à se rendre compte incessamment de la valeur des documents de toute nature qu'il recueille, chemin faisant, avec la préoccupation de ne rien omettre d'essentiel pour n'avoir pas à revenir sur les lieux, ce qui bien souvent occasionnerait de grands frais et de grandes pertes de temps.

Les stations supplémentaires, on le devine, ont pour objet de permettre de fouiller les parties plus ou moins masquées du terrain qui ne sont pas aperçues des sommets de la triangulation. Dans les pays de collines et à plus forte raison dans les montagnes, ces sommets sont habituellement situés sur des points élevés, dômes, plateaux, crêtes ou arêtes, d'où l'on découvre mieux les surfaces un peu éloignées que les fonds des vallées, vallons ou ravins les plus rapprochés.

On ne peut donc pas généralement se contenter des vues prises de ces seules stations triangulées, et l'opérateur, après avoir reconnu, estimé les lacunes qu'elles pourraient laisser subsister [appréciation délicate entre toutes, car, en allant d'une station à une autre, il n'emporte que des souvenirs et des épreuves non révélées (1)], change de place et, tout en faisant souvent plusieurs stations supplémentaires qu'il doit rattacher à la station triangulée la plus voisine, ne parvient pas toujours à combler toutes ces lacunes.

Il peut donc devenir nécessaire, dans certains cas, d'exécuter quelques levers partiels par les méthodes ordinaires pour ne laisser échapper aucun détail important.

Il est clair d'ailleurs que les instruments à employer dans les deux cas dont il s'agit ne doivent différer, tout au plus, que par le degré de précision de leurs organes, mais selon la con-

(1) On ne désespère pas aujourd'hui de pouvoir révéler les épreuves en quelque sorte au fur et à mesure qu'on les obtiendra sur le terrain.

venance des opérateurs, les triangulations pourront être effectuées et les épreuves obtenues successivement avec un photothéodolite complet et unique, ou bien les premières le seront avec un instrument altazimutal indépendant et les autres avec un photogrammètre.

*Étude topographique détaillée pour l'établissement du projet d'une voie de communication.* — Les études à entreprendre pour établir le projet ou l'avant-projet d'une voie de communication comportent également une triangulation avec d'assez grands côtés, qui s'étend surtout dans un sens, c'est-à-dire sous la forme d'une chaîne plus ou moins large suivant la direction générale de la voie projetée. Nous estimons que, dans ce cas, le photothéodolite muni, comme nous l'expliquerons ci-après, d'un déclinatoire et d'une lunette micrométrique, est tout à fait indiqué.

L'opérateur, indépendamment des sommets des triangles, aura, en effet, un assez grand nombre de stations supplémentaires à déterminer et à rectifier; il pourra ou plutôt il devra souvent exécuter, dans ce but, des cheminements composés de plusieurs côtés, s'étendant à droite et à gauche de la chaîne, mais partant toujours d'un sommet triangulé pour se fermer sur un autre; d'où l'utilité indispensable du déclinatoire et de la lunette stadimétrique avec sa stadia.

Il est sans doute inutile d'ajouter qu'en exécutant ces cheminements et toutes les fois que l'une des stations s'y prête, on doit prendre des photographies, ce qui justifie le conseil que nous donnons de faire usage d'un photothéodolite.

## XXV. — *Circonstances diverses dans lesquelles on peut avoir à opérer* (*suite*).

*Reconnaissances militaires.* — M. le commandant Javary, qui a exécuté lui-même plusieurs levers d'itinéraires par la méthode photographique et qui a eu à exercer des brigades d'officiers à des opérations analogues, estime que pour bien réussir il est avantageux d'y faire concourir trois opé-

rateurs. Nous citerons textuellement, à ce propos, le passage suivant de son Mémoire (1) :

« Trois opérateurs sont alors nécessaires, un géomètre et deux photographes. Le premier chemine sur une route et ne s'occupe que des opérations géométriques; un photographe marche parallèlement à lui, sur sa droite, muni d'un appareil léger et de petite dimension, et fait les vues nécessaires à la construction du terrain de droite; il porte avec lui une boussole et une stadia. A chaque station, il tourne la stadia vers le géomètre qui vise sa direction et prend la distance. Lui-même observe à la boussole les angles nécessaires à l'orientation de ses épreuves. Le second photographe fait la même opération à gauche. Quelques signaux très simples ont été convenus par avance, afin que toutes les observations nécessaires soient faites. Un lever de ce genre ne comportant pas une grande précision, on doit faire un petit nombre d'épreuves et le travail marche très vite. Le géomètre a soin de viser lui-même sur quelques points bien reconnaissables pour assurer de temps en temps l'orientement des épreuves et rectifier les petites erreurs.

» Nous avons fait deux reconnaissances de ce genre: la première dans la vallée d'Orsay, entre Palaiseau et Orsay; le développement était de $8^{km}$ seulement, mais nous devions aller successivement faire toutes les opérations, puisqu'il n'y avait qu'un opérateur. La seconde fut faite dans la vallée de l'Arly, entre Faverges et Albertville (Savoie); nous avons obtenu une bonne reconnaissance, effectuée en une journée de travail sur $23^{km}$ de développement. Le terrain représenté (l'auteur dit *construit*) s'étendait en quelques points jusqu'à $2^{km}$ à droite et à gauche du développement central. C'est la méthode qu'il convient de suivre dans les reconnaissances des pays pour lesquels on n'a pas de cartes et elle peut donner des résultats considérables si l'on a soin de faire le cheminement central avec quelque précision. »

(1) *Mémoire sur les applications de la Photographie aux arts militaires,* dans le *Mémorial de l'Officier du Génie,* n° 22, 1874; p. 391 et suivantes.

*Reconnaissance d'une place forte en vue d'un siège.* — Nous rapprocherons ce genre de reconnaissance du précédent et nous emprunterons encore au capitaine Javary les détails qu'il donne dans son Mémoire sur des expériences faites par lui en 1866 :

« Voici, dit-il, comment il convient d'opérer : on fait un polygone loin de tout danger; ce polygone peut être l'enveloppe que l'on construit toujours dans un siège pour appuyer les levers; et des divers sommets de ce polygone on vise les points choisis pour servir de stations photographiques. Il suffit que ces stations soient hors de la portée des armes portatives pour qu'on puisse prendre le temps d'y mettre en station une chambre noire qu'on pourra souvent dissimuler, soit derrière des arbres ou arbustes, soit derrière des décombres, soit derrière un bout de tranchée. Il n'y aura jamais qu'une épreuve à faire et l'on fera une courte pose. D'ailleurs, lorsqu'on trouvera, à des distances de 2000$^{m}$, 2500$^{m}$, des points favorables, on prendra un objectif à foyer plus long et l'on opérera tout à son aise.

» Ces épreuves prises dans un temps très court permettront de construire tous les détails de la place.

» Nous avons fait, à Belfort, en 1866, une école de ce genre avec une brigade d'officiers du 2$^{e}$ régiment (du Génie) sous la direction du commandant Servel. Nous nous sommes servi, pour rattacher nos stations, de l'enveloppe tracée par les officiers de la brigade; notre travail extérieur a duré six heures; la rédaction a demandé huit heures, après lesquelles nous avons remis au commandant Servel un lever *exact, complet, nivelé* de toute la partie visible de la fortification intéressant les attaques et le terrain en avant jusqu'à 1200$^{m}$ environ. Le temps était si mauvais que nous avions des poses de trente minutes, sous la pluie, ce qui a retardé notre travail (1).

(1) Nous n'avons rien voulu changer à cette citation qui, en raison de la date de l'expérience dont il s'agit, présente le plus grand intérêt. L'expérience faite en 1861 devant le Mont-Valérien par les officiers de la division du Génie de la garde n'avait pas été moins concluante, mais elle avait duré davantage, quoique le temps eût été des plus favorables. Nous

« Nous avons répété à Paris, ajoute l'auteur, plusieurs années de suite, avec les officiers envoyés des régiments, des levers du même genre, et nous pouvons affirmer que le lever d'une place forte ordinaire, entrepris avec quatre opérateurs, pourrait être terminé et dessiné dans l'espace de vingt-quatre heures. »

M. le capitaine Javary faisait encore observer que, pour la rédaction du plan, on pouvait employer plusieurs sous-officiers auxquels on apprend très vite les petites opérations de la construction et il ajoutait qu'en reportant le dessin sur une pierre lithographique (on dirait aujourd'hui sur une planche de zinc), on aurait le moyen de reproduire autant d'exemplaires qu'il en faudrait pour tous les chefs de service; enfin, il ne manquait pas de faire ressortir la très grande utilité des vues elles-mêmes pour compléter l'intelligence du dessin et faciliter les explications et les instructions que les commandants supérieurs auraient à donner à leurs subordonnés (1).

*Défense des places.* — « La défense d'une place doit aussi réclamer le concours du lever photographique (2).

» On se place aux saillants de la fortification, dans les principales batteries, et l'on fait de ces positions des vues du terrain à battre. Le plan de la place sert à relier ces stations entre elles; on construit tous les points qui peuvent servir de repères pour le tir de l'artillerie; on mesure leurs distances aux saillants des batteries et l'on inscrit ces distances sur les épreuves elles-mêmes, à côté des points; ces épreuves, ainsi

---

reviendrons un peu plus loin sur les conditions nouvelles imposées par la portée des armes à feu et, d'un autre côté, sur les ressources fournies par les progrès de la Photographie.

(1) Il nous est impossible, en mentionnant ainsi les résultats vraiment remarquables auxquels nous étions parvenus en France à une époque où dans aucun autre pays on ne se doutait de la fécondité de la méthode photographique (il serait même plus exact de dire que l'on ne s'y doutait même pas de l'existence de la méthode à peine entrevue en Prusse et seulement depuis 1865), il est impossible, disons-nous, de ne pas regretter et condamner une fois de plus la conduite de ceux qui ont pris la responsabilité de faire supprimer en 1871 la brigade Javary. L'alinéa suivant du texte ne fera que donner plus de poids à cette amère réflexion.

(2) Même Mémoire du capitaine Javary, p. 393.

cotées, seront remises aux chefs de pièce. Or, il faut remarquer que ces vues ne peuvent être prises d'avance parce qu'on doit supposer que l'on fera au dernier moment les démolitions qui changeront l'aspect du terrain (1).

» Nous avons fait ce travail pendant la première période du siège de Paris. Nous avons pris des saillants des forts 130 épreuves, au moyen desquelles nous avons construit 3200 points dont les distances ont été inscrites sur les vues elles-mêmes (2). »

Il est peut-être inutile d'indiquer les instruments que l'on conseille pour les reconnaissances militaires de toute nature, car on sera le plus souvent obligé de se servir de ceux que l'on aura sous la main et d'en tirer le meilleur parti.

On a vu cependant que M. Javary recommandait pour les levers d'itinéraire une boussole nivellatrice avec lunette stadimétrique pour le géomètre et une petite chambre noire (ordinaire mais bien manœuvrée) pour chacun des aides photographes qui porte en outre une stadia.

Pour la reconnaissance d'une place forte en vue d'un siège,

---

(1) Il est bien certain que, toutes les fois qu'on le pourra, il conviendra de faire ou de refaire des vues du terrain à battre au moment où la place est assiégée; mais il ne serait pas moins souvent très utile d'en avoir fait d'avance, par exemple dans les forts isolés et, en particulier, dans les pays de montagnes où les ressources photographiques et les photographes eux-mêmes pourraient manquer au moment où l'on en aurait besoin.

D'ailleurs, nous pensons depuis longtemps que partout il serait précieux d'avoir, à côté de la carte topographique, des vues panoramiques exécutées soit avec le télémétrographe, soit avec des appareils téléphotographiques, sur lesquelles on inscrirait à l'avance toutes les indications de nature à aider les officiers chargés de la défense et les artilleurs en particulier à faire les identifications nécessaires. Nous avons eu déjà l'occasion d'exprimer cette opinion.

(2) Ces vues, qui n'ont d'ailleurs peut-être pas été assez répandues, ont été utilisées par quelques rares officiers d'artillerie, mais on avait de la peine à engager les autres à s'en servir, et le commandement en faisait assez peu de cas, comme de tous les renseignements graphiques analogues, parce que cela ne figurait nulle part dans les instructions réglementaires. Il est probable cependant qu'à l'avenir, la Photographie et ses applications étant devenues familières à tout le monde, on ne rencontrerait plus la même résistance.

Nous avons retrouvé l'une des vues prises par le capitaine Javary de l'observatoire militaire de Montmartre (maison du Dr Gruby) et nous la reproduisons à titre de spécimen (*Pl. XV*)

nous pensons que les instruments de petites dimensions faciles à dissimuler devront être utilisés, mais seulement quand on pourra s'approcher, à moins, si cela devenait impossible, de s'astreindre à faire des agrandissements. Or, en effet, en raison de l'accroissement continu de la portée des armes à feu, on sera dorénavant obligé en général d'opérer de loin et il conviendra alors d'employer non seulement des objectifs à long foyer mais des téléobjectifs qui ont d'ailleurs commencé à pénétrer dans le matériel du service du Génie.

Pour les reconnaissances faites par les défenseurs d'une place assiégée, nous renvoyons à tout ce que nous avons dit et à ce que nous disons plus loin dans un Appendice à propos de la défense de Paris.

## XXVI. — *Circonstances diverses dans lesquelles on peut avoir à opérer* (*suite*).

*Reconnaissances faites pendant les voyages d'exploration.* — Ces reconnaissances ne sont autre chose que des levers d'itinéraire et la méthode indiquée par M. Javary serait, à coup sûr, la meilleure à conseiller si elle pouvait être toujours pratiquée. Mais le plus souvent l'explorateur doit opérer seul ou avec des aides auxquels il ne saurait rien demander de plus que de porter ses instruments et à peine de tenir verticalement une stadia. Il est d'ailleurs impossible de prévoir les moyens dont il dispose pour évaluer les distances parcourues et relever les positions relatives des stations qu'il est obligé de beaucoup espacer, en recourant de temps en temps, comme on sait, aux observations astronomiques pour déterminer les positions géographiques de quelques-unes de ces stations. Dans ces conditions, la Photographie, aussi bien que le dessin du paysage, doit être considérée surtout comme destinée à illustrer les itinéraires, à rectifier, selon l'expression de Beautemps-Beaupré, les erreurs occasionnées par les renseignements que donnent les guides, et c'est déjà un très grand service qu'elle est appelée à rendre.

Il en est autrement et l'utilité de la Photographie reprend son importance quand l'explorateur peut séjourner pendant un certain temps dans une contrée encore peu connue et dont il convient d'étudier la topographie. Tel est le cas, par exemple, de nos résidents civils ou militaires dans les colonies. En procédant par des itinéraires tracés systématiquement, l'opérateur pourra, si le pays est assez découvert et son relief suffisamment accidenté, réunir en peu de temps tous les éléments nécessaires pour construire une carte déjà très détaillée. Il serait inutile de préciser la méthode que devra suivre cet opérateur, car elle dépendra des ressources en personnel et en matériel dont il pourra disposer. Nous avons cru, toutefois, bien faire en cherchant à construire un photothéodolite spécial, destiné aux explorateurs, décomposable en un théodolite à lunette centrale pour déterminer les positions géographiques et une simple chambre noire si l'on veut l'utiliser dans les études ethnographiques. En reconstituant l'instrument par la réunion des deux parties que nous venons d'indiquer, on a tout ce qu'il faut pour effectuer les levers phototopographiques, soit que l'on veuille exécuter des triangulations préalables, ce que l'on peut faire avec le théodolite seul, soit que l'on opère par cheminement, et, dans ce cas, le photothéodolite complet devient indispensable.

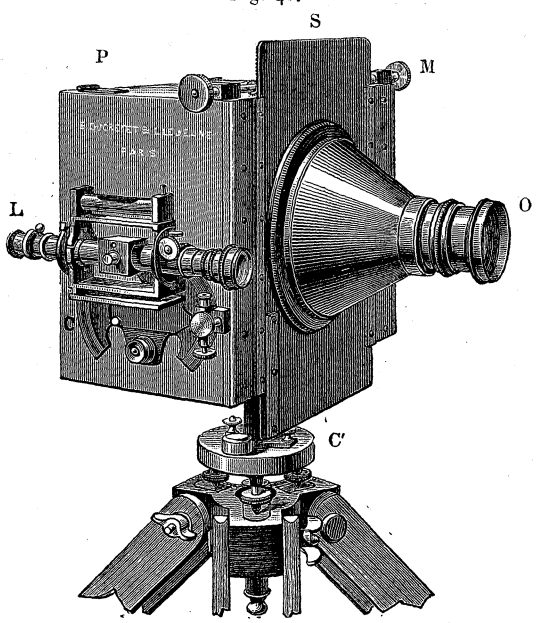
## XXVII. — *Disposition générale et destination des instruments proposés.*

Les instruments, presque tous récemment exécutés, dont nous allons donner une description sommaire, nous ont été demandés par des correspondants qui se trouvaient dans des conditions souvent très différentes et aux besoins desquels nous nous sommes efforcé de répondre : ingénieurs, militaires, explorateurs.

*Grand photothéodolite donnant des épreuves du format* $18 \times 24$ *immédiatement utilisables.* — Cet instrument destiné aux ingénieurs qui ont à opérer dans des pays modé-

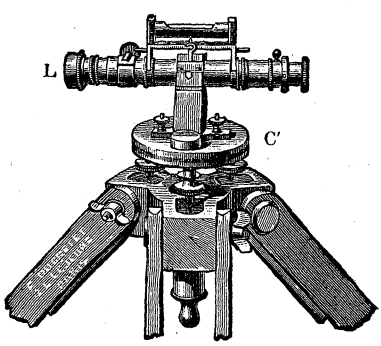
rément accidentés, où le transport du matériel est facile, se

Fig. 46.




compose (*fig.* 46, 47 et 48) d'une chambre noire dont la

Fig. 47.

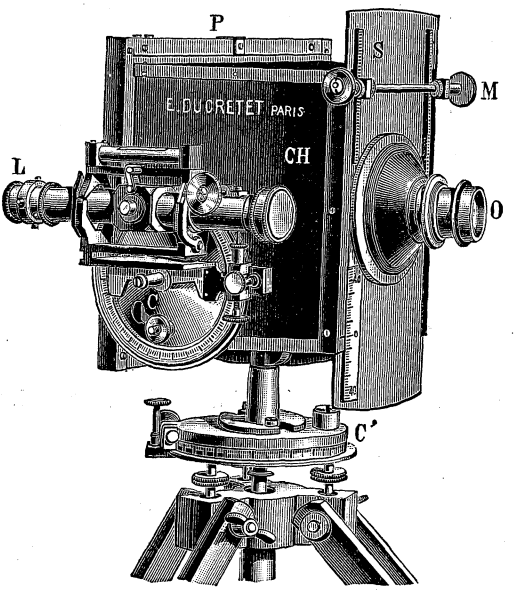



moitié postérieure est formée d'une caisse rigide sur l'une des

faces de laquelle se trouvent la lunette stadimétrique **L** (*fig.* 46 et 47) et l'éclimètre C, la face opposée portant le déclinatoire et un viseur dont l'ensemble fait contrepoids au système de la lunette et de l'éclimètre.

La moitié antérieure de forme tronconique est le porte-objectif O ; elle est en bronze d'aluminium, et se visse dans les deux sens, sur la platine à coulisse S (1) qui permet d'élever ou d'abaisser l'axe optique, la face correspondante de la chambre noire proprement dite étant garnie, à cet effet, de

Fig. 48.




deux coulisseaux. Sur l'un de ceux-ci il y a une division en millimètres en face de laquelle glissent un index et un vernier

(1) Pour ne pas interrompre la description de l'instrument, nous indiquons seulement en note que cette platine à coulisse porte, en effet, deux pas de vis en écrous, l'un extérieur et l'autre intérieur, et que le porte-objectif vissé du côté intérieur se loge ainsi dans l'autre moitié de la chambre noire de forme parallélépipède pour faciliter l'emmagasinage et le transport.

tracés sur la coulisse (ou inversement). Cette coulisse porte en outre en arrière des crémaillères qui engrènent avec un long pignon, terminé à ses deux extrémités par des boutons molletés M sur lesquels on agit quand on veut faire monter ou descendre l'objectif.

Enfin, le cercle azimutal C′ avec ses trois vis à caler, qui reposent elles-mêmes sur un pied à trois branches, porte en son centre un axe vertical plein sur lequel s'engage et s'arrête par un mouvement de baïonnette la douille de la chambre noire avec tous ses accessoires; ou bien, si l'on veut faire une triangulation ou un nivellement par visées horizontales, sans s'embarrasser de la chambre noire, la lunette et son niveau à bulle d'air peuvent être placés seuls sur cet axe du cercle azimutal (*fig.* 47).

Le premier modèle (*fig.* 46) de ce photothéodolite avait été prêté à M. le commandant Delcroix, chef du Service topographique à Madagascar; cet officier s'en est servi et il l'a rapporté intact, mais il n'a pas moins conseillé, pour les climats intertropicaux, de construire la chambre noire entièrement en métal, et c'est ce qui a été fait dans le modèle *fig.* 48.

*Photothéodolite moyen.* — Plusieurs ingénieurs ayant demandé que le volume et le poids de l'appareil fussent réduits, le constructeur a exécuté un instrument, d'ailleurs en tout semblable au premier, correspondant à la plaque sensible $13 \times 18$; la distance focale, qui était de $0^m,27$ à $0^m,28$ dans le premier, n'est plus que de $0^m,15$ dans le second, et pour exécuter la construction des plans dans les conditions que nous avons reconnues les meilleures, il faut agrandir les épreuves. Or, en doublant leurs dimensions, on double aussi la distance du point de vue au tableau qui se trouve ramené à la distance habituelle de la vue distincte. D'un autre côté, le champ qui, dans le premier modèle, était seulement de 45° atteint alors l'amplitude de 60°, ce qui est un avantage sensible dans tous les cas.

*Photogrammètre.* — Cet instrument qui est, comme on le sait, uniquement destiné à obtenir, de stations déjà détermi-

nées, les vues photographiées sur plaques verticales, n'a pas besoin d'une longue description. Les *fig.* 49 et 50 le représentent dans tous ses détails. On y voit (*fig.* 49) que nous avons conservé la partie inférieure du photothéodolite, c'est-

Fig. 49.

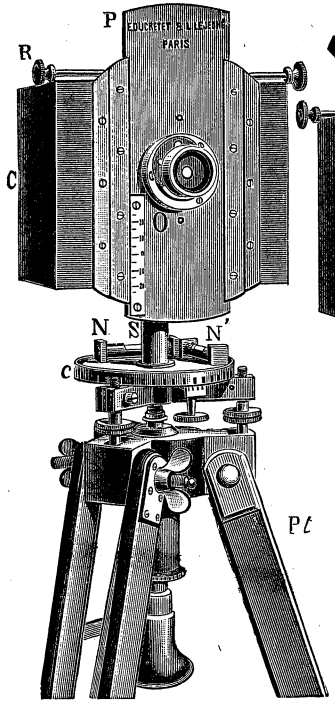
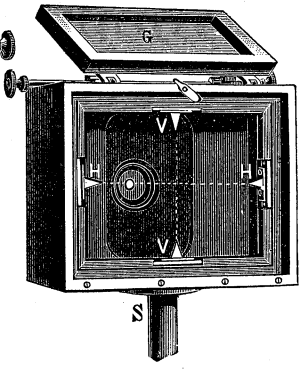



Fig. 50.




à-dire le cercle azimutal pour l'orientement des épreuves et le système des vis calantes avec deux niveaux en croix pour la mise en station rapide de l'appareil. Nous avons également maintenu le mouvement de coulisse du porte-objectif avec les divisions et le repère nécessaires sur l'un des bords de la platine et sur celui de l'un des coulisseaux.

Enfin, la *fig.* 50 montre la disposition des quatre pointes triangulaires servant au tracé de la ligne d'horizon et du point principal de la perspective.

Les modèles du photogrammètre peuvent varier, dans leurs dimensions, comme ceux du photothéodolite; celui que nous considérons comme le plus convenable à sa destination correspond au format de la plaque sensible de $13 \times 18$ avec un objectif de $0^m,15$ de distance focale et, par conséquent, un champ angulaire horizontal de 60°.

L'emploi du photogrammètre suppose toujours que l'opérateur a à sa disposition un autre instrument qui peut être un théodolite, un tachéomètre ou une boussole nivellatrice. La distance focale de $0^m,15$ a été adoptée, comme dans le photothéodolite moyen, pour faciliter le transport de l'instrument même dans les pays les plus accidentés. A la vérité, on est obligé, dans ces deux cas, de doubler les dimensions des images, mais les procédés d'agrandissement sont devenus si simples et les résultats en sont si sûrs qu'il n'y a que des avantages à agir ainsi.

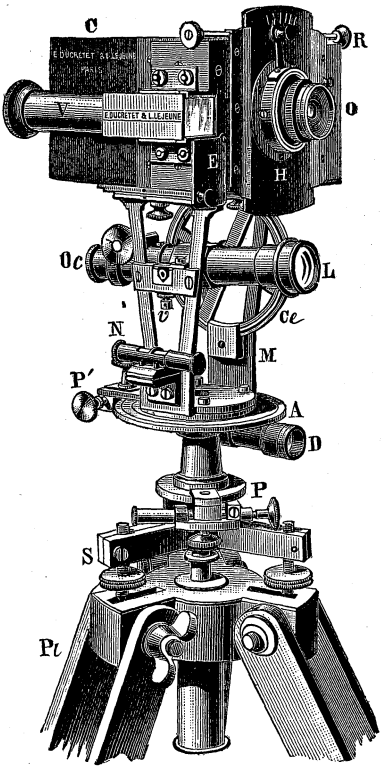
*Photothéodolite à lunette centrale destiné aux explorateurs.* — Nous avons indiqué plus haut le but que nous nous étions proposé d'atteindre en combinant un théodolite à lunette centrale avec une chambre noire de petites dimensions qui peut lui être superposée ou en être séparée immédiatement.

Le théodolite à lunette centrale est assez souvent désigné sous le nom d'*instrument universel,* et si l'on considère que celui dont il s'agit peut servir à faire des observations astronomiques (hauteurs d'astres à l'aide d'un horizon artificiel et, à la rigueur, observations méridiennes), qu'il comprend, avec sa lunette stadimétrique, un déclinatoire, un viseur explorateur, et peut être complété facultativement par une chambre noire, ce nom lui conviendrait à plus forte raison. Nous n'avons pas cru cependant devoir abandonner celui de *photothéodolite,* qui est désormais consacré par l'usage.

La *fig.* 51, qui représente l'instrument dans son ensemble, et la légende qui l'accompagne suffiront, pensons-nous, à sa description.

La chambre noire porte à l'arrière un magasin à escamotage de 15 plaques sensibles de $6\frac{1}{2} \times 9$; l'objectif aplanétique a

Fig. 51.




LÉGENDE.

Oc L, lunette centrale dont les tourillons reposent sur des coussinets rectifiables (*v* vis de réglage) portés par des bras en forme de V fermés à la partie supérieure par des traverses qui présentent une large base à la chambre noire C armée de son viseur explorateur V.

Ce, cercle des hauteurs dont l'alidade est entraînée par la lunette dans son mouvement de rotation autour de l'axe horizontal.

M, pince avec vis de pression et de rappel pour l'alidade.

A, cercle azimutal;

P', pince avec vis de pression et de rappel permettant, lorsqu'elle est desserrée, la rotation de l'appareil et de l'alidade autour de l'axe vertical, tandis que le limbe du cercle azimutal reste immobile.

N, niveau à bulle d'air.

P, pince avec vis de pression et de rappel pour le mouvement général de l'appareil autour de son axe vertical, mouvement dans lequel le limbe du cercle azimutal est entraîné.

S, trépied à vis calantes en bronze.

Pi, pied à trois branches en bois.

une distance focale de $7^{mm}$ et, par conséquent, le champ horizontal des épreuves est de 80° environ.

On peut se contenter d'agrandir les épreuves au format $18 \times 24$, ce qui donne la distance du point de vue au tableau, de $0^{m},19$ à $0^{m},20$ environ, suffisante quand on opère à une petite échelle, comme c'est généralement le cas dans les explorations (1).

(1) On doit avoir d'ailleurs un objectif de rechange avec graduation pour la mise au point rapide, quand on a besoin de prendre des photographies de sujets ou de groupes indigènes.

Il convient d'ajouter que les instruments décrits dans ce paragraphe sont construits par la maison Ducretet, à Paris, et peuvent être disposés de manière à permettre la substitution des pellicules aux plaques impressionnables.

## APPENDICE AU CHAPITRE III.

Avant de clore ce Chapitre pour entreprendre de faire connaître dans le suivant, d'une manière nécessairement sommaire, les travaux très nombreux des autres personnes qui ont fait faire des progrès à la Métrophotographie ou qui l'ont pratiquée avec succès, on nous permettra de compléter les renseignements que nous avons donnés sur l'historique de cet art, en France, dans le corps du Génie, en revenant sur le rôle de la Télémétrographie pendant le siège de Paris par les Allemands.

Si le problème dont nous nous sommes occupé au § XVI et dont la solution sera rendue plus claire encore par les explications de la Note suivante ne doit être considéré que comme un cas particulier assez rare, l'intérêt qu'il présente, sans pouvoir être comparé à celui de la méthode générale, ne doit être ni ignoré ni négligé par les militaires.

On comprendra notre insistance à ce sujet, si l'on veut bien se souvenir que nos recherches ont été entreprises tout d'abord en vue de faciliter la tâche des officiers chargés de faire des reconnaissances, et se représenter les difficultés que nous avons éprouvées, pendant si longtemps, à rendre attentifs à ces recherches ceux qui auraient dû être les premiers à en tirer parti.

On trouvera d'ailleurs, à la fin du récit suivant, la preuve de la maladresse, pour ne pas dire de la mauvaise foi, de quelques-uns d'entre eux.

## *Sur le rôle des observatoires militaires pendant le siège de Paris par les armées allemandes.*

Il ne m'était pas possible, dans la Note lue devant l'Académie des Sciences, de donner des détails sur l'organisation du service des observatoires militaires pendant le siège de Paris, mais j'ai contracté, à cette époque, des obligations envers un trop grand nombre de personnes pour que je ne saisisse pas l'occasion qui se présente de rendre hommage à leur dévouement. Le lecteur qui voudra bien prendre la peine de parcourir cette courte Notice jusqu'au bout lui trouvera, je l'espère, quelque intérêt, aucun des efforts faits pendant l'Année terrible ne pouvant être indifférent à quiconque aime la France. Il y a ainsi bien des faits ignorés, bien des épisodes touchants que les témoins ne devraient pas laisser tomber dans l'oubli. Peut-être trouverai-je, plus tard, le temps de réunir d'autres souvenirs; en attendant, je vais essayer de m'acquitter envers un groupe de savants et d'artistes dont les historiens de la défense de Paris ne se sont pas occupés, sans doute parce qu'ils faisaient trop peu de bruit.

Le 20 septembre 1870, le gouverneur de Paris m'ayant confié la mission d'éclairer le commandement sur les mouvements de l'ennemi et sur les travaux qu'il ne manquerait pas d'entreprendre contre les forts et contre la place, je me rendis à l'Observatoire, dont le directeur, M. Delaunay, mit avec empressement à ma disposition son personnel et, parmi les instruments, ceux qui pouvaient s'adapter à nos besoins.

Immédiatement même, nous fîmes une première installation qui devait servir de modèle ailleurs, et nos lunettes commencèrent à explorer la région Sud. A l'autre extrémité de Paris, à Montmartre, un étranger, M. le Dr Gruby, nous offrait un observatoire tout monté d'où nous découvrions la région du Nord et de l'Est (1).

(1) Le Dr Gruby était ce célèbre médecin d'origine hongroise, mort récemment (en 1899), dans un âge très avancé et dont la plupart des jour-

Pour compléter notre matériel, je m'adressai à l'École Polytechnique et au Conservatoire des Arts et Métiers, ainsi qu'à la maison Bardou qui, à elle seule, me prêta vingt lunettes terrestres de $54^{mm}$ à $108^{mm}$ d'ouverture.

Enfin, je fis appel aux physiciens, aux ingénieurs et j'obtins de M. le général de Chabaud-Latour, mon chef immédiat, qu'un certain nombre d'officiers du Génie fussent attachés, les uns à poste fixe, les autres à titre temporaire, en qualité de commissaires militaires, aux principaux observatoires.

On trouvera à la fin de cette Notice les noms de ces collaborateurs, ainsi que ceux de plusieurs artistes éminents qui ont bien voulu s'associer à nous et qui ont donné à l'œuvre douloureuse que nous poursuivions le charme de leur talent.

J'ajoute que les ingénieurs hydrographes de la Marine, avec qui nous n'avons cessé d'entretenir les meilleures relations et d'échanger des renseignements utiles, avaient choisi, de leur côté, trois monuments élevés, Saint-Sulpice, l'Arc de Triomphe de l'Étoile et la Tour de Solférino, à Montmartre, d'où ils embrassaient un très vaste horizon.

Nos observatoires permanents, au nombre de douze, étaient répartis, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, de manière à ne négliger aucun des points accessibles à la vue. A l'intérieur, nous occupions le Panthéon, l'Observatoire national, la tour des Phares de Chaillot, l'étage le plus élevé d'une maison de Passy, une haute maison à la porte Maillot, près de l'enceinte, et l'observatoire du Dr Gruby; à l'extérieur, nous avions installé des postes qui fonctionnaient régulièrement au Mont-Valérien, aux forts de Romainville et de Nogent, au donjon de Vincennes, dans le clocher de Villejuif, aux forts de Montrouge et d'Issy.

Mais ce n'était pas tout, et plusieurs observateurs étaient détachés sur un grand nombre d'autres points avancés et souvent dans le voisinage immédiat de l'ennemi : à Saint-Ouen, en avant des forts de Saint-Denis, au fort d'Aubervilliers, au

---

naux ont publié la curieuse biographie. Nous avons eu avec lui les relations les plus courtoises, mais il ne s'est jamais occupé de ce que nous faisions dans son observatoire qu'il nous avait livré sans réserve.

plateau d'Avron, aux redoutes de Gravelle et de la Faisanderie, à Créteil, à Vitry (usine Groult), aux forts de Bicêtre et des Hautes-Bruyères.

Les observatoires permanents étaient reliés télégraphiquement entre eux et avec le bureau central. Une instruction détaillée, accompagnée de fragments de cartes portant des indications précises, cartes que l'on orientait à demeure sur une tablette, recommandait aux observateurs de se familiariser avec le paysage et de retrouver sur la carte (1) les objets qui les frappaient le plus et que l'on pouvait prendre pour repères.

Ces objets étaient rattachés à la station par des lignes de direction tracées sur la carte, à l'aide d'une alidade à lunette, et les observatoires voisins échangeaient des calques de ces rayonnements sur lesquels on avait désigné les repères avec le plus grand soin.

Les avis télégraphiques, donnés d'un observatoire à l'autre, sur les mouvements de troupes ou sur les points où l'ennemi travaillait et que l'on reconnaissait souvent à la teinte jaune ou rougeâtre de la terre remuée, permettaient de déterminer sûrement le lieu de la scène, fût-il à une grande distance. Mais il arrivait aussi qu'un observatoire découvrait ce qu'aucun autre ne pouvait apercevoir, et c'est alors que la méthode télémétrographique devenait précieuse.

Il y avait, dans chaque station principale, indépendamment du commissaire militaire dont le rôle est facile à pressentir, un observateur chef du service, astronome, physicien ou ingénieur, un, souvent deux et jusqu'à trois aides, deux télégraphistes et des plantons pour porter les dépêches écrites.

Le service des observations était fait sans interruption, de jour et de nuit, autant que l'état de l'atmosphère le permettait. Toutes les fois qu'un fait important était signalé, une dépêche télégraphique était expédiée au bureau central, d'où elle était transmise au gouverneur, aux généraux commandants supé-

(1) Il faudrait dire les cartes, car il y en avait une à l'échelle de $\frac{1}{40\,000}$, celle du Dépôt de la Guerre, que tout le monde connaît, et une autre à l'échelle de $\frac{1}{25\,000}$ avec courbes de niveau que j'ai fait rééditer, pendant le siège, en l'étendant, dans la région du Nord, au delà du département de la Seine.

rieurs de l'Artillerie et du Génie et au directeur des observatoires. Tous les matins et tous les soirs, les plantons apportaient un rapport du chef de service, contresigné par le commissaire militaire, résumant ce qui s'était passé pendant les douze dernières heures.

Ces rapports, accompagnés de croquis de plans et de dessins exécutés à la lunette, étaient dépouillés par le directeur qui en faisait une analyse pour le commandement, et les croquis et dessins servaient à la rédaction du plan des attaques qui était ainsi tenu à jour, au fur et à mesure qu'arrivaient les renseignements (1).

Bien que la plupart des savants et des ingénieurs qui faisaient les croquis y missent beaucoup de soin, et quelques-uns une véritable adresse de main, je pensai qu'il serait encore préférable de demander à des artistes exercés de nous faire des vues d'ensemble, des panoramas plus ou moins étendus qui fixeraient d'une manière saisissante, pour les observateurs eux-mêmes, les images qu'ils voyaient partiellement et fugitivement dans leurs lunettes et qui permettraient aux chefs de la défense, qui ne pouvaient pas se transporter dans tous les observatoires, d'acquérir des idées exactes sur ceux des points de l'horizon qui les intéressaient le plus.

Je m'adressai donc à quelques peintres que j'avais l'honneur de connaître, ou avec lesquels je fus mis en relation : MM. Français, Eugène Lambert, Philippoteaux, Chazal, Hirsch et Mouchot.

Je devrais peut-être me contenter de les nommer, si je n'avais à ajouter que ces grands artistes voulurent bien se plier à mes exigences et dessiner, ce qu'ils n'avaient sûrement jamais fait, l'œil à la lunette, *par champs successifs*, c'est-à-dire dans des cercles étroits tracés à l'avance, selon la vue de chacun d'eux, sur une longue bande de papier. Quand leur travail était terminé, ces cercles venant à la file les uns des autres

(1) Cette rédaction était faite indépendamment, d'un côté, par M. le capitaine du Génie (depuis général) Petit, sous la direction du chef d'État-major du Génie, le colonel (depuis général) Segretain, et, de l'autre, dans mes bureaux.

formaient autant de précieux médaillons que l'on soudait ensuite les uns aux autres par des remplissages faciles à exécuter, toujours à la lunette.

Il était de mon devoir de rendre hommage au double mérite de ces hommes de talent qui ont bien voulu, par patriotisme, s'astreindre à exécuter un travail de patience et de minutieuse précision, tout à fait en dehors de leurs habitudes.

A côté de ces artistes, je dois citer encore M. Henry, architecte de l'École Polytechnique, qui, de la lanterne du Panthéon, exécutait, avec une puissante lunette, des aquarelles merveilleusement exactes (*voy.* le spécimen *fig.* 35), enfin M. Maxime Collignon, alors élève à l'École Normale (1), qui a accompli, avec une rare habileté et une persévérance au-dessus de tout éloge, le travail de ce genre le plus considérable qui ait été entrepris : le panorama qui se déroulait au sud du clocher de Villejuif, sur le plateau entre Seine et Bièvre (voir *Pl. X*). C'était ce côté de la ceinture qui nous étreignait que j'avais supposé devoir être rompu pour donner la main à l'armée de la Loire. Aussi avais-je tout fait pour hâter ce remarquable travail que je portai, dans le courant de novembre, au gouverneur de Paris, avec le tracé des lignes allemandes, figuré sur un fragment du plan des environs de Paris, à l'échelle de $\frac{1}{5000}$, dont plusieurs feuilles avaient été exécutées par des élèves de l'École Normale, sous la direction de M. Levasseur, membre de l'Institut, qui m'accompagnait dans cette visite. Malheureusement, les projets du commandement étaient différents, et j'ignore même si les renseignements précis que nous avions fournis ont été communiqués à ceux qui dirigèrent la fausse attaque sur l'Hay, le jour de la bataille de Champigny.

J'aurais bien d'autres réflexions à présenter, à propos du rôle des observatoires militaires, mais ce ne serait peut-être pas le lieu, et je veux en ce moment ne songer qu'à mes collaborateurs, dont voici la liste :

*Commissaires militaires :* MM. le lieutenant-colonel Lebeurriée, le lieutenant-colonel Hamel, le lieutenant-colonel

(1) Aujourd'hui membre de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres.

Lévy, le lieutenant-colonel Bovet, le commandant Oudot, le commandant Ratheau, le commandant Revin, le commandant Faure, le commandant Castel, le capitaine Javary (en même temps chef du service des observations à Montmartre), et le garde du Génie Galibardy.

*Astronomes et physiciens :* MM. Lœwy, Gaillot, Folain, Périgaud, Paul et Prosper Henry, Lévy, Sonrel, Moureaux, Capitaneano (de l'Observatoire de Paris), Maurat, Brion, Fernet, professeurs de Physique, Maxime Collignon, Maxime Cornu et Branly, élèves à l'École Normale.

*Ingénieurs, artistes de précision et volontaires de professions diverses :* MM. Vuignier, Henry, architecte, Guéroult, Delaunay fils, Lemoine, Chevallier, Chauvet, Janssen (Eugène), Bardou fils, Richepance, Cauche (Victor), Briou.

J'ai le regret de ne pouvoir pas donner les noms des marins qui nous ont aidé, partout où ils se trouvaient, et notamment à Villejuif, où la lunette a été brisée par un projectile, à côté du maître d'équipage qui était de quart, et à Romainville, d'où les renseignements étaient donnés avec une régularité et une précision tout à fait remarquables.

Des nombreux télégraphistes qui nous ont également rendu les meilleurs services, je n'ai retrouvé que les noms de MM. Pâris et de Beauchamp, attachés à l'observatoire des Phares.

Enfin mes auxiliaires immédiats, aussi bien dans le bureau qu'à l'extérieur, je pourrais dire mes aides de camp, étaient MM. Alfred Tresca, Alvès [1] et l'adjudant du Génie (depuis capitaine) Luthard.

Après cet exposé des services rendus par le télémétrographe, il semblerait que le téléiconographe de M. Revoil fût

---

[1] M. Alvès, mon préparateur au Conservatoire des Arts et Métiers, était un dessinateur très habile et très instruit. C'était lui qui relevait sur les croquis et les panoramas les renseignements journaliers pour les rapporter sur les plans aux échelles de $\frac{1}{25000}$, de $\frac{1}{10000}$ et même de $\frac{1}{5000}$, dont il a été question plus haut. Nous n'avons retrouvé, après la Commune, que la minute de la Carte à $\frac{1}{25000}$.

bien définitivement distancé et dût être même oublié, car il est à remarquer que Viollet-le-Duc, nommé colonel du Génie auxiliaire pendant le siège de Paris, ne s'avisa jamais de se servir de l'instrument de son confrère.

Et cependant, quelques années plus tard, le célèbre architecte, devenu géologue, dans ses *Études sur le mont Blanc*, publiait une série de dessins agrandis exécutés, disait-il, dans sa Préface, avec le téléiconographe imaginé par son ami Revoil, sans faire la moindre allusion aux communications que nous lui avions faites en 1868, à l'École Polytechnique, et sans paraître se douter d'ailleurs de l'usage qui venait d'être fait du télémétrographe sur une si grande échelle.

Cet oubli ou cette ignorance du grand artiste, qui se laissait évidemment influencer par l'esprit de corps, pouvait s'expliquer à la rigueur, et nous avouons qu'en les constatant dans une séance de la Société de Géographie où Viollet-le-Duc était venu exposer ses dessins du mont Blanc, nous n'avions pas cru devoir lui faire le chagrin d'apporter les vues lavées à l'encre de Chine de Philippoteaux et les aquarelles de Lambert, de Mouchot, de Chazal, etc., qui, en dépit de son grand talent, eussent fait pâlir ses croquis au simple trait (1); ni donner les renseignements assez fâcheux pour lui qui figurent ici avec toutes les preuves à l'appui.

A la vérité, nous étions alors bien loin de nous douter de ce qui allait se passer dans le corps même du Génie, auquel nous appartenions, et notre patience allait être mise à une plus rude épreuve encore.

Dans le n° 24 du *Mémorial de l'Officier du Génie*, année 1875, dans ce recueil où nous avions publié, plus de vingt ans auparavant, nos premières études et le principe même du télémétrographe (en omettant seulement de baptiser l'instrument), paraissait une Note accompagnée de dessins, très bien exécutés d'ailleurs, par un tout jeune officier que l'on avait

(1) Nous allons offrir au Musée Carnavalet neuf des vues panoramiques exécutées pendant le siège de Paris et retrouvées après la Commune. La comparaison de ces véritables tableaux avec les croquis de Viollet-le-Duc dans ses *Études sur le mont Blanc* sera donc facile à faire pour tout le monde (Juillet 1900).

chargé d'expérimenter, au camp de Châlons, un téléiconographe acquis par l'École régimentaire du Génie de Versailles, et d'un commentaire demandé au colonel Goulier. L'auteur des dessins était tout à fait pardonnable d'ignorer l'histoire de cet instrument, mais il n'en était pas de même de l'éditeur responsable du Recueil, ni surtout du commentateur de la Note.

Sans nous arrêter à l'oubli volontaire ou involontaire d'un camarade avec lequel nous n'avions jamais cessé d'entretenir les relations les plus cordiales, passons tout de suite aux conclusions auxquelles était arrivé le savant officier dont les opinions avaient tant d'autorité :

« Le téléiconographe, disait-il, ne semble pas se prêter aisément à l'exécution de levers au moyen des perspectives qu'il fournirait. Les constructions graphiques à faire pour la rédaction du plan seraient difficiles, *eu égard aux grandes dimensions du rayon de la sphère ou du cylindre* auquel devrait être rapportée la perspective; de plus, pour obtenir des intersections convenables sur le plan, il faudrait opérer sur le terrain, de stations très éloignées les unes des autres, qu'il ne serait possible de rattacher entre elles que par des opérations topographiques compliquées. »

Il est à peine croyable que l'opérateur si exercé qui a prononcé cette condamnation du téléiconographe ou plutôt du télémétrographe (car il s'agissait bien décidement de Topographie géométrique à laquelle M. Revoil n'avait jamais songé, de son propre aveu), même s'il avait ignoré, il faudrait plutôt dire oublié, l'expérience faite pendant le siège de Paris, ne se soit avisé d'aucune de ces deux idées si simples, savoir : premièrement, qu'en faisant varier le grossissement, on n'avait pas toujours affaire à des panoramas d'un si grand rayon, et, en second lieu, qu'il pouvait se présenter des circonstances où les stations très éloignées les unes des autres se trouvaient déterminées à l'avance, ce qui était précisément le cas des observatoires militaires de la défense de Paris.

Mais le colonel Goulier, dont le mérite était universellement reconnu, avait une faiblesse trop commune, malheureusement: celle de critiquer tout d'abord les idées qui n'étaient pas les

siennes, sauf à y revenir, à les accommoder et finalement dans bien des cas à se les approprier.

C'est ce qui lui est arrivé précisément au sujet de la chambre claire et du télémétrographe dont il était si peu partisan en 1875 et dont il s'occupait avec le plus grand intérêt quelques années plus tard, en 1878, comme on va le voir.

A l'occasion de l'Exposition universelle de cette même année 1878, le Dépôt des fortifications l'avait chargé de présenter dans les deux classes XV et XVI tout ce qui pourrait faire honneur au corps du Génie. Or, en parcourant le Catalogue de cette exposition spéciale composée d'instruments et de dessins topographiques (*voy.* la Brochure intitulée: *Notices sur les objets exposés par le Dépôt des fortifications dans la classe XV, Instruments de précision; et dans la classe XVI, Géographie.* Paris, imprimerie de A. Quantin, 1878), on ne trouve ni les chambres noires topographiques qui avaient figuré au Champ-de-Mars en 1867, avec plusieurs des résultats obtenus par le commandant Laussedat et le capitaine Javary (entre autres, le beau plan de la position de Faverges concédé au Conservatoire des Arts et Métiers où il est exposé aujourd'hui), ni la chambre claire hémi-périscopique qui a été le point de départ de toutes les recherches et de tous les travaux dont nous nous sommes occupé dans ce Chapitre III et dont nous nous occuperons dans le Chapitre suivant, ni enfin aucune des vues panoramiques dessinées au télémétrographe pendant le siège de Paris, dont il eût été si naturel de nous demander quelques spécimens.

Mais on y trouve en revanche : la *chambre claire à planchette inclinée,* la *chambre claire mégaloptique* toujours à *planchette inclinée,* la *chambre claire pour longue-vue,* du colonel Goulier, et le *périgraphe instantané,* du colonel Mangin.

Selon Goulier, il serait beaucoup plus facile de dessiner sur une planchette inclinée de 18° que sur une planchette horizontale. Cela est déjà un peu enfantin (1) et ne justifierait, en

(1) Et même inadmissible, par exemple si l'on se place en face d'un monument pour en dessiner une vue sur laquelle les verticales deviendraient des lignes convergentes.

aucune façon, le procédé que nous signalons. Nous pouvons affirmer, au surplus, que nous n'avons jamais éprouvé la moindre fatigue en nous servant pendant de longues années d'une planchette horizontale qui doit à cette position bien déterminée les propriétés essentielles que l'on connaît.

Mais là où l'auteur dépasse peut-être les limites du sérieux, c'est quand il prétend avoir rendu l'*emploi de la chambre claire plus facile dans les intérieurs sombres?* (*Voy.* la Notice citée, p. 44.)

La seule concession que nous ait faite Goulier, la seule fois qu'il ait cité notre nom, cela a été pour reconnaître qu'il nous avait emprunté la *creusure en forme de demi-calotte sphérique* de la face supérieure du prisme de la chambre claire, *creusure* que, pour une fois et dans le but de rendre hommage à l'illustre Wollaston, nous avions qualifiée d'*hémi-périscopique*. Pourquoi cette épithète, dont l'étymologie est très claire et très significative, n'a-t-elle pas trouvé grâce devant un inventeur, à qui, on l'a vu, l'usage, on peut dire l'abus, du grec était au moins aussi familier qu'à Porro lui-même? Nous l'ignorons, mais ce que nous savons bien, c'est qu'il n'y avait absolument rien de nouveau dans sa chambre claire à planchette inclinée... que l'inclinaison de la planchette.

Pour les deux autres instruments, c'est le même procédé d'élimination par substitution.

Dans le premier, une légère modification a été apportée à la disposition de la chambre claire appelée *mégaloptique* et même brevetée (S. G. D. G.), toujours d'après la Notice citée, mais l'usage auquel il est destiné ne diffère en rien de celui qui est nettement indiqué dans le n° 16 du *Mémorial de l'Officier du Génie* et dans le *Magasin pittoresque* de 1861, où l'on peut voir qu'il n'est nullement question de l'emploi d'une lunette de Galilée, comme l'insinue Goulier sans nous nommer. « C'est, dit-il, la solution d'un problème qui avait été résolu d'une manière bien imparfaite par l'association du prisme de Wollaston avec une lunette de Galilée (1). »

(1) Dans le premier instrument construit par Froment en 1850 nous avions adapté une petite lunette astronomique et nous dessinions les images

Quant à l'autre instrument, c'est-à-dire la *chambre claire pour longue-vue*, qu'il compare au téléiconographe, sans paraître se douter de ce qui a été fait pendant le siège de Paris, il cherche plus loin et arrive à découvrir que l'Anglais R.-P. Bate avait présenté, dès 1809, une chambre claire au-devant de l'oculaire d'une lunette, et il ne voit pas dès lors pourquoi il n'aurait pas le droit d'en faire autant. Si nous avions eu plus tôt connaissance de la Notice de Goulier qui ne nous est tombée sous les yeux que tout récemment (1), nous aurions pu rappeler à son auteur qu'aussitôt imaginée en 1804, la chambre claire avait été adaptée au télescope et au microscope. Mais personne, que nous sachions, ne s'était avisé de s'en servir pour effectuer des mesures topographiques et personne n'avait publié avant nous des *champs de lunette* ayant cette destination prévue et précise qui exigeait des soins particuliers dont ni R.-P. Bate ni MM. Revoil et Viollet-le-Duc ne s'étaient inquiétés.

Nous sommes en droit, dans tous les cas, de trouver étrange que les trois instruments du colonel Goulier eussent été exposés à l'exclusion des nôtres qui avaient peut-être le droit de figurer parmi ceux qui faisaient honneur au corps du Génie. Mais ce n'est pas tout, et il nous reste un dernier trait à ajouter à ce tableau peu édifiant.

On avait donc aussi exposé le périgraphe instantané du colonel Mangin; rien de plus juste et de plus naturel, et nous avions été le premier à faire ressortir l'ingéniosité de l'invention que son auteur nous avait demandé de présenter, cette même année 1878, au Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences.

Seulement on avait négligé, comme nous l'avons vu, la *chambre noire topographique* (c'est-à-dire le *photothéodolite* construit par Brunner et dont il existait cinq exemplaires dans

renversées; plus tard, nous avons employé exclusivement des lunettes terrestres, et jamais nous ne nous sommes servi de la lunette de Galilée.

(1) Nous connaissions déjà plusieurs autres emprunts plus ou moins habilement déguisés de Goulier, faits à différents inventeurs qu'il s'abstenait le plus souvent de nommer, mais nous avouons que la lecture de cette Notice nous a surpris et affligé tout à la fois; elle dépassait décidément la mesure.

les écoles régimentaires, à l'École d'application et au Dépôt des fortifications), ainsi que les résultats remarquables dont plusieurs avaient figuré à l'Exposition universelle de 1867. Était-ce à cause de cela? On ne pouvait le soutenir, car le Catalogue de 1878 renfermait bien d'autres objets qui avaient été déjà exposés.

Comment expliquer d'ailleurs que l'on eût exclu également ceux qui avaient été obtenus postérieurement par la brigade Javary-Galibardy, lesquels ne pouvaient être ignorés de Goulier, puisqu'ils venaient d'être publiés, en 1873, dans le n° 22 du *Mémorial de l'Officier du Génie* et qu'ils mettaient hors de doute l'efficacité et les avantages de la méthode.

Nous touchons ici précisément au point le plus délicat de la question, celui qui se rattache à l'anéantissement prémédité de cette méthode devenue insupportable à ceux dont elle menaçait de troubler les habitudes en même temps que de compromettre l'infaillibilité, car ils avaient toujours prédit que la Photographie ne donnerait aucun résultat sérieux. Aussi avait-on commencé par supprimer la brigade et l'on espérait bien passer l'éponge sur tout ce qu'elle avait fait. Le périgraphe instantané dont on savait qu'il ne serait jamais fait un usage courant et qui, par conséquent, n'était pas à craindre, venait d'ailleurs à propos pour faire oublier, écarter la méthode apparemment trop naïve de Beautemps-Beaupré devenue la nôtre.

Ce n'est pas là, comme on pourrait être tenté de le croire, une simple supposition qu'il serait permis d'attribuer à notre mauvaise humeur, fort excusable, après tout. Non, et l'on peut voir, dans le *Livre d'or du Centenaire de l'École Polytechnique,* une Notice, écrite par l'un des personnages les plus en vue parmi les élèves et les successeurs de Goulier, sur les *progrès de la Topographie dus aux officiers du Génie sortis de cette École,* dans laquelle, à propos des applications de la Photographie à cet art, le périgraphe instantané est seul cité comme ayant atteint le but.

S'il existait à Paris un tribunal des réformateurs des études comme celui de Padoue au XVII^e^ siècle (1), nous lui demande-

(1) *Voir* tome I de ces *Recherches,* note de la page 95.

rions simplement de condamner l'auteur de cette Notice : 1° à contempler sans distraction, pendant un certain temps, les anamorphoses produites par le périgraphe instantané, et ce serait déjà un assez joli supplice pour des yeux délicats (voir *Pl. XV*); et 2° à en déduire les formes du terrain ou à donner sa langue aux chats. C'est infailliblement à ce dernier parti qu'il s'arrêterait, et l'on aurait ce spectacle d'un topographe de carrière, compromis par sa littérature, obligé d'avouer qu'il a parlé des applications de la Photographie au lever des plans comme Balthazar Capra parlait des polyèdres réguliers (1)!

Eh bien, en dépit de cette hostilité sourde, persistante, inexplicable, à moins qu'elle ne soit trop facile à expliquer, la MÉTROPHOTOGRAPHIE, fondée sur les principes les plus simples de la *perspective naturelle*, n'en a pas moins fait son chemin, car, ainsi qu'on le verra au Chapitre IV, on peut en suivre aujourd'hui la trace du Spitzberg et de l'Alaska à la Nouvelle-Galles du Sud, du Brésil, du Chili et du Mexique à la Mandchourie, à la Chine et sans doute au Japon, en traversant tous les pays civilisés et nombre de leurs colonies.

En cherchant bien, on la rencontre même sous le patronage plus ou moins officiel du Service géographique de l'Armée (dans lequel des éléments jeunes et dégagés des préjugés d'un autre âge se sont apparemment introduits), à Madagascar et ailleurs.

C'est indirectement et assez récemment que ce dernier détail est parvenu à notre connaissance, et si nous regrettons de n'avoir pas été consultés, M. le Commandant Javary et nous-même, comme cela eût été si naturel, ne fût-ce que par déférence pour les vétérans qui ont ouvert la voie, l'essentiel pour nous étant que le charme soit rompu, nous nous tenons pour satisfaits.

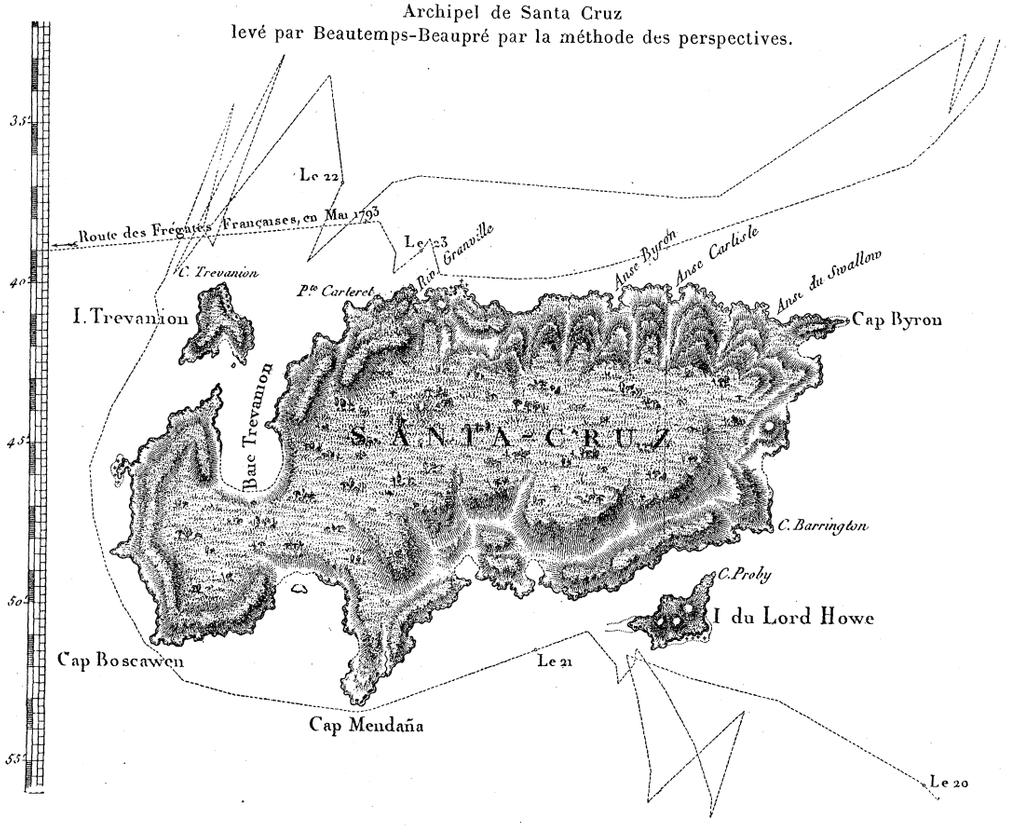
Nous espérons que le lecteur nous excusera de lui avoir fait perdre son temps à prendre connaissance de quelques-

(1) *Voir*, dans les Œuvres complètes de Galilée, la *Difesa di Galileo Galilei contra alle calunnie ed imposture di Baldessar Capra*, etc.

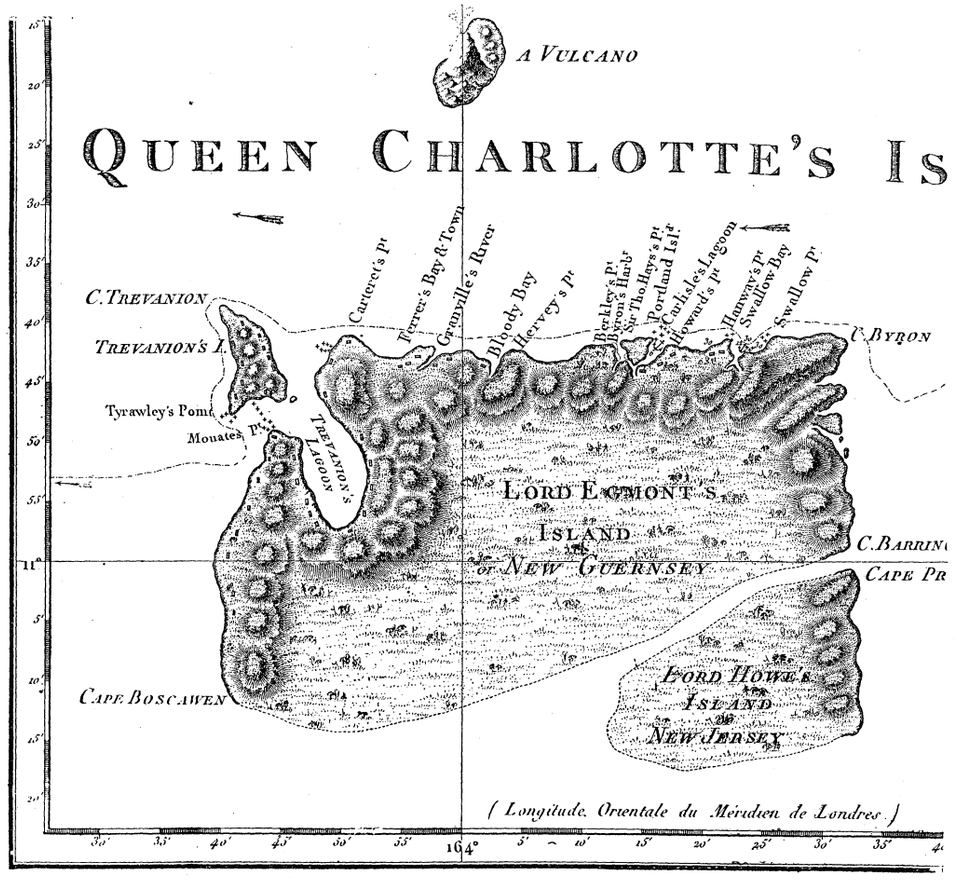
unes des petites contrariétés que nous avons subies. Il aura sans aucun doute fait cette réflexion que nous ne sommes pas seul dans ce cas, la plupart de ceux qui osent innover s'exposant à la contradiction... en attendant la contrefaçon.

Qu'il veuille donc bien nous pardonner néanmoins si, après cinquante années de luttes, nous nous sommes laissé aller à un peu de vivacité dans l'expression de nos revendications, trop légitimes.

Archipel de Santa Cruz
levé par Beautemps-Beaupré par la méthode des perspectives.



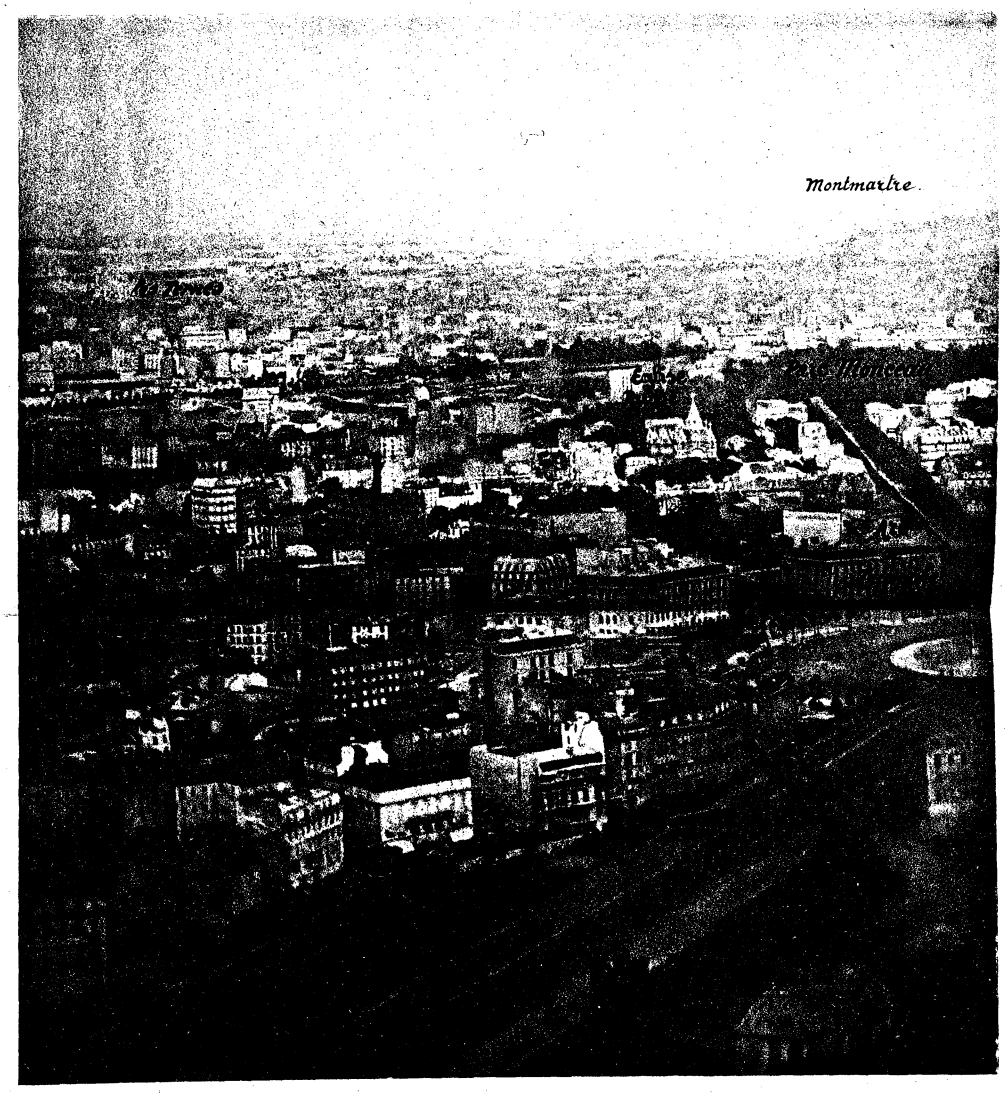

Archipel de Santa Cruz
levé par le capitaine Carteret par les anciennes méthodes.



# LE GLACIER DE ROSSBODEN

**Vue prise dans les Alpes**
**par A. Civiale, vers 1860**

ÉPREUVE ORIGINALE DE 30 × 40 SUR PAPIER CIRÉ



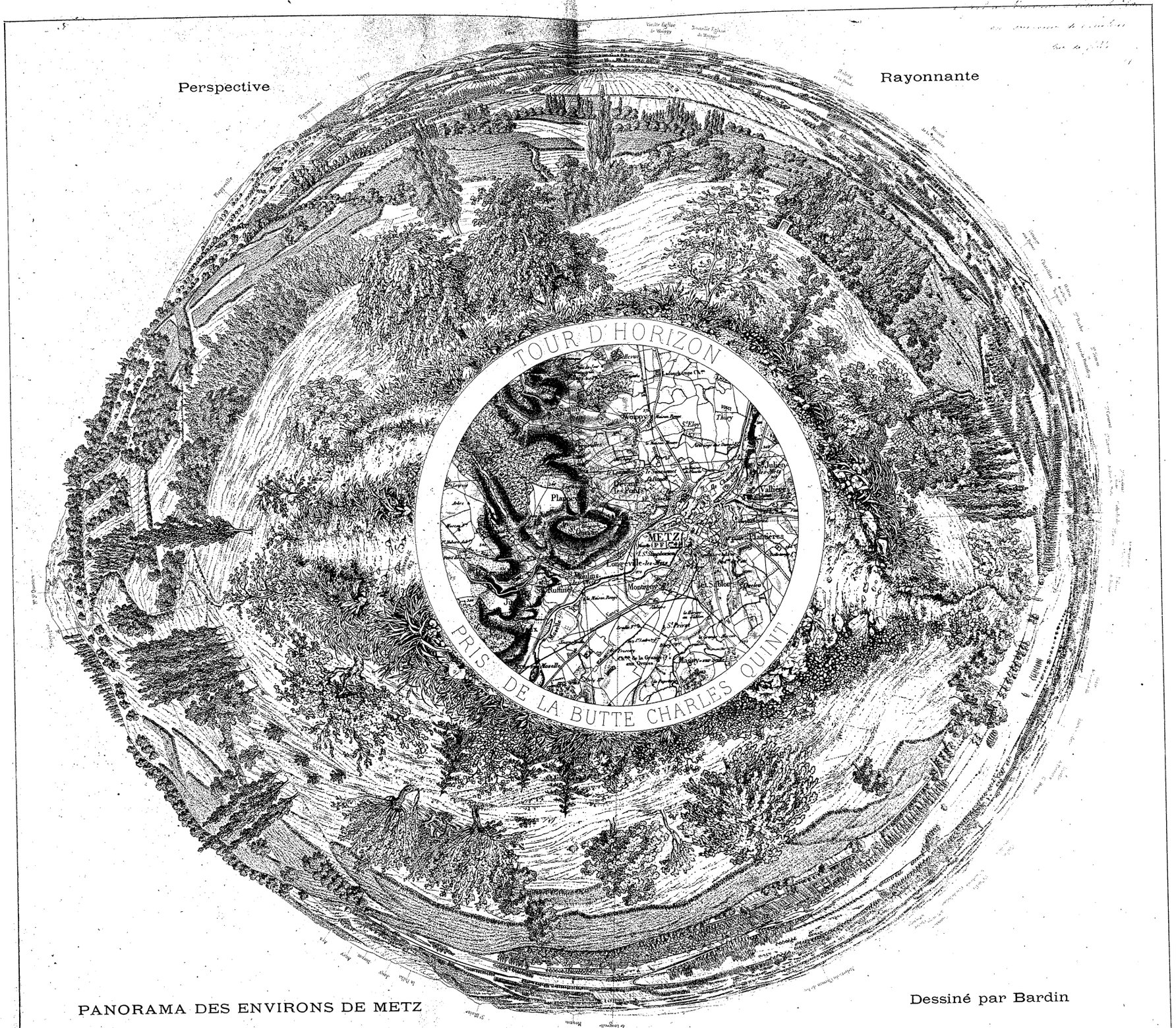

Première épreuve photographique obtenue en aérostat (1858)

*Au-dessus de l'avenue d'Eylau alors avenue de St-Cloud*

par **NADAR**

Perspective

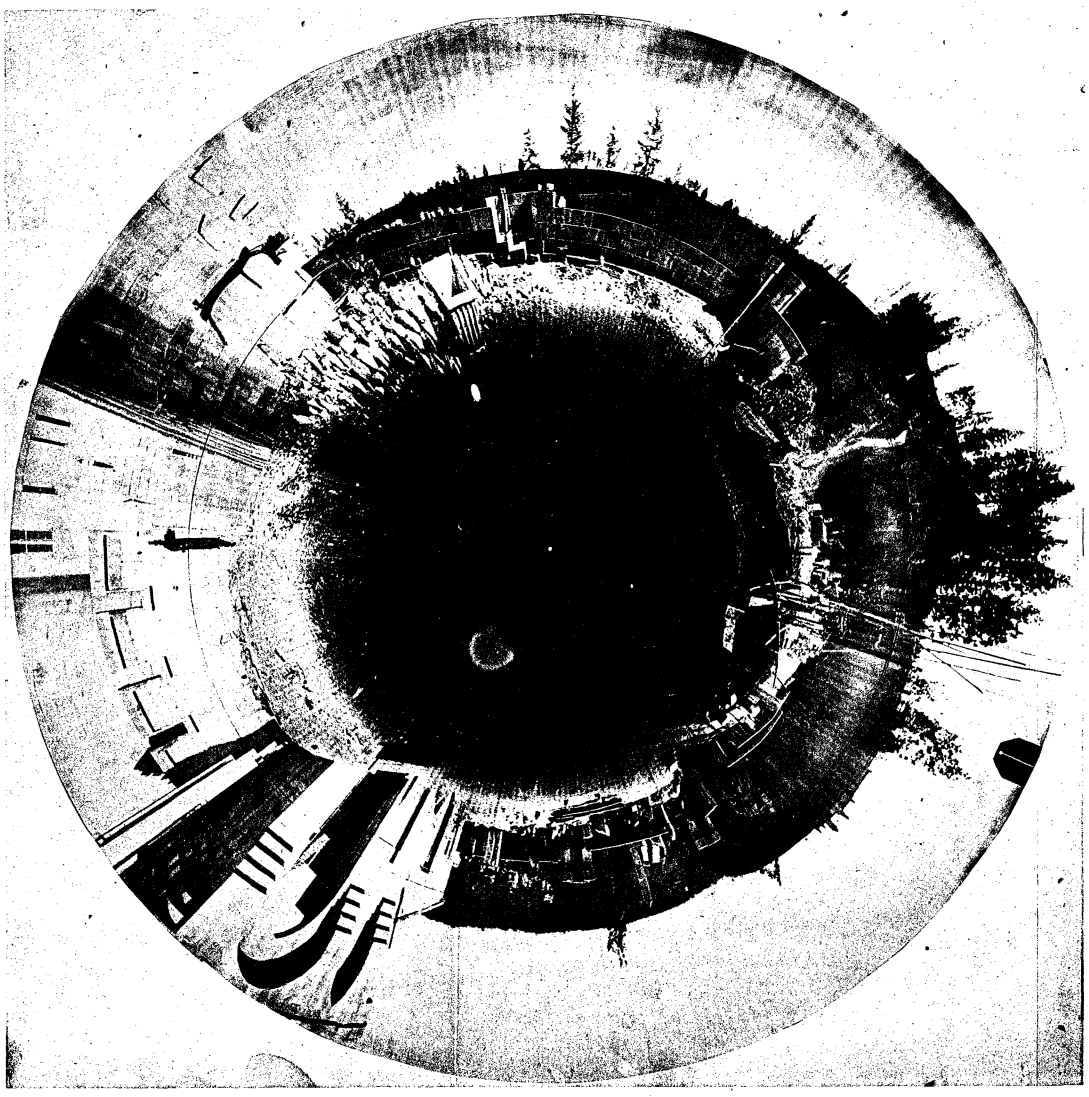
Rayonnante




PANORAMA DES ENVIRONS DE METZ

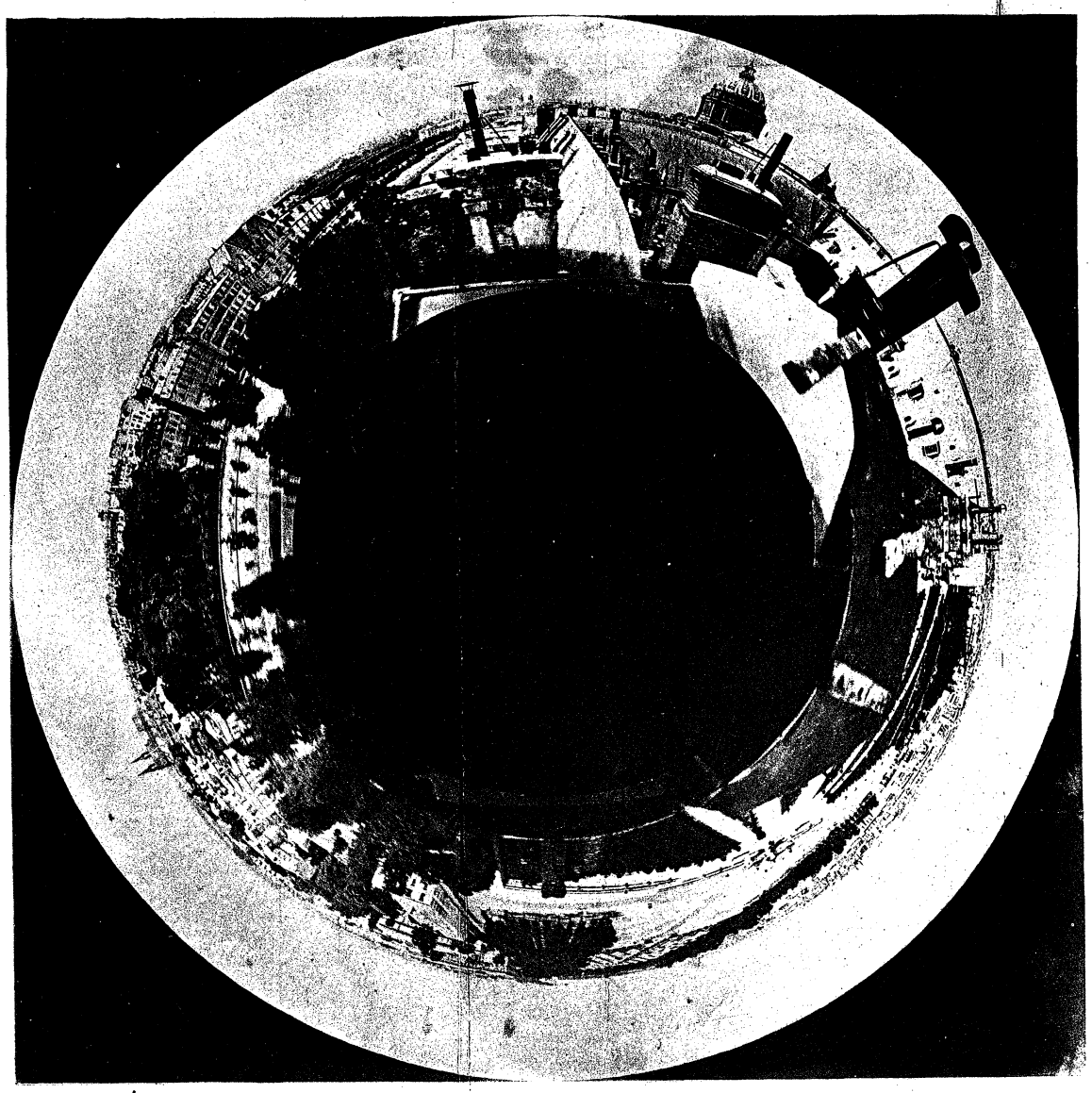
Dessiné par Bardin

TOUR D'HORIZON FAIT AVEC LA PLANCHETTE PHOTOGRAPHIQUE DU DOCTEUR CHEVALLIER

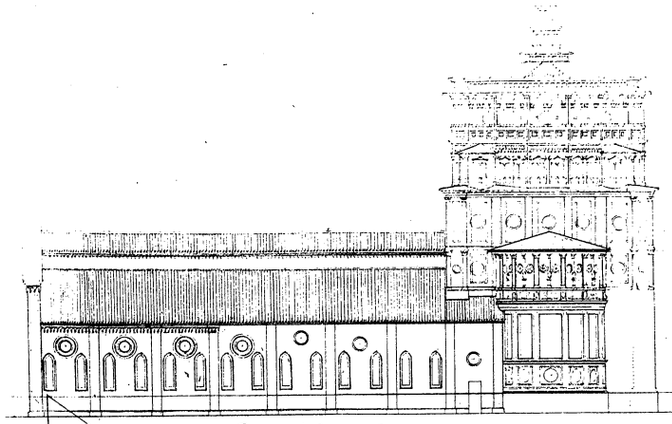


CHATEAU DE PIERREFONDS

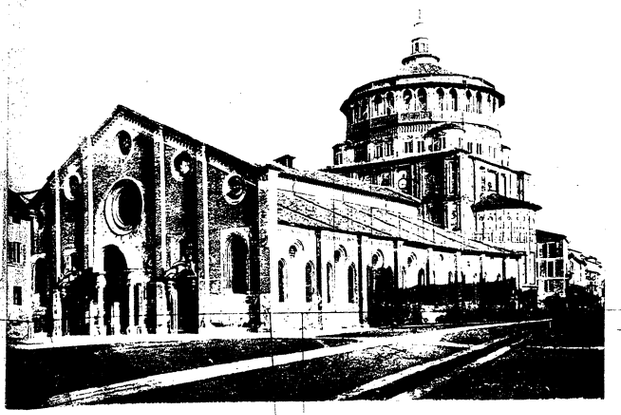
TOUR D'HORIZON FAIT AVEC LE PÉRIGRAPHE INSTANTANÉ DU COLONEL MANGIN

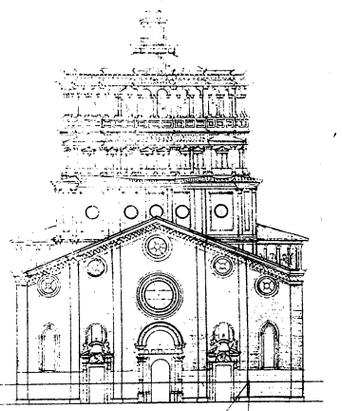


DOME DES INVALIDES & ENVIRONS

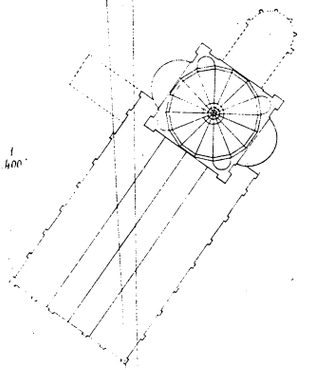


*Élévation latérale libre.*
Échelle approximative : 1/200





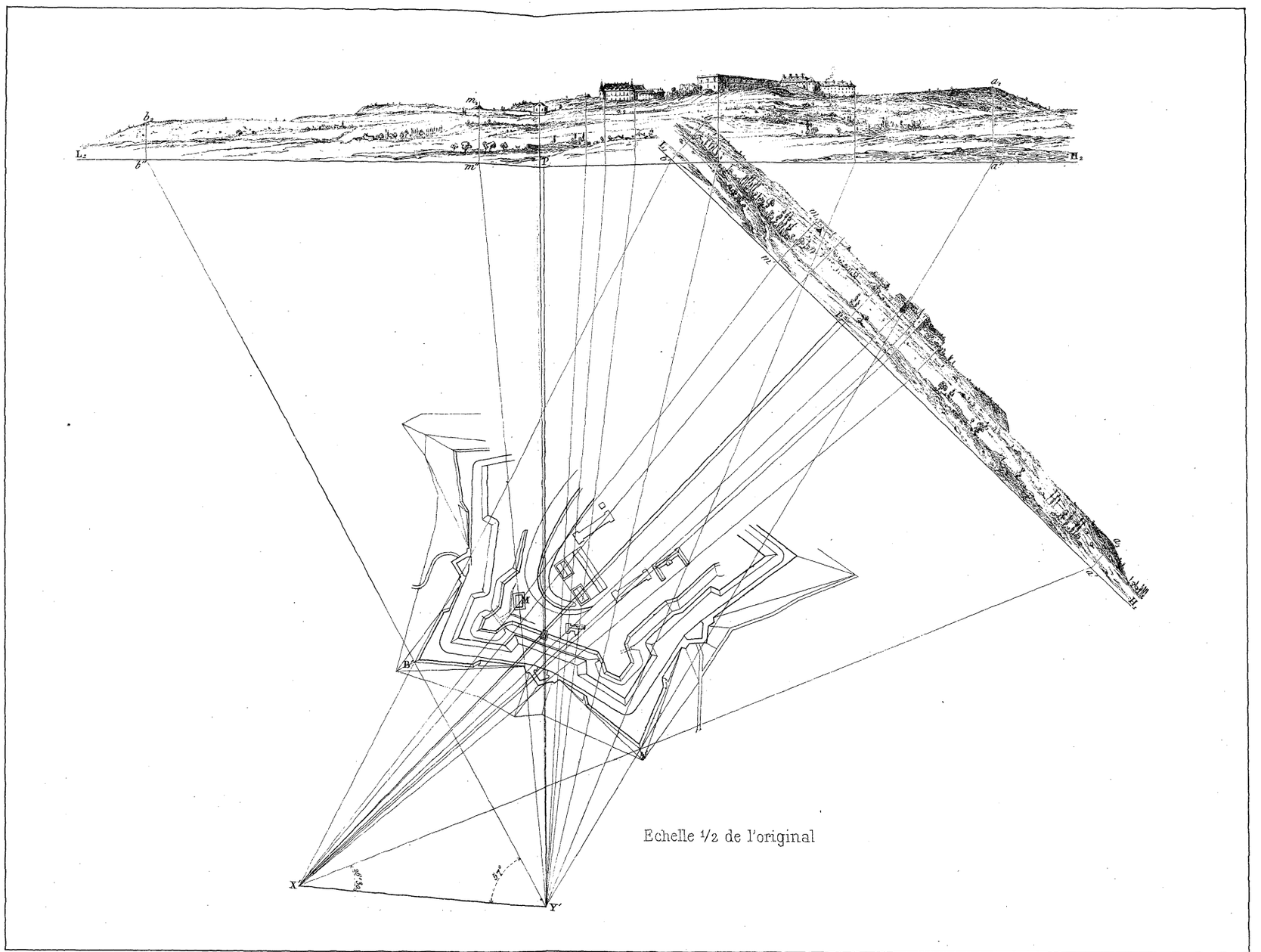
*Élévation de la façade.*
Échelle approximative : 1/200



*Plan.*
Échelle approximative : 1/400

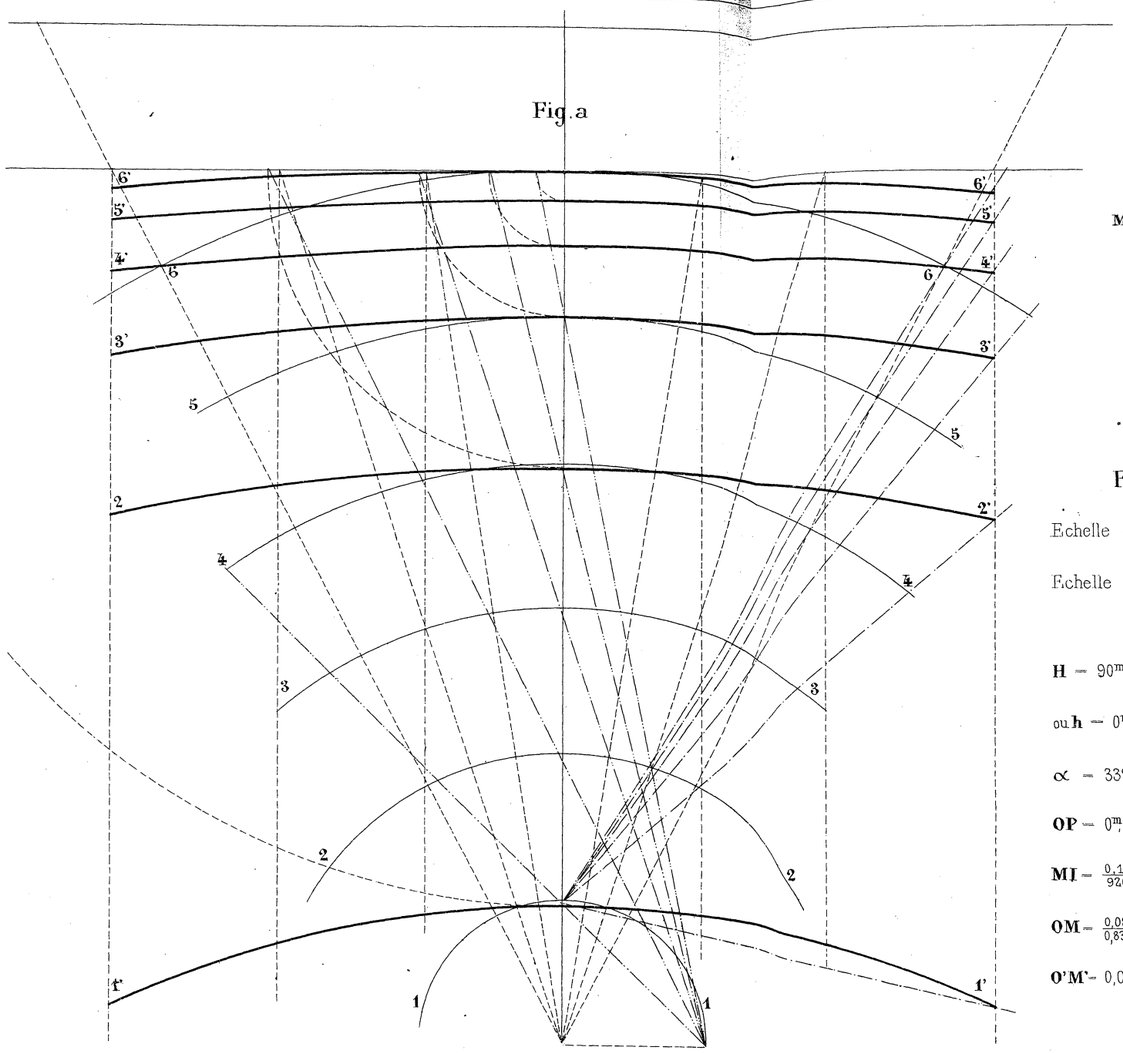
# Restitution
du plan, de la façade et de
l'élévation latérale libre
de
# Santa Maria delle Grazie.
à Milan.

ÉCHELLE 1/3 DE L'ORIGINAL




Gauthier-Villars, Éditeur.

Fig. a



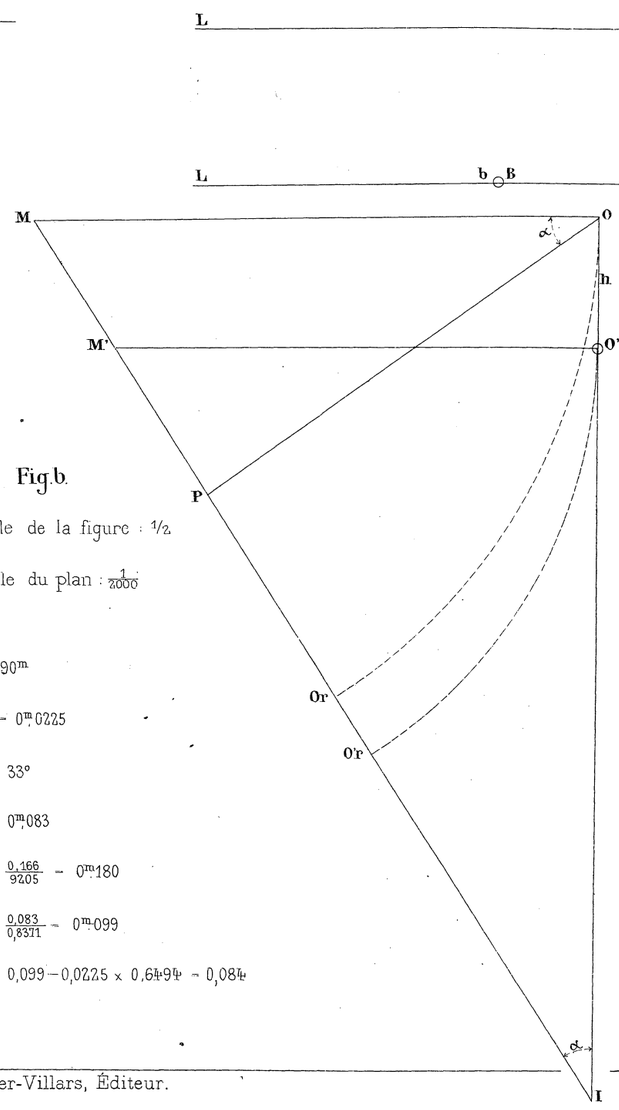




Fig. b.

Echelle de la figure : 1/2

Echelle du plan : $\frac{1}{2000}$

**H** = 90$^m$

ou **h** = 0$^m$,0225

**α** = 33°

**OP** = 0$^m$,083

**MI** = $\frac{0,166}{9205}$ = 0$^m$,180

**OM** = $\frac{0,083}{0,8371}$ = 0$^m$,099

**O'M'** = 0,099 − 0,0225 × 0,6494 = 0,084

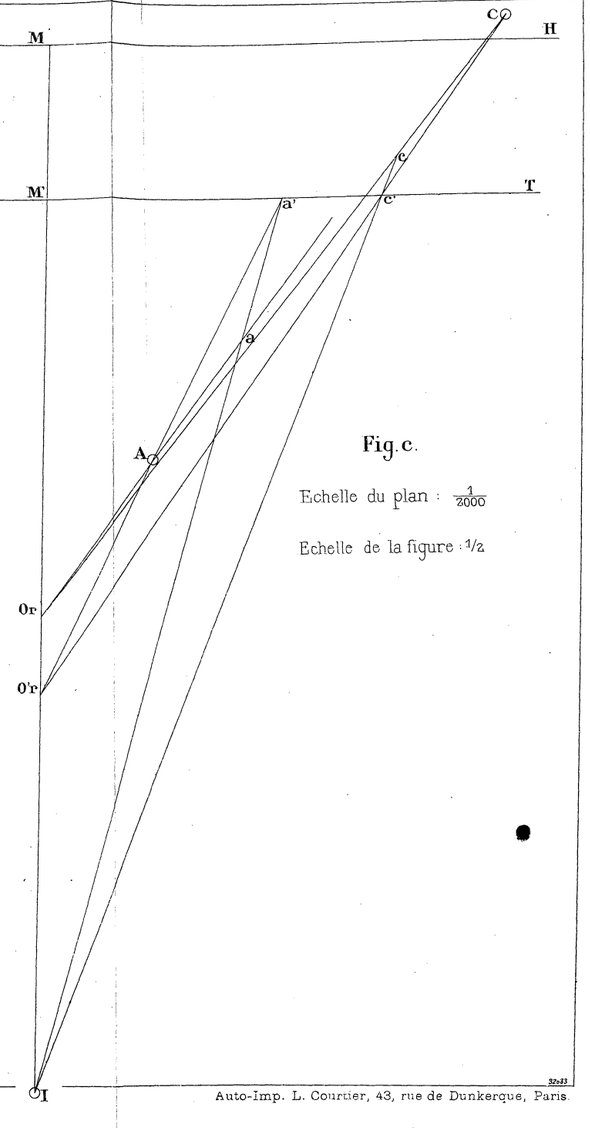



Fig. c.

Echelle du plan : $\frac{1}{2000}$

Echelle de la figure : 1/2

Gauthier-Villars, Éditeur.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 1

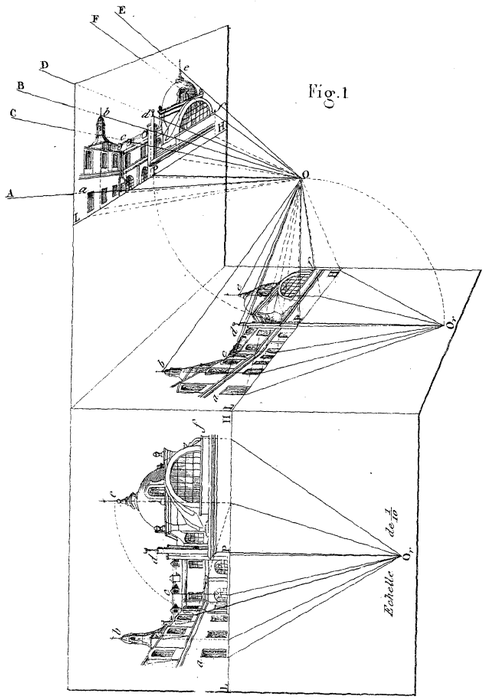



Fig. 2

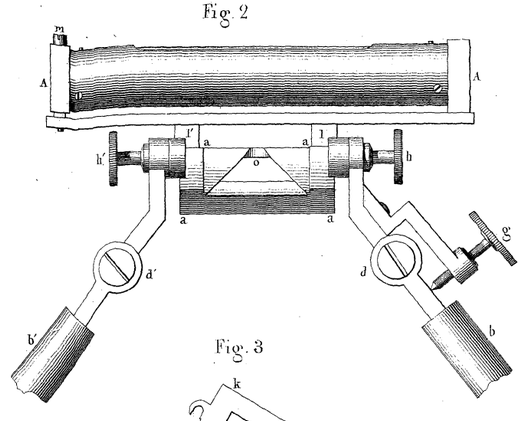



Fig. 3

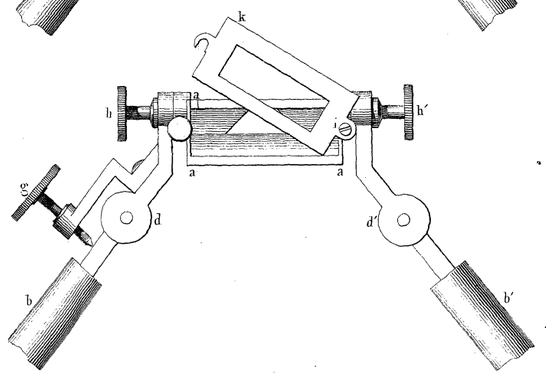
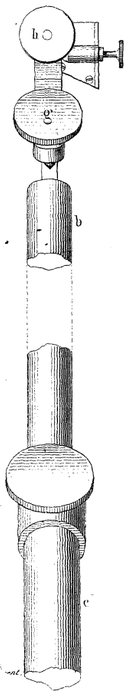
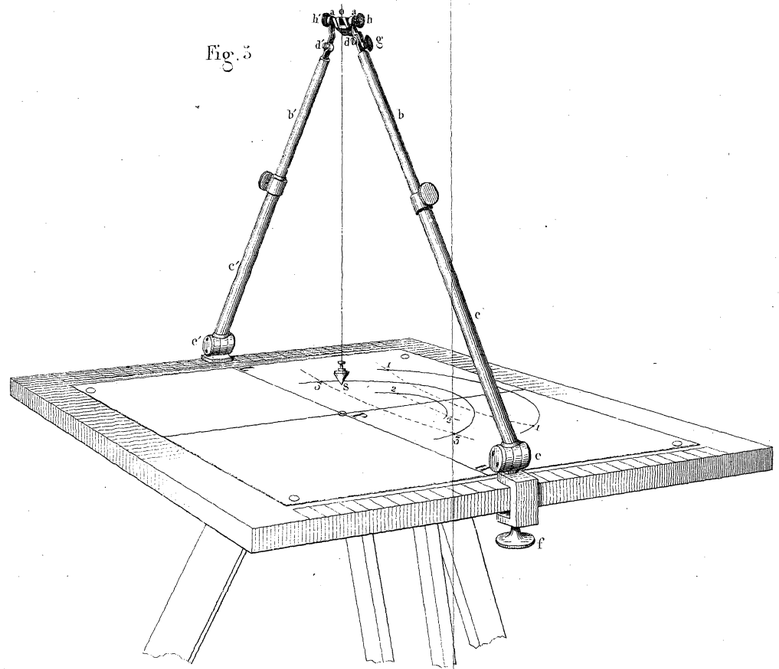



Fig. 4




Les Figures 2, 3 et 4 sont dessinées de grandeur naturelle.

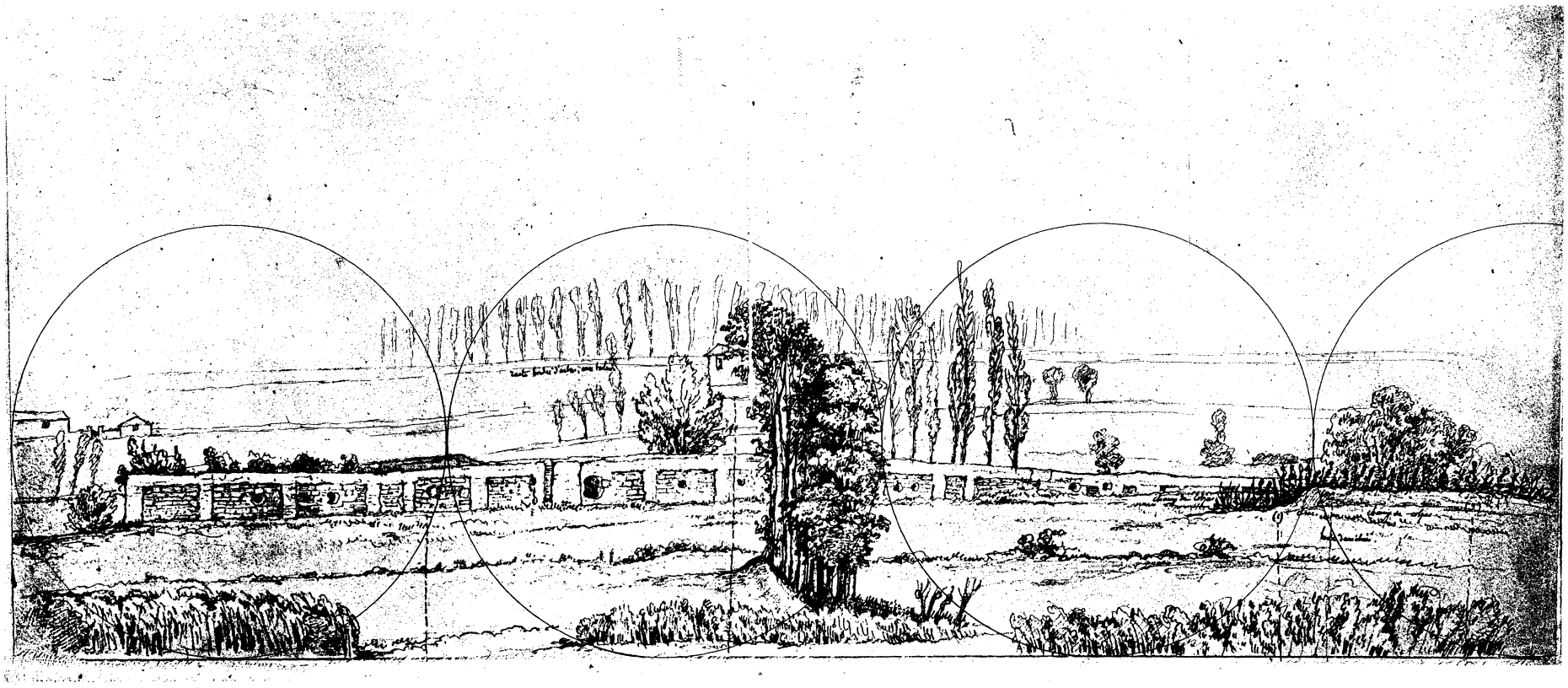
Fig. 5




Gauthier-Villars, Éditeur.

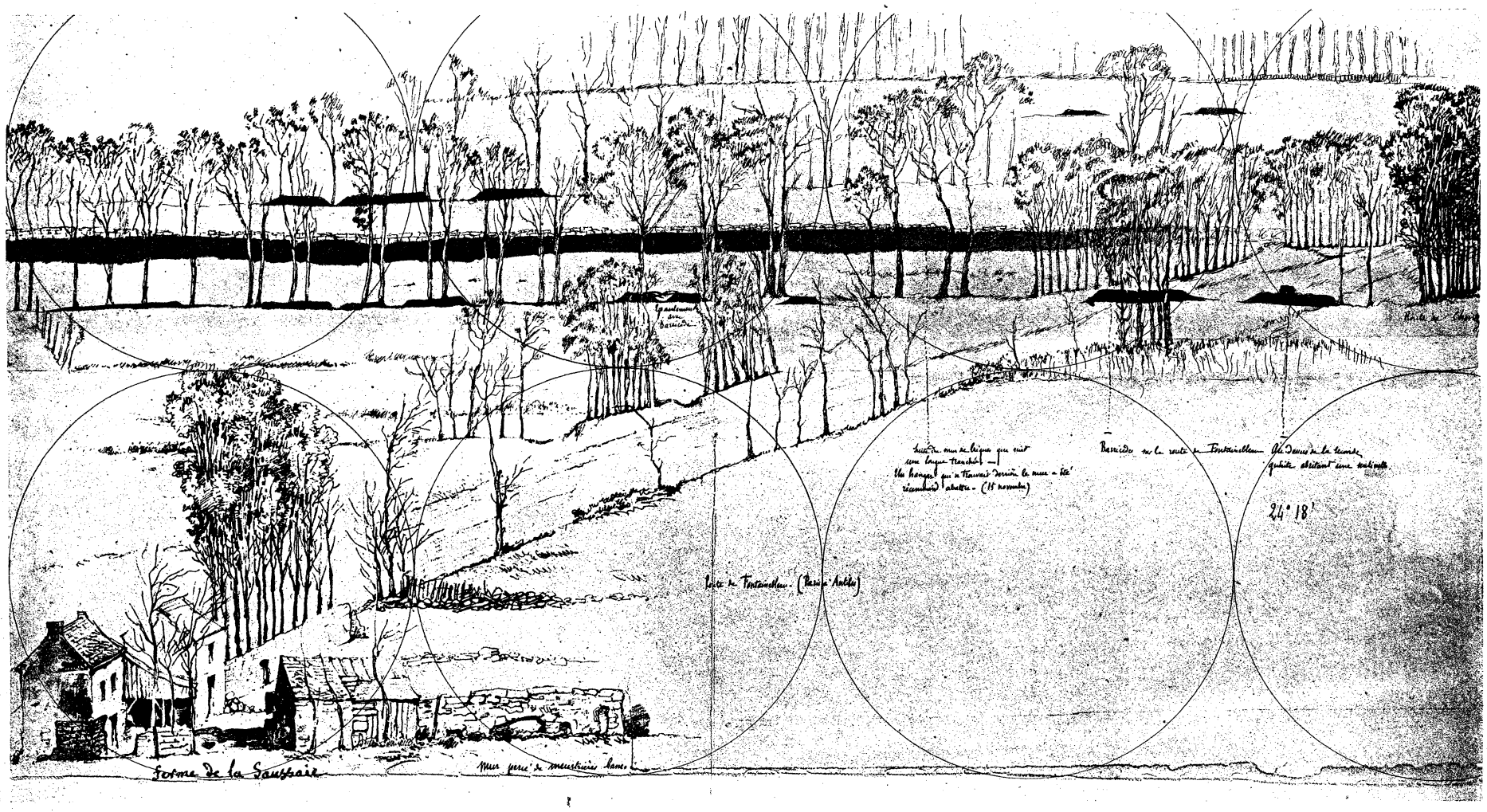
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

PARTIE DU PANORAMA
compris entre la vallée de la Seine et la vallée de la Bièvre, près de l'observatoire du clocher de Villejuif,
pendant le siège de Paris par les Allemands,
dessiné par M. Max Collignon, au Télémétrographe.



Murs crénelés et abatis entre Choisy-le-Roi et Thiais

*Echelle de* $\frac{1}{2,5}$ *de l'original*




Série de Tranchées prussiennes entre Thiais et Chevilly

*sur les deux routes de Choisy-le-Roi à Versailles et au-delà, coupant la route de Paris à Antibes*

*Echelle de* $\frac{1}{2,5}$ *de l'original*

Fig. 1.

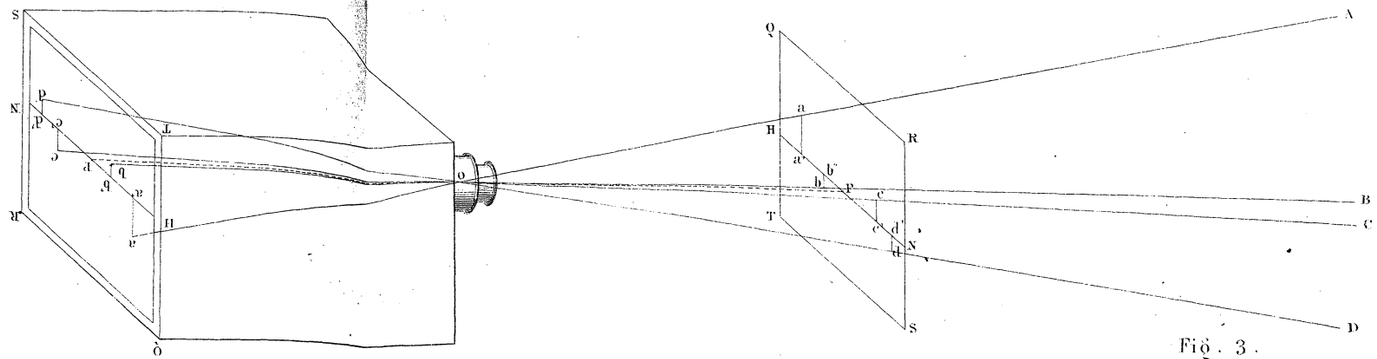



Fig. 2.

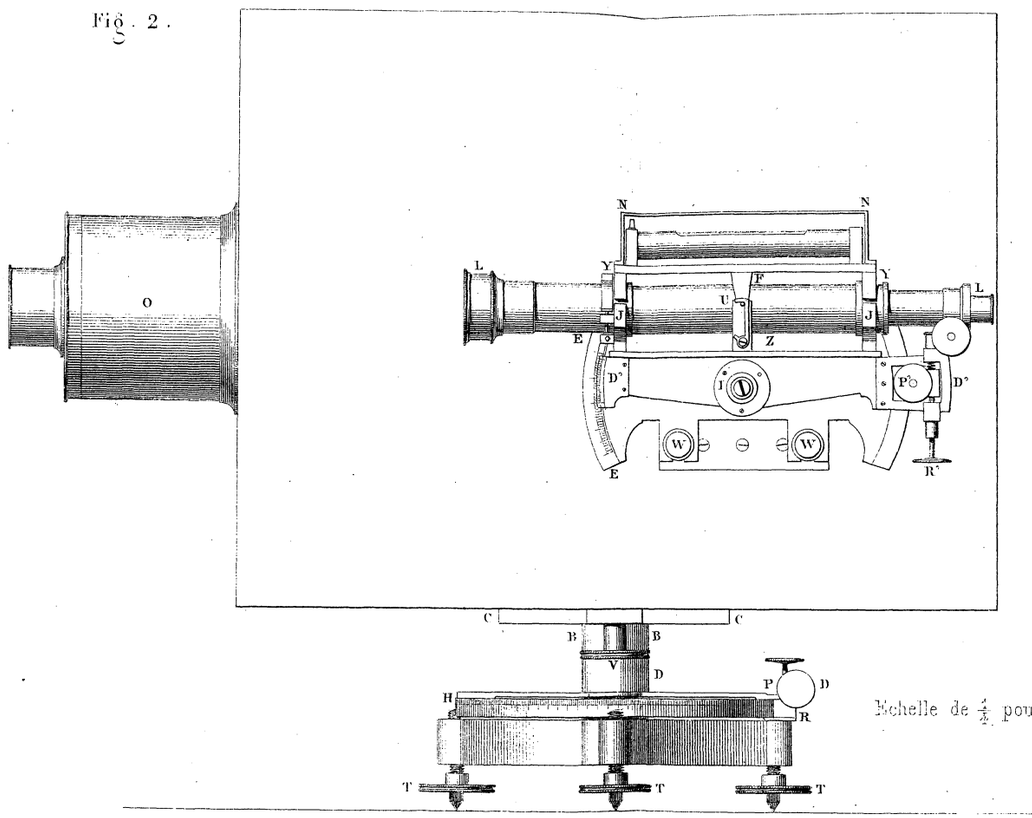
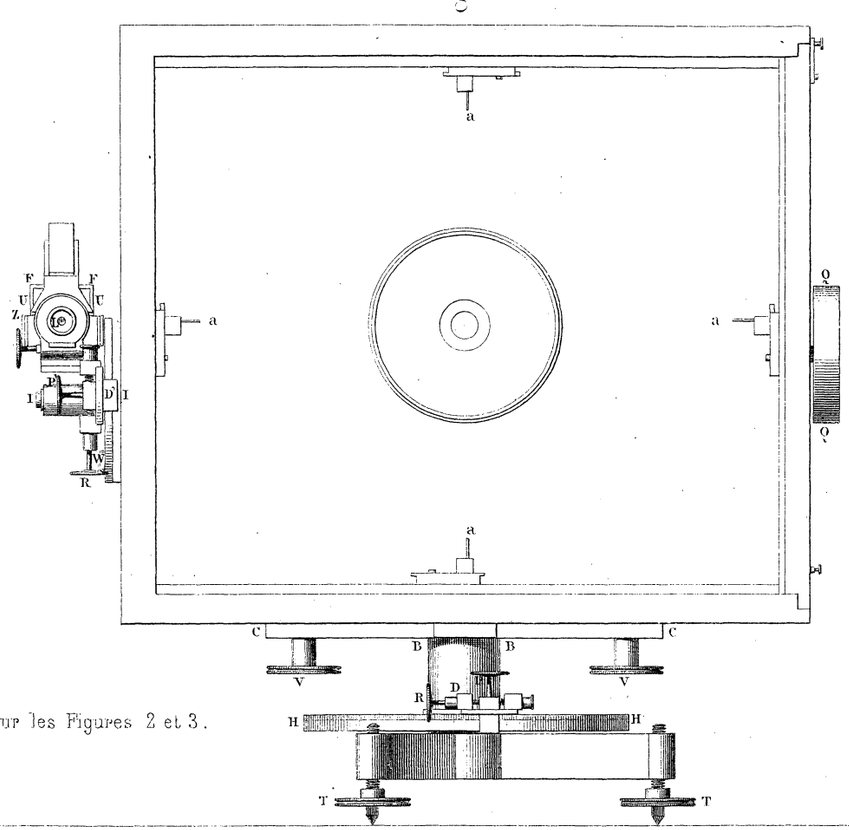



Fig. 3.




Échelle de $\frac{1}{2}$ pour les Figures 2 et 3.

Gauthier-Villars, Éditeur

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

## Registre des mesures prises sur le terrain.

| N.° de la Station. | Direction de l'axe de l'instrument. | Angles observés. | Angles déduits. | | Observations. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Clocher de l'église | 261° 09' | 2-1-Clocher. | 65° 11' | Les angles 2-1-3 et 3-1-4 ont été mesurés avec un neuvième cercle répétiteur, par deux observations faites à la chambre obscure. |
| | Station 2. | 326 20 | 2-1-3. | 24 19 | |
| | Station 3. | 267 01 | | | |
| 2. | Clocher. | 356° 37' | 1-2-Clocher. | 95° 20' | |
| | Station 3. | 261 17 | 1-2-3. | 75 32 | |
| | Station 4. | 318 05 | | | |
| 3. | Clocher. | 5° 20' | Clocher-3-4. | 24° 29' | * Si maintenant l'on mesure l'angle 4-3-1, on trouvera 204° 11' au lieu de 204° 15'. |
| | Station 4. | 46 55 | 4-3-1. | 36 12 | |
| | Station 1. | 223 05 * | | 204 17 | |
| 4. | Clocher. | 44° 15' | Clocher-4-2. | 22° 51' | |
| | Station 2. | 83 16 | 2-4-1. | 31 58 | |
| | Station 3. | 51 27 | | | |

## Disposition des épreuves sur le plan.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Epreuve a. | 248° | 3-1-a. | 63° 26' |
| | Epreuve b. | 312 | 3-1-b. | 36 26 |
| 2. | Epreuve c. | 356° | 1-2-c. | 58° 49' |
| | Epreuve d. | 300 | 1-2-d. | 58 49 |
| 3. | Epreuve e. | 5° | 1-3-e. | 94° 17' |
| | Epreuve f. | 35 | 1-3-f. | 71 17 |
| 4. | Epreuve g. | 53° | 2-4-g. | 36° 06' |
| | Epreuve h. | 63 | 3-4-h. | 06 |

## Nivellement des Stations.

| Stations. | Altitudes. | Différences. |
|---|---|---|
| Clocher. | 0 | |
| 1 | 1 | 24 19 + 0 = 24 19 |
| Station 2. | 1 | 24 19 + 31 58 = 56 17 |
| 3 | 1 | 56 17 + 75 32 = 131 49 |
| Station 4. | 1 | 131 49 + 24 29 = 156 18 |
| Clocher. | 1 | 156 18 + 22 51 = 179 09 |
| 1 | 1 | 179 09 + 24 19 = 203 28 |
| Station 2. | 1 | 203 28 + 31 58 = 235 26 |
| 3 | 1 | 235 26 + 75 32 = 310 58 |
| Station 4. | 1 | 310 58 + 24 29 = 335 27 |
| Clocher. | 1 | 335 27 + 22 51 = 358 18 |

Epreuve a.

Epreuve b.

Epreuve c.

Epreuve d.

Epreuve e.

Epreuve f.

Epreuve g.

Epreuve h.

Échelle du Plan: 1/5000.

Levé et dessiné par le Capitaine du génie A. Laussedat.

Avril 1861.

## Nivellement général.

Ce plan représente le village de Buc, près Versailles, et son échelle originale était de 1/2000

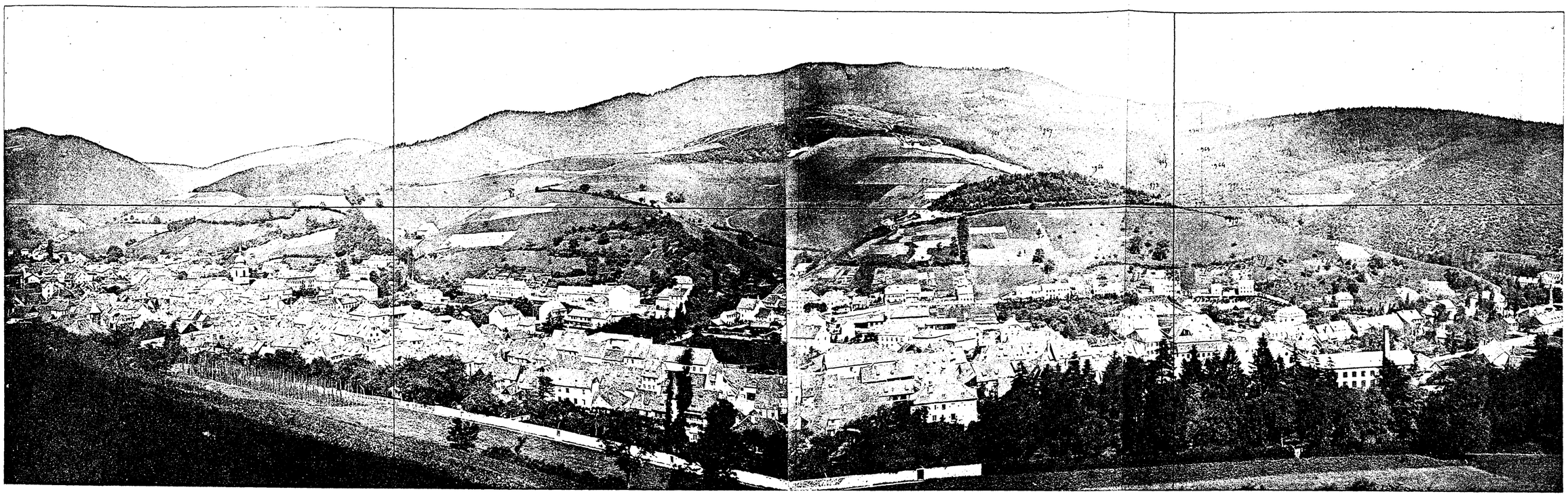
Plan de Sainte-Marie-aux-Mines et des environs, levé en 1867 par la méthode des perspectives.

Echelle de l'original $\frac{1}{5000}$ reduite à $\frac{1}{20000}$

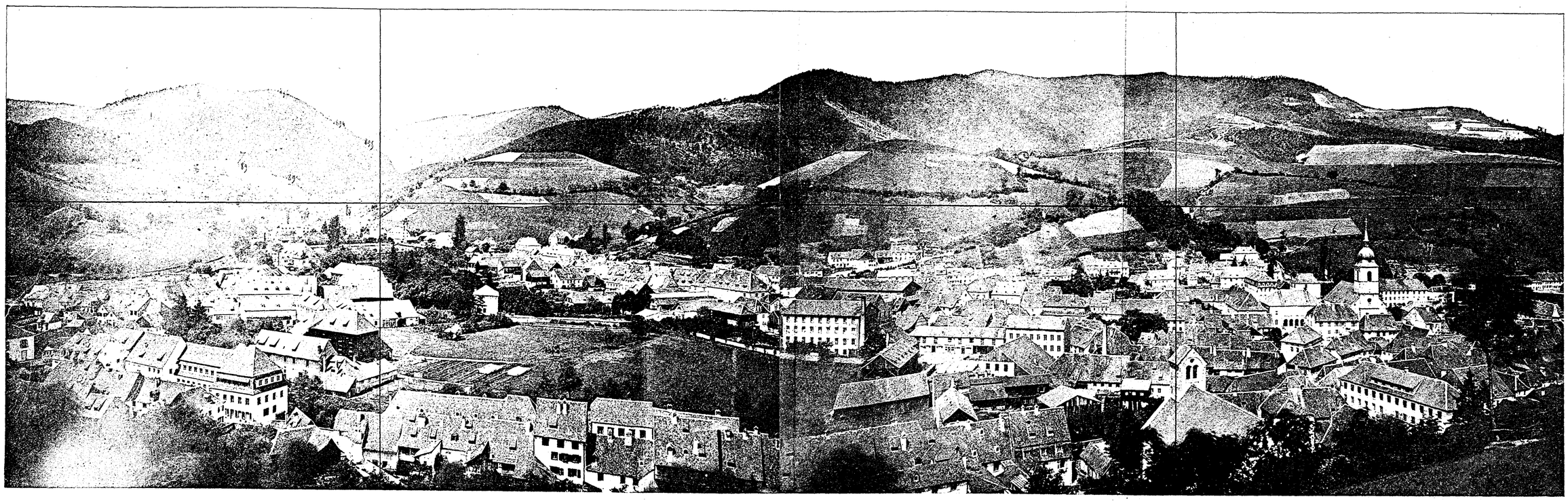
Operateurs : MM. le capitaine Javary et le Garde du Genie Galibardy. — Durée des opérations : 16 jours sur le terrain; 2 mois ½ dans le bureau.

52 photographies (20×30) prises de 31 stations dont 18 triangulees et 13 rattachees. Superficie : 35 kilomètres carrés.

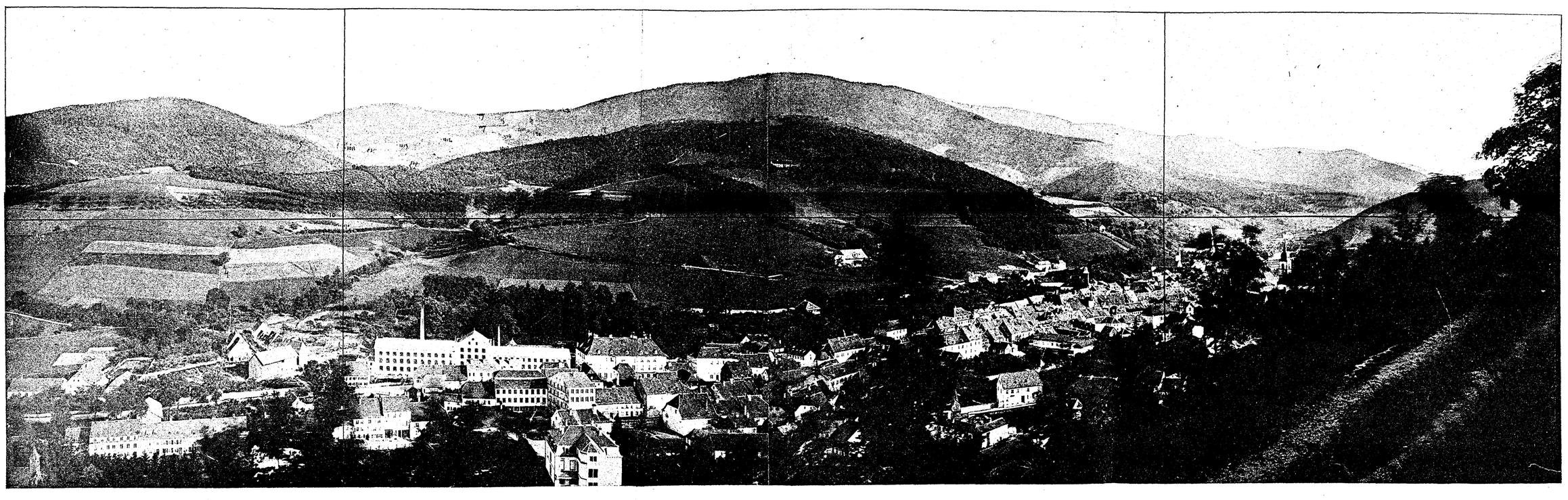
# SAINTE-MARIE-AUX-MINES



Panorama pris du point auxiliaire au N. E. de la station 4. sur la pente descendant à Sainte-Marie-aux-Mines

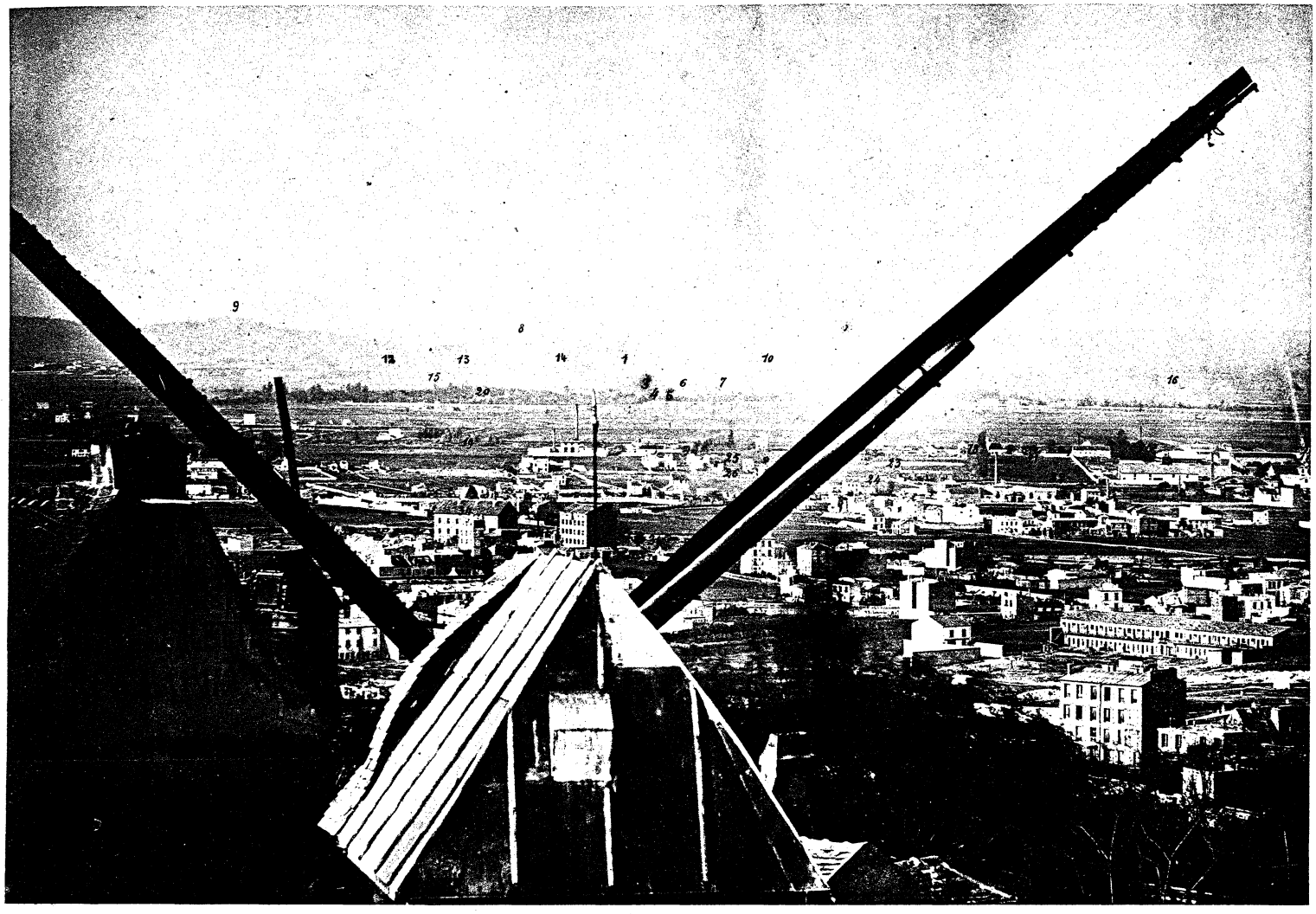


Panorama pris du point auxiliaire entre les stations 2 et 5.



Panorama pris de la station 5 *(Croix des Missions)*.

# SIÈGE DE PARIS
## vue prise de l'observatoire militaire de montmartre




1. — Batterie prussienne d'Orgemont.
2, 3, 4. — Ouvrages défensifs.
5, 6. — Coupures au bord de la Seine.
7. — Clocher de Gennevilliers.
8. — Moulin d'Orgemont.
9. — Moulins de Sannois.
10. — Maison servant de poste aux Prussiens.
11. — Pont du Chemin de fer d'Argenteuil.
12. — Carrières d'Orgemont.
13, 14, 10. — Route d'Argenteuil à Deuil.
11, 15, 5, 6, 16. — La Seine.
17, 18, 19. — La Seine.
17. — Gare de Saint-Ouen.
20. — Château de Gennevilliers.
21 à 27. — Barricades entre St-Ouen et Clichy.
28 à 33. — Enceinte fortifiée.
34. — Poste-Caserne.

ÉCHELLE DE 1/2

# TABLE DES MATIÈRES

DE LA PREMIÈRE PARTIE DU TOME SECOND.

## CHAPITRE III.

### Iconométrie et Métrophotographie.

CONSIDÉRATIONS ET NOTIONS PRÉLIMINAIRES. PRÉCÉDENTS HISTORIQUES.


Pages.

I. — *Application directe ou indirecte de la perspective au lever des plans* ..... 1

II. — *Association des vues pittoresques et des plans* ..... 3

III. — *La Géologie et les formes du terrain* ..... 8

IV. — *Origines de l'Iconométrie et de la Métrophotographie.* 11

Lambert et Beautemps-Beaupré ..... 11

V. — *Premières tentatives faites, à partir de* 1853, *pour utiliser la Photographie dans les reconnaissances topographiques* ..... 17

VI. — *Tentatives faites à la même époque pour utiliser la Photographie dans les reconnaissances orographiques et géologiques* ..... 20

VII. — *Premiers essais de Photographie en ballon et plus tard au moyen de cerfs-volants* ..... 23

VIII-IX. — *Appareils et méthodes essayés ou proposés* ..... 24

Chambres noires cylindriques ou sphériques ..... 24

Panoramas rayonnants ..... 27

X. — *Propriétés et avantages des images sur tableau plan* .. 33

Conditions essentielles imposées aux objectifs ..... 33

Premiers progrès de la méthode dus à l'emploi de la chambre claire ..... 34

Ajournement temporaire de l'emploi de la Photographie. 34

XI. — *Principes généraux de la Perspective* ..... 35

Définition ..... 35

Propositions fondamentales ..... 38

Pages.

XII. — *Mise en perspective d'un édifice dont on a le plan et les élévations* ..... 39

Perspective d'un point du géométral ..... 39
Perspective d'une figure quelconque tracée sur le géométral. Craticulation ..... 42
Perspective d'un point quelconque situé au-dessus ou au-dessous du géométral ..... 43

XIII. — *Problème inverse de la perspective dans le cas des édifices* ..... 45

Ligne de terre ..... 46

XIV. — *Restitution des édifices en général (plans et élévations) d'après leurs perspectives* ..... 47

Restitution du plan de la cour du quartier de Panthémont, d'après une vue dessinée à la chambre claire. 49
Restitution partielle de Santa-Maria delle Grazzie, à Milan ..... 51

XV. — *Quelques observations sur les conditions de la vision* ... 55

Limitation de la distance du point de vue au tableau et de l'angle visuel ..... 55

**Méthodes.**

I. — *Solution générale du problème inverse de la perspective.* 59

II. — *Premières expériences faites avec des vues dessinées à la chambre claire* ..... 62

Planimétrie ..... 64
Nivellement ..... 64

III. — *Des cas où l'on peut recourir à des vues isolées* ..... 66

IV. — *Tableaux inclinés sur l'horizon* ..... 72

V. — *Utilisation des vues aériennes sur tableaux inclinés dans les reconnaissances* ..... 74

VI. — *Emploi de deux ou plusieurs vues prises sur des tableaux inclinés* ..... 77

VII. — *Limitation de l'emploi des vues aériennes* ..... 80

Tableau horizontal ..... 80
Tableau vertical ..... 81

VIII. — *Reconnaissances faites à d'assez grandes distances* .... 84

Amplification des images ..... 84
Signaux naturels ..... 87

## Instruments.

THÉORIE, DESCRIPTION ET USAGE DE LA CHAMBRE CLAIRE.

Pages.

IX. — *Historique de la découverte de la chambre claire*..... 91

X. — *Du champ de l'instrument*..... 94

XI. — *Phénomène de la parallaxe*..... 98

XII. — *Chambre claire périscopique*..... 99

Chambre claire hémi-périscopique..... 102

XIII. — *Propriétés géométriques de l'appareil*..... 104

Remarques complémentaires..... 104

XIV. — *Description et usage des différents organes de l'instrument*..... 106

Mise en station de l'appareil..... 107

1° Mettre de niveau la planchette et le prisme (*Pl. IX, fig.* 2)..... 107

2° Déterminer le point principal de la perspective et la distance du point de vue au tableau (*Pl. IX, fig.* 5)..... 107

3° Tracer la ligne d'horizon..... 108

Précaution à prendre pour faire un tour entier d'horizon..... 109

Difficultés que présentent les premières observations et moyens de les surmonter..... 110

XV. — *Erreurs particulières à l'instrument*..... 112

Comparaison des angles mesurés avec la boussole en usage dans le service du Génie et avec la chambre claire..... 114

XVI. — *Télémétrographie*..... 116

Du télémétrographe à forts grossissements..... 116

## Métrophotographie.

XVII. — *Chambre noire topographique ou photothéodolite*..... 124

Propriétés des images produites dans la chambre noire. 126

De la chambre noire topographique..... 129

De l'objectif..... 129

De la glace dépolie et des châssis..... 130

Du pied de l'instrument..... 131

Des organes géodésiques..... 131

Pages.

XVIII. — *Mise en station et rectification de l'instrument*..... 132

1° Rendre l'axe de rotation vertical..... 133
2° Rectifier l'axe optique de la lunette..... 134
3° Rendre l'axe optique de la lunette horizontal et déterminer l'erreur de collimation..... 135
Axe optique et plan focal..... 135
Mise en place et vérification des repères de la ligne d'horizon et du point principal..... 136
Remarque..... 137

XIX. — *Détermination de la distance du point de vue au tableau*..... 136

XX. — *Expériences officielles faites sur des vues photographiées, de* 1859 *à* 1864..... 140

Commission d'officiers du Génie..... 143

XXI. — *Travaux de la brigade topographique du Génie, de* 1863 *à* 1871..... 148

Exposé sommaire des résultats obtenus en appliquant la Photographie à l'étude du terrain, à Grenoble et dans les environs, en août 1864..... 150

XXII. — *Modifications suggérées par la pratique*..... 151

Séparation des opérations. Simplification des appareils..... 151
Utilisation de la chambre noire ordinaire..... 153

XXIII. — *Détails d'exécution pour la construction des plans*.... 156

Planimétrie..... 159
Nivellement et tracé des courbes..... 159

XXIV. — *Circonstances diverses dans lesquelles on peut avoir à opérer. Instruments proposés selon ces circonstances*..... 161

Levers réguliers..... 162
Étude topographique détaillée pour l'établissement du projet d'une voie de communication..... 164

XXV. — *Circonstances diverses dans lesquelles on peut avoir à opérer* (suite)..... 164

Reconnaissances militaires..... 164
Défense des places..... 167

XXVI. — *Circonstances diverses dans lesquelles on peut avoir à opérer* (suite)..... 169

Reconnaissances faites pendant les voyages d'exploration..... 169

Pages.

XXVII. — *Disposition générale et destination des instruments proposés*..... 170

Grand photothéodolite donnant des épreuves du format 18 × 24 immédiatement utilisables..... 170

Photothéodolite moyen..... 173

Photogrammètre..... 173

Photothéodolite à lunette centrale destiné aux explorateurs..... 175

## APPENDICE AU CHAPITRE III.

Sur le rôle des observatoires militaires pendant le siège de Paris par les armées allemandes..... 179

Commissaires militaires..... 183

Astronomes et physiciens..... 184

Ingénieurs, artistes de précision et volontaires de professions diverses. 184

## PLANCHES.

*Pl. I.* — Archipel de Santa-Cruz, levé par Beautemps-Beaupré par la méthode des perspectives. — Archipel de Santa-Cruz, levé par le capitaine Carteret par les anciennes méthodes.

*Pl. II.* — Le Glacier de Rossboden. Vue prise dans les Alpes par A. Civiale, vers 1860.

*Pl. III.* — Première épreuve photographique obtenue en aérostat (1858) par Nadar.

*Pl. IV.* — Panorama des environs de Metz (perspective rayonnante), dessiné par Bardin.

*Pl. V.* — Tour d'horizon fait avec la planchette photographique du Docteur Chevallier (Château de Pierrefonds). — Tour d'horizon fait avec le périgraphe instantané du Colonel Mangin (Dôme des Invalides et environs).

*Pl. VI.* — Restitution du plan, de la façade et de l'élévation latérale libre de Santa-Maria delle Grazzie, à Milan.

*Pl. VII.* — Restitution au moyen de deux vues dessinées à la chambre claire (Fort du Mont-Valérien).

*Pl. VIII.* — Emploi de vues prises sur des tableaux inclinés.

*Pl. IX.* — Chambre claire hémi-périscopique montée sur la planchette.

*Pl. X.* — Partie du panorama entre la Seine et la Bièvre, pris du clocher de Villejuif (1870) par M. Max Collignon.

*Pl. XI.* — Chambre noire topographique.

*Pl. XII.* — Plan du village de Buc (1861) par M. A. Laussedat.

*Pl. XIII.* — Plan de Sainte-Marie-aux-Mines et des environs (1867), par MM. Javary et Galibardi.

*Pl. XIV.* — Panoramas de Sainte-Marie-aux-Mines.

*Pl. XV.* — Vue de Paris prise de l'Observatoire de Montmartre (1870).

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES DE LA PREMIÈRE PARTIE DU TOME SECOND.

27589. — Paris. Imprimerie Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

# RECHERCHES

SUR

# LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES

ET

# LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES.

30545. — PARIS, IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
55, quai des Grands-Augustins.

# RECHERCHES

SUR

# LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES

ET

# LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES,

PAR

**le Colonel A. LAUSSEDAT,**

Membre de l'Institut,
Directeur honoraire du Conservatoire des Arts et Métiers.

---

## TOME II.

SECONDE PARTIE :

DÉVELOPPEMENT ET PROGRÈS DE LA MÉTROPHOTOGRAPHIE
A L'ÉTRANGER ET EN FRANCE.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1903

(Tous droits réservés.)

# RECHERCHES

SUR

# LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES

ET

# LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES.

## CHAPITRE IV.

### DÉVELOPPEMENT ET PROGRÈS DE LA MÉTROPHOTOGRAPHIE A L'ÉTRANGER ET EN FRANCE.

Multi pertransibunt et augebitur scientia.
FERMAT.

AVERTISSEMENT.

Dans le précédent Chapitre, à part quelques indications rapides sur les tentatives d'inventeurs d'appareils panoramiques de formes diverses qui n'ont conduit à aucun résultat pratique, après avoir exposé les considérations qui doivent faire préférer l'emploi des *perspectives naturelles*, je me suis contenté de reproduire la plus grande partie des deux Mémoires que j'avais publiés en 1854 et 1864 dans le *Mémorial de l'Officier du Génie*, de donner des extraits des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, de 1859 à 1885, et de faire des citations d'un excellent Mémoire de M. le Commandant Javary (alors capitaine), publié en 1873 dans ce même recueil du *Mémorial de l'Officier du Génie* et dans lequel se trouvent indiqués les résultats déjà très remarquables obtenus jusqu'à cette date.

Je me propose, dans ce nouveau Chapitre, de faire connaître quelques-uns des plus intéressants travaux analogues des étrangers et de ceux qui ont été entrepris de nouveau en

France ou par des Français, mais je crois devoir faire précéder cet exposé de quelques lignes destinées à expliquer comment j'ai été amené, au déclin de ma vie, à reprendre une étude qui avait été l'une des plus attrayantes de ma jeunesse et que des circonstances impérieuses m'avaient obligé d'abandonner depuis longtemps.

A la fin de l'été de 1871, alors qu'en qualité de Commissaire français j'étais chargé de la pénible opération de la délimitation de la nouvelle frontière, le président de la Commission allemande, général von Strantz, m'abordait un jour à Bussang, au pied du ballon d'Alsace, en me disant qu'il venait de Berlin, où il avait vu des officiers qui lui avaient parlé avec enthousiasme (c'était son expression) de mes procédés de reconnaissance à l'aide de la photographie, qu'ils avaient pratiqués pendant la guerre, devant Strasbourg et devant Paris.

J'apprenais ainsi, pour la première fois, non seulement que nos voisins, devenus nos ennemis, s'étaient occupés de la question, mais qu'ils y avaient trouvé un moyen d'information que j'eusse préféré ne pas avoir mis à leur disposition. Je cherchai aussitôt à savoir jusqu'à quel point ils étaient parvenus à en tirer parti, mais c'est seulement beaucoup plus tard que je fus mis à même de m'en rendre compte par des publications suffisamment explicites. Nous avions eu toutefois connaissance, M. Javary et moi, à la même époque, c'est-à-dire en 1871, des essais de levers topographiques effectués en 1868 aux environs de Freyburg (en Silésie), sous les auspices de l'état-major prussien, et les journaux français avaient reproduit des articles de la *Gazette d'Architecture* de Berlin annonçant que « le Dr Meydenbauer (qu'ils qualifiaient d'officier de l'armée prussienne) avait inventé une méthode et un appareil très portatif pour lever (les plans) par la photographie [1] ».

J'étais resté depuis sans informations quand, en 1884, je recevais de Berlin deux intéressantes communications du Dr Guido Hauck, dont la seconde surtout contenait une allusion très précise à l'influence de mes travaux sur le mouve-

---

[1] Cité dans le *Mémoire sur les applications de la photographie aux arts militaires*, de M. le Capitaine du Génie Javary; 1873.

ment qui s'était manifesté en Allemagne en faveur des applications de la photographie au lever des plans, à partir de 1865. Je ne saurais mieux faire, pour mettre le lecteur à même de juger de l'importance de cette révélation, que de reproduire le texte même du passage visé dans le principal Mémoire de M. Guido Hauck intitulé : *Neue Constructionen der Perspective und Photogrammetrie* (1) :

« Von *Beautemps-Beaupré*, 1835, in Anregung gebracht wurde die *Photogrammetrie* von Herrn *Laussedat* (d. Z. Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris) seit 1851 definitiv ausgebildet und mit entscheidenem Erfolge praktisch ausgeübt. Seine photogrammetrische Aufnahme von Paris erfuhr 1860 die günstigste Beurtheilung seitens der *Académie des Sciences*. In Deutschland wurden *Laussedats* grundlegende Arbeiten erst in Jahre 1865 durch einen Artikel Herrn *Girards* im *Photographischen Archiv* bekannt, woraufhin Herr *Meydenbauer* den Gegenstand aufgriff und unter Benützung der — im nämlichen Jahre in den Handel gekommenen, bis zu einem Bildwinkel von 90° noch central perspectivisch correct Zeichnenden — *weitwinkel* — *Linsen* (*Steinheil Periskop* und *Buschs Pantoskop*) die Methode praktisch ausübte und propagirte. Auch der *Grosse Generalstab* hatte dem Gegenstande von Anfang an seine besondere Aufmerksamkeit zugewendet und erzielte u. a. im Jahre 1870 mit seinem (ohne Zuthun *Meydenbauers*) ausgeführten Aufnahmen vorzügliche Resultate.

» Wesentliche Verdienste um die Methode namentlich in theoretischer Beziehung erwarb sich Herr *Jordan* welcher sich derselben bei der *Rohlfsschen* Expedition in der Libysche Wüste 1873-74 mit grossem Glück bediente (2). »

---

(1) Sonderabdruck aus Heft 1, Bd 95 des *Journals für die reine und andgewandte Mathematik*.

(2) Voici la traduction de cette citation :

« Indiquée (en principe) par *Beautemps-Beaupré* en 1835 (cette date est celle d'*Instructions* rédigées par Beautemps-Beaupré pour les officiers et les ingénieurs hydrographes qui faisaient partie de la mémorable expédition des corvettes l'*Astrolabe* et la *Zélée*, dirigée par Dumont-d'Ur-

Ainsi averti et malgré les assujettissantes obligations de mon service, je me mis de nouveau en quête et je ne tardai pas à recueillir des renseignements de plus en plus nombreux, non seulement sur ce qui se faisait en Allemagne, mais bientôt dans la plupart des pays de l'Europe, en Amérique et ailleurs. En France même, où le service du Génie s'était privé si maladroitement, comme on l'a vu, d'une ressource précieuse dont s'emparaient des rivaux mieux avisés, plusieurs personnes indépendantes, qui connaissaient nos publications et sous les yeux desquelles étaient tombées celles des étrangers, s'y étaient intéressées, avaient fait des essais satisfaisants, étaient venues me les communiquer, enfin m'offrir leurs services pour les recherches que j'avais entreprises. J'entrai, d'un autre côté, en relation avec plusieurs savants étrangers dont les travaux m'étaient signalés et qui

---

ville, de 1837 à 1840 ; mais Beautemps-Beaupré avait imaginé le procédé dont il s'agit en 1791, comme nous l'avons rappelé au Chapitre III), la *Photogrammétrie* fut, dès 1851, développée et rendue pratique avec un succès complet par M. *Laussedat* (actuellement Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers à Paris) ([a]). Son relevé photogrammétrique de Paris fut apprécié très favorablement en 1860 par l'*Académie des Sciences* ([b]). En Allemagne, les travaux fondamentaux de *Laussedat* ne furent connus qu'en 1865 par un article de M. *Girard* dans les *Archives photographiques* ([c]) ; M. Meydenbauer reprit alors le sujet, développa la méthode au point de vue pratique et la propagea ([d]), en se servant des objectifs grands angulaires (*Periskop de Steinheil* et *Pantoskop de Busch*) ([e]), qui se trouvaient, dès cette année, dans le commerce et permettaient d'obtenir des perspectives centrales correctes, d'une amplitude de 90°. Le *grand État-Major* avait aussi porté son attention, dès le début, sur cette question et il obtint, entre autres, des résultats excellents dans ses relevés faits en 1870 (sans la coopération de *Meydenbauer*).

» Des perfectionnements essentiels, principalement au point de vue théorique, ont été apportés à la méthode par M. *Jordan,* qui s'en servit avec un grand bonheur pendant l'expédition de Rohlf dans le désert de Libye en 1873-74 ([f]). »

([a]) Comparez les différents Mémoires de *Laussedat* dans le *Mémorial de l'Officier du Génie* depuis 1854. — ([b]) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. L, p. 1127 ; 1860. — ([c]) *Girard, Travaux de Laussedat sur l'emploi de la photographie dans les relevés de plans* (d'après le *Journal des Débats* et le *Bulletin de la Société française de Photographie*, mars 1865). — ([d]) *Meydenbauer*, « Sur l'emploi de la Photographie dans les relevés d'architecture et de terrain » (*Zeitschrift für Bauwesen*, 17e année, p. 61 à 66 ; 1867). — ([e]) *Remelé*, « Le Periskop de *Steinheil* et le Pantoskop de *E. Busch* ». Explication de Meydenbauer dans la *Deutsche Bauzeitung*, 16e année, p. 241-7 ; 1882. — ([f]) *Jordan*, « De l'emploi de la Photographie pour les relevés géométriques (photogrammétrie) (*Zeitschrift für Vermessungswesen*, t. 5, p. 1 ; 1876).

contribuaient à faire apprécier la méthode, soit en la pratiquant, soit par leurs publications. Je fus conduit ainsi à constater que plusieurs d'entre eux étaient parvenus à des résultats tout à fait remarquables parmi lesquels il y en avait même d'imprévus.

Je ne reproduirai pas ici les noms de ces collaborateurs bénévoles, dont j'ai donné une liste à peu près complète dans la préface du Tome I[er], à laquelle je dois cependant ajouter ceux de trois autres qui m'ont adressé plus récemment leurs ouvrages et des spécimens de leurs travaux : MM. Thilé, ingénieur topographe russe, Ciriaco de Iriarte et Leandro Navarro, ingénieurs agronomes espagnols.

On les retrouvera d'ailleurs cités à leur place dans ce quatrième chapitre que j'ai écrit avec un sentiment de vive reconnaissance pour tous ceux qui m'ont si puissamment aidé à prouver l'efficacité et la fécondité d'une méthode que j'avais eu le chagrin de voir tout d'abord dédaignée dans mon pays.

En me servant de cette expression de *fécondité de la méthode*, je n'ai voulu faire allusion ici qu'aux applications directes de la Photographie à la Topographie. Tout au plus, après ce qu'il a vu, dans le Chapitre III, des moyens employés pour exécuter des reconnaissances à de grandes distances, de ce que j'ai appelé la *Télémétrographie*, le lecteur a-t-il pu songer aux ressources analogues que procure la *Téléphotographie*, auxquelles il faudrait ajouter, toujours dans l'intérêt de l'art des reconnaissances topographiques, celles que fournissent les vues stéréoscopiques et les vues obtenues avec l'aide des ballons ou des cerfs-volants. Mais ce n'est pas tout et, sans vouloir entrer dans des détails scientifiques et techniques qui fourniraient la matière de plusieurs volumes, je serai cependant conduit à indiquer au passage d'autres applications d'un art véritablement universel qui se classent d'elles-mêmes dans la Métrophotographie.

Ainsi la Météorologie et l'Astronomie ont déjà employé et emploieront de plus en plus des méthodes qui se rattachent à notre sujet. L'Architecture, toutes les branches de l'art de

l'ingénieur civil ou militaire, la Balistique, la Chronophotographie, la Science du mouvement en général, sont dans le même cas. La Chirurgie elle-même, grâce à la Radiographie, y a eu recours et en a tiré un parti précieux.

Je le répète, mon intention ne saurait être de traiter une matière aussi vaste, qui m'éloignerait trop du but que je me suis proposé; mais, dans le nombre des questions soulevées et dont la solution est plus ou moins avancée, il y en a de très nettes, qui ont les plus grandes analogies avec celles qui nous sont familières et que j'ai cru devoir, pour cela, faire entrer dans mon programme.

Je ferai d'ailleurs tout ce qui dépendra de moi pour que ce programme ne soit pas trop chargé, et je préviens même les lecteurs qui connaîtraient la bibliographie déjà considérable de la Métrophotographie que je me suis attaché, je pourrais dire *résigné*, à ne reproduire parmi les questions nouvelles traitées par tant d'auteurs que celles dont il m'a semblé que l'art de lever les plans devait tirer des avantages immédiats.

Une sélection semblable a d'ailleurs été déjà faite, indépendamment, par plusieurs personnes. Pendant que, cherchant à renouer la chaîne des temps, je composais mon premier Volume consacré à l'histoire générale de la Topographie, avant l'invention de la Photographie, puis la première Partie de ce second Volume qui contient tout ce qui se rapporte aux origines de la Métrophotographie en France, deux auteurs de langue anglaise, l'arpenteur général du Canada M. E. Deville, et M. J.-A. Flemer, assistant du *Coast and geodetic Survey* des États-Unis, puis les deux ingénieurs agronomes espagnols, que je viens de nommer, MM. de Iriarte et Navarro, s'acquittaient de cette tâche avec beaucoup de tact et d'impartialité. La même tentative de synthèse a été faite dans plusieurs ouvrages allemands, italiens et russes et, dans tous les cas, leurs auteurs ont indiqué ce qu'il fallait pour guider les opérateurs en même temps qu'ils apportaient de nouveaux et précieux matériaux pour la construction de l'édifice. L'un d'eux, M. le professeur Doležal, de Vienne, en résumant depuis plusieurs années, dans l'*Annuaire Photographique* du Dr Eder, les travaux métrophotographiques poursuivis dans

tous les pays du monde, a rendu beaucoup plus faciles à tous des recherches qui exigent toujours un temps considérable.

En terminant cet Avertissement, on nous permettra sans doute de nous féliciter de la tendance générale qui se manifeste partout à grouper en un corps de doctrine les idées heureuses suggérées à un très grand nombre de chercheurs par le désir en quelque sorte irrésistible de mettre à profit les propriétés inépuisables de ce que je demande la permission d'appeler la *perspective naturelle*, si merveilleusement servie aujourd'hui par la Photographie.

## COUP D'ŒIL RÉTROSPECTIF SUR L'HISTOIRE DE LA MÉTROPHOTOGRAPHIE.

### I. — *En Allemagne.*

Le Chapitre précédent contient l'historique détaillé des tentatives faites en France depuis la fin du XVIII^e^ siècle jusqu'en 1871 pour faire servir à la construction des plans les vues de paysages ou de monuments (en Égypte notamment) dessinées à main levée, à la chambre noire, plus tard à la chambre claire et enfin obtenus à l'aide de la Photographie.

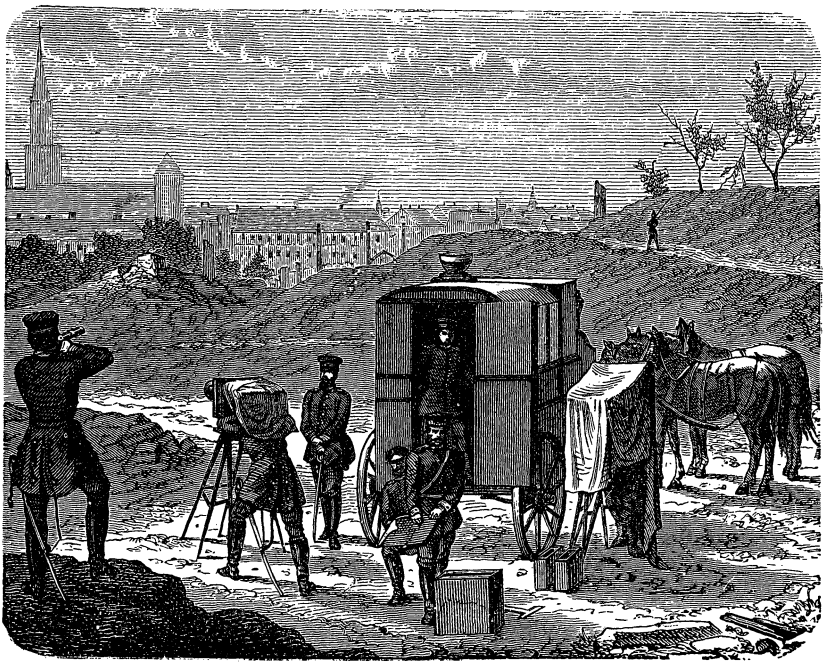
Nous nous occuperons, dans celui-ci, des progrès accomplis dans le même ordre d'idées dans différents pays, depuis cette époque jusqu'à présent. Pour la France, le lecteur se rappellera sans doute qu'à partir de 1871 et, malgré le succès croissant de la nouvelle méthode, d'invincibles préjugés — ignorance chez les uns, obstruction passionnée chez les autres, — lui avaient fait subir une éclipse totale dans le corps même où elle avait pris naissance. Au contraire, les étrangers, dont l'attention avait été éveillée par la presse française (1), commençaient, dès 1865, à s'y intéresser, et après des tâtonnements plus ou moins longs, plus ou moins heureux, finissaient, en général, par l'adopter, les uns à peu près sans modifications

(1) Principalement par un article de M. Aimé Girard dans le *Journal des Débats* et par un autre paru également en 1865 dans le *Bulletin de la Société française de Photographie* et reproduit aussitôt dans les *Photographischen Archiv* de Berlin (*Voyez* plus haut, pp. 3 et 4).

appréciables, d'autres en y apportant d'intéressants perfectionnements que nous nous faisons un devoir et que nous sommes heureux de signaler dans ce quatrième et dernier Chapitre.

C'est en Allemagne que nos expériences furent répétées,

Fig. 1.



Le Détachement photographique prussien devant Strasbourg (1870).

tout d'abord par un architecte, puis successivement par des militaires et par des professeurs. Commencés en 1866 et en 1867, ces essais étaient encore peu avancés en 1870, et cependant la *photogrammétrie* (on sait que c'est le nom sous lequel les auteurs allemands ont désigné le nouveau procédé) joua un certain rôle aux sièges de Strasbourg et de Paris (1).

(1) On peut consulter, à ce sujet, la brochure très documentée de M. le Dr R. DOERGENS, intitulée : *Ueber Photogrammetrie und über die Thätigkeit des Feld-Photographie Detachments im Kriege* 1870-71 (Weimar, K. Schwier; 1897) et l'Ouvrage suivant : *Die Anwendung der Photographie*

Les ressources dont disposaient les opérateurs étaient dès lors incomparablement supérieures à celles que l'on avait accordées, très parcimonieusement, à notre unique brigade Javary-Galibardy qui, en dépit de l'excellent usage qu'elle en avait su faire pendant sept ans, de 1863 à 1870, en était privée en 1871, *sous prétexte d'économie.*

Le promoteur des essais entrepris en Allemagne, le Dr Meydenbauer, inspecteur et depuis conseiller intime des bâtiments (*Geheimer Baurath*), eut plusieurs disciples, dont deux au moins utilisèrent en 1873 et années suivantes la photogrammétrie dans des explorations lointaines, l'un, le Dr Stolze, en Perse, avec la mission épigraphique et archéologique de E.-C. Andréas (1), et l'autre, le professeur Dr W. Jordan, en Libye, où il accompagnait Gehrard Rohlf et était assisté par le photographe Remelé (2).

Quant au Dr Meydenbauer lui-même, il ne tardait pas à abandonner la Topographie proprement dite pour créer, en 1883, à Berlin, grâce à la protection éclairée du Dr von Gossler, ministre des cultes, un *Institut photogrammétrique* exclusivement consacré à la restitution géométrique des vues des monuments publics du royaume de Prusse et des pays annexés. [En 1896, 4000 épreuves négatives sur verre avaient déjà été obtenues et utilisées dans ce but et, à la même époque, Meydenbauer publiait un Ouvrage intitulé : *Archives monumentales* (*Das Denkmäler Archiv*)].

Nous citerons plus loin les principales publications faites en Allemagne, qui sont parvenues à notre connaissance, en insistant particulièrement sur les travaux de quelques-uns de leurs auteurs, de MM. Guido Hauck, Jordan, Vogel et C. Koppe, entre autres, qui ont beaucoup contribué aux progrès de la métrophotographie et de ses applications. Mais,

---

*zu militarischen Zwecken* bearbeitet von KIESLING, premier Lieutenant (a. D. Halle. a. S., Wilhelm Knapp, 1896), dont nous extrayons le dessin ci-dessus.

(1) *Persepolis,* etc., zwei Bände (Berlin, Verlag von Asher und Cᵉ; 1882).

(2) *Zeitschrift zur Vermessungwesen,* 1876, *Ueber die Verwerthung der Photographie zu geometrischen Aufnahmen* (*Photogrammetrie*) *mit einer photogrammetrischen Aufnahme der Oasenstadt Gassr-Dachel in der libyschen Wüste* von Professor W. JORDAN.

malgré le grand nombre de ces travaux originaux dont plusieurs sont très recommandables, il n'a pas été publié jusqu'à présent, que nous sachions, de cartes topographiques importantes en Allemagne (1).

## II. — *En Italie.*

Dès 1863, le major Porro, récemment rentré en Italie (2) publiait, dans *Il Politecnico* de Milan, un Mémoire sur l'*application de la Photographie à la Géodésie*, cité précédemment (Chap. III, p. 27) dans lequel, après avoir mentionné nos travaux qu'il avait suivis à Paris, il proposait la chambre obscure de forme sphérique dont nous avons parlé. Mais personne, nous l'avons vu, n'y avait fait attention et n'avait songé à réaliser le rêve de Porro.

C'est seulement en 1875 qu'un jeune officier d'État-Major, M. Manzi Michele, se servant simplement d'une chambre obscure ordinaire, entreprit le premier en Italie de faire des levers topographiques, d'abord dans les Abruzzes et l'année suivante au Mont Cenis.

Les essais du lieutenant Manzi Michele eurent le sort ordinaire des nouveautés; on les critiqua presque sans les examiner, et il ne fallut pas moins que l'autorité du colonel (depuis général) Ferrero, mieux inspiré, pour obtenir qu'à partir de 1878 l'Institut géographique de l'armée, dont il devenait bientôt le directeur, s'intéressât à la question. Depuis cette

---

(1) M. E. Deville, l'arpenteur général du Canada, dont il sera souvent question plus loin, nous ayant signalé de belles cartes de pays de montagnes publiées par Giesecke et Devrient, de Leipzig, pour les clubs alpins allemand et autrichien, construites d'après les cartes d'État-Major, mais avec des détails topographiques obtenus à l'aide de vues photographiées par l'ingénieur topographe suisse S. Simon, nous avons demandé à l'auteur de nous en procurer des spécimens. M. Simon s'est empressé de nous les promettre et nous espérons, en conséquence, pouvoir en publier plus loin un extrait.

(2) Porro avait habité Paris pendant près de quinze ans et s'y était fait connaître, comme nous l'avons dit au Chapitre III, par plusieurs inventions ingénieuses, mais aussi par des tentatives d'exploitation industrielle qui avaient échoué et qu'il était allé recommencer en Italie.

époque, et en dépit de résistances latentes inévitables, grâce au talent et à l'énergie de l'ingénieur Paganini Pio, chargé de mettre la méthode phototopographique en pratique, celle-ci s'est honorablement maintenue en Italie. En faisant connaître les principaux résultats auxquels on y est parvenu, nous aurons l'occasion de rendre justice à l'initiative et à la persévérance de M. Paganini Pio, qui n'a pas cessé, depuis plus de vingt ans, d'améliorer la construction et l'emploi des instruments et d'indiquer tout le parti que l'on peut tirer de la méthode, à terre et même en mer, en présence des côtes (1).

### III. — *En Autriche-Hongrie.*

Dans aucun autre pays peut-être qu'en Autriche-Hongrie il n'a été fait autant d'efforts pour généraliser l'emploi de la Photographie dans le lever des plans et des cartes, en y adaptant des instruments dont les formes et les dimensions ont beaucoup varié, mais ont toujours été étudiées avec soin, pour répondre au but à atteindre, par différents constructeurs, et surtout par la maison Lechner (Wilhelm Muller, successeur), de Vienne, qui s'est faite en même temps l'éditeur de la plupart des Ouvrages publiés sur la Photogrammétrie, appelée aussi, nous l'avons vu, *Bildmesskunst* par les auteurs de langue allemande, expression que nous avons proposé depuis longtemps de traduire par le mot *Iconométrie*.

Les premières expériences de levers ou de reconnaissances topographiques en Autriche-Hongrie, à l'aide de la Photographie, ne datent pourtant que de 1887, et ne donnèrent tout d'abord que des résultats insuffisants : en Carinthie, où l'ingénieur Haffert eut néanmoins le mérite de les inaugurer, un peu plus satisfaisants dans le Tyrol, où l'ingénieur Maurer exécuta une reconnaissance pour laquelle on eût été bien embarrassé s'il eût fallu recourir aux anciens procédés.

Mais c'est seulement après les travaux décisifs exécutés

(1) Nous donnerons ci-après un spécimen des premiers travaux de M. Paganini Pio dont nous devons la communication à M. le général Ferrero, grâce à l'obligeante intervention, dès 1888, de notre ami regretté le professeur Govi.

dans la région de l'Arlberg (Tyrol) (1), sous le patronage de la direction des chemins de fer de l'État, par l'ingénieur en chef Vincenz Pollack, et à la suite d'une communication faite par ce dernier, le 17 mars 1891, à la Société de Géographie de Vienne, que la question fut en quelque sorte mise à l'ordre du jour dans tous les services intéressés. A partir de cette époque, en effet, le nombre des publications faites par les professeurs, les géologues, les ingénieurs de la voirie urbaine, des routes, des mines, des forêts, les militaires, les marins, les météorologistes, est devenu si considérable qu'il eût été difficile de se tenir au courant de ce mouvement sans les informations très nettes fournies périodiquement non seulement sur ce qui se passe en Autriche, mais dans tous les autres pays, par le professeur Doležal dans l'*Annuaire photographique* d'Eder (2).

---

(1) On trouvera plus loin une vue photographique de l'une des stations de Reichenstein avec un plan de ce site à l'échelle de $\frac{1}{25000}$.

(2) Depuis 1896, nous avons reçu, chaque année, de M. le professeur Doležal, les excellentes Notices publiées dans cet *Annuaire* (*Separat Abdruck aus Jahrbuch für Photographie and Reproduction technik für das Jahr...* von Hofrath Dr Josef-Maria Eder). En 1900, l'auteur nous a adressé en outre un exemplaire de la communication qu'il avait faite devant la Société pour la propagation des Sciences naturelles à Vienne (a), qui contient un exposé rapide et cependant saisissant et très documenté de l'histoire et de l'état actuel de la Photogrammétrie et de ses multiples applications : à la *Topographie*, à l'*Art de l'ingénieur*, à la *Météorologie*, aux *reconnaissances par ballons*, à la *Chronophotographie* et à la *Balistique*, à la *Navigation côtière* et à l'*Océanographie*, à l'*Astronomie*, à l'*Art monumental* et à l'*Archéologie*, enfin à la *science de l'explorateur*.

On nous permettra de citer sa conclusion et de nous y associer en remerciant l'auteur de toute sa bienveillance à notre égard et des efforts incessants qu'il fait pour éclairer ceux qui hésitent encore à reconnaître les précieux avantages d'une méthode qui ne tend pas moins à se généraliser.

« Die Photogrammetrie hat feste theoretische Grundlagen, ist wissenschaftlich ausgebildet, in ihrem Dienste stehen vorzügliche und erprobte Instrumente, und in vielen Gebieten des Wissens kann ihr unbestrittener Erfolg nicht abgesprochen werden.

« Die Raschheit der Operation, die Objectivität und Treue der Darstellung, die sie der Photographie und der Mathematik dankt, werden ihr die Wege eben in viele Zweige der Wissenschaft und werden ihr gleich ihrer Schwester, der Photographie, eine geachtete Stellung sichern. »

(a) *Ueber Photogrammetrie und ihre Anwendungen*, Vortrag gehalten den 31 Jänner 1900 von Eduard Doležal, O. ö., Professor an der K. K. Bergakademia in Leoben, Wien, 1900.

Nous nous bornerons nécessairement, dans les citations que nous ferons plus loin, à la description sommaire, et souvent même à la reproduction des figures des principaux instruments proposés, mais nous ferons connaître les solutions élégantes données par divers auteurs autrichiens, les professeurs Steiner, Franz Schiffner, le colonel baron Hübl, etc., à des problèmes de Photogrammétrie dont plusieurs sont nouveaux et fort intéressants. On trouvera d'ailleurs, dans la Bibliographie placée à la fin de ce Chapitre, l'indication de nombreux Ouvrages publiés depuis quelques années en Autriche-Hongrie, parmi lesquels plusieurs sont encore dus à M. le professeur Doležal.

## IV. — *États-Unis et Canada.*

La Photographie a fait, depuis longtemps, de grands progrès aux États-Unis, et d'importantes applications scientifiques et militaires y ont été entreprises plus tôt qu'en Europe (1). C'est ainsi que, pendant la guerre de la Sécession, les unionistes (réalisant un projet conçu mais aussitôt abandonné par les Français, à la vérité seulement à l'occasion de la très courte campagne d'Italie, en 1859, c'est-à-dire un an après la première expérience de Nadar), se servaient d'un ballon captif pour obtenir des vues suffisamment nettes et comprenant une grande étendue de terrain, pour se renseigner sur les mouvements de l'ennemi (sans leur avoir fait subir d'ailleurs aucune transformation) (2).

(1) En fait d'applications scientifiques, on sait que les premières épreuves photographiées de la Lune sont dues au savant américain Draper, et qu'après l'Anglais Warren de la Rue, les noms de Rutherfurd (de New-York), de Gould, de Pickering doivent être cités parmi ceux qui ont fait les plus importants travaux de Photographie céleste, ce qui ne doit faire oublier ni ceux des frères Henry, ni ceux de Janssen, de Lœwy, de Puiseux, de Deslandres, de la Baume Pluvinel, etc., en France.

(2) Comme nous n'aurons peut-être plus l'occasion de revenir sur ce sujet, nous donnons ici la traduction d'un passage de l'Ouvrage du lieutenant Henry A. Reed, dont il va être question ci-après :

« Pendant la guerre de la Sécession, des ballons captifs furent fréquemment employés pour obtenir des renseignements sur les pays environnants,

dans la région de l'Arlberg (Tyrol) (1), sous le patronage de la direction des chemins de fer de l'État, par l'ingénieur en chef Vincenz Pollack, et à la suite d'une communication faite par ce dernier, le 17 mars 1891, à la Société de Géographie de Vienne, que la question fut en quelque sorte mise à l'ordre du jour dans tous les services intéressés. A partir de cette époque, en effet, le nombre des publications faites par les professeurs, les géologues, les ingénieurs de la voirie urbaine, des routes, des mines, des forêts, les militaires, les marins, les météorologistes, est devenu si considérable qu'il eût été difficile de se tenir au courant de ce mouvement sans les informations très nettes fournies périodiquement non seulement sur ce qui se passe en Autriche, mais dans tous les autres pays, par le professeur Doležal dans l'*Annuaire photographique* d'Eder (2).

---

(1) On trouvera plus loin une vue photographique de l'une des stations de Reichenstein avec un plan de ce site à l'échelle de $\frac{1}{25000}$.

(2) Depuis 1896, nous avons reçu, chaque année, de M. le professeur Doležal, les excellentes Notices publiées dans cet *Annuaire* (*Separat Abdruck aus Jahrbuch für Photographie and Reproduction technik für das Jahr...* von Hofrath Dr Josef-Maria Eder). En 1900, l'auteur nous a adressé en outre un exemplaire de la communication qu'il avait faite devant la Société pour la propagation des Sciences naturelles à Vienne (a), qui contient un exposé rapide et cependant saisissant et très documenté de l'histoire et de l'état actuel de la Photogrammétrie et de ses multiples applications : à la *Topographie*, à l'*Art de l'ingénieur*, à la *Météorologie*, aux *reconnaissances par ballons*, à la *Chronophotographie* et à la *Balistique*, à la *Navigation côtière* et à l'*Océanographie*, à l'*Astronomie*, à l'*Art monumental* et à l'*Archéologie*, enfin à la *science de l'explorateur*.

On nous permettra de citer sa conclusion et de nous y associer en remerciant l'auteur de toute sa bienveillance à notre égard et des efforts incessants qu'il fait pour éclairer ceux qui hésitent encore à reconnaître les précieux avantages d'une méthode qui ne tend pas moins à se généraliser.

« Die Photogrammetrie hat feste theoretische Grundlagen, ist wissenschaftlich ausgebildet, in ihrem Dienste stehen vorzügliche und erprobte Instrumente, und in vielen Gebieten des Wissens kann ihr unbestrittener Erfolg nicht abgesprochen werden.

« Die Raschheit der Operation, die Objectivität und Treue der Darstellung, die sie der Photographie und der Mathematik dankt, werden ihr die Wege eben in viele Zweige der Wissenschaft und werden ihr gleich ihrer Schwester, der Photographie, eine geachtete Stellung sichern. »

(a) *Ueber Photogrammetrie und ihre Anwendungen*, Vortrag gehalten den 31 Jänner 1900 von Eduard Doležal, O. ö., Professor an der K. K. Bergakademia in Leoben, Wien, 1900.

Nous nous bornerons nécessairement, dans les citations que nous ferons plus loin, à la description sommaire, et souvent même à la reproduction des figures des principaux instruments proposés, mais nous ferons connaître les solutions élégantes données par divers auteurs autrichiens, les professeurs Steiner, Franz Schiffner, le colonel baron Hübl, etc., à des problèmes de Photogrammétrie dont plusieurs sont nouveaux et fort intéressants. On trouvera d'ailleurs, dans la Bibliographie placée à la fin de ce Chapitre, l'indication de nombreux Ouvrages publiés depuis quelques années en Autriche-Hongrie, parmi lesquels plusieurs sont encore dus à M. le professeur Doležal.

## IV. — *États-Unis et Canada.*

La Photographie a fait, depuis longtemps, de grands progrès aux États-Unis, et d'importantes applications scientifiques et militaires y ont été entreprises plus tôt qu'en Europe (1). C'est ainsi que, pendant la guerre de la Sécession, les unionistes (réalisant un projet conçu mais aussitôt abandonné par les Français, à la vérité seulement à l'occasion de la très courte campagne d'Italie, en 1859, c'est-à-dire un an après la première expérience de Nadar), se servaient d'un ballon captif pour obtenir des vues suffisamment nettes et comprenant une grande étendue de terrain, pour se renseigner sur les mouvements de l'ennemi (sans leur avoir fait subir d'ailleurs aucune transformation) (2).

(1) En fait d'applications scientifiques, on sait que les premières épreuves photographiées de la Lune sont dues au savant américain Draper, et qu'après l'Anglais Warren de la Rue, les noms de Rutherfurd (de New-York), de Gould, de Pickering doivent être cités parmi ceux qui ont fait les plus importants travaux de Photographie céleste, ce qui ne doit faire oublier ni ceux des frères Henry, ni ceux de Janssen, de Lœwy, de Puiseux, de Deslandres, de la Baume Pluvinel, etc., en France.

(2) Comme nous n'aurons peut-être plus l'occasion de revenir sur ce sujet, nous donnons ici la traduction d'un passage de l'Ouvrage du lieutenant Henry A. Reed, dont il va être question ci-après :

« Pendant la guerre de la Sécession, des ballons captifs furent fréquemment employés pour obtenir des renseignements sur les pays environnants,

Lors d'un voyage en Amérique, en 1886, et dans une visite faite à l'École militaire de West-Point, nous avions eu l'agréable surprise de rencontrer M. le lieutenant Henry-A. Reed, professeur de dessin géométrique, qui connaissait les principes de la méthode photographique et cherchait à les répandre parmi ses élèves. En 1888, cet officier publiait même un intéressant Ouvrage intitulé : *Photography applied to Surveying* et était bientôt imité par d'autres auteurs qui envisageaient comme lui en général la question au point de vue militaire. Cependant, malgré l'habileté avec laquelle nous savons que les Américains pratiquent la Photographie, la méthode était vraisemblablement considérée comme s'éloignant trop des usages ordinaires, et elle ne se propageait pas. Nous avions échoué nous-même en essayant de convaincre l'éminent major Powell, directeur du *Geological and topographical Survey*, du parti que l'on pourrait tirer des admirables épreuves prises par son service dans les Montagnes Rocheuses, le Colorado, le Yellowstone Park, etc., mais il nous avait aussitôt opposé la difficulté de modifier trop brusquement les habitudes de ses collaborateurs.

On rencontrait la même hésitation dans cet autre grand service du *Coast and Geodetic Survey*, où, grâce à l'exemple donné par les ingénieurs canadiens, on a cependant fini par se décider à recourir à la Photographie dans des circonstances où il fallut bien reconnaître que l'on ne parviendrait jamais à exécuter autrement les cartes dont on avait besoin pour opérer la délimitation de l'Alaska et de la Colombie britannique (1).

---

la position de l'ennemi, etc. En mai 1862, l'armée de l'Union en employa un devant Richmond, et l'on y parvint à photographier sur une seule plaque tout le pays entre Richmond et Manchester à l'ouest, et le Chickahoming à l'est; les rivières, les ruisseaux, les chemins de fer, les marais, les bois de pins, etc., s'y trouvaient représentés, ainsi que la disposition des troupes. Des épreuves étaient tirées des négatives; l'une d'elles restait entre les mains du chef de l'armée et une autre était remise à l'aéronaute. Des rectangles avaient été tracés sur toutes les deux en même nombre et avec la même disposition; des lettres de repère y avaient été inscrites; et, lors des ascensions subséquentes, les épreuves permettaient à l'aéronaute de donner des renseignements sur tous les événements de quelque importance qui se produisaient dans chaque rectangle, informations qui, dans plusieurs circonstances, furent reconnues très utiles. »

(1) Les détails les plus précis nous ont été donnés à ce sujet par M. E. DEVILLE et par M. J. A. FLEMER, assistant de l'*United States Coast*

C'est, en effet, au Canada que nous trouvons la métrophotographie mise en pratique d'une manière courante depuis 1888 et y réalisant des merveilles telles qu'il serait difficile à ceux qui ont pu s'en rendre compte de ne pas convenir des précieuses propriétés d'une méthode qui permet de surmonter les plus grands obstacles sans cesser d'être extrêmement expéditive et rigoureuse.

L'arpenteur général, M. le capitaine E. Deville, en introduisant cette méthode dans son service, n'a pas eu seulement le mérite de la rendre populaire au Canada et désormais dans toute l'Amérique du Nord; il a imaginé des procédés d'exécution qui en accroissent encore la rapidité et l'exactitude. L'Ouvrage très remarquable qu'il a publié sous le titre : *Photographic Surveying, including the elements of descriptive Geometry and perspective,* est devenu classique et a été déjà largement cité et traduit dans plusieurs langues par divers auteurs. Nous en emprunterons nous-même de nombreux passages qui renferment de très utiles enseignements.

---

*and geodetic Survey*. Ce dernier a publié un excellent résumé des travaux de ses devanciers sous le titre *Topography, phototopographic methods and instruments* (Washington, government printing office; 1898).

Nous ne saurions trop engager ceux qui sont familiarisés avec la langue anglaise à consulter cet excellent Ouvrage aussi bien que celui de M. E. Deville, dont nous donnons le titre ci-après, dans le texte. La brochure in-folio de 108 pages seulement de M. Flemer contient, en effet, un résumé très habilement présenté des méthodes originales, des instruments proposés et des innovations les plus heureuses introduites par les auteurs français, allemands, anglais et italiens.

Dans son introduction, M. Flemer, comme devait le faire en 1900 M. Doležal, ne manque pas de constater que la métrophotographie n'est pas seulement applicable à la *topographie*, mais aux *études géologiques :* ainsi les changements qui se produisent dans les glaciers, les éruptions volcaniques et leurs effets, les déplacements des dunes sous l'action des vents, etc.; aux *observations météorologiques :* hauteur et direction du mouvement des nuages, les éclairs et leur étendue, etc.; aux *levers hydrographiques :* détermination des positions des roches, des bouées, etc., vues des côtes, pour faciliter la navigation et notamment la détermination de la position des navires qui s'en approchent, etc.; aux *travaux des ingénieurs* pour suivre et estimer l'état d'avancement de ces travaux : excavation, construction, etc., à différentes dates; aux *études archéologiques :* construction des plans et des élévations d'anciens édifices, d'après les vues photographiques, dans le but de leur préservation ou de leur restauration; aux *reconnaissances militaires et secrètes,* etc.

## V. — *Suisse.*

On voyait à l'Exposition universelle de 1889, à Paris, un beau relief du massif de la Jungfrau, exécuté par l'ingénieur S. Simon qui y avait fait concourir, paraît-il, 2000 photographies. Quoique dans le si intéressant Ouvrage consacré à l'étude du projet du chemin de fer de la Jungfrau (1) et dans le Chapitre intitulé : *Expertise de M. S. Simon, ingénieur topographe*, il ne soit pas question des moyens employés pour dessiner l'Atlas qui accompagne cet Ouvrage, comprenant la carte de la Jungfrau et des glaciers environnants, à l'échelle de $\frac{1}{50000}$, avec courbes de niveau de 30$^{m}$ en 30$^{m}$, des profils à l'échelle de $\frac{1}{12500}$, de nombreux croquis et un panorama circulaire pris du sommet de la Jungfrau, il n'est pas douteux que la Photographie a joué le plus grand rôle dans l'exécution de ce magnifique travail (2).

On sait, d'un autre côté, que plusieurs savants ingénieurs suisses, le professeur major Becker, ingénieur topographe, le professeur Amrein, le colonel Fahrländer, à propos de la cartographie de leur pays, exprimaient dès 1889, dans un Congrès tenu à Paris, l'opinion qu'il conviendrait de prendre des mesures pour éviter les interminables revisions de la carte et les non moins interminables triangulations toujours jugées insuffisantes. Le major Becker était même allé jusqu'à proposer

---

(1) *Le projet de chemin de fer de la Jungfrau, examiné au point de vue scientifique, technique et financier* (Zurich, imp. Frédéric Schulthess; 1897). On pourrait aussi consulter à ce sujet les deux articles suivants : *Photogrammetrischen Studien und deren Verwerthung bei der Vorarbeiten für Jungfrau-bahn* (*Schweizerische Bauzeitung*, 1895, Bd XXXVI, n. 23, 24 und 25). — *Photogrammetrische Arbeiten für der Jungfrau-bahn* (ebenda Selbst, 1896, Bd XXXVIII, n. 11 und 12).

(2) Ceci était écrit et publié dans les *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, 3$^{e}$ série, tome III, juin 1901, quand, en réponse à une lettre que je lui avais adressée à cette occasion, j'ai reçu de M. Simon la confirmation de cette supposition dans les termes suivants : « Quant à mon relief de la Jungfrau au 10000$^{e}$, les renseignements que vous donnez sont exacts. J'ai fait plus tard encore un plan de la Jungfrau au 5000$^{e}$ basé sur la photogrammétrie. Ce plan a été dressé pour les études du chemin de fer de Trautweiler au sommet de la montagne. Les résultats obtenus étaient excellents. La construction des points était contrôlée par trois visées et j'avais le plaisir de constater que l'erreur moyenne ne dépassait pas 80$^{cm}$. » (Lettre en date du 30 juillet 1901.)

l'exécution d'un relief de la Suisse à l'échelle de $\frac{1}{25000}$ comme un témoin de la topographie actuelle de ce pays. Nous ignorons la suite qui a pu être donnée à un projet aussi considérable, mais nous nous croyons autorisé à supposer que l'essai si brillamment réalisé par M. S. Simon sur le massif de la Jungfrau, avec l'aide de la Photographie, a dû être répété pour d'autres parties de l'Oberland et pourrait bien se généraliser.

Nous devons cependant ajouter que le *Bureau topographique fédéral* a fait faire une expérience comparative de lever d'un même terrain en employant successivement la planchette et la chambre noire et que l'opérateur, M. Rosenmund, a conclu en faveur du premier de ces instruments (1). Mais il est permis de penser que ce jugement n'est pas sans appel; nous sommes absolument persuadé, pour notre compte, que le même opérateur, très exercé à l'usage de la planchette — ce qui explique tout d'abord sa préférence pour cet instrument, — arriverait à une autre conclusion, s'il prenait la peine de recommencer l'épreuve après s'être familiarisé davantage avec les inestimables propriétés géométriques des vues photographiées et avec le procédé, au fond si simple et si naturel, qui consiste à comparer rapidement deux vues d'un même site et à y reconnaître les mêmes points dans des positions relatives modifiées par la perspective (2).

---

(1) *Untersuchungen über der Anwendung des photogrammetrischen Verfahrens für topographische Aufnahmen* von M. ROSENMUND, ingénieur (Bern, Fritz Holler et Cie; 1896).

(2) Notre désir de voir la photographie jouer un rôle de plus en plus important en topographie ne doit pas nous empêcher de faire connaître les opinions de ceux qui, ayant sérieusement pratiqué la méthode, ont été conduits à faire des réserves que nous ne contestons pas pour la plupart, mais dont il ne faudrait pas exagérer la portée.

Ainsi, après avoir reproduit, dans une Note précédente, les renseignements si satisfaisants que nous tenions de M. l'ingénieur Simon, nous n'hésitons pas à dire que, dans la même lettre, cet habile opérateur, partisan déclaré de la photogrammétrie, justifiait les conclusions de M. Rosemund, son collègue au *Bureau topographique fédéral*, en affirmant que la méthode photographique exige beaucoup de temps et que, comparée au lever à la planchette, elle est avantageuse seulement lorsque l'on tient à avoir beaucoup de détails avec une entière exactitude.

Il ajoutait, et cela se rapporte à l'exécution des cartes pour les clubs alpins que nous avons mentionnées plus haut : « Au Tyrol, je me suis

## VI. — *Russie.*

Depuis plusieurs années, le gouvernement russe a fait entreprendre, par la méthode photogrammétrique, des levers d'une grande étendue pour les études de chemins de fer dans la Transbaïkalie, dans la Transcaucasie, en Perse, avec l'agrément du Shah, et jusqu'au golfe Persique.

L'ingénieur topographe M. Thilé, qui en a été chargé par le prince Hilkoff, ministre des voies de communication, nous a donné les renseignements les plus circonstanciés et les plus intéressants sur sa manière d'opérer. Il nous a fait connaître également les excellents résultats auxquels il est arrivé, en particulier dans la Transbaïkalie où la rigueur du climat, la nature du terrain, l'absence de routes et des ressources les plus indispensables à la vie rendaient les opérations extraordinairement pénibles. M. Thilé a publié, en langue russe, un Ouvrage sur la métrophotographie (1) qu'il a enseignée aussi à l'École des Ingénieurs des voies de communication. Il a formé des élèves qui l'ont aidé dans ses travaux. La carte construite

---

servi de nouveau de la photogrammétrie. J'y ai fait, pendant six années, à peu près 600 ascensions. J'ai étudié d'abord les montagnes de l'Oezthal et du Stubaï, plus tard une grande partie des montagnes dolomitiques (Schlern, Rosengartein, Geissler-Spitzen, etc.). » Pour ces dernières, où il y a beaucoup de vallées étroites, la planchette est décidément préférable. « Mais pourtant, ajoute M. Simon, malgré la planchette et la difficulté du transport de deux instruments, je me suis servi d'une grande quantité de vues photographiques prises avec un appareil de précision du format ($18 \times 24$) suffisamment léger. »

« Le nombre des vues dont j'ai fait usage pour la construction de mes cartes au Tyrol est de 3678. » Et comme conclusion, M. Simon estime que la photogrammétrie peut être employée avantageusement aux échelles du 10000e et au-dessus et qu'elle donne des résultats excellents partout où le terrain n'est pas trop coupé. Sauf sur ce point que la méthode photographique semblerait toujours exiger beaucoup de temps, nous sommes de l'avis de M. Simon et nous souhaitons que ses collègues du *Bureau topographique fédéral* suivent son exemple.

(1) Il n'est pas le seul et nous avons reçu, par son intermédiaire, d'autres ouvrages en langue russe dont nous espérons bien tirer parti quand nous aurons pu les faire traduire. M. Thilé nous a envoyé récemment un Mémoire dans lequel il expose la manière d'utiliser les vues prises en ballon dans les pays peu accidentés (mai 1901).

pour l'étude du chemin de fer transbaïkal sur la frontière de Chine figurait à l'Exposition universelle de 1900.

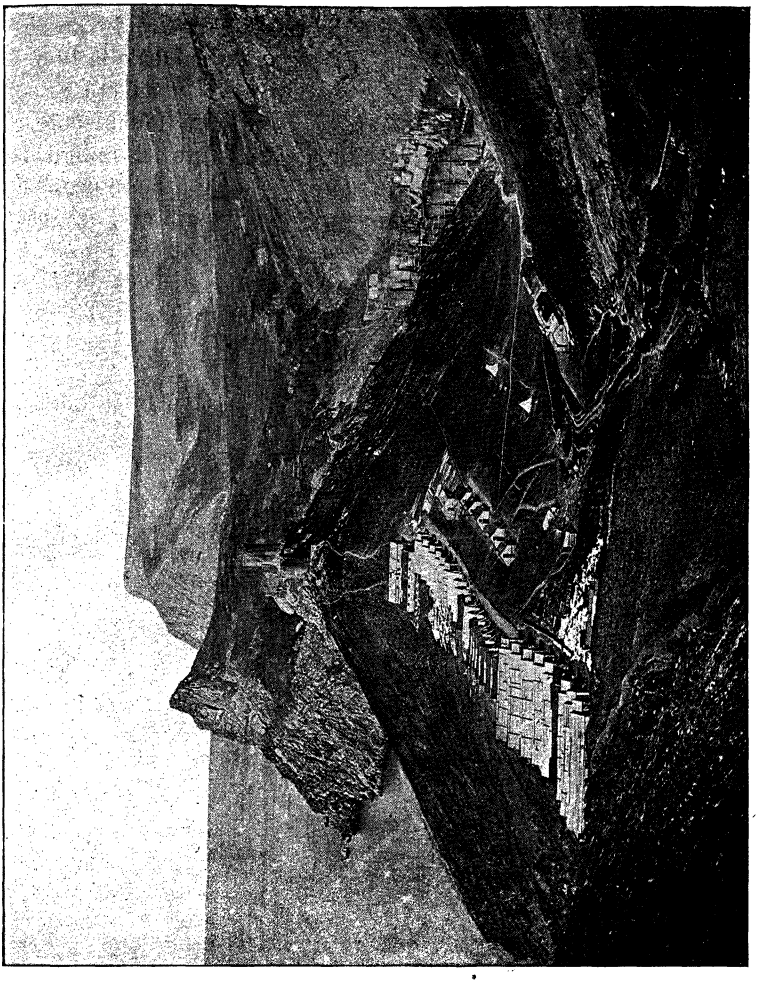


Fig. 2. — Vue de Balaklava prise en 1854.

Si la place ne nous fait pas défaut, nous en donnerons une réduction à la fin de ce Chapitre et nous y joindrons un spécimen des beaux clichés obtenus sur pellicule par M. Thilé et qui ont servi à la construction de cette carte.

## VII. — *Angleterre et colonies anglaises.*

Nous avons rappelé, dans une note du Chapitre Ier de ce travail (tome Ier, Chap. I, page 241), que l'emploi de la Photographie dans les reconnaissances militaires avait été proposé en Angleterre, dès l'année 1869, par le lieutenant-colonel J. Baillie, mais en même temps que l'autorité militaire n'avait donné aucune attention, aucune suite à cette proposition (1). D'autres officiers ont repris la question en l'envisageant toujours, naturellement, au point de vue des applications militaires, et il est probable que des résultats à la fois curieux et utiles ont pu être obtenus dans un ordre d'idées qui ne se prête pas à la publicité (2). Quant à des applications de la Photographie à des levers réguliers de plans, il ne paraît pas qu'il en ait été fait jusqu'à présent de bien importantes en

---

(1) Dans une note postérieure (tome II, Chap. III, p. 17), nous avons également rappelé qu'un service photographique avait été organisé par les Anglais et avait fonctionné pendant toute la durée du siège de Sébastopol; que la Photographie avait été enseignée, dès cette époque, dans les écoles militaires, enfin que les ressources qu'offre cet art avaient été utilisées dans les campagnes ultérieures, mais toujours exclusivement au point de vue pittoresque, et c'est pourquoi nous n'avons pas à insister ici sur ce sujet. Nous croyons toutefois devoir donner, à titre de renseignement historique, un spécimen des photographies prises en Crimée en 1854, dont nous devons la communication à l'obligeance de M. le Dr Barthélemy, qui en possède un atlas de 36 planches.

(2) Dans une brochure publiée en 1891 sous le titre : *Military Photography* (London, Iliffe and Son), l'auteur, M. Owen E. Wheeler, ancien capitaine, se livre à des considérations sur la manière d'opérer des reconnaissances à l'étranger et de dérouter la surveillance en employant des appareils dans lesquels se trouve disposé un prisme qui permet de prendre des vues d'un fort, par exemple, en pointant l'appareil dans une tout autre direction (à angle droit). Il continue en rappelant un fait qui vaut la peine d'être signalé ici, et nous croyons même qu'il convient de reproduire textuellement en anglais le passage qui s'y rapporte : « In which connection it may be instructive to recall a little story which was going the round of the papers some months ago in reference to a certain German lady who used to wheel her child about a certain French town in a preambulator, the said child being a carefully contrived dummy fitted with an ingenious apparatus for taking photographs at the will of the officer in petticoats by whom the preambulator was propelled. Such and so various are the little dodges by which the *smart* military can sensibly increase the value of Photography as applied to the purposes at his own profession. »

Angleterre, mais nous avons vu que le Canada n'avait pas attendu que l'exemple lui vînt de la métropole, et il est sûrement intéressant aussi de savoir que la métrophotographie a été étudiée et est sans doute pratiquée aujourd'hui en Australie et jusque dans la Nouvelle-Zélande.

Ainsi, nous avons reçu de ce dernier pays et de l'auteur, M. George Heimbrod, un Mémoire publié en 1895, dans lequel sont exposés les éléments de la méthode (1), et nous avons trouvé, d'un autre côté, dans *The australian Photographic Journal* du 20 juillet 1896, un Mémoire de l'astronome du gouvernement, à Victoria, M. Pietro Barrachi, sur la *Phototopographie*, où, après un exposé historique assez détaillé, l'auteur

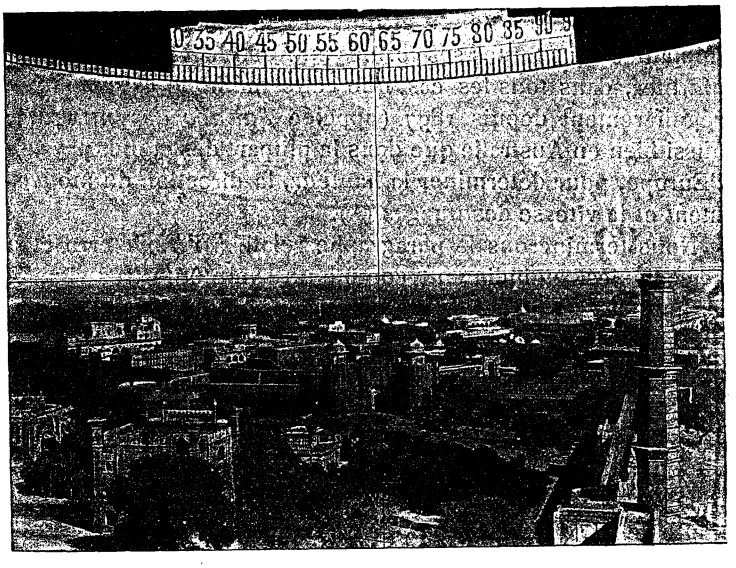



Fig. 3. — Vue de Lahore.

rapporte que la question a été examinée à Victoria depuis plusieurs années déjà et que de nombreuses autorités, parmi

(1) *The application of Photography to Topographic surveying* dans *The N. Z. Surveyor, The Journal of the New-Zealand Institute of Surveyors*. Dunedin, Stone, son and C°.

lesquelles il cite M. James Stirling, du Département géologique, M. A. C. Mac Donald, président de la section de l'Association Australasienne pour l'avancement des Sciences, et plusieurs autres membres de cette Association avaient proposé formellement l'emploi de la Photographie pour lever les plans en Australie et provoqué la nomination d'une Commission chargée d'indiquer les moyens d'exécution. Cependant, à cette époque, rien n'avait encore été fait, et c'est dans le but d'appeler de nouveau l'attention sur ce sujet que l'auteur avait rédigé son Mémoire et l'avait présenté à un Congrès photographique tenu à Victoria.

Nous sommes autorisé, d'après les renseignements que nous avons reçus plus récemment, à croire que cet appel du savant astronome a été entendu et que la métrophotographie s'est implantée sous toutes ses formes en Australie. Nous pouvons affirmer, dans tous les cas, que cette méthode est employée régulièrement depuis 1897 (appelée *l'année des nuages*), aussi bien en Australie que dans la plupart des grands pays de l'Europe, pour déterminer la hauteur, la direction du mouvement et la vitesse des nuages (1).

Nous terminerons le paragraphe relatif à l'Angleterre et à ses colonies, en indiquant comme un symptôme très significatif de la préoccupation de nos voisins, en faveur de la Photographie appliquée au lever des plans, la publication d'une récente et ingénieuse invention faite et d'abord utilisée dans l'Inde par M. Bridges-Lee, Esq., laquelle consiste à faire enregistrer photographiquement sur chacune des vues de paysages l'orientation magnétique de l'axe de l'épreuve. (Voyez le spécimen *fig.* 3.) En donnant plus loin la description du photothéodolite de M. Bridges-Lee, nous en ferons ressortir la très précieuse propriété (2).

---

(1) *Cloud observations in Victoria*, by P. BARRACHI, F. R. A. S., government Astronomer, Melbourne, read before *The australasian Association for the Advancement of Science*, January, 1898.

(2) *Description of the Bridges-Lee new patent photo-theodolite with full Instructions as to its manipulation in the field.* L. Casella, London, 1897.

## VIII. — *Espagne.*

On s'est intéressé en Espagne à la phototopographie depuis plus longtemps que dans les autres pays que nous venons de citer, car dès 1862 l'Académie des Sciences de Madrid mettait au concours cette question : « Quel est le meilleur procédé à employer pour appliquer la Photographie au lever des plans? »

Nous avons eu l'occasion de rappeler précédemment que notre Mémoire avait obtenu le seul prix décerné.

A la même époque, en 1863, un officier d'État-Major, le lieutenant-colonel Don Pedro de Zea, était envoyé à l'étranger pour y étudier les *applications de la Photographie au service militaire*. Le colonel Zea s'était acquitté de cette mission avec beaucoup de zèle (1); il avait examiné les divers instruments proposés à cette époque : notre chambre noire topographique construite par Brunner, la chambre panoramique de Sutton, la planchette photographique de Chevallier, et, malgré quelques critiques fort naturelles à cette époque, où le champ de notre appareil était en effet très réduit, il avait conclu en sa faveur.

Un savant ingénieur des mines, Don Juan Pié y Allué, a publié récemment une brochure qui contient un exposé succinct, mais très net, de la méthode photogrammétrique (2). Après avoir énuméré les principaux instruments proposés, il décrit l'appareil du commandant Legros, construit par M. Fleury-Hermagis, dont il s'est servi pour effectuer le lever d'un quartier de Pinar de Bédar (province d'Almeria), à l'échelle de $\frac{1}{1000}$, en se contentant de deux vues prises des extrémités d'une base mesurée de $93^m, 75$, qui lui ont permis de tracer sur le plan des courbes de niveau de $5^m$ en $5^m$. C'est très probablement la première expérience précise qui ait été

(1) P. DE ZEA, commandante E. M., *Aplicaciones de la fotografia al servicio militar*. Madrid, 1863.

(2) *Fotogrametria ó Topografia fotografica*, por Don JUAN PIÉ Y ALLUÉ, ingeniero del Cuerpo nacional de minas, y miembro de la Associacion de ingenieros civiles de Francia. Madrid, imprenta de Enrique Teodoro, 1896.

faite en Espagne, et, quoiqu'elle n'ait embrassé qu'une faible étendue de terrain, elle n'a pas moins entraîné, dans l'esprit de l'opérateur, la conviction que la méthode devait être hautement recommandée. Aussi conclut-il en appelant, sur le procédé si simple et si rapide dont il s'agit, l'attention la plus sérieuse « des agriculteurs, des architectes et des ingénieurs en général, qui auraient de si fréquentes occasions de l'utiliser avantageusement, dans un pays accidenté comme l'Espagne ».

M. Pié y Allué termine en exprimant le vœu que l'*Institut géographique* de son pays substitue, partout où cela est praticable, la méthode photographique à celles qu'il emploie pour dresser les mappes cadastrales, lesquelles, dit-il, si l'on continue à en faire exclusivement usage, retarderont pendant plusieurs générations la juste répartition de l'impôt et les études des travaux publics.

Enfin, en 1899, paraissait à Madrid un Ouvrage remarquable sur la *Topographie photographique*, dû à deux ingénieurs agronomes, MM. Ciriaco de Iriarte et Leandro Navarro (1). Nous ne pourrions pas, dans cet aperçu rapide, donner une analyse suffisante d'un livre de 463 pages, avec Atlas de 26 grandes planches, qui se recommande par une connaissance complète des plus importantes publications faites dans tous les pays sur la Métrophotographie et par le choix judicieux qu'ont su y faire les auteurs des propriétés de la perspective et des moyens graphiques ou mécaniques mis en expérience ou proposés pour faciliter l'application de la théorie générale de la transformation des vues de paysages en plans topographiques nivelés.

Le lecteur qui aurait cet excellent Ouvrage à sa disposition y trouverait, après l'exposé détaillé de la méthode, la description des nombreux appareils proposés sous les noms de *photothéodolites, phototachéomètres, photogrammètres,* etc.,

(1) *Topografia fotografica ó sea aplicacion de la fotografia al levantamiento de planos* por los individuos del cuerpo de ingenieros agronomos CIRIACO DE IRIARTE y LEANDRO NAVARRO. (Madrid, Tipolitografia de Raoul Péant; 1899.)

des *perspectomètres* et des *perspectographes*, ainsi que deux exemples de levers topographiques, avec courbes de niveau et vues photographiques à l'appui, très expressifs, le tout terminé par un Index bibliographique étendu.

## IX. — Coup d'œil rétrospectif sur l'histoire de la métrophotographie (*Suite*).

### *En France.*

Le Dr Gustave Le Bon. — *Archéologie.*

Pendant la période d'activité que nous venons de signaler à l'étranger, de 1865 à l'époque actuelle, et sans oublier que, de 1863 à 1871, la brigade Javary-Galibardy accomplissait les expériences les plus concluantes, nos autres compatriotes ne sont pas tous restés indifférents. Plusieurs d'entre eux même se sont intéressés très sérieusement à la question. Nous nous bornerons toutefois à indiquer les noms de ceux qui ont publié des œuvres originales. Le premier que nous citerons comme l'un des plus anciens en date, et comme ayant pris une véritable initiative au milieu de l'apathie générale, est le savant voyageur Dr Gustave Le Bon. Chargé par le gouvernement français d'une exploration archéologique des monuments de l'Inde, M. le Dr Le Bon songea tout d'abord à se procurer des photographies des monuments, sans renoncer à en prendre lui-même d'autres au cours de ses voyages. Mais, après avoir cherché à se rendre compte du parti qu'il pourrait tirer des documents contenus dans les ouvrages déjà publiés: les dessins de Langlès, les plans, coupes, élévations des vingt-trois volumes de l'*Archæological Survey of India* d'une part, et, de l'autre, des nombreuses photographies existantes, il avait reconnu que l'identification des premiers et de ces dernières était laborieuse et peu satisfaisante. Il s'était demandé alors si, sans rien changer d'essentiel aux appareils photographiques ordinaires, il ne pourrait pas obtenir des *photographies de monuments sur lesquelles on pût faire ensuite exactement les mêmes études et mensurations que sur les monuments eux-mêmes.*

C'est ce problème que le Dr Le Bon a résolu d'une manière à la fois très simple et très ingénieuse et qu'il a complété en indiquant la méthode générale à laquelle doivent recourir les explorateurs lorsqu'ils veulent, en même temps, s'occuper de topographie et recueillir les éléments d'une carte d'itinéraire.

On trouve la description des procédés conseillés par le Dr Le Bon dans un livre publié en 1889 (1) et l'on peut voir, d'un autre côté, avec quel succès il les a appliqués lui-même dans son bel Ouvrage sur *les Civilisations de l'Inde* (2).

## X. — *Le commandant V. Legros. Explorateurs.*

En 1892, M. le commandant V. Legros, bien connu des photographes par son excellent traité de l'*Aristotypie*, publiait un Volume intitulé : ÉLÉMENTS DE PHOTOGRAMMÉTRIE, *application élémentaire de la Photographie à l'Architecture, à la Topographie, aux observations scientifiques et aux opérations militaires* (Paris, Société d'éditions scientifiques).

Dans cet Ouvrage, d'un style à la fois clair et élégant, M. le commandant Legros avouait qu'il avait été initié à la nouvelle méthode par les auteurs allemands et que c'était par eux qu'il avait connu nos travaux; il leur en était naturellement reconnaissant et critiquait doucement le Dr Le Bon de sa sévérité à l'égard de quelques-uns d'entre eux qui n'avaient pas toujours reconnu nettement les emprunts qu'ils nous avaient faits. Il constatait, d'un autre côté, l'indifférence de notre monde militaire officiel pour la Photogrammétrie et l'expliquait par « l'absence d'ouvrages élémentaires et par ce préjugé que, pour arriver à des résultats méritant la moindre confiance, il était indispensable de posséder des instruments horriblement dispendieux et impropres à tout autre objet ».

---

(1) *Les levers photographiques et la Photographie en voyage*, par le Dr GUSTAVE LE BON. 2 vol. in-18. Paris, Gauthier-Villars et fils; 1889.

(2) *Les Civilisations de l'Inde*, par le Dr GUSTAVE LE BON. 1 vol. grand in-4. Paris, Firmin-Didot et Cie; 1887.

C'est pour combler cette lacune et faire cesser le préjugé en question que M. le commandant Legros a composé son Livre, après avoir introduit de légères mais essentielles modifications dans la construction des appareils photographiques ordinaires, avec le concours d'un artiste de talent et de bonne volonté, M. Fleury-Hermagis.

La première Partie de l'Ouvrage du commandant Legros et la plus développée est consacrée à un exposé des principes de la perspective qui intéressent la Photogrammétrie. Dans la seconde, il précise l'objet du problème, indique la solution du Dr Le Bon, décrit sommairement le matériel et les procédés allemands et fait ensuite connaître l'instrument très simple qu'il recommande et la manière de l'employer.

Il termine par des généralités sur les opérations de la Photogrammétrie appliquée aux recherches expérimentales de Physiologie et par quelques considérations sur le *Rendu* appliqué à la Photographie et à la Photogrammétrie.

Il y a, dans cette œuvre, un ensemble de renseignements précis et d'observations ingénieuses dont plusieurs observateurs habiles ont été frappés et ont pu tirer un parti avantageux.

La propagande de M. le commandant Legros a sûrement contribué à ramener sur la méthode l'attention d'assez nombreux officiers, en particulier parmi ceux qui sont appelés à remplir le rôle d'explorateurs.

## XI. — *M. Édouard Monet. Règles hypsométriques.*

L'année suivante, en 1893, un Ingénieur civil distingué, M. Edouard Monet, dans un petit livre très suggestif (1), racontait qu'ayant été appelé à l'étranger pour l'étude et la rédaction d'un projet de chemin de fer, il avait été mis en relation avec un autre ingénieur qui lui apprit que la méthode photo-

(1) *Principes fondamentaux de photogrammétrie. Nouvelles solutions du problème d'altimétrie au moyen des règles hypsométriques,* par EDOUARD MONET, Ingénieur civil. Paris, Société d'éditions scientifiques; 1893.

grammétrique était couramment employée en Allemagne et en Italie et qui exprima sa surprise de l'indifférence de nos compatriotes pour ce procédé d'origine française.

« Notre curiosité fut piquée au vif, continue-t-il, et, de retour, nous nous sommes mis à l'étude de cette science qui nous a réservé d'agréables surprises; il en sera de même pour ceux qui voudront l'étudier; et nous nous estimerons heureux si cet opuscule, en même temps qu'il fera connaître les méthodes que nous proposons, peut servir à signaler son existence, à énumérer les principes sur lesquels elle repose, à faire prévoir les résultats que l'on en peut attendre et à indiquer les travaux de l'éminent savant à qui elle est due, ainsi que les Ouvrages de MM. Le Bon et Legros qui ont été nos premiers initiateurs.

» Combien serait-il désirable que les explorateurs pussent rapporter des photographies qui, en ne perdant rien de leur pittoresque, fussent *documentaires* et avec lesquelles on pût faire la carte des régions qu'ils ont parcourues.

» Tout le monde, ou à peu près, fait de la Photographie; tout le monde peut faire de la Photogrammétrie et, pour cela, il faut la vulgariser.

» C'est dans cet espoir que ce travail a été fait. »

La brochure de M. Monet est divisée en quatre Chapitres. Les deux premiers contiennent un exposé très simple et cependant très substantiel des principes fondamentaux de la Photogrammétrie. Les deux autres sont consacrés à la construction de petits instruments faciles à improviser (règles et équerres à coulisse) dits *hypsométriques*, dont il y a trois modèles et qui sont destinés à simplifier considérablement les opérations graphiques et numériques du nivellement.

Nous reviendrons plus loin sur cette ingénieuse invention qui mérite d'être prise en sérieuse considération et dont ceux qui l'utiliseront sauront sûrement beaucoup de gré à l'auteur (1).

---

(1) D'autres auteurs, notamment le colonel baron von Hübl, de l'armée autrichienne, ont proposé des instruments analogues dont nous indiquerons également le principe.

Jusqu'à présent, et en laissant de côté quelques reconnaissances plus ou moins étendues exécutées par des explorateurs, et sur lesquelles nous n'avons que des renseignements insuffisants, nous n'avons eu à citer, pour notre pays, que des publications, sans doute excellentes mais qui n'étaient accompagnées, sauf en ce qui concerne les monuments de l'Inde, par M. le Dr Le Bon, d'aucun exemple de travaux métrophotographiques.

## XII. — *MM. Joseph et Henri Vallot. Carte du mont Blanc.*

Nous arrivons donc, sans transition, à l'entreprise de beaucoup la plus considérable qui ait encore été faite en France pour utiliser la méthode : celle du lever de la carte du mont Blanc à l'échelle de $\frac{1}{20000}$, par MM. Joseph et Henri Vallot. Le savant naturaliste et physicien qui a créé, à l'altitude de 4 365m, un *observatoire météorologique, physique et glaciaire* si connu aujourd'hui par les travaux qui s'y exécutent depuis plus de douze ans, M. Joseph Vallot, a voulu, pour mieux faire connaître le théâtre de ses recherches, en avoir une carte à grande échelle plus complète et plus rigoureuse que celle du capitaine d'État-Major (depuis contrôleur de l'Armée) Mieulet, très remarquable cependant pour l'époque où elle avait été exécutée, c'est-à-dire eu égard aux conditions dans lesquelles opérait cet officier distingué (1). Il a été ainsi

(1) La minute de la carte du capitaine Mieulet, à l'échelle de $\frac{1}{40000}$, a été exécutée en 1862 et 1863, en se conformant aux instructions prescrites aux officiers d'État-Major, c'est-à-dire à l'aide d'une simple boussole à éclimètre, et en se guidant sur les signaux naturels ou artificiels correspondant aux sommets d'une triangulation qui descendait jusqu'au troisième ordre.

Ces instructions et l'instrument rudimentaire mis à la disposition des opérateurs supposaient, nous l'avons déjà vu, que ceux-ci étaient en possession des mappes du cadastre réduites à l'échelle de $\frac{1}{40000}$, et l'objet principal du travail de chacun d'eux était de figurer le relief du terrain par des courbes de niveau en partant des cotes calculées et inscrites sur la minute auprès des sommets triangulés.

Dans les pays de hautes montagnes, où les indications graphiques du

conduit à s'enquérir des méthodes plus perfectionnées et des nouveaux instruments dont il devait faire usage pour atteindre le but qu'il s'était proposé.

On trouve dans les *Annales de l'observatoire du mont Blanc* (tomes I, II et III) les détails les plus circonstanciés sur la marche adoptée pour donner à la carte en projet tout le degré de perfection que comporte l'échelle adoptée, sur l'emplacement et la mesure d'une base indépendante, l'exécution d'une triangulation également spéciale et son rattachement au réseau français et au réseau italien; enfin, sur la topographie de détail, les instruments choisis et le degré de précision qu'ils comportent, ainsi que sur l'état d'avancement des opérations à différentes dates.

Toute la partie géodésique de ces travaux est l'œuvre de M. Henri Vallot, ingénieur des Arts et Manufactures, parent de M. Joseph Vallot, et nous ne pouvons ici que féliciter ce dernier d'avoir rencontré si près de lui un auxiliaire des plus distingués et des plus compétents.

Quant à la topographie de détail, qui nous intéresse plus particulièrement, elle a réclamé l'attention et les efforts des deux savants collaborateurs, et l'expérience leur a démontré finalement qu'aucune des méthodes, aucun des instruments connus ne pouvait, dans les conditions où ils devaient opérer, remplacer la *chambre noire* et la *perspective plane verticale*.

Après avoir adopté tout d'abord la planchette pour la zone située au-dessous de 2000$^{m}$ et pressenti qu'il leur faudrait recourir à des vues panoramiques pour « rétablir sur le plan la continuité des formes de la nature », MM. Vallot avaient

---

cadastre étaient clairsemées et où les signaux naturels étaient souvent inaccessibles, le travail était pénible et le résultat s'en ressentait dans bien des cas. Sur les glaciers du mont Blanc et sur les aiguilles qui en émergeaient et qui avaient été choisies comme sommets de la triangulation, cette difficulté devenait insurmontable, et cependant l'ensemble du travail du capitaine Mieulet était relativement très satisfaisant et lui faisait le plus grand honneur. Nul doute que, s'il eût eu à sa disposition un peu plus de temps, des instruments plus parfaits et que, s'il eût pu recourir à la Photographie, avec son admirable flair de topographe il eût accompli un chef-d'œuvre définitif.

pensé à utiliser l'*orographe de Schrader,* qui sert, comme le *panoragraphe* de Puissant, à dessiner des vues panoramiques rayonnantes; mais ils avaient dû y renoncer pour plusieurs motifs. On nous permettra de citer le passage suivant de leur Mémoire sur l' « *application de la Photographie aux levés de détail de la carte du massif du mont Blanc, à l'échelle du* $\frac{1}{20000}$ (1), qui va plus loin et mérite une attention particulière, les réflexions qu'il renferme venant de deux personnes aussi expérimentées sur un théâtre où ils ont peu de rivaux.

« En second lieu, il convient de faire une remarque générale qui s'applique non seulement à l'orographe et à la planchette, mais aussi à tout instrument basé sur l'exécution du dessin sur le terrain même; cette exécution, qui se pratique aisément dans les conditions courantes et qui est encore acceptable jusqu'aux altitudes de 2500$^{m}$ à 3000$^{m}$, devient de plus en plus difficile et même impossible aux altitudes supérieures et sur les sommets escarpés des hautes pointes (2). Dans ces régions inhospitalières, tout concourt à réduire le temps dont dispose l'opérateur et à diminuer ses moyens physiques et ses facultés morales; la longueur des ascensions, la fatigue, les phénomènes physiologiques particuliers à la haute montagne, enfin l'obstacle, souvent absolu, qu'un vent persistant oppose aux travaux de cette nature.

» C'est en présence de ces difficultés que nous avons songé à utiliser les ressources si précieuses que la Photographie pouvait mettre à notre disposition. Vers la fin de 1892, nous avons été amenés, en vue de compléter certaines déterminations relatives aux aiguilles rouges de Chamonix, à consulter et à étudier une épreuve photographique obtenue au moyen d'un appareil ordinaire de 0$^{m}$,35 de foyer. Bien que cet

---

(1) *Annales de l'Observatoire météorologique du mont Blanc,* tome II, p. 214.

(2) Une expérience des plus concluantes, relative au lever d'un glacier d'une étendue de 2$^{km}$,5 sur 1$^{km}$, le *Karls-Eisfeld,* au N.-O. du *Dachstein,* dans les Alpes du Saltzkammergut, vient d'être faite par le colonel baron von Hübl. Elle met en évidence la grande utilité de la Photographie dans les régions glaciaires comprises entre 2000$^{m}$ et 3000$^{m}$ d'altitude.

appareil ne présentât aucune des dispositions requises pour un travail de précision, *nous fûmes frappés des renseignements nombreux qu'il était possible d'en tirer, et dès lors convaincus que la Photographie était appelée à jouer, dans le levé de détail de notre carte, un rôle important,* PEUT-ÊTRE MÊME PRÉPONDÉRANT. »

Nous avons souligné cette conclusion, qui est loin de nous surprendre, parce que c'est celle à laquelle sont arrivés tous ceux qui, n'ayant pas de parti pris, mais de bons yeux et l'esprit d'observation, ont regardé attentivement une photographie bien faite en cherchant à reconnaître, à reconstituer le terrain qu'elle représente.

MM. Vallot, pour justifier leur opinion, ont pris la peine de répondre aux objections anciennement faites à l'emploi des procédés photographiques. Ils croient pouvoir expliquer le peu de crédit dont ont joui ces procédés en France, par ce motif « *qu'ils étaient venus avant l'heure, à une époque où l'art de la Photographie n'était pas encore assez avancé pour donner des résultats pratiquement utilisables* ». Malgré la grande estime que nous avons pour les auteurs et pour leur clairvoyance habituelle, nous ne saurions admettre cette explication et nous pensons que nos lecteurs ne l'admettront pas plus que nous, car ils ont pu voir, au Chapitre III, toutes les phases par lesquelles a passé l'application de la Photographie au lever des plans, depuis les essais ébauchés avec un appareil ordinaire et sur des plaques albuminées qui nous avaient fait ajourner la photographie et conserver la chambre claire, jusqu'aux opérations très soignées et de plus en plus rapides faites de 1859 à 1871 par nous, par les officiers de la division de la garde impériale, enfin et surtout par la brigade Javary-Galibardy, sans oublier les merveilleuses épreuves obtenues, même antérieurement, sur papier ciré, par A. Civiale, dans les Alpes et dont nous avons donné un spécimen dans les *Annales* (t. II, Chap. III, *Pl. II*). Or c'est précisément à l'époque (1869) où les appareils et les méthodes photographiques, devenus les uns plus parfaits (accroissement de l'amplitude angulaire des vues sans déformation) et les

autres beaucoup plus simples et plus faciles à employer, c'est à l'époque, disons-nous, où ces résultats étaient obtenus et publiés que se produisaient les objections auxquelles MM. Vallot ont jugé à propos de répondre (1).

Nous ne l'avions pas fait nous-mêmes et nous n'avions pas voulu le faire, parce que nous savions que c'eût été peine perdue. Nous avions cru avec le philosophe grec que la meilleure manière de prouver le mouvement, c'était de marcher, ne prévoyant pas, à la vérité, que pour nous en empêcher on irait jusqu'à nous casser les jambes.

## XIII. — *Sur les véritables causes du temps d'arrêt de la Métrophotographie en France.*

Puisque nous sommes amenés à dire tout ce que nous pensons à ce sujet, en évitant d'ailleurs les récriminations inutiles, insistons sur ce point que l'art dont il s'agit exige, comme tous ceux qui méritent ce nom, une aptitude sans laquelle il vaut mieux ne pas essayer de le pratiquer. Citons, à ce propos, l'opinion de l'excellent arpenteur général du Canada, M. E. Deville, qui s'y connaît sans doute mieux que ceux qui n'ont jamais expérimenté la méthode ou qui, peut-être ayant voulu le faire, n'ont pas su bien s'y prendre. Après avoir déclaré que « *la construction de la carte se fait plus rapidement par ce procédé que par tout autre, grâce aux ressources inépuisables de la perspective que le topographe a à sa disposition :*

« Il ne faudrait cependant pas croire, ajoute-t-il, que tout lever entrepris par la photographie doit réussir, ou conclure d'un insuccès, après un premier essai, que la méthode est défectueuse. Le fait est qu'elle exige non seulement l'expérience, mais encore l'ensemble des qualités qui font un topographe accompli. Entièrement différente en cela des autres méthodes,

(1) Ces objections sont, en effet, tirées de l'Ouvrage intitulé : *Cours de Topographie et de Géodésie,* par J.-F. Salneuve, 4e édition, modifiée par Acolet Salneuve ; Paris, 1869.

elle ne lui met rien devant les yeux qui lui montre les progrès du lever et les lacunes qui peuvent y exister. Il n'a d'autres documents que ses plaques non révélées ; chaque fois qu'il en expose une, il doit se rendre compte de ce qu'elle peut fournir, des données qu'il y puisera, des constructions qu'il emploiera, des autres vues qui sont nécessaires et de la manière dont elles se combineront ensemble. Tous les topographes n'ont pas ces talents, et cependant ils sont indispensables. Il n'y a pas lieu pour cela de blâmer la méthode ; il faut seulement reconnaître qu'elle ne souffre pas la médiocrité. Convenablement appliquée, elle donne des résultats qui dépassent tout ce qu'on pourrait imaginer autrement. »

On ne saurait mieux dire et l'on trouve, dans ces quelques lignes d'une plume autorisée, l'explication la plus nette de l'injuste discrédit répandu chez nous sur une méthode qui devait être si hautement appréciée ailleurs. Celle-ci exigeant en effet un apprentissage et une certaine aptitude, en un mot un effort, il était plus aisé de s'en passer et de la critiquer que de l'étudier patiemment, de reconnaître alors le parti que l'on en pourrait tirer dans la plupart des cas et de pressentir qu'il s'en rencontrerait même où, les autres étant impraticables, elle devenait une ressource indispensable (1).

---

(1) Dans un Ouvrage important et très précieux par le grand nombre d'informations qu'il renferme, publié récemment par le Service géographique de l'armée (a), *l'application de la Photographie aux travaux topographiques*, sans être tout à fait proscrite comme par le passé, est encore appréciée assez dédaigneusement par l'auteur, ainsi qu'on peut le voir dans les deux passages suivants :

« Au total, on ne gagne rien, comme durée de travail, à prendre sur place des perspectives dont il faut ensuite extraire tous les éléments qu'on aurait pu se procurer directement par les méthodes habituelles ; *mais la solution recherchée n'est pas moins intéressante, en ce qu'elle donne la possibilité d'abréger le séjour sur le terrain lorsque les circonstances obligent à n'y passer que très peu de temps, comme cela peut arriver dans une région dont on fait une reconnaissance ou une exploration rapide, ou lorsque certaines raisons de climat forcent l'opérateur à écourter ses séances en plein air*, quitte à laisser subsister dans le travail des lacunes qu'on n'aura peut-être aucun moyen de combler plus tard.....
.....

(a) *La Carte de France, 1750-1898 Étude historique*, par le colonel Berthaud, chef de la Section topographique. 2 vol. grand in-4°. Imprimerie du Service géographique, MDCCCXCIX.

## XIV. — *A propos des difficultés qui ont peut-être contribué à entraver les progrès de la Métrophotographie en France.* (Suite.)

Ces dernières réflexions nous déterminent à revenir en quelques mots sur les difficultés qui peuvent arrêter les débutants pour les aider à les surmonter (1), convaincu que nous sommes, par une expérience très ancienne, que le nombre de ceux qui doivent renoncer absolument à employer la méthode, faute d'aptitude suffisante, est relativement faible. L'apprentissage, notamment en ce qui concerne le travail dans le bureau, peut, à la vérité, être plus ou moins long, et

---

» Les causes d'erreur de toute sorte, pour la plupart systématiques, en ce qui a trait d'abord à l'opération sur le terrain, puis au travail de cabinet, sont trop nombreuses et les erreurs probables d'un ordre trop élevé, pour qu'on puisse attendre de la méthode topographique une exactitude analogue à celle qu'on doit se proposer dans les levers régulièrement faits. La plupart du temps, le figuré des détails, qu'il faudrait dessiner en cheminant sur le terrain, ne peut être rendu, à moins de circonstances particulièrement favorables, telles que celle d'un versant découvert et disposé en amphithéâtre devant l'opérateur.

» On ne doit donc regarder l'emploi de la photographie que comme *un aide utilisable à l'occasion* et non comme un moyen appelé à *remplacer les méthodes régulières.* »

Il faudrait répondre ligne par ligne à ce réquisitoire (tempéré par l'aveu que nous relevons au milieu du premier paragraphe de cette citation), dont l'objet évident est de protéger les méthodes dites *régulières* auxquelles nous n'avons jamais eu la prétention de substituer celle que nous avons précisément proposée comme un auxiliaire singulièrement commode, par exemple, dans bien des cas et qui devient indispensable dans d'autres encore assez fréquents. Mais nous ne voulons, pas plus à présent qu'il y a trente ans, essayer de redresser des manières de voir évidemment encore empreintes de la méfiance dont l'emploi de la Photographie a eu tant de peine à se dégager, dans le monde militaire officiel, selon l'expression du commandant Legros, et nous préférons attendre du temps et de l'expérience qui se fait, lentement mais sûrement, avec le concours de bonnes volontés indépendantes, une reconnaissance plus complète des services que l'on est sans doute en droit d'attendre chez nous d'une méthode qui en a rendu et qui en rend de si importants, de si considérables dans d'autres pays, ainsi que nous l'avons déjà fait pressentir et comme nous le démontrerons encore ci-après.

(1) Parmi ceux qui, après avoir essayé d'employer la méthode, ont cru devoir y renoncer, — un peu trop tôt, — il y en a certainement qui eussent persévéré s'ils avaient pu recevoir quelques conseils d'opérateurs déjà exercés.

c'est dans le but d'en diminuer la durée que nous donnons les indications suivantes :

La première difficulté qu'ait à surmonter le topographe qui examine des vues de paysage pour les combiner deux à deux consiste, on le sait, à *identifier* des points bien définis du terrain sur les deux vues prises de stations différentes. Il peut arriver qu'il y ait incertitude et que l'on soit exposé à prendre un point pour un autre. Nous verrons que l'un des auteurs distingués dont nous utiliserons les travaux, M. le Dr Hauck, a donné, dans ce cas, un moyen de vérification précis des plus ingénieux (1).

Mais il y a un autre emploi de chacune des photographies dont l'opérateur a nécessairement beaucoup à se préoccuper, quand la planimétrie est achevée : c'est de découvrir sur les perspectives, où elles sont toujours altérées, les formes réelles, géométriques, du relief du terrain pour les traduire en courbes de niveau qui expriment conventionnellement ce relief. On n'y parvient complètement qu'après s'être beaucoup exercé et en recourant quelquefois, comme nous le verrons, à des propriétés de la perspective qui s'accusent surtout dans les hautes montagnes (2).

## XV. — *Vues stéréoscopiques destinées à faciliter l'étude des formes du terrain.*

Quand nous avons commencé à rechercher les véritables formes du terrain, d'après les perspectives, pour le lever de Buc, par exemple (Voir Tome II, *fig.* 38 et 39 et *Pl. XII*) (3), nous nous servions d'une large loupe à travers laquelle nous

---

(1) Le théorème sur lequel est fondé ce procédé de vérification et la marche à suivre pour l'appliquer seront exposés dans un assez prochain paragraphe de ce Chapitre.

(2) Ces propriétés ont été signalées et mises à profit en premier lieu par M. E. Deville. On en trouvera l'exposé un peu plus loin.

(3) Nous ne pouvons que regretter sur la *Pl. XII* l'insuffisance de la reproduction des photographies et surtout celle du plan original de Buc et des environs, sur lequel les courbes de niveau figuraient très nettement et avaient été tracées avec le plus grand soin.

tâchions, indépendamment de l'effet du grossissement qui nous aidait à mieux apercevoir les détails, de provoquer, par la vision binoculaire, celui d'un relief un peu plus accusé. Ce moyen était nécessairement très imparfait, mais on ne pouvait pas songer, à cette époque, à prendre, de toutes les stations, en déplaçant l'appareil, des vues stéréoscopiques qui eussent doublé le nombre des plaques et celui des opérations. Nous avions cependant reconnu bien souvent, en examinant au stéréoscope des vues de paysages accidentés prises dans le commerce, le grand avantage qu'il y aurait à profiter de ces effets du relief.

Aujourd'hui que l'emploi des jumelles photographiques est devenu si général, il est tout naturel de penser à se servir des vues stéréoscopiques qu'elles fournissent pour aider les topographes peu expérimentés et même les autres à bien distinguer les différents plans du paysage et à mieux définir des formes qui, plaquées les unes sur les autres, demeurent un peu indécises.

Mais il y a plus, et l'on est parvenu à rendre ces effets du relief encore plus saisissants et à permettre des évaluations précieuses en traçant, sur les vues stéréoscopiques, des *échelles de distances* au moyen desquelles on estime non seulement les profondeurs des plans successifs, mais les distances, à la station, des différents objets représentés sur les deux vues.

Cette idée d'*échelles aériennes de distances* a été suggérée en 1893 à la maison Carl Zeiss, d'Iéna, par un ingénieur de Charlottenburg, M. Hector Grousilliers, pour être appliquée au téléstéréoscope de Helmholtz (1) ; elle a été réalisée très habilement par M. le Dr Pulfrich qui, dans le but de faire toucher du doigt la portée de cette invention, avait fait mettre à

(1) Le téléstéréoscope a pris la forme d'une jumelle dans laquelle les axes des objectifs sont écartés généralement de $0^m,50$ (quelquefois plus), par un artifice analogue à celui des jumelles de Porro, ce qui, avec le grossissement de 8 fois, par exemple, augmente beaucoup la précision des évaluations. Si G est le grossissement, E l'écartement des axes des objectifs et $e$ celui des yeux, de $0^m,65$ environ, $G \times \frac{E}{e}$ est ce que l'on appelle l'*effet du relief total* égal à 62, dans le cas considéré.

la disposition du public, à l'Exposition universelle de 1900, des exemplaires de deux vues stéréoscopiques dont la maison Zeiss nous a autorisé à donner ici une reproduction (*Pl. I*) (1).

Nous ne conseillerons pas, toutefois, l'emploi exclusif de la jumelle photographique — à moins de circonstances particulières et après avoir étudié avec soin les moyens de lui donner la précision nécessaire, — mais nous pensons que des vues stéréoscopiques, obtenues accessoirement avec l'un de ces instruments si répandus et si portatifs, à certaines stations où l'on craindrait de ne pas bien distinguer les accidents multipliés du terrain sur une épreuve unique, pourraient être, dans bien des cas, d'un grand secours.

Nous n'insisterons pas, en ce moment, sur un sujet qui mérite, à coup sûr, l'attention des topographes, parce que nous espérons bien trouver une occasion de le traiter encore avec plus de détails.

## XVI. — *Quelques autres renseignements recueillis sur les travaux de Métrophotographie, entrepris ou projetés en divers pays.*

Nous ne saurions omettre, à propos des autres travaux de Métrophotographie entrepris ou projetés aujourd'hui un peu partout, de dire que ceux de MM. Vallot, dont nous connaissons les origines, se poursuivent avec activité et un plein succès. Nous devons ajouter que ces deux savants opérateurs ayant voulu faire usage d'un instrument analogue à l'un de ceux que nous avons proposés et décrits au Chapitre III ont reconnu que, dans les conditions tout à fait particulières dans lesquelles ils se trouvaient, cet instrument ne présentait pas toutes les garanties de stabilité désirables. Comme beaucoup d'autres, ils en ont fait construire un tout à fait approprié à leurs besoins, et ils s'en sont bien trouvés. Nous décrirons plus

(1) Nous publions, dès à présent, cet excellent spécimen que le lecteur peut détacher et placer dans un stéréoscope. Nous donnerons d'autres explications sur ce sujet dans un paragraphe suivant.

loin l'appareil de MM. Vallot rapproché de ceux de quelques-uns des principaux auteurs que nous devons citer (1).

Nous signalerons encore, en France, l'essai fait sous les auspices de la Commission extraparlementaire du cadastre, par M. Gaultier, pour appliquer la Photographie au lever des plans parcellaires. Le lecteur qui voudrait connaître les résultats des expériences faites jusqu'à présent les trouveraient consignés dans les *Procès-verbaux* de cette Commission, fascicule n° 6, pages 26 à 32 (2). Nous aurons d'ailleurs l'occasion de revenir sur la question de l'opportunité de cette application délicate, et nous donnerons aussi une vue d'ensemble du photothéodolite, très bien construit, de M. Gaultier, qui figurait à l'Exposition de 1900.

Un explorateur français, M. Rousson, a fait, de son côté, construire un appareil qu'il a désigné sous le nom de *photogrammètre*, mais qui pourrait tout aussi bien être qualifié de *photothéodolite*, car il comporte tous les organes des instruments les plus complets (3). M. Rousson s'est attaché seulement à en réduire le format pour le rendre plus portatif et le mettre à la portée des explorateurs. Il s'est arrêté, pour le modèle qui leur est destiné, aux plaques de $6\frac{1}{2} \times 9$. Nous ignorons l'usage qu'en a pu faire son auteur lui-même, auquel nous avions donné tous les renseignements qu'il avait bien voulu nous demander. Il en a été de même, il faut bien l'a-

---

(1) On aura ainsi, sans que nous puissions les reproduire tous, une idée de la variété de modèles d'appareils exécutés jusqu'à ce jour, sans que l'imagination des inventeurs soit épuisée.

(2) Il y trouverait une réponse catégorique à cette assertion un peu hâtive de l'auteur de l'*Étude historique de la Carte de France : que l'on ne peut attendre de la méthode photographique une exactitude analogue à celle qu'on doit se proposer dans les levers régulièrement faits.*

Voici même le texte du premier paragraphe de la conclusion du Comité d'exécution qui avait suivi ces expériences :

« Le Comité, après délibération, émet l'avis suivant :

» *Sous le rapport de la précision du plan,* la méthode de lever par la Photographie, telle que l'a employée M. Gaultier, a donné de très bons résultats et *semble comparable aux meilleures méthodes actuelles d'arpentage cadastral.* » (P. 31.)

(3) *Instruction sur le photogrammètre de l'explorateur H. Rousson*, Paris, imprimerie Dubos.

vouer, dans bien des cas, avec les ingénieurs, les militaires et les explorateurs nombreux qui nous ont consulté de vive voix ou avec lesquels nous avons été en correspondance, anglais, belges, suédois, russes, grecs, roumains, italiens, espagnols, portugais, brésiliens, chiliens, mexicains, sans parler des français, en France, en Algérie, en Tunisie, au Maroc, aux colonies et à l'étranger (au Transvaal notamment), mais nous savons cependant que la plupart d'entre eux ont donné suite à leurs projets. Nous saisissons cette occasion de rappeler à ceux sous les yeux desquels pourraient tomber ces quelques lignes qu'ils nous ont promis de nous faire part des résultats qu'ils obtiendraient.

Nous avons appris déjà, directement ou indirectement, que dans plusieurs des pays dont les régnicoles nous avaient consulté et dans d'autres où se trouvent des ingénieurs qui sont nos compatriotes, la Métrophotographie est désormais pratiquée avec plus ou moins de succès et de suite. Ainsi, sans compter l'Allemagne, l'Italie, l'Autriche, le Canada, la Suisse, l'Espagne, les colonies anglaises et la Russie, sur lesquels nous avons donné les renseignements les plus précis, nous savons qu'au Brésil, en Grèce, au Spitzberg (par un Suédois, M. Rösen), à Madagascar et dans plusieurs autres de nos colonies, des travaux importants ont été entrepris et se poursuivent encore là où ils ne sont pas terminés.

Nous arrêtons ici l'aperçu historique dont nous devions faire précéder l'exposé des travaux originaux les plus caractéristiques de quelques-uns des auteurs d'ouvrages publiés en français, en allemand, en anglais, en italien, en russe, en polonais, en espagnol et en portugais sur la Métrophotographie et sur ses applications, non seulement à la Topographie, mais aux Sciences et aux Arts qui ont emprunté, les uns depuis longtemps déjà, les autres depuis quelques années seulement, le secours de la Photographie et qui en ont tiré, pour la plupart, un parti des plus avantageux, dans certains cas même inattendu.

Nous nous excusons à l'avance, non seulement des oublis involontaires que nous pouvons avoir faits en parcourant une bibliographie devenue considérable et dans des langues qui

ne nous sont pas toutes familières, mais de l'obligation où nous avons été de faire un choix parmi les travaux que nous avions sous les yeux, sous peine de donner à notre Ouvrage une étendue démesurée.

## MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE DESSIN. INNOVATIONS PRINCIPALES PROPOSÉES.

### I. — *Sur les opérations communes aux différentes méthodes et sur celles qui sont propres à la méthode photographique.*

*De la base de la triangulation.* — Avant d'exposer les principales innovations proposées ou même introduites dès à présent en Métrophotographie par des savants français et étrangers, nous croyons devoir rappeler sommairement les opérations communes aux levers topographiques en général et celles qui sont propres aux levers phototopographiques.

A propos des premières, c'est-à-dire des opérations préliminaires fondamentales, nous aurons déjà l'occasion de signaler à l'attention du lecteur quelques utiles conseils donnés par celui des auteurs qui, pendant quinze années consécutives, a dirigé les plus importants travaux de Métrophotographie entrepris jusqu'à ce jour : nous voulons parler de l'arpenteur général du Canada, M. E. Deville.

Comme précédemment, nous admettons que l'opérateur sache choisir l'emplacement de la base, en effectuer la mesure, déterminer les sommets de la triangulation, observer les angles et calculer la grandeur des côtés, enfin rattacher les points auxiliaires destinés à servir de stations expressément choisies pour achever de fouiller le terrain.

M. E. Deville donne, sur la marche à suivre dans l'exécution de ces opérations, des indications dont nous ferons un résumé en reproduisant même textuellement quelques-unes des plus essentielles.

« La triangulation, dit-il, peut être exécutée en même temps que le lever photographique, mais il est préférable toutefois d'avoir quelques-uns des points principaux déterminés à l'avance par une triangulation primaire.

» Dans les pays de montagnes, les sommets principaux de la triangulation sont imposés par la nature, tandis que la position et la direction de la base peuvent être modifiées plus ou moins. Si la base était mesurée tout d'abord, il se pourrait qu'elle ne s'adaptât pas convenablement aux triangles principaux. Il vaut donc mieux exécuter en premier lieu la triangulation, la mesure de la base ne servant qu'à déterminer les dimensions absolues des différents éléments qui doivent être rapportées sur le dessin, à l'échelle adoptée (1).

» La triangulation secondaire est l'œuvre du topographe, et la construction des signaux des points secondaires doit être son premier soin, dès son arrivée sur le terrain.

» Si le temps ne lui fait pas défaut, il ne commencera pas le lever proprement dit avant que tous les signaux aient été établis, autrement il ferait des mesures d'angles entre des points mal définis. Lorsqu'il en est ainsi, l'erreur de fermeture du triangle doit être attribuée à ce défaut de définition des points.

» Soient A, B et C les angles d'un triangle dont les sommets ont été occupés dans l'ordre indiqué. En A, l'opérateur observe les angles entre B et C où il n'y a pas de signaux. Il

---

(1) Cette opinion de M. Deville lui a été sans doute suggérée par les conditions dans lesquelles il fallait opérer dans les Montagnes Rocheuses à peine explorées. Il dit lui-même, dans un autre passage, qu'il y a une certaine logique à commencer par la mesure de la base et à en faire le premier côté de la triangulation, à partir duquel les longueurs des autres côtés vont en augmentant; mais, ajoute-t-il, dans la pratique, il y a plusieurs avantages à commencer par la triangulation.

Nous ne partageons pas tout à fait cette manière de voir et nous croyons que, toutes les fois qu'on le peut, il est prudent de faire un *projet complet de triangulation* en partant de la *base choisie dans la meilleure situation possible,* puis en s'efforçant d'atteindre les sommets reconnus indispensables (imposés par la nature) à l'aide de triangles auxiliaires de formes convenables et de grandeurs croissantes jusqu'à la limite qui dépend, comme on sait, de l'échelle du plan et de la configuration du terrain. Mais il n'y a là rien d'absolu, et la marche à adopter dépend surtout des circonstances.

place un signal en A et se transporte en B. Il y mesure l'angle compris entre le signal en A et le point C où il n'y en a pas. Il place un signal en B et, arrivé en C, il mesure l'angle compris entre les deux signaux.

» Appelons $\alpha$ l'erreur de clôture du triangle et $\varepsilon$ l'erreur probable du pointé sur un point sans signal. Les erreurs probables des angles seront

$$\text{pour A, } \varepsilon\sqrt{2},$$
$$\text{» B, } \varepsilon,$$
$$\text{» C, } 0.$$

» Les corrections des angles devront être proportionnelles à l'erreur probable de chacun d'eux; par conséquent :

$$\text{pour A, } \frac{\alpha}{1+\sqrt{\frac{1}{2}}},$$
$$\text{» B, } \frac{\alpha}{1+\sqrt{2}},$$
$$\text{» C, } 0.$$

» L'erreur de clôture ne doit pas dépasser une certaine limite déterminée par le degré de précision du lever. Quand cette limite est dépassée, les stations doivent être réoccupées, en commençant par celle qui est la plus douteuse. Les stations de la triangulation primaire sont les dernières où il y ait lieu de revenir.

» Pour avoir une idée exacte du travail, l'opérateur doit préparer sur le terrain un projet de triangulation sur lequel il marque les stations à occuper. Il y reconnaît les points faibles du lever et se met ainsi en état d'exécuter ses opérations avec plus de sécurité.

» L'objet de la triangulation secondaire est de déterminer les stations photographiques. Ses sommets sont choisis pour ce seul objet. *Tous les détails topographiques du plan doivent être tirés des photographies obtenues.* »

## II. — *Opérations de détail propres à la métrophotographie.*

*Planimétrie et nivellement.* — On sait que la méthode à peu près exclusivement employée pour rapporter sur la feuille de dessin les points destinés au tracé des détails topographiques et à celui des courbes de niveau est celle dite *des intersections*. L'opérateur ne doit donc pas perdre de vue l'intérêt qu'il a à choisir ses stations de telle manière que les projections des rayons visuels, partant des deux stations à combiner et aboutissant aux mêmes points du terrain, se coupent sous des angles qui ne soient pas trop aigus.

En ce qui concerne le nivellement, on ne saurait trop insister sur la nécessité d'obtenir un tracé rigoureux de la ligne d'horizon sur chaque épreuve, et nous verrons que la plupart des instruments proposés sont munis des organes de précision nécessaires pour atteindre ce résultat. Mais il n'est pas moins prudent de se procurer des moyens de vérification pour le cas où l'appareil se serait dérangé à l'insu de l'opérateur. Enfin il y a à se préoccuper de la correction à faire subir à la grandeur supposée invariable de la distance focale et à s'assurer de l'exactitude de la position de la station et de l'orientation de chaque épreuve (1).

Les instructions suivantes de M. Deville répondent à tous ces *desiderata :*

« *Des stations photographiques.* — Une station photographique est déterminée soit par des angles pris de cette station sur les points triangulés, soit par des angles pris de ces derniers, ou par les deux procédés. Il est plus aisé et plus exact

(1) Le lecteur n'ignore pas que nous avons examiné depuis longtemps ces questions qui sont traitées dans le Chapitre III de cet ouvrage. Mais nous avons pensé qu'il était bon d'y insister et de montrer que les autres opérateurs ont eu les mêmes préoccupations et n'ont pas manqué, en les signalant, de prendre les mêmes précautions.

de rapporter la station au moyen des angles pris des points triangulés qu'au moyen d'angles mesurés de la station. Cependant les stations photographiques doivent être occupées, si cela est possible, avant les sommets de la triangulation. Mais il y a d'autres considérations à faire intervenir.

» Les stations photographiques doivent être choisies en vue de la construction du plan par la méthode des intersections; les autres méthodes ne sont employées que lorsque celle-là tombe en défaut ou lorsque les données recueillies sur le terrain ne suffisent pas pour fournir assez d'intersections.

» Un signal de nature quelconque doit être laissé à chaque station; il n'est pas nécessaire d'y faire beaucoup de frais : une perche ou quelques pierres entassées suffisent. Les angles sont mesurés sur ce signal, des points triangulés, pour rapporter la station sur le plan.

» Il arrive rarement que la chambre noire soit mise exactement au point triangulé. En général, il vaut mieux la déplacer un peu dans une direction ou dans une autre pour comprendre dans la vue certaines parties intéressantes du paysage. Toutes les fois qu'il y a quelque avantage à la déplacer ainsi, l'opérateur ne doit pas hésiter à le faire. La distance au point triangulé mesurée avec un ruban et un angle lu sur l'instrument déterminent la position de la station.

» Pour le même motif, il n'est pas nécessaire, dans la plupart des cas, de prendre plusieurs vues de la même station [1]; chaque vue doit être prise du point où elle se prête le mieux à la construction du plan. Le grand nombre des stations ne donne que peu de travail de plus, soit pour la mesure des angles destinés à fixer la position de chacune d'elles, soit pour l'opération du rapport sur le plan.

» En général, les vues prises de points très élevés et découvrant de grandes étendues sont recommandables; mais il y a de nombreuses exceptions, et celles que l'on prend de stations

---

[1] Contrairement à l'opinion des débutants et des adversaires inconscients de la méthode qui ne parlent que de tours d'horizon. C'est aussi l'erreur de la plupart de ceux qui ont cherché à construire des appareils panoramiques. Les tours d'horizon sont toujours des exceptions.

inférieures sont d'un grand secours pour dessiner les courbes dans les vallées.

» Quelquefois, il peut y avoir des difficultés à obtenir deux vues qui fournissent des intersections convenables sur une certaine partie du terrain. En pareil cas, la *méthode des intersections verticales* (1) peut être employée, les vues étant prises à des altitudes différentes.

» Il serait désirable d'avoir les vues de la même partie du terrain à la même époque de la journée; les ombres y ayant la même apparence, il est plus aisé de reconnaître les différents points. Il serait bon aussi d'éviter les vues exposées directement en face du Soleil, qui sont sans relief et privées de détails. Mais l'observateur a d'autres considérations à faire entrer en ligne de compte; il peut rarement choisir son temps pour occuper une station ou prendre une photographie. Il a même souvent à prendre des vues contre le Soleil ou qui en sont entièrement privées; et malgré cela, avec du soin, il peut encore, sans s'inquiéter outre mesure de l'état du ciel, obtenir des résultats satisfaisants.

» L'identification des points, même sous des éclairages différents, n'offre pas de sérieuses difficultés (2). Le nombre des photographies doit être assez grand pour couvrir complètement le terrain; une vue additionnelle n'entraîne qu'un faible excédent de travail, soit pour le tirage de l'épreuve soit pour rapporter des points, et elle peut éviter beaucoup d'ennui. L'opérateur ne doit donc pas hésiter à en prendre une toutes les fois qu'il reconnaît qu'elle peut lui être utile.

» Deux ou trois points sur chaque vue sont observés avec

---

(1) On verra plus loin en quoi consiste cette méthode proposée par M. Deville.

(2) L'auteur dit ailleurs ce que nous n'avons cessé d'affirmer, M. Javary et moi, et qui n'a été contesté que par ceux qui n'ont pas pris la peine de s'exercer : « C'est une chose surprenante que de voir la rapidité et la sûreté avec laquelle un opérateur familiarisé avec ce genre de travail non seulement reconnaît les points déjà notés sur d'autres vues, mais en découvre encore autant qu'il en peut désirer. » Nous ajouterons que le topographe ne doit pas ou plutôt ne peut pas, sous peine de perdre un temps précieux, se préoccuper de l'effet artistique des vues qu'il prend. Il nous est arrivé de nous contenter d'épreuves médiocres et même décidément mauvaises et d'en tirer souvent un bon parti.

l'altazimut, les angles de hauteur et les angles horizontaux inscrits soigneusement. Les angles de hauteur servent à vérifier la ligne d'horizon sur la photographie, dans le cas où le nivellement de la chambre noire aurait été légèrement dérangé et les angles horizontaux à l'orientation de la vue (1).

» Les notes d'observations sont prises comme à l'ordinaire, les points considérés étant indiqués sur les croquis visuels dessinés sur place. Ces croquis servent à identifier les points avec plus de certitude que si l'on se contentait de les désigner par une lettre ou par un chiffre. »

Nous n'avons pas hésité à citer souvent *in extenso les instructions* de M. Deville qui ont servi de guide aux habiles opérateurs qu'il a formés et dont nous avons signalé d'ailleurs les principales œuvres sur lesquelles nous donnerons par la suite quelques autres renseignements.

Leur précision, les précautions prises par l'auteur pour ne rien négliger et pour assurer, par tous les moyens possibles, l'étude complète du terrain et l'exactitude des documents devraient suffire pour inspirer confiance aux plus hésitants.

Nous ne reviendrons pas ici sur les affirmations si nettes de M. Deville au sujet des avantages qu'offre l'emploi de la photographie, dus surtout aux propriétés de la perspective, que nous avons reproduites dans l'*Avertissement*. Nous aurons d'ailleurs encore bien des occasions de nous servir des arguments nombreux qu'il a puisés dans une longue pratique ininterrompue et nous nous contenterons, pour le moment, à propos des opérations de détails, de citer le passage suivant qui concerne le tracé des courbes de niveau.

« *Courbes de niveau.* — Un nombre suffisant de hauteurs ayant été déterminées, les courbes de niveau sont tracées à

(1) Ainsi qu'à la vérification de l'invariabilité de la distance focale de l'appareil ou à la correction de cette distance focale, quand les épreuves photographiques se dilatent ou se contractent. Mais M. Deville donne un autre moyen de se renseigner à cet égard sur les épreuves elles-mêmes, comme on le verra plus loin.

vue entre les points obtenus. Dans un pays ordinaire (ondulé, légèrement accidenté), un nombre de points limité est suffisant pour permettre de tracer les courbes avec précision, mais, dans les pays de montagnes et de rochers, les inflexions des surfaces sont si fréquentes et souvent si abruptes, qu'il est absolument impossible d'obtenir un nombre de points suffisant pour représenter convenablement la surface. Les photographies sont alors d'un grand secours pour le dessinateur; en les ayant sous les yeux, il est en état de modifier ses courbes de manière à représenter les moindres inégalités du terrain.

» *Au lieu de tracer immédiatement les courbes sur le plan, on commence par les esquisser sur la photographie d'après les cotes inscrites,* chaque point déterminé étant marqué sur cette photographie et son altitude indiquée sur le plan. En adoptant cette marche, le dessinateur peut suivre de très près les mouvements de la surface, et les courbes ainsi obtenues le guident pour tracer celles du plan ou bien il peut les y reporter en quelque sorte mécaniquement à l'aide du *perspectographe* ou du *perspectomètre* (1).

» Lorsqu'un nombre suffisant de points a été déterminé par intersection, le dessin des courbes de niveau ne présente aucune difficulté; mais il peut arriver, dans un lever rapide, que les points soient trop rares et trop espacés pour bien définir la surface du terrain. Il devient alors nécessaire de recourir à des méthodes auxiliaires très expéditives, mais un peu moins précises (2). »

Nous avons supposé, dans tout ce qui précède, qu'il s'agissait de topographie régulière, c'est-à-dire de levers auxquels on peut consacrer le temps nécessaire aux opérations successives. On prévoit, naturellement, que, dans les simples reconnaissances et dans les levers rapides comme ceux que peuvent entreprendre les voyageurs, en parcourant le terrain,

---

(1) Ces instruments seront décrits un peu plus loin; employés avec attention et discernement, ils peuvent faire gagner beaucoup de temps.

(2) Ces méthodes auxiliaires ne tarderont pas non plus à être exposées dans le texte.

sans s'y arrêter, les principes restant d'ailleurs les mêmes, on est condamné, le plus souvent, à laisser subsister des lacunes plus ou moins nombreuses, plus ou moins étendues, et cependant il n'y a aucune exagération à affirmer que, à égalité de temps consacré, les éléments fournis par la Photographie sont incomparablement plus nombreux et plus sûrs que ceux que l'on recueillerait par tout autre procédé. C'est même principalement pour faciliter la tâche des militaires et des explorateurs, y compris aujourd'hui les hydrographes (qui, grâce à la Photographie instantanée, peuvent profiter de tous les progrès de cet art), que la méthode des perspectives a été imaginée. Encore une fois, les principes rappelés dans les paragraphes précédents ne doivent jamais être perdus de vue; seulement ils ne trouvent pas toujours leur application complète et l'on y supplée, comme dans la pratique ordinaire, en se passant, par exemple, de la triangulation, que l'on remplace par des cheminements, pour déterminer les positions des stations successives.

Nous n'entrerons ici dans aucun détail sur le choix des stations, la mesure de leurs distances et de leurs différences de niveau ainsi que de l'orientation des côtés successifs du cheminement. Comme pour l'exécution de la triangulation, nous supposons le lecteur en état d'effectuer ces opérations selon les ressources dont il dispose en fait d'instruments et en personnel. Nous le renverrions, au besoin, aux paragraphes XIV, XV et XVI du Chapitre III, où il trouverait quelques indications propres à le guider.

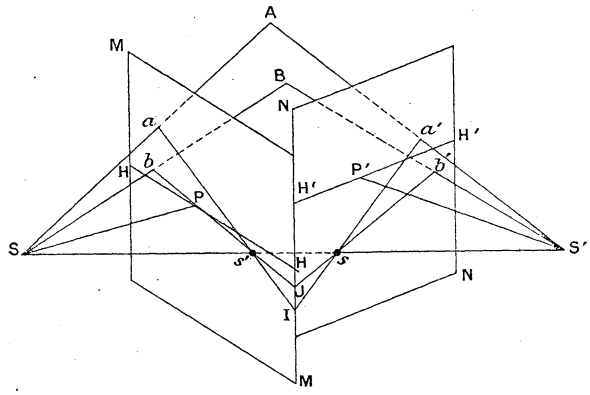
### III. — *Problèmes et solutions suggérés par les propriétés de la perspective.*

*Vérification des points identifiés sur deux photographies.* — On parvient très vite, nous ne saurions trop le répéter, à identifier les points sur deux vues différentes, c'est-à-dire à reconnaître les images des mêmes points du paysage sur ces deux vues que nous supposons obtenues par

la Photographie (1); il peut arriver, cependant, que l'on ait quelque doute, et il serait très utile, dans ce cas, d'avoir un critérium irrécusable. C'est l'une des ressources qu'offre le théorème suivant, dont nous trouverons plus loin une autre application.

*Théorème du Dr G. Hauck* (2). — Si les plans des tableaux des deux vues MM, NN (*fig.* 4), prises des stations S et S', se rencontrent en MN, et si les images *s'* de S' et *s* de S sont figurées respectivement sur ces tableaux, les droites *as'*, *a's* qui joignent les images *a* et *a'* d'un même point A du paysage aux images *s'* et *s*, prolongées jusqu'à l'intersection des

Fig. 4.




(1) Sur des vues prises à la chambre claire, cette identification est encore plus sûre, parce que les détails y sont bien moins nombreux, le dessinateur n'ayant même pu y représenter que les objets les plus faciles à reconnaître.

(2) Dans deux articles publiés par le *Journal für die reine und angewandte Mathematik* (Heft I, Bd. 95, und Heft 4, Bd. 97) et sous le titre : *Neue Constructionen der Perspective und Photogrammetrie* (*Theorie der trilinearen Verwandtschaft ebener Systeme*), le professeur Guido Hauck, de Charlottenburg, a donné en 1883 une solution des plus intéressantes de la perspective et du problème inverse, qu'il a fait suivre de la description d'un perspectographe de son invention que nous ferons connaître dans l'un des paragraphes suivants.

plans des deux tableaux, se rencontreront sur cette ligne en un même point I.

Cela résulte, en effet, simplement de ce que les droites *as'* et *a's* sont les intersections du plan ASS' des deux stations et du point considéré avec les plans des deux Tableaux.

Or, si l'on considère un autre point B du paysage, il est évident que les droites *bs'* et *b's* qui joindront les images *b* et *b'* de ce point aux mêmes points *s* et *s'*, images des deux stations, seront dans le même cas, c'est-à-dire que, prolongées, elles devront se rencontrer sur l'arête MN des plans des tableaux.

Cette importante propriété a fait donner, par le professeur Hauck, aux images des deux stations, le nom de *Kernpunkte*, littéralement *points noyaux*. Nous remplacerons cette expression par celle de *points nucléaux* (1). Une droite passant par ces points s'appellera *ligne nucléale*, et tout plan passant par cette ligne, c'est-à-dire par les points nucléaux, sera un *plan nucléal*.

Le professeur Hauck a déduit de son théorème une foule de conséquences intéressantes que nous n'avons pas à exposer ici; nous nous bornerons à en tirer le moyen de vérification que nous avons en vue et que l'on peut déjà pressentir.

*Vérification de points supposés identifiés sur deux photographies.* — Théoriquement, il est très aisé de concevoir comment on peut opérer cette vérification, car il suffit de se représenter les deux tableaux rabattus sur un seul et même plan, en les faisant tourner autour de leur arête commune MN (*fig.* 5), de joindre les images *a* et *a'* supposées d'un même point A du terrain aux points nucléaux correspondants *s'* et *s*, et de voir si les droites *as'* et *a's* prolongées se rencontrent sur la charnière MN. De même pour *bs'* et *b's*, etc.

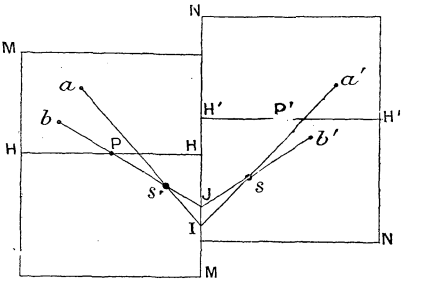
Mais, dans la pratique, il y a des circonstances qui rendent cette opération moins simple; il faut donc les examiner pour

(1) Par analogie avec les *points nodaux* des lentilles.

en tenir compte et trouver la marche à suivre dans tous les cas.

1. On remarquera tout d'abord que, à part le cas tout à fait accidentel où les deux stations sont situées au même niveau, les lignes d'horizon des deux tableaux ne se confondent pas, et l'on voit immédiatement que leur distance verticale (*fig.* 5)

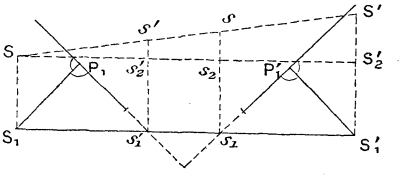
Fig. 5.




doit être égale à la différence de niveau des deux stations, à l'échelle adoptée pour le plan topographique.

Il suffit, en effet, de se reporter à ce plan et d'y marquer les stations et les traces des plans des deux tableaux ; la distance $S_1 S'_1$ des stations en projection horizontale (*fig.* 6

Fig. 6.

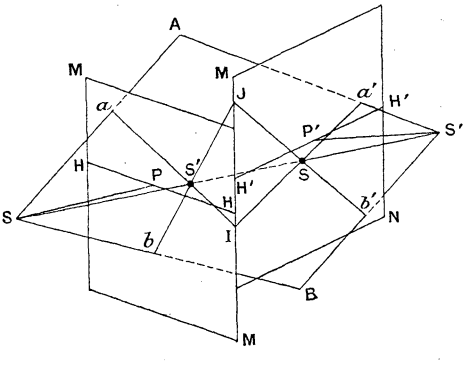



est celle qui résulte de l'échelle adoptée, et leur différence de niveau, la même que celle des lignes d'horizon des perspectives, s'en déduirait, au besoin, en quantité linéaire, comme on le voit sur la figure et comme cela est expliqué un peu plus loin.

2. Les points nucléaux ne se trouvent pas toujours représentés sur les deux tableaux, et il arrivera même souvent que le champ de l'appareil, placé à l'une des stations S, ne pourra pas contenir l'image de la station S'. C'est ce que montre également la *fig.* 6, sur laquelle on voit, d'ailleurs, que l'on obtient immédiatement les projections horizontales des points nucléaux en $s'_1$ et $s_1$ aux intersections de la droite $S_1S'_1$, qui joint celles des deux stations, avec les traces des deux tableaux prolongées. En prenant, comme nous l'avons fait implicitement sur notre figure, pour plan de projection le plan horizontal qui passe par le bord inférieur du tableau MM (ligne de terre), et en rabattant autour de $S_1S'_1$ le plan vertical qui contient les stations S et S', après avoir joint les points qui représentent ces stations, les perpendiculaires élevées en $s_1$ et $s'_1$, à la droite $S_1S'_1$ jusqu'à leurs rencontres avec SS', donneront les hauteurs respectives $s'_1s'$ et $s_1s$ des points nucléaux $s'$ et $s$ au-dessus du plan horizontal de projection ou de la ligne de terre définie comme nous venons de le faire.

3. Pour opérer la vérification des points à identifier, on ne peut généralement pas juxtaposer les deux vues le long de

Fig. 7.

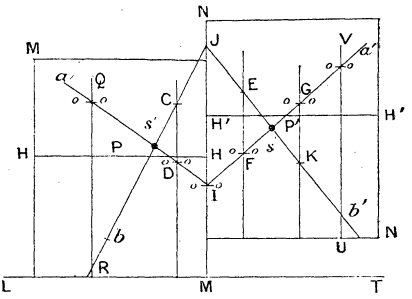



l'arête commune de leurs plans MM, NN, comme on l'a supposé dans les *fig.* 7 et 8.

L'intersection de ces deux plans et les points nucléaux eux-mêmes peuvent être, en effet, situés plus ou moins loin

des bords des épreuves, comme sur la *fig.* 6; il faut donc à cette arête des deux plans substituer d'autres lignes en relation de position avec elle et jouissant des propriétés métriques nécessaires pour permettre de s'assurer que les droites qui joignent les images d'un même point du terrain se rencontreraient effectivement sur l'arête. Si, dans le cas de la *fig.* 8,

Fig. 8.




on supposait les deux tableaux séparés et que, prenant encore pour ligne de terre **LT** le bord inférieur du tableau **MM**; pour vérifier que les points *a* et *a'*, d'une part, *b* et *b'*, de l'autre, sont bien les images des points A et B de l'espace, il conviendrait de mesurer séparément la hauteur **MI** sur les bords de **MM** et de **NN**, où aboutissent les droites *as'* et *a's* prolongées, de constater l'égalité de ces deux quantités, puis de mesurer de même les distances **IJ** sur les deux bords de **MM** et de **NN**.

Mais si l'identité de deux points tels que *a* et *a'* peut être considérée comme incontestable, il suffira de prendre **I** comme point initial des mesures à effectuer pour vérifier les points douteux.

*Solution pratique.* — Parallèlement à l'arête commune des deux tableaux (*fig.* 8) menons, de part et d'autre, deux droites **CD** et **EF** qui rencontrent les lignes *as'* et *bs'* en C et en D, et les lignes *b's* et *a's* en E et en F; si les distances de ces droites à l'arête **MN** sont telles que l'on ait $\frac{s'I}{s'D} = \frac{sI}{sF}$,

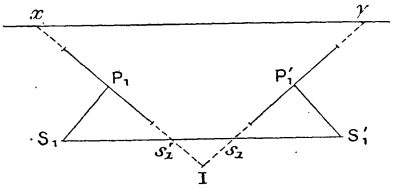
à cause de la similitude des triangles $s'IJ$ et $s'CD$ et de celle des triangles $sIJ$ et $sEF$, on a $\frac{IJ}{CD} = \frac{IJ}{EF}$, c'est-à-dire que $CD = EF$.

Supposons que tout ce qui se trouve sur la figure, entre CD et EF, n'existe plus et admettons, comme nous l'avons fait tout à l'heure, l'exactitude de l'identification des images $a$ et $a'$ ; si une échelle graduée quelconque (un double décimètre, par exemple), portée successivement sur CD et sur EF, à partir de D et de F, accuse la même division aux points C et E, l'identification des images $b$ et $b'$ sera vérifiée.

Au lieu de la ligne EF, on pourrait tracer la ligne GK de l'autre côté du point nucléal $s$, parallèle à l'arête MN, en prenant $sG = sF$, et, dans ce cas, l'échelle graduée serait portée sur GK en partant du point G. Enfin, et c'est la solution qui est la plus fréquente, les deux parallèles à l'arête commune MN ou les deux perpendiculaires aux lignes d'horizon HH et H'H' sont tracées en QR et UV de manière à laisser entre elles les deux points nucléaux ou même plus loin, pour éviter de tomber sur les vues elles-mêmes.

Reprenons la *fig.* 6, sur laquelle sont représentées en projection horizontale les stations $S_1, S'_1$, les traces des tableaux,

Fig. 9.



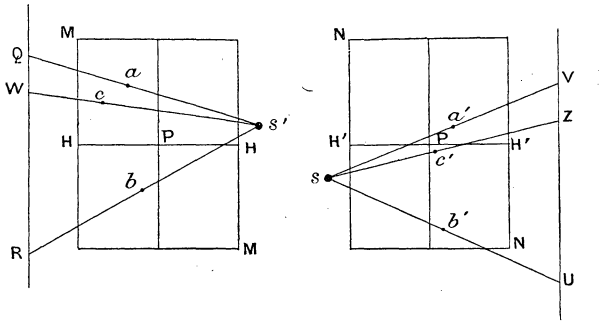

les points principaux $P_1 P'_1$ des perspectives et les points nucléaux $s'_1$, $s_1$ (*fig.* 9).

Une parallèle $xy$ à la ligne $S_1 S'_1$, qui joint les projections des stations, menée au delà des extrémités des traces des tableaux, déterminera, sur les prolongements de ces traces, les projections $x$, $y$, des points par lesquels devront passer les deux parallèles à l'arête commune projetée elle-même

en I, car la condition indiquée ci-dessus est remplie, puisque l'on a $\frac{s'_1 \mathrm{I}}{s'_1 x} = \frac{s_1 \mathrm{I}}{s_1 y}$.

Appliquons ces constructions à deux vues photographiées MM, NN (*fig.* 10), qui comprennent au moins un point dont

Fig. 10.




les images *a* et *a'* sont parfaitement reconnaissables, c'est-à-dire rigoureusement identifiées, et pour cela, après avoir déduit du plan sur lequel les stations sont rapportées et de la différence de niveau de ces stations (*fig.* 6 et 9) la position des points nucléaux *s'* et *s*, par rapport à la ligne d'horizon et à la ligne principale de chacune des épreuves, puis celle des parallèles auxiliaires QR, VU, formant échelles, rien ne sera plus facile que d'opérer la vérification des points douteux *b*, *b'* ... *c*, *c'*, etc. Si, par exemple, pour les deux premiers on trouve QR = VU, leur identification sera vérifiée; mais si, pour les seconds, on trouvait QW différent de VZ, les points *c* et *c'* ne seraient pas les images du même point du terrain et seraient à rejeter, ou l'un des deux à rectifier.

## IV. — *Problèmes et solutions suggérés par les propriétés de la perspective* (suite).

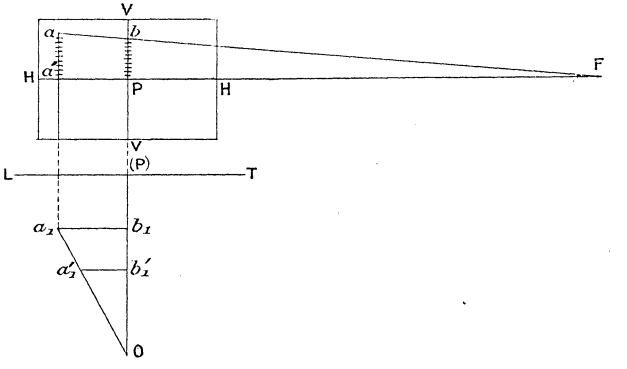
*Détermination directe de cotes de nivellement par des vues photographiques en pays de montagnes.* — On re-

marque souvent, sur les photographies prises en pays de montagnes, des arêtes ou des contours apparents qui sont situés sensiblement dans des plans verticaux. M. E. Deville a mis à profit cette circonstance pour obtenir, sur les arêtes ou les contours, des séries de cotes successives qui sont d'un grand secours pour le tracé des courbes de niveau.

La marche à suivre est fondée sur l'emploi des points de fuite des lignes horizontales, situés tous, comme on sait, sur la ligne d'horizon de la perspective.

*Lemme.* — Considérons d'abord une droite verticale tracée sur la photographie, représentant une verticale du paysage,

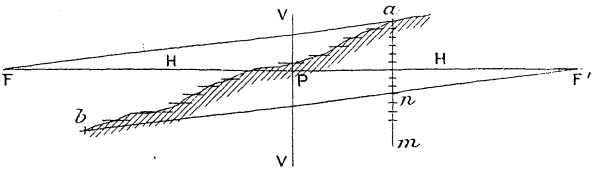
Fig. 11.




et, sur cette droite, un point dont la cote de nivellement soit connue. En déterminant, sur la ligne principale (*fig.* 11), un point *b* de même cote que le point *a* et en tirant la ligne *ab* jusqu'à la rencontre de la ligne d'horizon, on aura le point de fuite F de l'horizontale *ab*. Il suffira donc, en tenant compte de l'altitude de la station, c'est-à-dire de la cote de nivellement de la ligne d'horizon, de diviser P*b* en parties égales correspondant à l'équidistance que l'on veut avoir entre les plans horizontaux, de joindre le point de fuite à ces divisions et de prolonger les droites jusqu'à la rencontre de la verticale considérée pour avoir, sur cette verticale, les traces demandées des plans horizontaux équidistants.

*Contour apparent supposé dans un plan vertical qui contient une droite également verticale.* — Supposons que les cotes de deux points *a* et *b* (*fig.* 12), assez distants l'un

Fig. 12.




de l'autre, du contour apparent situé dans un plan vertical soient connues; par le point le plus élevé *a* faisons passer une verticale *am*, que nous diviserons comme dans le cas précédent; puis, sur cette sorte d'échelle cherchons le point *n* ayant la même cote que *b* sur le contour apparent; en joignant *bn*, nous déterminerons un nouveau point de fuite F', à partir duquel nous mènerons des droites allant aux points de division de l'échelle verticale dont les prolongements donneront sur le contour apparent les traces cherchées des plans parallèles équidistants.

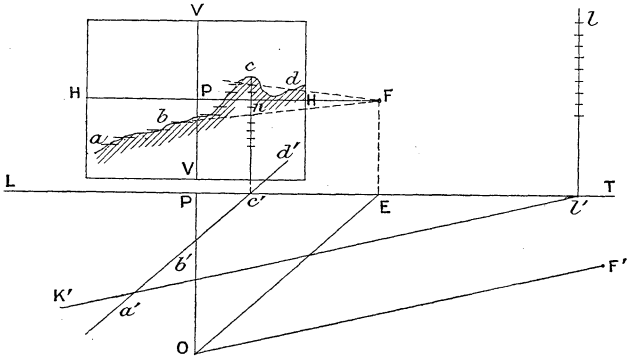
*Cas assez fréquent dans lequel on connaît sur le plan la projection horizontale de la crête ou du contour apparent.* — Il arrive assez souvent que des points du contour apparent se trouvant déterminés sur le plan donnent la projection de cette crête et par conséquent la trace horizontale de son plan vertical; soient (*fig.* 13) *abcd* la ligne du contour apparent, et *a'*, *b'*, *c'*, *d'* les points appartenant à cette ligne et rapportés sur le plan, tels que *a'*, *b'*, *c'*, *d'* soient sensiblement en ligne droite, formant, par conséquent, la trace horizontale du plan vertical du contour apparent.

Par le point O, projection de la station, menons OE parallèle à *a' b' c' d'* et au point E, où cette ligne rencontre la ligne de terre ou la trace du plan du tableau, élevons une perpendiculaire EF jusqu'à la rencontre de la ligne d'horizon. Le point d'intersection F sera le point de fuite des parallèles à la droite *a' b' c' d'*; si donc, par le point d'intersection de cette droite

avec la ligne de terre, nous menons la verticale $cc'$ qui rencontre, en $n$, la ligne d'horizon dont l'altitude est connue, il sera facile de construire sur cette verticale l'échelle dont on joindra les points de division au point de fuite F pour obtenir sur la ligne du contour apparent les traces des plans horizontaux équidistants.

Nous avons indiqué sur la même *fig.* 13 la trace $k'l'$ du plan vertical d'une ligne de contour apparent différente et

Fig. 13.



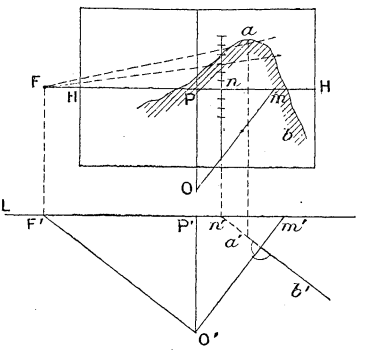

telle que la parallèle OF', menée à cette trace par la projection O de la station, irait rencontrer très loin la ligne de terre. Nous verrons, dans un prochain paragraphe, comment on peut procéder pour achever les constructions, sans qu'il soit nécessaire d'employer une feuille de dessin et une règle de dimensions inusitées.

*Cas où la projection horizontale de l'arête n'est pas exactement connue.* — Si la projection horizontale de l'arête ne se trouve pas déterminée et que les formes arrondies de la montagne ne définissent même pas très nettement cette arête, on admet que celle-ci est contenue dans un plan vertical perpendiculaire à la direction du milieu du contour apparent. La construction se fait alors de la manière suivante :

Sur la photographie, le point de vue étant rabattu en O, on mène par ce point la droite O$m$ dans la direction du milieu du

contour apparent *ab*, et sur le plan, par la projection O′ de ce même point de vue, on mène O′*m*′ parallèle à O*m*; puis on projette le sommet *a* du contour apparent sur le plan en *a*′ et l'on abaisse de ce point sur O′*m*′ la perpendiculaire *a*′*b*′. C'est cette dernière droite qui est prise pour la projection horizontale de l'arête ou pour la trace horizontale du plan vertical qui la contient; en menant donc O′F′ parallèle à cette trace jusqu'à la ligne de terre et en relevant F′ en F sur la ligne d'hori-

Fig. 14.




zon, on a le point de fuite des parallèles à la trace; en prolongeant, d'un autre côté, cette trace elle-même jusqu'en *n*′ sur la ligne de terre, la verticale *n*′*n* sera la trace verticale du plan qui contient le contour apparent et la construction s'achèvera comme précédemment.

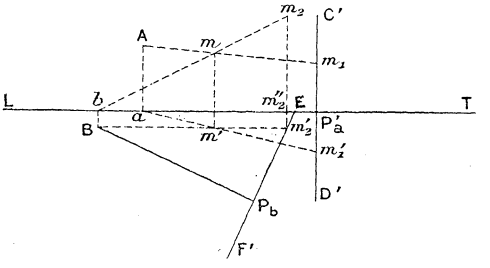
*Méthode des intersections verticales.* — On sait que l'exactitude de la méthode photographique habituelle, qui n'est autre que celle des intersections, telle qu'on l'emploie dans les levers à la planchette, dépend de la distance des stations, prise pour base, comparée à celle des points que l'on veut déterminer. Dans les pays très accidentés, il y a des stations en quelque sorte obligatoires pour l'exploration complète du terrain, qui ont l'inconvénient d'être trop rapprochées en projection horizontale. M. Deville a pensé que, en conservant le principe de la méthode, on pouvait le transformer et l'étendre aux intersec-

tions des rayons visuels projetés sur un plan vertical. De là, la solution auxiliaire du problème à laquelle il a donné le nom de *méthode des intersections verticales*.

A la condition que la différence de niveau des deux stations d'où l'on prend les vues à combiner entre elles soit assez grande, on parvient, en effet, à déterminer avec beaucoup plus de précision des points qu'il eût été difficile d'obtenir d'une manière satisfaisante par la méthode ordinaire.

Soient $a$ et B (*fig.* 15) les projections des deux stations sur le plan horizontal que nous faisons passer par la station B;

Fig. 15.

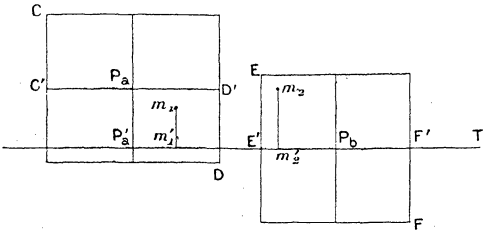



choisissons pour plan vertical de projection le plan principal de la vue prise du point A projeté en $a$. C'D' et E'F' étant les traces des deux tableaux correspondant aux points de vue A et B, la ligne de terre LT sera la perpendiculaire abaissée du point $a$ sur la trace C'D' et, le plan vertical de projection étant rabattu autour de cette ligne de terre, le point A se trouvera sur la perpendiculaire $a$A à une distance égale à la différence du niveau des deux stations, réduite à l'échelle du plan.

On peut voir d'abord qu'un point, dont les images sont projetées en $m'_1$ et en $m'_2$ sur les traces C'D' et E'F', serait mal déterminé en $m'$ sur le plan, parce que l'angle $am'$B est trop aigu. En projetant donc les rayons visuels qui partent de A et de B sur le plan vertical, le premier sera sur la ligne A$m_1$ qui passe par la projection $m_1$ de l'image du point sur la ligne principale rabattue en C'$P'_a$ et l'on obtient ce point en faisant $P'_a m_1$ égal à la hauteur $m_1 m'_1$ de l'image du point sur la photographie CD, au-dessus de la ligne de terre LT (*fig.* 16).

Quant à la projection verticale du rayon visuel qui part du point B, on l'obtiendra en joignant la projection $b$ du point B sur la ligne de terre (*fig.* 15) au point $m_2$, image du point considéré sur la seconde photographie EF (*fig.* 16) rappelée sur la perpendiculaire à la ligne de terre menée par la projection

Fig. 16.




horizontale $m'_2$ de ce point sur la trace E'F', en faisant $m_2 m''_2$ (*fig.* 15) égal à $m'_2 m_2$ de la *figure* 16.

L'intersection $m$ des projections verticales $Am_1$ et $bm_2$ des deux rayons visuels est elle-même la projection verticale du point cherché, et son rappel sur la projection horizontale de l'un des rayons visuels $am'_1$ ou $Bm'_2$ en $m'$ donnera la position de ce point sur le plan (1).

## V. — *Instruments destinés à faciliter les constructions graphiques.*

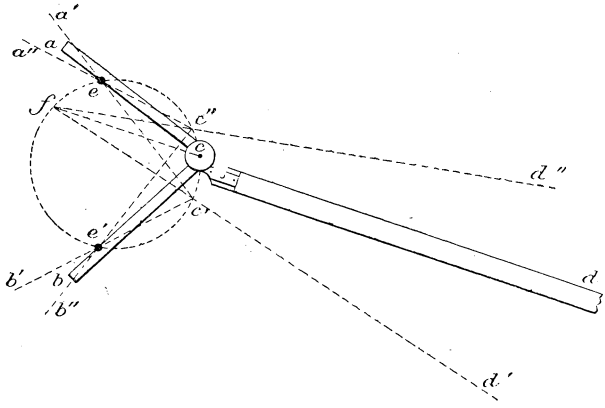
*Trirègle de Nicholson,* appelée aussi *règle de convergence* (2). — Cet instrument, représenté sur la *fig.* 17, est

(1) Il y a bien d'autres problèmes que, selon l'expression de M. Deville, les ressources inépuisables de la perspective ont permis d'aborder et de résoudre simplement, et nous nous proposons d'en faire connaître par la suite quelques-uns des plus intéressants appelés à rendre de véritables services dans des circonstances particulières. Mais pour ne pas interrompre l'exposé des procédés usuels ou qui tendent à le devenir, nous avons cru devoir reporter ces questions moins générales à la fin de la partie du Chapitre IV qui traite des méthodes et des instruments de dessin destinés à en faciliter l'application.

(2) En anglais *centrolinead.*

composé, en effet, de trois règles, dont deux assez courtes et minces et la troisième plus longue et plus large, qui est la règle proprement dite, sert à tracer des lignes convergentes, comme celles qui devraient aboutir à un point de fuite que l'on

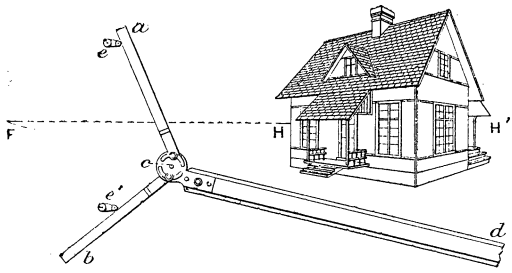
Fig. 17.




peut éviter de déterminer lui-même, s'il sort de la feuille de dessin.

C'est le cas, par exemple, que nous avons signalé (*fig.* 13) en supposant que la ligne de terre LT et la trace OF′ se ren-

Fig. 17 *bis*.




contreraient assez loin pour gêner l'opérateur. C'est aussi et plus fréquemment encore le cas (*fig.* 17 *bis*) des dessins d'architecture où l'on veut exécuter des perspectives de monu-

ments dans lesquelles les lignes fuyantes sont très multipliées.

Les trois règles sont réunies par une articulation *c* munie de coulisses et d'arrêts, qui permet de les disposer convenablement selon les circonstances, c'est-à-dire de faire varier les angles qu'elles forment entre elles, et aussi de les fixer dans les positions qu'on leur a données.

Supposons les deux petites règles ou les bras *ac* et *bc* (*fig.* 17) appuyés contre deux points fixes déterminés par de solides épingles *e*, *e'* piquées sur la planche à dessiner; il est aisé de voir que, si l'on fait glisser le système des trois règles en maintenant le contact des bras avec les tiges des épingles, la direction de la grande règle prolongée convergera toujours vers le même point du plan, que ce point soit ou non tracé sur la feuille de dessin.

En effet, après avoir placé la trirègle dans une position quelconque, à la condition que le contact des bras et des épingles soit établi, faisons passer une circonférence par les trois points *e*, *c* et *e'* (*fig.* 17). Le prolongement de celui des bords de la grande règle qui, de même que ceux des bords intérieurs des petites règles, passe par le centre *c* de l'articulation, ira rencontrer cette circonférence en *f*. Or si l'on fait, à présent, glisser la trirègle en maintenant le contact des bras et des épingles, le sommet *c* de l'angle *ece'* restera sur l'arc de la circonférence qui est le segment capable de cet angle; mais l'angle *ecf* ou *acf* reste également constant et le côté *c'a'* d'une seconde position de la trirègle passant toujours par le point *e*, le prolongement de *c'd'* passera encore par le point *f*, puisque l'arc *ef* est la mesure du double de l'angle considéré.

On peut, comme on l'a fait sur la figure, incliner inégalement les deux bras sur la grande règle, et l'on dit alors que la trirègle est *scalène;* quand ils sont également inclinés, le prolongement de la grande règle est la bissectrice de l'angle des deux bras et la trirègle est dite *isoscèle*. C'est ainsi qu'il convient de la disposer quand on l'emploie en Métrophotographie où les points de fuite sont toujours sur la ligne d'horizon.

Les deux épingles se placent alors de part et d'autre sur une perpendiculaire et à égale distance de cette ligne qui devient,

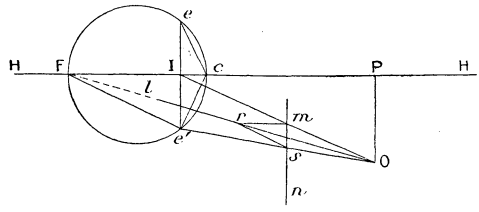
par conséquent, un diamètre du cercle théorique, c'est-à-dire que le point de concours est aussi éloigné que possible du sommet de la trirègle. On conçoit d'ailleurs que le diamètre ou le rayon du cercle dépend de l'écartement des épingles et de l'ouverture de l'angle des deux bras. Si l'on suppose, par exemple, que cet angle est de 90°, on voit tout de suite que la droite qui joint les deux épingles est un diamètre de ce cercle et que le point de concours est, par conséquent, seulement à une distance maxima du sommet de la trirègle ou du centre de l'articulation égale à l'écartement des épingles. Mais si l'angle des bras s'ouvre, le point de concours s'éloigne et peut même s'éloigner indéfiniment quand les deux bras se trouvent dans le prolongement l'un de l'autre, auquel cas la trirègle devient un té et servirait au besoin à tracer des parallèles à la ligne d'horizon.

*Ajustement de la trirègle selon les cas.* — M. Deville, qui a sans doute été le premier à employer la trirègle, concurremment avec sa *tablette photographique* dont nous donnons la description ci-après, a adopté pour les deux épingles un écartement constant de $0^m,15$ à $0^m,20$ environ. Il fait donc varier l'angle des deux bras de façon à s'assurer que le prolongement de la grande règle passe par le point de fuite dont la direction est indiquée, soit par une ligne droite tracée dans le plan, soit par une ligne de la perspective, c'est-à-dire de la photographie. Voici les moyens qu'il indique, dans les deux cas, pour obtenir l'angle convenable de chaque bras avec la règle :

Dans le premier, où la direction du point de fuite est donnée par une ligne du plan, après avoir fait coïncider ce plan horizontal de projection avec celui de l'horizon de la station, on le rabat autour de la ligne d'horizon sur le plan du tableau; le point de vue tombe alors en O (*fig.* 18) à la distance OP de ce point de vue au tableau. Soit O*l* la ligne donnée dont le prolongement irait rencontrer la ligne d'horizon au point de fuite F; *e* et *e'* étant les deux épingles, si l'on suppose le problème résolu, la règle étant posée sur la ligne d'horizon HH, les deux bras appuyés contre les épingles

seront en *ce* et *ce'*. Par les trois points *e*, *c* et *e'* on décrit une circonférence, qui passera aussi par le point F. On joint alors *ee'*, F*e'*, OI et O*e'* et l'on tire, à une certaine distance de OP, la parallèle *mn* à *ee'* qui rencontre OI en *m* et O*e'* en *s*. Par le point *m* on mène *mr* parallèle à la ligne d'horizon

Fig. 18.




et l'on joint *sr* qui est parallèle à F*e'*, à cause de la similitude des triangles : [*ms*O, I*e'*O] [FIO, *rm*O].

L'inclinaison F*ce'* du bras gauche *ce'* sur le prolongement de la règle est égale à l'angle F*e'e*, parce qu'ils sous-tendent des arcs égaux, et par conséquent à l'angle *rsm*. Si donc on place la règle sur *mn* et le centre d'articulation en *s*, puis que l'on amène le bras gauche sur *sr*, le résultat cherché sera obtenu, car il suffira, pour ajuster l'autre bras, de porter l'instrument, la règle sur la ligne d'horizon et le bras gauche contre l'aiguille *e'*, puis d'amener le bras droit en contact avec l'aiguille *e*.

Les droites *ee'*, IO, *mn* et *mr* sont tracées une fois pour toutes sur la *tablette photographique* décrite ci-après, et il n'y en a qu'une à tirer pour guider dans l'ajustement de la trirègle, celle de la direction de la ligne donnée sur le plan.

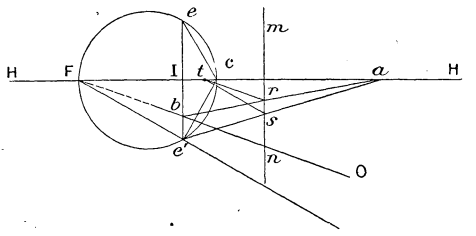
Dans le second cas, celui où la ligne de concours au point de fuite est donnée sur la photographie, la solution du problème est légèrement modifiée.

Soient O*b* (*fig.* 19) la ligne donnée et la circonférence F*ece'* tracée comme précédemment.

*a* étant un point de la ligne d'horizon pris à une certaine distance de la circonférence, on joint *ab* et *ae'* et l'on trace une parallèle *mn* à *ee'*; par le point d'intersection *r* avec *ab*

on mène *rt* parallèle à *b*F et l'on joint *ts*. A cause de la similitude des triangles, *ts* est parallèle à F*e'* et l'angle *tsm* est

Fig. 19.




égal à F*e'e*, c'est-à-dire à l'inclinaison F*ce'* du bras gauche de la trirègle sur la grande règle.

*ae'* et *mn* sont marquées une fois pour toutes sur la *tablette photographique*, comme on le verra bientôt, mais on a toujours à tracer *ab* et *tr* pour chaque ligne donnée (1).

## VI. — *Instruments destinés à faciliter les constructions graphiques* (suite).

*Bureau ou tablette photographique de Deville.* — Pour faciliter les constructions et pour éviter de recommencer celles qui sont communes à des cas analogues M. Deville a imaginé de tracer à l'avance et une fois pour toutes un certain nombre de lignes sur une tablette qu'il qualifie de *photographic Board.*

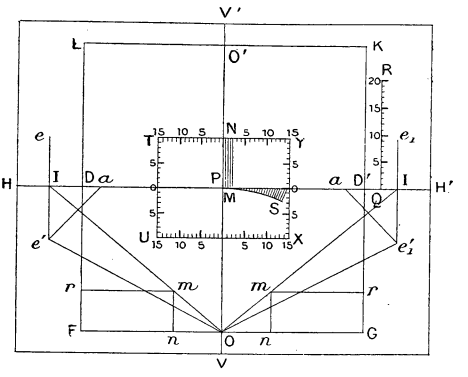
Cet instrument (*fig.* 20) consiste en une planche à dessiner ordinaire, recouverte d'une feuille de papier fort, sur laquelle sont tracées à angles droits deux lignes HH', VV' représentant la ligne d'horizon et la ligne principale. Leur point d'in-

(1) Avec la disposition supposée de la trirègle sur toutes les figures précédentes, on ne peut opérer que sur des points de fuite situés à gauche du point principal. Mais l'appareil est démontable et peut être retourné dans l'autre sens. Pour éviter cette opération, on a généralement un couple de trirègles, dont l'une pour le point de fuite à gauche, et l'autre pour le point de fuite à droite.

tersection P est le point principal et, à partir de ce point, on porte sur les deux lignes des longueurs PD, PD′, PO, PO′ égales à la distance du point de vue au tableau, de sorte que D, D′, O et O′ sont des points de distance latéraux (à gauche et à droite), inférieur et supérieur.

On fixe la photographie au centre de la planche, en faisant coïncider la ligne principale avec VV′ et la ligne d'horizon avec HH′. Quatre échelles formant les côtés du rectangle

Fig. 20.




TUXY encadrent la photographie, les côtés de ce rectangle étant sensiblement plus grands que les siens.

Ces échelles sont destinées à divers usages, par exemple à tracer des parallèles à l'horizon ou à la ligne principale, en plaçant une règle sur les divisions correspondantes des échelles conjuguées; à tracer la ligne de terre, en joignant les divisions des deux échelles verticales qui correspondent à la hauteur de la station, etc.

A un intervalle convenable du point de distance D′ se trouve une perpendiculaire QR à DD′ sur laquelle sont marquées, à l'aide d'une table des tangentes, les angles formés avec DQ par les lignes partant de D. Cette échelle est employée pour mesurer les angles de hauteur ou les azimuts des points de la photographie, comme il est aisé de le concevoir.

Du point O comme centre avec OP pour rayon, on a décrit

un arc de cercle PS qui est divisé en parties égales; par les points de division et entre PS et PD′ sont tracées des lignes qui convergent vers O.

Des parallèles MN à la ligne principale sont également tracées assez rapprochées l'une de l'autre. Toutes ces lignes sont employées en même temps que l'échelle des degrés et minutes QR.

Un carré FGKL est construit sur les quatre points de distance.

Les épingles de la trirègle sont fixées en $e$, $e'$, $e_1$; $e'_1$; les lignes qui joignent leurs centres deux à deux $ee'$ et $e_1e'_1$ et celles qui sont nécessaires pour ajuster la trirègle sont dessinées et employées comme on vient de l'expliquer dans le paragraphe précédent.

La trirègle et la table photographique employées couramment par M. Deville et par ses collaborateurs leur permettent, paraît-il, d'abréger beaucoup les constructions et les aident à résoudre les nombreux problèmes de perspective qui se présentent dans la pratique de la Métrophotographie. Elles méritaient donc d'être signalées à l'attention de tous les opérateurs.

## VII. — *Instruments de perspective destinés à la transformation des figures.*

*Perspectographes.* — On désigne généralement sous ce nom les instruments que l'on emploie pour dessiner les perspectives d'objets plus ou moins éloignés et notamment des monuments ou des paysages. Nous avons indiqué, dans le Tome I[er] de cet Ouvrage, pages 390 et suivantes, le principe et l'origine de ces instruments, parmi lesquels la *chambre claire* et la *chambre obscure,* telles que nous les avons décrites au Chapitre III de ce second Volume, occupent le premier rang. Leur nombre est d'ailleurs si considérable que nous aurions de la peine à les faire tous connaître, et cela nous éloignerait inutilement de notre sujet. Mais il existe quelques appareils de ce genre qui ont pour nous un véri-

table intérêt, car ils ont pour objet de résoudre mécaniquement le problème ordinaire de la perspective, et certains d'entre eux ont même été conçus avec la préoccupation d'aborder le problème inverse, c'est-à-dire celui qui fait l'objet de la Métrophotographie.

Il a été proposé plusieurs *perspectographes* (quelques-uns disent *perspecteurs*, du titre que prennent les opérateurs qui exécutent des perspectives pour les artistes, peintres ou architectes) destinés à tracer mécaniquement, d'après le plan et les élévations d'un monument (existant ou en projet), la perspective de ce monument ou même du plan topographique d'un terrain et de son relief représenté par des courbes de niveau, des perspectives de ce terrain prises de points de vue dont la position, dans les deux cas, est déterminée par leur projection sur le plan et leur hauteur au-dessus de ce plan.

En Allemagne, presque à la même date, en 1882 et 1883, trois inventeurs : MM. le Dr Guido Hauck, de Charlottenburg, Alexandre Brix et Hermann Ritter, architecte, faisaient connaître et les deux derniers breveter des perspectographes. Enfin, en 1900, on voyait à l'Exposition internationale universelle de Paris le perspecteur imaginé par M. le professeur Ch. von Ziegler, de Genève (1). Nous allons indiquer aussi sommairement que possible les principes de ceux de ces appareils qui ont été mis en usage ou à l'essai et donner une idée des résultats auxquels ils peuvent conduire. Si les solutions laissent encore à désirer sous certains rapports, elles ne sont pas moins ingénieuses et permettent d'espérer que le but finira par être atteint complètement.

---

(1) Hr G. Hauck, *Ueber mechanische Perspective und Photogrammetrie.* (*Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft in Berlin,* n° 8. Sitzung von 4 Mai 1883. Ausgegeben am 16 Mai. Vorsitzander : Hr Helmholtz.) — Brevet de M. Al. Brix n° 27646, du 12 octobre 1883, a Francfort s/ M. Brevet de Hermann Ritter n° 29002 du 13 octobre 1883, à Francfort s/ M. et *Perspectograph* von Hermann Ritter, Architekt, Francfurt a/ M. Druck von J. Maubach und C°.

*Le perspecteur mecanique* de Ch. von Ziegler. Imprimerie Fr. Weber. Genève, 1900. Nous rapprocherons de ce dernier instrument un *perspectomètre optique* indiqué depuis plusieurs années par M. E. Deville dans son traité intitulé : *Photographic Surveying.* Ottawa, 1895.

*Appareil de M. le Dr G. Hauck* (1). — La construction de cet appareil est fondée sur la propriété des *points nucléaux* de deux projections coniques du même objet découverte par l'auteur et énoncée dans le théorème que nous avons fait connaître page 51. Le Dr Hauck a remarqué que ce théorème s'étendait au cas où l'un des points de vue s'éloignait à l'infini et où, par conséquent, l'une des projections devenait parallèle et orthogonale, si la direction allant de l'autre point de vue à celui qui est à l'infini est perpendiculaire au plan de cette projection.

Dans son exposé devant la Société de Physique de Berlin et dans le préambule du Mémoire sur son appareil, le Dr Hauck envisageait de la manière la plus générale le problème de la transformation des projections.

« Dans la plupart des cas, disait-il, un objet est représenté en géométrie descriptive par deux projections et l'on peut, *étant données deux projections, en obtenir une troisième.*

» Si les deux projections données sont des projections parallèles orthogonales (par exemple : l'horizontale et la verticale) et si la troisième projection cherchée doit être une projection centrale, c'est le problème ordinaire de la *perspective.*

» Mais si les deux projections données sont des perspectives centrales (par exemple : deux photographies) et si la troisième projection cherchée est une projection parallèle orthogonale (un plan ou une élévation), c'est le problème de la *photogrammétrie.* »

Il est facile de voir qu'en se servant de la propriété des points nucléaux étendue au cas où l'un des points de vue s'éloigne à l'infini, on peut résoudre rapidement le problème de la perspective ou celui de la photogrammétrie, mais l'auteur ne s'est pas contenté de le constater, et il a entrevu aussitôt la possibilité de résoudre ces problèmes très exactement (grâce aux progrès des arts de précision) « à l'aide d'un instrument composé d'un système de règles reliées cinématiquement

(1) *Mein perspectivischer Apparat* von Guido Hauck, dans le *Festschrift der Königlichen technischen Hochschule zu Berlin zur Feier der Einweihung ihres neuest Gebaüdes.* Berlin 1884. Gedruckt in der Reichsdruckerei.

et portant deux styles ou pointes sèches et une pointe traçante (un crayon) tellement disposées que, si avec les pointes sèches on parcourt les lignes correspondantes des deux projections données, la pointe traçante décrit les lignes correspondantes de la troisième projection cherchée ».

*Principe géométrique de l'appareil.* — Pour simplifier et préciser la question, supposons qu'il s'agisse d'obtenir la perspective d'un édifice régulier dont le plan et l'élévation principale sont donnés et sur lesquels nous appellerons, à l'ordinaire, *hauteur, largeur* et *profondeur,* les trois dimensions comptées rectangulairement sur l'élévation et sur le plan.

Soient (*fig.* 21) P′ la trace de l'élévation, P celle du plan du tableau et O la projection du point de vue sur le plan horizontal de l'édifice $P^0$ (1); l'arête d'intersection des deux plans de projection verticaux P′ et P, qui doit jouer le rôle principal, se projette elle-même en g et la perpendiculaire abaissée de la projection du point de vue O sur P′ (c'est-à-dire joignant le point de vue du tableau au point situé à l'infini qui correspond à la projection orthogonale de l'élévation P′) détermine les projections $p$ et $p'$ des points nucléaux sur le tableau et sur l'élévation. La hauteur donnée $h$ du point de vue au-dessus du plan $P^0$ détermine la position du plan de l'horizon.

Le point nucléal projeté en $p$ qui est situé dans ce plan est le point de fuite de toutes les perpendiculaires au plan P′, c'est-à-dire des lignes de profondeur, et le point nucléal projeté en $p'$ est également dans ce plan, par conséquent à la même hauteur $h$ au-dessus du plan horizontal de projection $P^0$.

En partant de la *fig.* 21 qualifiée de *préparatoire,* traçons en g et en g′ (*fig.* 22) l'arête d'intersection des deux plans verticaux de projection que nous séparons et disposons l'un au-dessus de l'autre. Pour l'élévation P′, le point nucléal $p'$ sera situé à une distance $p'\gamma'$ de l'arête d'intersection égale

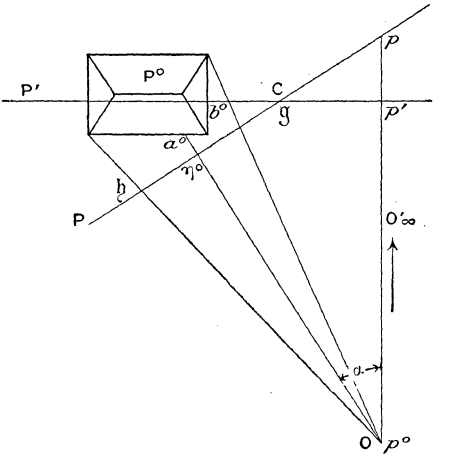
(1) Nous avons adopté les lettres et les conventions de l'auteur et il doit être entendu, par exemple, que P, P′ et $P^0$ désignent aussi bien les plans de projection que les figures qui y sont tracées.

à $p'\,g$ de la *fig.* 21 et la première ligne de hauteur de l'élévation P′ se trouvera à une distance $\gamma'\,b'$ égale à $g\,b^0$.

Le point nucléal $p$ du plan du tableau, également sur la ligne d'horizon, sera à une distance $p\,\gamma$ de l'arête d'intersection égale à $p\,g$ de la *fig.* 21.

L'élévation P′ étant dessinée, si l'on mène par le point nucléal $p'$ les lignes qui aboutissent aux différents angles de

Fig. 21.



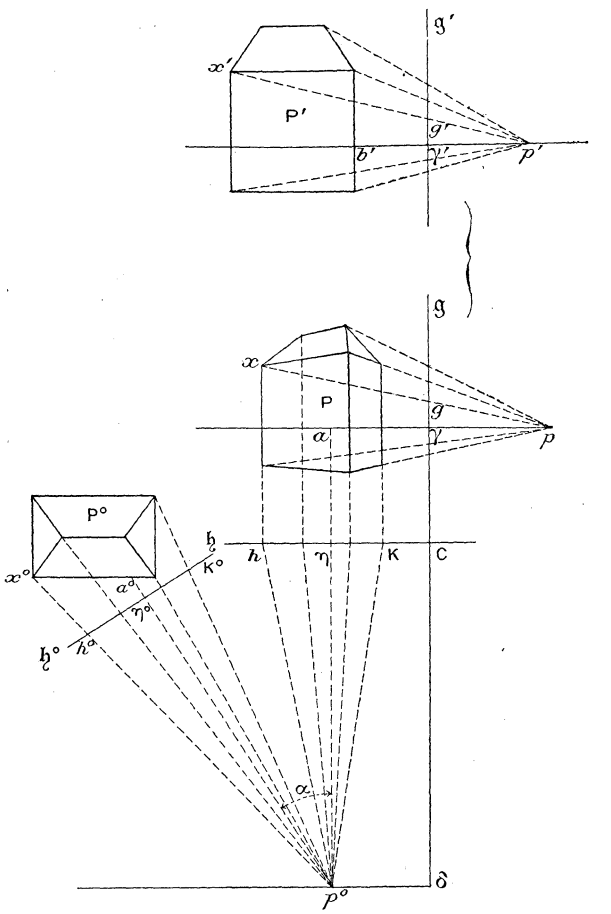

cette élévation, on déterminera sur l'arête d'intersection autant de points qui, reportés sur l'arête du tableau, détermineront ceux qu'il faut unir au point nucléal $p$, d'après le théorème général, pour avoir les perspectives des lignes de profondeur, puisque $p$ est leur point de fuite.

Pour achever de tracer la perspective de l'édifice il suffit, dans le cas dont il s'agit, de trouver sur le tableau les intervalles des lignes de hauteur dont les rencontres avec les lignes de profondeur détermineront toutes les formes apparentes.

Reportons-nous encore à la figure préparatoire (*fig.* 21) et abaissons de la projection du point de vue O sur la trace du tableau la perpendiculaire $O\eta^0$ que nous prolongerons jusqu'à la rencontre en $a^0$ de la première ligne de longueur de

l'édifice. Portons maintenant sur la *fig.* 22 (partie inférieure), dans le prolongement de l'arête d'intersection et à partir d'un

Fig. 22.




point C convenablement choisi au-dessous de la ligne d'horizon, une longueur C$\delta$ égale à la distance O$\eta^0$ du point de vue au tableau; élevons ensuite au point $\delta$ une perpendiculaire $\delta p^0$ égale à C$\eta^0$ de la *fig.* 21 devenue C$\eta$ sur la *fig.* 22

et, en recourant à l'angle $\alpha$ de la *fig.* 21, rapportons sur la *fig.* 22 le plan $P^0$ de l'édifice et les projections des rayons visuels qui aboutissent aux extrémités des lignes de hauteur qui sont visibles; on conçoit immédiatement comment les intervalles de ces lignes sur la trace du tableau ramenés sur l'horizontale du point C de la *fig.* 22 servent à dessiner les lignes de hauteur sur le tableau et à achever la perspective de l'édifice.

De tout ce qui précède on peut déduire la règle suivante pour trouver un point $x$ de la perspective, d'après les deux points correspondants $x'$ et $x^0$ de l'élévation et du plan de l'édifice :

Menez $p'x'$ et marquez sur l'arête $\mathfrak{g}'$ le point d'intersection $g'$; prenez sur $\mathfrak{g}'\mathfrak{g}$ l'intervalle $g\gamma = g'\gamma'$ ou, ce qui revient au même, prenez sur $\mathfrak{g}'\mathfrak{g}$ l'intervalle $g'g = \gamma\gamma'$ et tirez la ligne $pg$ sur le prolongement de laquelle doit se trouver le point $x$; menez ensuite $p^0x^0$ et faites tourner ce rayon autour de $p^0$ de l'angle $\alpha = \eta^0p^0\eta$, il viendra en $p^0h$ et en élevant en $h$ une perpendiculaire sur C$h$, l'intersection de cette verticale avec $pg$ prolongé donnera le point cherché $x$.

*Idée générale de l'appareil.* — Les lignes qui jouent un rôle dans la construction précédente sont : 1° l'arête d'intersection $\mathfrak{g}\mathfrak{g}'$ et la trace du plan du tableau ou ligne de terre $\mathfrak{h}^0\mathfrak{h}$, et 2° les rayons individuels $p'x'$, $px$, $p^0x$, $p^0h$, $xh$.

C'est cette construction qui est effectuée spontanément par l'appareil mécanique (*Pl. II*) dans lequel les lignes qui viennent d'être énumérées sont remplacées par des règles portant les styles à pointe sèche $x'$ et $x^0$ qui parcourent l'élévation et le plan horizontal (guidés par l'opérateur) et la pointe traçante $x$ qui dessine la perspective. Ces règles sont liées cinématiquement les unes aux autres de manière à réaliser la construction précédente.

Il serait beaucoup trop long d'entrer ici dans les détails de construction de cet appareil, qui est représenté très fidèlement sur la *Pl. II*. On reconnaît aisément sur cette figure les centres $p'$, $p$ et $p^0$ de rotation des tiges dont les extrémités portent les styles à pointe sèche $x'$ et $x^0$ et le crayon $x$, et l'on y voit que

la plupart des règles qui composent le mécanisme sont à rainures et deviennent des glissières dans lesquelles s'engagent de petites tiges cylindriques dont les unes fixes et le long desquelles glissent les règles qui y sont engagées, et les autres, placées en général aux articulations du mécanisme, glissent dans les rainures (1).

Aucune description d'ailleurs n'équivaudrait à la vue et au maniement de l'appareil, dès que l'on a saisi le principe de sa construction. Nous devons donc nous borner aux explications précédentes en ajoutant que l'auteur lui-même reconnaissait, lors de la publication de son Mémoire, que cette construction, certainement déjà très ingénieuse, pouvait être encore perfectionnée. Le point sur lequel insistait le Dr Hauck et qui mérite d'être retenu, c'est qu'avec les autres perspectographes et en particulier celui de M. Hermann Ritter, dont nous allons indiquer le principe géométrique, on n'obtient que des points isolés de la perspective, tandis qu'avec le sien on peut tracer cette perspective d'un trait continu.

## VIII. — *Instruments de perspective destinés à la transformation des figures* (suite).

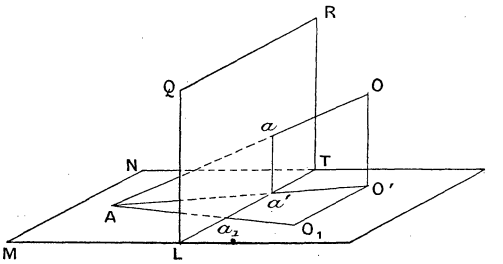
*Perspectographe de M. Hermann Ritter.* — Cet instrument est basé sur un moyen particulier de trouver la perspective d'un point quelconque du plan horizontal de projection un peu différent de la méthode généralement en usage (Tome II, p. 39).

Soient O le point de vue (*fig.* 23), OO′ sa hauteur au-dessus du plan horizontal de projection MNLT et QRLT le plan du tableau. Considérons le point A du plan horizontal dont il s'agit de trouver la perspective *a* sur le rayon visuel OA ; pro-

(1) Les lettres de la *fig.* 22 se retrouvent sur les différentes parties correspondantes de celles de la *Pl. II* et aident beaucoup à comprendre ou même à deviner le jeu du mécanisme de cet appareil.

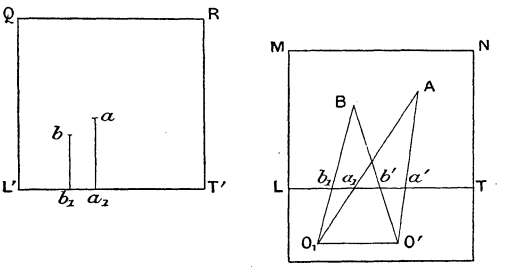
jetons le point $a$ supposé connu en $a'$ sur la ligne de terre, la projection O'A du rayon visuel passera par $a'$. Rabattons le triangle rectangle OO'A autour de O'A sur le plan horizontal en AO'$O_1$, le triangle semblable $a\,a'$A se rabattra en même

Fig. 23.




temps, et l'on voit que $a'a_1$ est égal à $a'a$ comme O'$O_1$ est égal à O'O. De là la construction suivante :

Fig. 24.




LTMN et L'T'QR (*fig.* 24) étant le plan donné et le tableau : sur le premier, où O' est la projection du point de vue, menons O'$O_1$ parallèle à la ligne de terre et joignons $O_1$ et O' au point A considéré; ces droites rencontreront LT en $a_1$ et en $a'$. Portons L$a_1$ sur la ligne de terre du tableau et sur la perpendiculaire élevée au point $a_1$ à L'T' portons $a_1a$ égal à $a_1a'$, le point $a$ sera la perspective cherchée.

La même construction donnerait un second point $b$ et tous

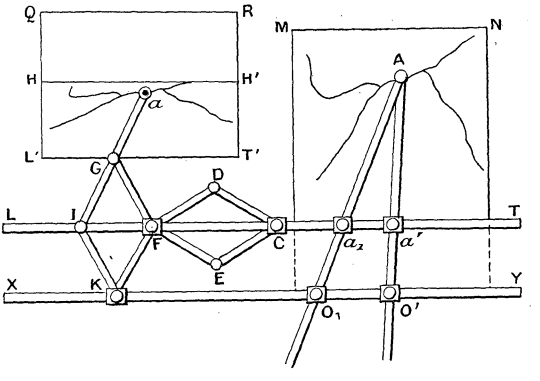
ceux du plan horizontal que l'on voudrait mettre en perspective.

Cette construction s'effectue mécaniquement au moyen du perspectographe de Hermann Ritter dont la *fig.* 25 présente un schéma.

L'appareil se compose d'une série de règles, de bras, de glissières, d'articulations et d'œillets dont le jeu est assez facile à saisir.

Les deux règles XY et LT sont fixées sur la planche à des-

Fig. 25.




Perspectographe de Hermann Ritter.

siner ; la seconde, LT, que l'on place sur la ligne de terre du plan horizontal, présente une rainure formant glissière.

Les deux bras $O_1A$ et $O'A$, articulés en A, peuvent glisser respectivement dans les œillets $O_1$, $a_1$ et $O'$, $a'$ que l'on ajuste à volonté sur les deux règles. Le centre de l'œillet $O'$ est fixé sur la règle XY en coïncidence avec la projection du point de vue et l'œillet $O_1$ sur cette même règle à une distance $O'O_1$, égale à la hauteur du point de vue au-dessus du plan horizontal; la distance de ce point de vue au tableau est donc celle du centre de l'œillet $O'$ au bord de la règle LT.

Les œillets $a_1$ et $a'$ qui se laissent traverser par les bras $AO_1$ et $AO'$ peuvent eux-mêmes couler le long de la règle LT. Un

système de deux losanges articulés égaux, CDEF et FGIK, disposés rectangulairement (la grande diagonale de l'un dans le prolongement de la petite diagonale de l'autre) et dont les articulations C et F sont rattachées aux œillets $a_1$ et $a'$ par des tiges guidées, chacune de longueur constante et indépendantes l'une de l'autre, constitue une sorte de pantographe dont le bras IG, prolongé d'une quantité $Ga = IG$, porte le crayon qui trace la perspective.

Le déplacement du style A sur le plan détermine d'une part le glissement des bras $AO_1$ et $AO'$, et de l'autre celui des œillets $a_1$ et $a'$, des centres d'articulation C et F, la déformation des losanges et le déplacement correspondant de la pointe du crayon $a$ (les angles extérieurs aux deux losanges restent droits, comme il est aisé de s'en rendre compte, DFG et EFK étant des bras coudés). Ce déplacement du crayon $a$ peut être considéré comme la résultante de deux mouvements rectangulaires, l'un parallèle et l'autre perpendiculaire à la ligne de terre. On sait d'ailleurs ce que représentent les lettres $a_1$ et $a'$ sur la figure et l'on comprend que les deux mouvements rectangulaires qui correspondent à la déformation des deux losanges résultent du déplacement des œillets $a_1$ et $a'$. Mais nous répéterons, à propos du perspectographe de Hermann Ritter, ce que nous avons dit de l'appareil du Dr Hauck; il convient de le manier pendant quelques instants pour en comprendre complètement le jeu (1).

Nous n'entrerons donc pas dans d'autres détails sur cet appareil au moyen duquel on paraît avoir surtout cherché à construire, point par point, la perspective d'un édifice, en considérant successivement les plans ou les sections horizontales qui passent par les lignes principales de l'architecture en même temps que les élévations, et en faisant varier, par conséquent, la hauteur du point de vue au-dessus des plans considérés, c'est-à-dire en déplaçant pour chacun de ces plans la position de l'œillet $O_1$.

On conçoit d'ailleurs que l'on pourrait également exécuter

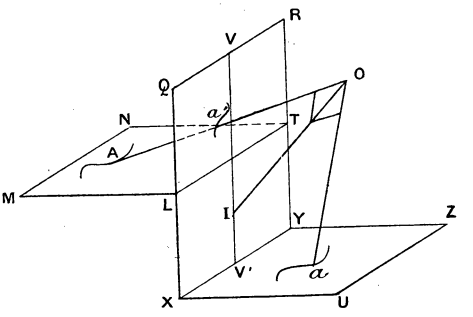
(1) Le perspectographe de Hermann Ritter a été construit par Ch. Schröder, à Francfort-sur-le-Mein.

une perspective de terrain d'après un plan recouvert de courbes de niveau, en choisissant un point de vue assez élevé; mais nous allons faire connaître, à présent, un autre instrument dont la construction et le maniement sont plus simples et au moyen duquel on obtient plus rapidement le même résultat.

## IX. — *Instruments de perspective destinés à la transformation des figures* (suite).

*Perspecteur de M. Ch. von Ziegler.* — Cet instrument est un compas à deux branches dont les longueurs peuvent varier incessamment (*fig.* 26); elles portent pour cela des rallonges à coulisse sur lesquelles sont pris deux des côtés

Fig. 26.




Perspecteur de von Ziegler.

d'un petit losange articulé qui lie leurs mouvements angulaires. La diagonale de ce losange le long de laquelle glisse le sommet opposé à l'articulation du compas est une tige inclinée à 45° sur l'horizon invariablement fixée à un support convenable. Cette diagonale étant toujours la bissectrice de l'angle des deux branches du compas, il en résulte que les mouvements angulaires de celles-ci sont égaux.

Supposons un plan vertical QRXY et un plan horizontal UZXY dans l'angle desquels soit disposé le compas dont la

tige bissectrice OI est fixée par son extrémité I sur la ligne médiane du plan vertical et dans un plan perpendiculaire à l'arête XY.

Une figure tracée sur le plan vertical pourra être reproduite, agrandie, réduite, ou en vraie grandeur, en faisant suivre les lignes de cette figure par l'extrémité sèche *a'* de l'une des pointes du compas, l'extrémité de l'autre pointe, qui porte un crayon *a*, étant maintenue en contact avec une feuille de papier à dessin placée sur le plan horizontal.

Imaginons maintenant un autre plan horizontal MNLT à une certaine hauteur au-dessus du premier et formant avec le plan vertical un système analogue à celui que l'on considère en perspective, c'est-à-dire composé d'un plan géométral et d'un tableau.

Le sommet du compas doit être considéré comme le point de vue du tableau et la branche supérieure réduite à une ligne droite idéale, prolongée jusqu'au géométral, comme un rayon visuel qui parcourt les lignes des figures de ce plan. Les rayons visuels successifs traceraient évidemment sur le tableau la perspective de ces figures, laquelle pourrait être reproduite sur le plan UVXY à l'aide du compas.

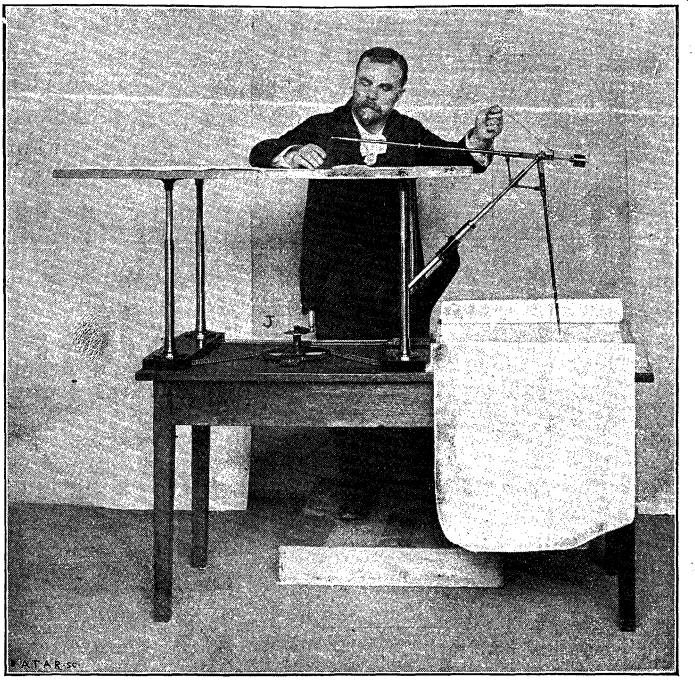
Mais il est aisé de voir que le tableau QRLT est inutile et qu'il suffit de conserver la partie du plan vertical LTXY qui relie les deux plans horizontaux pour y planter la douille de la tige bissectrice AI du compas. En faisant suivre par l'extrémité A de la branche supérieure, suffisamment prolongée, les lignes du plan horizontal MNLT, le crayon *a* qui termine l'autre branche en tracera la perspective.

Cette disposition de l'appareil se trouve réalisée sur la *fig.* 27, avec les accessoires nécessaires pour résoudre complètement le problème qui a pour objet l'exécution d'un paysage d'après une carte topographique nivelée (1).

(1) L'instrument représenté (*fig.* 27) a reçu le nom de *perspecteur panoramique*. L'auteur a construit un autre modèle, dit *perspecteur d'architecte*, que nous nous dispenserons de décrire parce qu'il a beaucoup moins d'intérêt pour nous et que, d'ailleurs, son principe est absolument le même.

On y voit la table supérieure portée par quatre pieds pouvant coulisser dans l'épaisseur de la table inférieure qui lui sert de support et sur l'allongement de laquelle est posé le papier à dessiner pour recevoir la perspective. Une manivelle placée sur la table inférieure et correspondant au milieu de

Fig. 27.



Perspecteur panoramique de Ch. von Ziegler.

la table supérieure permet d'élever ou d'abaisser celle-ci de quantités déterminées et aussi faibles qu'on le veut, en se guidant d'après les indications d'un cadran sur lequel on évalue le dixième de millimètre, la course totale du mouvement vertical des quatre pieds à coulisse étant de $0^{m},15$.

Une division marquée sur l'un de ces pieds permet de régler la hauteur en tenant compte de l'échelle de la carte,

après avoir décidé celle que l'on veut donner effectivement au point de vue en mètres, dans l'espace. D'un autre côté, et en se conformant encore à l'échelle, on dispose la carte, en l'orientant de façon à placer l'observateur à une distance déterminée de l'un des points du terrain dans les conditions que l'on estime les plus favorables pour bien découvrir tout le pays.

Nous donnons à titre de spécimen (*Pl. III*) la réduction à l'échelle de $\frac{1}{2}$ d'une vue de Sainte-Marie-aux-Mines et des environs, exécutée par M. Ch. von Ziegler, d'après le plan à l'échelle de $\frac{1}{20000}$ avec courbes de niveau, publié dans cet Ouvrage (t. II, *Pl. XIII*). Les conditions adoptées par l'opérateur étaient les suivantes : Le point de vue pris à $3000^m$ d'altitude est situé à $9^{km}$ à l'est de l'église de Sainte-Marie-aux-Mines, soit à $0^m,45$ à droite de cette église sur le plan; enfin, la distance du point de vue au tableau était de $0^m,60$, par conséquent sur la réduction (*Pl. III*), la position relative du point de vue dans l'espace restant d'ailleurs la même, sa distance sur le plan n'est plus que de $0^m,225$ et sa distance au tableau de $0^m,30$. En examinant avec un peu d'attention cette vue obtenue par un procédé purement mécanique, on remarquera que les courbes de niveau équidistantes de $50^m$ y ont été déterminées par points suffisamment rapprochés et l'on comprendra aisément que l'opérateur n'a eu qu'à régler son appareil pour chacune d'elles en partant de la plus basse cotée 350. Le point de vue étant supposé à l'altitude de $3000^m$, à l'échelle du plan qui est de $\frac{1}{20000}$, l'index, qui devrait marquer $0^m,15$ sur la colonne à coulisse divisée pour $3000^m$ au-dessus du niveau de la mer, a été placé à $0^m,1325 = \frac{3000^m - 350^m}{20000}$ pour la courbe 350, et comme $50^m$ à l'échelle de $\frac{1}{20000}$ sont représentés par $0^m,0025$, c'est de cette quantité que la table supérieure a dû être relevée successivement jusqu'à ce que l'on ait atteint la courbe de $950^m$ qui est la plus haute (1).

(1) M. von Ziegler montrait, à l'Exposition universelle de 1900, plusieurs vues de Suisse exécutées avec son perspecteur. Il en a publié,

Il serait assurément intéressant de comparer des vues prises en ballon ou avec un cerf-volant et celles que l'on construirait à l'aide du perspecteur, en se plaçant dans des conditions analogues, c'est-à-dire en adoptant la même altitude, la même projection horizontale de la station et la même orientation. Cet exercice pourrait être recommandé aux écoles d'aérostation.

On ne saurait prétendre, bien entendu, dans la plupart des cas, résoudre le problème inverse, c'est-à-dire tracer la carte d'après *une vue unique* prise d'un point élevé, car les sections horizontales n'y sont pas apparentes (1). Mais, dans les pays de plaines étendues où les cours d'eau, les routes, les divisions de culture, etc., sont sensiblement au même niveau et où précisément la méthode ordinaire devient difficilement praticable, on pourrait, croyons-nous, tirer un parti très avantageux de chacune des vues prises en ballon, en les soumettant à l'appareil dont il s'agit, qui est d'un maniement si simple.

Nous terminerons ce qui se rapporte au perspecteur de M. von Ziegler en ajoutant qu'il y a quelques détails de construction et de pratique dans lesquels nous n'avons pas voulu entrer pour ne pas interrompre l'exposé des propriétés de cet instrument. Nous allons indiquer succinctement les plus essentiels de ces détails. Ainsi, sur la *fig.* 27, où l'on voit l'opérateur en train de manœuvrer, on reconnaîtra immédiatement l'existence d'un petit contrepoids sur le prolongement extérieur de la branche supérieure du compas destiné à lui faire équilibre, et le fil que l'opérateur tient de la main gauche pour modérer ou même interrompre la pression du crayon sur le papier; enfin, un petit support que l'opérateur

---

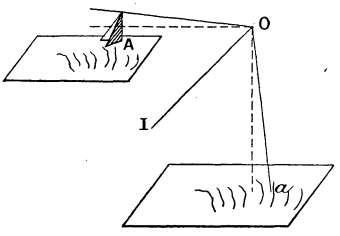
dans sa brochure déjà citée, un curieux spécimen qui représente le *cours du Rhône dans le canton de Genève,* avec l'extrait correspondant de la carte du Bureau topographique fédéral sur laquelle les courbes de niveau sont à l'équidistance de 10m.

(1) C'est le cas toutefois de rappeler l'usage des perspectomètres que conseille M. Deville, quand on est parvenu à tracer les courbes de niveau sur les vues photographiées. Cette destination suffirait à justifier les détails dans lesquels nous sommes entré à ce sujet. (*Voir* § II.)

tient de la main droite et dont on comprendra mieux la forme et l'usage en recourant à la *fig.* 28.

Ce petit support consiste dans une sorte d'angle dièdre rectangulaire dont les deux faces sont elles-mêmes des triangles rectangles égaux. L'arête verticale de ce dièdre a exactement 10$^{cm}$ de hauteur et porte à son sommet un petit

Fig. 28.




cylindre qui se fixe à l'extrémité de la branche supérieure du compas.

Dans le cas où la table qui porte la carte ne peut pas être élevée jusqu'à la hauteur des sommets dont on veut avoir la perspective (ce qui arrive dans les pays de montagnes où l'on n'a pas pris le point de vue à une très grande hauteur), on règle cette table à 10$^{cm}$ plus bas et, en promenant l'angle inférieur du dièdre sur les points cherchés des courbes successives, on en obtient la perspective, l'extrémité de la branche du compas se trouvant ramenée à la hauteur convenable.

## X. — *Instruments de perspective destinés à la transformation des figures. Perspectographe optique.*

La position du point de vue dans le perspecteur (*fig.* 26 et 27) est telle que les figures sur le plan horizontal de projection ne peuvent être tracées qu'au delà de la ligne de terre. On a pu remarquer, dans l'exemple que nous avons donné, l'inconvénient qui en résultait, c'est-à-dire l'obligation, pour exécuter une vue convenable de Sainte-Marie-aux-Mines,

d'après son plan nivelé, d'éloigner et d'élever beaucoup le point de vue.

Le perspectographe optique, dont la disposition a la plus grande analogie avec celle du perspecteur et qui a été proposé antérieurement par M. E. Deville (1), a l'avantage de permettre de dessiner des figures planes en deçà et au delà de la ligne de terre d'après leur perspective ou réciproquement.

Cet instrument ne comporte aucun mécanisme, ce qui est un autre précieux avantage, car il se réduit à un prisme de chambre claire, dont l'arête horizontale près de laquelle on doit placer l'œil est réglée de position par rapport aux deux tables où sont placés le plan et la perspective, l'un des deux étant donné, et l'autre à dessiner d'après le premier.

La distinction entre la perspective conique et la figure plane qui a servi à la construire, ainsi que le fait remarquer M. Deville, est purement conventionnelle, la dernière pouvant tout aussi bien être considérée comme la perspective de la première. Par conséquent, un instrument comme la chambre claire peut être utilisé pour restituer sur un plan horizontal la où les figures dont on a la perspective sur un plan vertical.

Les deux schémas suivants (*fig.* 29 et 30) feront aisément comprendre quelles doivent être la position relative des deux tables et celle de la chambre claire, selon les circonstances, c'est-à-dire selon la grandeur de la distance du point de vue au tableau (constante quand on opère sur des images photographiques prises avec le même appareil) et sa hauteur au-dessus du plan horizontal de projection, laquelle dépend de la différence de niveau de ce point et du plan considéré, ainsi que de l'échelle adoptée.

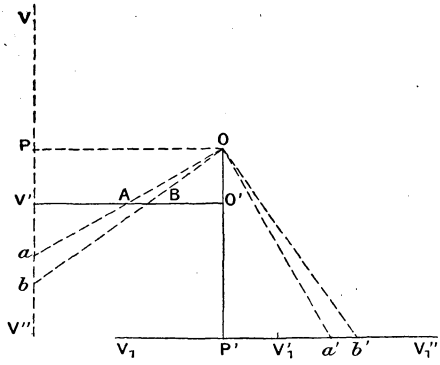
En réalité, le tableau, c'est-à-dire la vue dessinée ou la photographie, est posé sur la table inférieure en $V_1V'_1V''_1$ et la distance OP est devenue la hauteur OP′ de l'arête de la chambre claire.

Sur la *fig.* 29, la hauteur OO′ du point de vue au-dessus

(1) *Photographic Surveying* (p. 89-90). M. Deville y indiquait aussi la chambre noire comme pouvant servir à la solution des mêmes problèmes, mais il convenait que ce dernier moyen n'était guère praticable.

du plan horizontal de projection (différence de niveau réduite à l'échelle du plan qui, dans ce cas, est supposée assez petite)

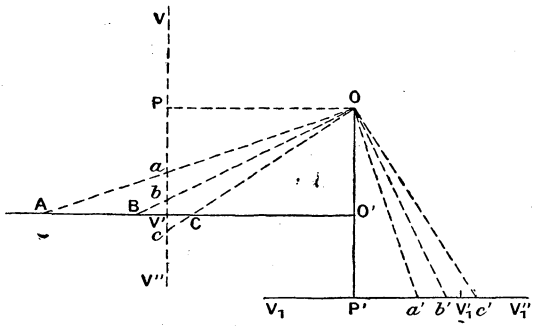
Fig. 29.




est telle que le plan se trouvera entièrement dessiné en avant de la ligne de terre projetée en $V'_1$.

Sur la *fig.* 30, avec la hauteur OO′ qui correspond à une

Fig. 30.




Sur les deux figures, V V′ V″ est la trace du tableau vertical fictif, O le point de vue par lequel passe l'arête horizontale postérieure de la chambre claire, et OP la distance du point de vue au tableau ou la distance focale de l'appareil.

plus grande échelle et peut-être aussi à une plus grande différence de niveau, le plan se trouvera, au moins en partie, au delà de la ligne de terre.

Dans les deux cas, l'opération s'effectue avec la même faci-

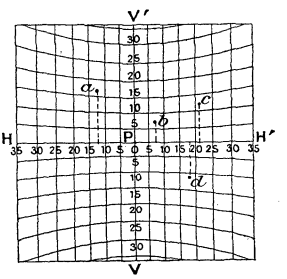
lité. Il y a lieu toutefois de prendre la précaution d'éclairer convenablement l'image et la feuille de papier sur laquelle on dessine et de détruire la parallaxe qui peut se manifester quand l'inégalité, entre les longueurs des rayons directs (allant à la pointe du crayon sur la table supérieure) et les rayons réfléchis (venant des différents points de l'image), devient assez grande (comme sur la *fig.* 29). On y parvient à l'aide d'un jeu de lentilles biconvexes ou biconcaves qui accompagnent la chambre claire.

## XI. — *Instruments de perspective destinés à prendre des mesures sur les images dessinées ou photographiées.*

*Perspectomètres.* — Comme leur nom l'indique, les instruments qu'il nous reste à examiner et que nous aurions pu déjà décrire au Chapitre III, car ils sont anciens et nous les avons employés nous-même depuis longtemps, servent à effectuer des mesures, à évaluer des angles ou des distances sur les perspectives de monuments ou de paysages.

*Perspectomètre angulaire.* — L'instrument très commode dont il s'agit, et qui est représenté par la *fig.* 31, peut être

Fig. 31.




Perspectomètre angulaire.

considéré comme un rapporteur d'angles sur des perspectives coniques planes dessinées à la chambre claire ou photographiées.

C'est un réseau tracé sur une feuille de papier transparent ou sur une lame mince de corne, de verre ou de celluloïd, dans un rectangle dont les dimensions sont celles du dessin ou de la photographie sur laquelle on doit opérer.

Ce réseau a deux axes de symétrie qui correspondent à la ligne d'horizon HH′ et à la ligne principale VV′ de la perspective. Il est composé, dans le sens de la largeur, de droites perpendiculaires à la ligne d'horizon dont les distances au point principal, à droite et à gauche de ce point, sont, sur la figure, les tangentes des angles de 5°, 10°, 15°, 20°, 25° et 30° dans un cercle dont le rayon est égal à la distance du point de vue au tableau, laquelle est, comme on sait, quand on opère sur une photographie, la distance focale de l'appareil qui a servi à l'obtenir.

Dans le sens de la hauteur, les lignes du réseau sont des arcs d'hyperbole ayant pour centre commun le point principal et leurs sommets sur la ligne principale, car ils représentent les intersections, par le plan du tableau, de cônes droits dont le sommet commun est au point de vue et l'axe une droite verticale, par conséquent parallèle au plan du tableau, dirigée de bas en haut pour une moitié des cônes et de haut en bas pour l'autre moitié (1). Les génératrices de ces différents cônes, dont les intersections par le plan du tableau sont tracées sur la *fig.* 31, font avec l'axe correspondant, dans un sens ou dans l'autre, des angles décroissants de 5° en 5°, depuis 85° jusqu'à 70°, ce qui correspond à des angles de ces génératrices avec l'horizon, soit au-dessus, soit au-dessous de 5°, 10°, 15° et 20° (2).

---

(1) Nous avions déjà rencontré ces arcs d'hyperbole à propos de la détermination de la ligne d'horizon sur la planchette de la chambre claire (Chapitre III, p. 109, en note), et nous en avions aussitôt fait usage pour évaluer les angles de hauteur sur les perspectives, ce qui nous avait conduit à construire le réseau de la *fig.* 29, à l'aide duquel nous exécutions les mesures indiquées dans le texte; mais ce réseau était déjà connu et son emploi conseillé par certains auteurs pour guider les topographes qui veulent faire du paysage.

(2) Ces angles sont aussi ceux des asymptotes avec la ligne d'horizon qui est l'axe commun des hyperboles, et la symétrie de la figure par rapport à cette ligne et de la ligne principale facilite le tracé des courbes.

On voit immédiatement que le perspectomètre angulaire construit pour une distance déterminée du point de vue au tableau doit accompagner la chambre claire ou l'appareil à l'aide duquel on a dessiné les vues ou obtenu des photographies.

Les dimensions des dessins ou des épreuves et l'amplitude angulaire de l'instrument influent sur le nombre des lignes du réseau. Ainsi, sur les images dessinées à la chambre claire, avec une distance du point de vue au tableau de $0^m,30$ et une amplitude de 60° dans le sens horizontal, nous avions tracé les lignes de degré en degré et nous pouvions évaluer les angles à 10′ près (¹).

On devrait faire de même pour des épreuves photographiques de $20 \times 30$ ou même de $18 \times 24$ obtenues avec un appareil dont la distance focale (ou la distance du point de vue au tableau, après amplification au besoin) serait de $0^m,25$ à $0^m,30$. Mais il n'y a pas lieu d'insister et chaque opérateur saura bien déterminer les limites dans lesquelles il doit se tenir en construisant le perspectomètre en question, selon les conditions dans lesquelles il se trouvera placé.

*Emploi du perspectomètre angulaire.* — Pour faire usage de cet instrument, on l'applique sur le dessin ou sur la photographie en faisant coïncider les lignes d'horizon et les lignes principales du réseau et de l'image.

S'il s'agit d'évaluer la hauteur apparente d'un point quelconque, tel que *a*, *b*, *c* ou *d*, situé au-dessus ou au-dessous de la ligne d'horizon (*fig.* 31), on voit immédiatement qu'il est

(¹) Nous nous sommes souvent servi du *réseau perspectif* (c'était le nom sous lequel nous désignions ce perspectomètre) pour évaluer l'angle de la direction d'une station voisine de celle que nous occupions avec un point remarquable de la vue que nous exécutions, sans que l'image de cette station y figurât. Nous nous contentions de faire tourner la planchette avec la chambre claire, de manière à avoir l'image du point de repère et celui de la station sur une feuille de papier blanc portant la ligne d'horizon et la ligne principale; nous nous dispensions ainsi de recourir à d'autres instruments goniométriques. La chambre claire et le réseau nous suffisaient.

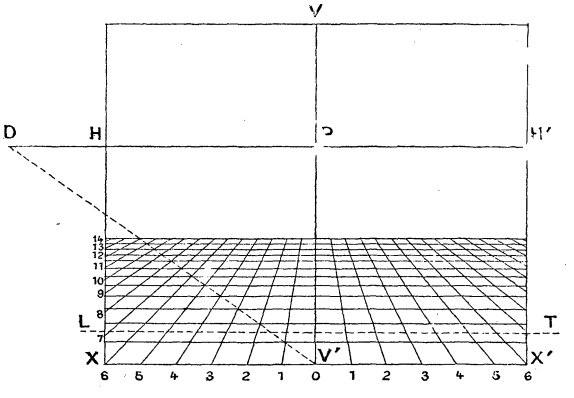
aisé de lire par estime cette hauteur sur la graduation de la ligne principale.

L'angle réduit à l'horizon de deux points de l'image s'évalue presque aussi rapidement, en projetant d'abord, à vue, chacun des points sur la ligne d'horizon (ce que les deux lignes verticales voisines du réseau facilitent singulièrement) et suivant qu'ils sont situés du même côté ou de part et d'autre de la ligne principale, en prenant la différence ou en faisant la somme des deux lectures.

Enfin, de même que l'on *relève* ainsi les coordonnées angulaires des points d'une vue *géométrique* (dessinée à la chambre claire ou photographiée), on peut aussi *rapporter* sur une esquisse dessinée à main levée des mesures faites à l'aide d'un instrument géométrique pour corriger les appréciations de l'opérateur. C'est à cet usage que paraît avoir été d'abord destiné le réseau perspectif.

*Perspectomètre linéaire.* — Le nom de *perspectomètre angulaire* proposé pour l'instrument graphique précédent est

Fig. 32.




justifié par le genre d'opérations auquel il se prête : relever ou rapporter des angles. Celui que nous allons décrire est destiné à l'évaluation de longueurs et de distances, et c'est pourquoi nous avons adopté la dénomination ci-dessus.

Il s'agit encore d'un réseau dont nous avons déjà indiqué la construction, connu depuis longtemps sous le nom de *treillis perspectif*, tandis que le procédé qu'il sert à appliquer porte celui de *craticulation*.

Sur le rectangle HH'XX' (*fig.* 32) dont les dimensions correspondent à celles de la vue dessinée à la chambre claire ou photographiée (1), HH' étant égale à la largeur et HX au moins égal à la moitié de la hauteur de l'image (2), la première est la ligne d'horizon et son milieu P le point principal.

Le réseau est composé de lignes rayonnantes dirigées par le point principal P qui partent de points de division équidistants sur la ligne XX' prolongée à droite et à gauche et de parallèles à cette ligne dont l'espacement est déterminé par les rencontres de la droite menée du point V'(3) au point de distance avec les lignes rayonnantes (on sait que les premières sont les perspectives de droites équidistantes perpendiculaires au plan du tableau et les secondes les perspectives de lignes de front également équidistantes).

Le réseau de trapèzes ainsi construit est donc la perspective d'un réseau de carrés qui serait tracé sur le plan horizontal de projection, réseau déterminé par deux systèmes de droites, les unes perpendiculaires et les autres parallèles à

---

(1) Pour simplifier le langage dans tout ce qui va suivre, nous supposerons que l'on opère sur des photographies.

(2) On sait que généralement la ligne principale et la ligne d'horizon se croisent au milieu de l'image qui est le point principal. Il y a cependant des cas, en présence de monuments rapprochés, dans des pays très accidentés, des gorges ou d'étroites vallées, où l'on est obligé de déplacer l'objectif en hauteur et, par conséquent, d'élever ou d'abaisser la ligne d'horizon sur l'image. HX peut donc être exceptionnellement plus grand ou plus petit que la demi-hauteur de l'image.

(3) Ou bien on peut prendre provisoirement pour petit côté du rectangle la parallèle à la ligne principale menée par le point de distance; les lignes rayonnantes, à partir de l'angle inférieur, coupent alors ce côté aux points par lesquels doivent être menées les parallèles à la base, comme il est aisé de le voir. Mais la largeur de la photographie est toujours plus petite que le double de la distance du point de vue au tableau, et il faut supprimer tout ce qui est inutile dans cette seconde construction du perspectomètre.

la ligne de terre. Cette ligne de terre LT marquée sur chaque photographie est divisée par les droites rayonnantes du perspectomètre, et la longueur de l'une de ses divisions donne l'espacement des droites qui forment le réseau des carrés sur le plan.

*Usage du perspectomètre linéaire.* — Le réseau ou treillis perspectif dont il s'agit, tracé comme le perspectomètre angulaire sur une surface transparente, s'applique dans les mêmes conditions (coïncidence des lignes d'horizon et des lignes principales) et successivement sur chacune des photographies qui contiennent des figures dont les contours sont horizontaux, les bords de la mer, d'un lac ou d'un étang ou même d'un cours d'eau dont la pente est peu sensible. La différence de niveau de la station et de l'un des points du bord de l'eau, réduite à l'échelle du plan et portée sur la photographie au-dessous de la ligne d'horizon, détermine la ligne de terre. Il convient donc, avant tout, d'obtenir sur le plan et par la méthode ordinaire des intersections, en recourant à deux vues au moins, la position sur le plan d'un point du bord de l'eau ou même de plusieurs de ces points, à titre de vérification (1).

La différence de niveau dont on a besoin pour tracer la ligne de terre s'en conclut immédiatement, comme on le sait, et dès que cette ligne est marquée sur la photographie, on peut construire le réseau des carrés sur le plan, enfin effectuer l'opération de la craticulation.

Le perspectomètre peut servir à restituer les dimensions de figures représentées en perspective sur un plan vertical et

(1) Nous supposons la présence de l'eau qui indique souvent des contours rigoureusement horizontaux. Dans les pays de plaines où les routes, les divisions de culture, les constructions de toute nature peuvent être considérées comme étant sensiblement de niveau, surtout si l'on opère en ballon ou avec l'aide d'un cerf-volant, c'est-à-dire d'un point de vue assez élevé, le procédé peut encore s'appliquer dans bien des cas, même en opérant sur une vue unique. Dans ce cas, à la vérité, la figure que l'on obtient est seulement semblable à la projection horizontale cherchée, et il faut avoir soin de se procurer la valeur d'une distance entre deux points bien définis pour déterminer l'échelle de cette figure.

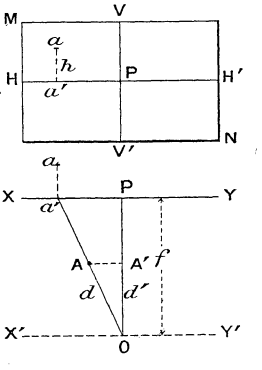
en général sur des plans perpendiculaires à celui du tableau. Nous en verrons quelques applications intéressantes; mais sans y recourir, les constructions faciles à exécuter pour atteindre le même but ne manquent pas. Nous en avons déjà donné une (tome II, p. 68 et suivantes) et nous indiquerons encore quelques-unes de celles qui ont été proposées par d'autres auteurs.

## XII. — *Instruments destinés à simplifier le calcul des différences de niveau.*

*Règle à calcul.* — On se souvient que les points identifiés sur deux vues, dessinées à la chambre claire ou photographiées, ayant servi à déterminer la position des points correspondants sur le plan, la cote de nivellement des points ainsi rapportés s'obtient par une quatrième proportionnelle dont les trois autres termes sont connus.

Ainsi, *a* étant, sur la vue (*fig.* 33), l'image du point A, rap-

Fig. 33.




porté sur le plan, et *aa'* la hauteur apparente *h* du point considéré au-dessus de la ligne d'horizon, sa hauteur réelle H, c'est-à-dire la différence de niveau de ce point et de la station (en tenant compte de la hauteur de l'instrument au-

dessus du sol) est donnée par la proportion :

$$Oa' : OA :: aa' : x \qquad \text{ou} \qquad Oa' : d :: h : H$$

que l'on peut, en menant AA′ parallèle à $xy$, trace du plan du tableau sur le plan horizontal jusqu'à sa rencontre en A′ avec la ligne de distance OP, remplacer par la suivante :

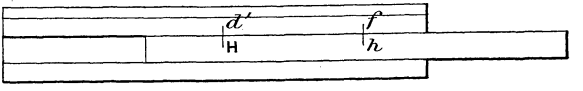
$$OP : OA' :: aa' : x \qquad \text{ou} \qquad f : d' :: h : H$$

dans laquelle on a introduit ainsi le terme constant $OP = f$, c'est-à-dire la distance focale de l'appareil ou plus généralement la distance du point de vue au tableau.

Dans cette dernière proportion, $h$ et $f$ sont exprimés en millimètres et $d'$ en mètres, à l'échelle du plan, et l'on en déduit $H = \frac{h}{f} \times d'$ également exprimé en mètres.

L'opération arithmétique s'effectue aisément au moyen de la règle à calcul (*fig.* 34) sur laquelle la lecture $f$ est faite

Fig. 34.



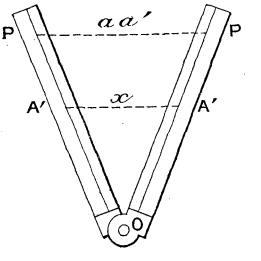

une fois pour toutes et repérée, dès le commencement des opérations (¹).

*Compas de proportion.* — Mais on peut éviter même d'évaluer $h$ en millimètres et $d'$ en mètres en employant, comme le fait M. E. Deville, un compas de proportion de dimensions suffisantes. Sur les deux branches de ce compas (*fig.* 35) on marque en P, P, à partir du centre O, la distance focale $f$, puis l'on écarte ces branches jusqu'à ce que les deux marques soient à la distance $aa'$ mesurée à l'aide d'un compas ordinaire avec lequel on a pris cette distance sur la photographie. On porte ensuite également sur les deux

(¹) C'est ainsi que nous avons opéré le plus habituellement.

branches la longueur OA′, prise à l'aide du compas ordinaire, et avec ce même compas on mesure la distance $x$ des deux

Fig. 35.



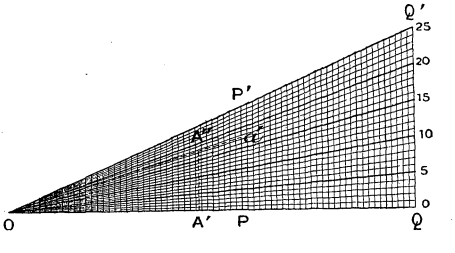

points A′, A′, que l'on évalue en mètres en portant cette dernière ouverture sur l'échelle du plan.

On voit qu'en opérant de cette façon on évite à la fois les lectures et les calculs d'arithmétique.

*Échelle angulaire.* — M. Deville a encore indiqué un procédé entièrement graphique qui exige simplement le tracé suivant de ce qu'il appelle une *échelle angulaire.*

OP (*fig.* 36) étant la distance focale prise sur la ligne OQ d'une longueur arbitraire suffisante pour permettre de déter-

Fig. 36.



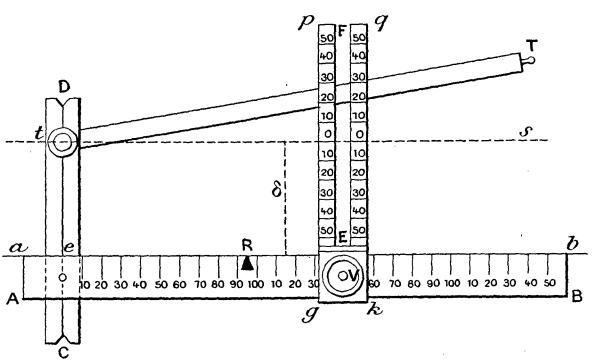

miner les différences de niveau des points les plus éloignés de la station, on élève en P et en Q des perpendiculaires à OQ : PP′, QQ′ et l'on divise en parties égales la ligne OPQ et sa perpendiculaire QQ′; aux points de division de OPQ on

élève des perpendiculaires à cette ligne et l'on joint le point O aux points de division de QQ'.

Il est aisé de voir que, si l'on porte OA' pris sur le plan avec un compas, de O en A' sur la ligne OQ de la figure 36, puis sur PP', de P en $a'$ la hauteur apparente $aa'$ (*fig.* 33) prise sur la photographie, en élevant en A' une perpendiculaire à OQ jusqu'à la rencontre en A'' de la ligne qui joindrait O et $a'$, A'A'' porté sur l'échelle du plan donnerait la différence de niveau cherchée $x$.

*Règles hypsométriques.* — Dans deux Mémoires consacrés à la métrophotographie, M. Ed. Monet, ingénieur civil, a proposé plusieurs modèles de règles dites *hypsométriques*

Fig. 37.




pour obtenir le plus rapidement possible les cotes de nivellement des points déterminés sur le plan par la méthode des intersections. Nous renvoyons le lecteur à ces deux intéressantes publications (1), et nous nous contenterons d'indiquer

(1) *Principes fondamentaux de la Photogrammétrie. Nouvelles solutions du problème d'altimétrie au moyen des règles hypsométriques,* par Edouard Monet, ingénieur civil. Paris, Société d'éditions scientifiques, 1893.

*Application de la photographie à la topographie,* par le même. (Extrait des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils de France, Bulletin d'août 1894.)

ici celui des modèles auquel M. Monet donne la préférence.

Cet instrument (*fig.* 37) se compose d'une règle AB graduée en demi-millimètres sur laquelle est fixée, à l'une de ses extrémités, une lame métallique CD où se trouve tracé un trait fin perpendiculaire à l'arête *ab* de AB et terminé par deux encoches C, D.

EF est une autre règle à arêtes *gp*, *kq* parallèles et biseautées, divisées chacune en demi-millimètres : cette dernière coulisse à frottement doux sur la première en lui restant toujours perpendiculaire.

Une vis d'arrêt V permet de fixer EF sur AB.

Le zéro des divisions de EF se trouve à une distance $\delta$ de l'arête *ab* vers le milieu de la longueur de cette règle, et le numérotage des divisions est symétrique par rapport à ce zéro.

Correspondant au trait CD de la lame métallique se trouve, en *t*, l'axe de rotation d'une autre règle *t*T, à une distance *te* égale à $\delta$, de sorte que *ts*, qui sera souvent amené sur la ligne d'horizon des photographies, soit alors rigoureusement parallèle à *ab*.

La règle *t*T peut être remplacée par un fil très fin dont l'extrémité est fixée en *t*.

Sur l'arête *ab*, à partir de *e*, c'est-à-dire du zéro de la graduation, on porte la grandeur de la distance focale *f*, et, comme l'instrument doit pouvoir servir quand on change d'appareil, cette distance est simplement repérée par un petit triangle de papier noir collé sur l'épaisseur de la règle en R.

Voici maintenant comment on se sert de l'instrument.

On applique d'abord la lame métallique sur la ligne X′ Y′ (*fig.* 33) parallèle à XY, et l'on fait coulisser la règle EF jusqu'à ce que l'un de ses côtés *gp* ou *kq* vienne rencontrer le point A dont il s'agit de déterminer la cote. Cela fait, on porte la règle sur la photographie en faisant coïncider *ts* avec la ligne d'horizon et en amenant le point R sur la perpendiculaire *aa*′ de l'image *a*; enfin, on fait pivoter la règle *t*T (ou l'on tend le fil qui la remplace) de façon que *t*T passe par le point *a*, et la différence de niveau cherchée se lit sur le biseau

*gp* ou sur le biseau *kq* de la règle **EF**, selon le cas, cette double disposition de la règle étant nécessaire pour permettre de voir sûrement, d'un côté ou de l'autre, le repère **R** qui, sans cette précaution, pourrait être caché par la règle, lors de la première opération sur le plan.

Le lecteur aura sans doute remarqué l'analogie de cette solution avec celle que l'on obtient au moyen de l'*échelle angulaire*, et il est à peine besoin d'ajouter que, dans ce cas, comme dans les précédents, on a à tenir compte de l'échelle du plan, qui, dans celui-ci, doit être en relation simple avec l'échelle **EF** (1).

**M. Monet**, en étudiant en outre plusieurs questions d'altimétrie, en a donné d'ingénieuses solutions qui témoignent une fois de plus de la fécondité de la perspective, mais nous n'aurions pu les aborder sans entrer dans de trop longs développements sur des sujets qui ne se lient qu'indirectement à celui que nous devons surtout envisager.

## DU PARTI QUE L'ON PEUT TIRER DE PHOTOGRAPHIES OBTENUES DANS DES CIRCONSTANCES EXCEPTIONNELLES, OU MÊME DE PHOTOGRAPHIES TROUVÉES DANS LE COMMERCE.

Il y aurait un long Chapitre ou même tout un Ouvrage à consacrer à ce sujet; sans pouvoir lui donner ici le développement qu'il comporte, nous aborderons dans les paragraphes suivants et nous traiterons même en détail quelques-unes des questions les plus importantes, ce qui permettra, nous l'espérons, au lecteur d'aller plus loin et d'en tirer toutes les conséquences.

---

(1) Un instrument analogue, également très simple, servant à faciliter la lecture des données sur la figure 33, a été imaginé par le colonel baron A. VON HÜBL et décrit dans les *Mittheilungen des k. und k. milit. geogr. Institutes zu Wien,* XVIII Band.

## XIII. — *Utilisation de vues recueillies accidentellement d'une localité dont on possède un plan plus ou moins détaillé.*

*Vues trouvées dans le commerce.* — Même avant l'invention de la photographie ou des procédés auxquels permettaient de recourir l'antique chambre obscure ou la chambre claire, on a cherché à utiliser, pour des restitutions partielles de plans de monuments ou de plans topographiques, des vues dessinées : gravures, lithographies, aquarelles, etc., que l'on trouvait dans le commerce. Mais il est bien évident que les photographies, si répandues aujourd'hui, leur sont incomparablement préférables, tant à cause de leur exactitude de plus en plus parfaite que des détails beaucoup plus nombreux qu'elles renferment.

Nous avons montré précédemment (Chap. III, § XIV) comment une vue unique d'un édifice régulier pouvait servir à en reconstituer partiellement le plan et les élévations.

Une utilisation analogue peut être faite de photographies isolées de paysages, de vues de villes ou de localités dont on possède un plan plus ou moins détaillé sur lequel on parvient à déterminer des points de repère convenablement situés et bien reconnaissables.

Dans bien des cas on a pu ainsi, même avec des vues dessinées à la chambre claire, compléter des plans et effectuer le nivellement du terrain représenté, et la même restitution a été faite encore bien plus sûrement, quand on y a employé des photographies.

Les circonstances dans lesquelles peut se trouver l'opérateur sont d'ailleurs trop variables pour qu'on puisse prétendre toutes les énumérer; nous supposons même que le lecteur, familiarisé avec l'art des reconnaissances, n'a pas besoin qu'on les lui rappelle. Mais nous devions nous attacher, en conseillant de faire intervenir la photographie dans la plupart de ces circonstances, à mettre en relief, plus que nous n'avons eu occasion de le faire jusqu'à présent, les propriétés de la

perspective conique propres au genre de recherches qu'elles provoquent, et en particulier celles qui ont été signalées tout récemment avec cette préoccupation.

Admettons donc qu'un opérateur ait entre les mains à la fois le plan d'une ville ou d'une localité plus ou moins étendue et des photographies de cette localité, prises d'ailleurs au hasard, de points inconnus pour lui, et que son principal objet soit d'étudier les formes du terrain, d'en obtenir le relief, à peine indiqué en général sur les plans ordinaires.

## XIV. — *Cas où l'opérateur peut se rendre sur les lieux.*

*Orientation de la trace du plan du tableau. Détermination de la distance du point de vue à ce tableau ou distance focale.* — Admettons, en premier lieu, que l'opérateur soit

Fig. 38.

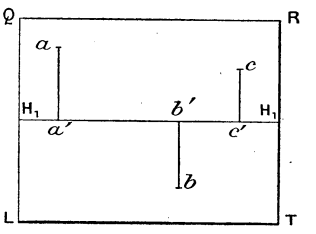
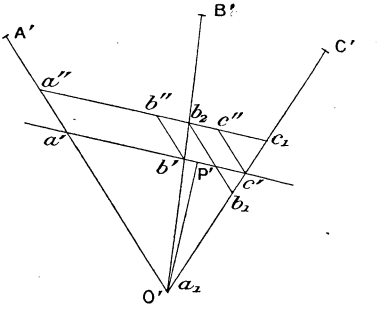



Fig. 39.




en état de déterminer sur place le point d'où a été prise la photographie, ce qui est rendu facile par la simple confrontation de l'image et de la nature. Il parviendra sans doute aussi très vite à rapporter ce point sur le plan qu'il a entre les mains.

Soient A', B', C' (*fig.* 39), sur le plan, les projections des trois points connus et reconnaissables en *a*, *b*, *c* sur la photographie (*fig.* 38), enfin O' la station, c'est-à-dire la projection du point de vue sur le plan.

Sur la photographie QRLT, et sans qu'il soit nécessaire de viser à une grande précision, on trace une ligne horizontale $H_1 H_1$ (ligne d'horizon provisoire) sur laquelle on projette les images des points considérés en $a'$, $b'$ et $c'$.

Les trois points A', B', C' étant joints à la station O', portons sur O' C' des longueurs $a_1 b_1$ et $b_1 c_1$ égales à $a' b'$ et $b' c'$ (1); par le point $b_1$ menons la parallèle $b_1 b_2$ à O' A', enfin joignons $c_1 b_2$; prolongée jusqu'à sa rencontre avec O' A', cette droite $c_1 a''$ sera évidemment une parallèle à la trace du plan du tableau.

Si donc sur cette parallèle on porte, de $a''$ en $b''$ et de $b''$ en $c''$, des longueurs égales à $a' b'$ et $b' c'$, en menant par $b''$ une parallèle à O' A', on déterminera sur O' B' le point $b'$ par lequel il suffira de mener la parallèle $a' b' c'$ à $a'' b_2 c_1$ pour avoir la trace cherchée, et l'on aurait, au besoin, une vérification en menant par $c''$ une parallèle à O' A' qui devrait passer par $c'$ (2).

On voit d'ailleurs que la distance du point de vue au tableau (distance focale de l'appareil multipliée, s'il y a lieu, par le facteur de l'agrandissement) s'obtiendra immédiatement en abaissant du point O' la perpendiculaire O' P' sur la trace $a' c'$ qui donne la projection du point principal en P'.

*Ligne d'horizon et point principal.* — En supposant encore l'opérateur sur les lieux et pouvant mesurer quelques angles de hauteur à chaque station, il lui sera facile de déterminer les lignes d'horizon et les points principaux sur les différentes photographies par la méthode indiquée au Chapitre III, § XIV.

Mais il n'en serait plus de même s'il était éloigné et sim-

(1) Le procédé le plus simple serait, on le sait, de relever les trois points $a'$, $b'$, $c'$ sur le bord d'une bande de papier que l'on présenterait sur le faisceau O' A' B' C' de façon à avoir par tâtonnement les points $a'$ sur O' A', $b'$ sur O' B' et C' par O' C'. Mais la construction géométrique indiquée est elle-même assez expéditive.

(2) Cette méthode graphique pour orienter la trace du tableau sur le plan a été proposée dès 1887 par le Prof. F. Schiffner; elle est aussi mentionnée par le Prof. F. Steiner, dont on trouvera plus loin une bien plus importante suggestion.

plement en possession de photographies et de plans incomplets ne contenant aucune cote de nivellement.

Il arrive cependant assez souvent, dans les pays civilisés, que les plans ou les cartes publiés par les gouvernements, ou celles que l'on trouve dans les guides bien faits, contiennent des cotes plus ou moins nombreuses dont on peut tirer parti.

Enfin, sur les côtes, on parviendrait aisément à tracer la ligne d'horizon si le point de vue était voisin du niveau de la mer, ou si l'on connaissait la hauteur de la station, facile à estimer.

Dans les autres cas, un examen attentif de la photographie permet seul de découvrir des indices de nature à faire décider la position la plus probable de cette ligne d'horizon. L'existence de constructions assez rapprochées pour faire apparaître la convergence des lignes de fuite horizontales, par exemple, donnerait assurément plus de chances de certitude à cette recherche.

Quant au point principal, rapporté conventionnellement au milieu de la ligne d'horizon telle qu'elle aura été adoptée et tracée sur la photographie, il pourra toujours être considéré comme déterminé avec une approximation suffisante (1).

## XV. — *Cas où l'opérateur ne peut pas se rendre sur les lieux.*

*Trouver sur un plan la projection du point de vue d'une photographie sur laquelle on reconnaît les images de cinq objets au moins représentés sur le plan.* — Ce problème dit des *cinq points* par son auteur, le Prof. Steiner, peut être rapproché de celui des *trois points* ou de Pothenot;

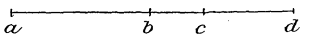
(1) Les détails, nécessairement assez vagues, dans lesquels nous sommes entré au sujet des études de terrain faites exclusivement à l'aide de photographies et de plans trouvés dans le commerce, ont été provoqués par le désir de faire apprécier l'importance du problème que s'est proposé le Prof. F. Steiner, de Prague, et dont il a donné l'élégante solution que nous exposons dans le texte. Voyez : *Die Photographie im Dienste des Ingenieurs, ein Lehrbuch der Photogrammetrie* bearbeitet von Dipl. ing. Friedrich Steiner, Wien 1893. R. Lechner (Wilh. Müller).

mais la question était beaucoup plus difficile et, au lieu des deux circonférences dont l'une des intersections était le point cherché, il a fallu recourir aux sections coniques pour trouver, dans l'une des intersections de deux de ces courbes, la projection du point de vue où de la station photographique.

La solution dont il s'agit est fondée sur les principes suivants de la Géométrie moderne que l'on pourrait faire remonter à Pascal et qui ont servi de point de départ à la théorie des sections coniques établie par Poncelet et Chasles (¹).

1. Étant donnés quatre points $a, b, c, d$ en ligne droite

Fig. 40.




(*fig.* 40), le rapport anharmonique de ces quatre points est la quantité

$$\frac{ac}{ad} : \frac{bc}{bd},$$

que l'on représente généralement, pour simplifier, par la notation conventionnelle

$$a\,b\,c\,d$$

et qui a une valeur déterminée lorsqu'on a soin de prendre les points dans l'ordre indiqué et de tenir compte du signe de chaque segment.

2. Le rapport anharmonique d'un faisceau de droites

$$O\,(A\,B\,C\,D) \quad (\textit{fig.}\ 41)$$

est la quantité

$$\frac{\sin(A\,C)}{\sin(A\,D)} : \frac{\sin(B\,C)}{\sin(B\,D)}$$

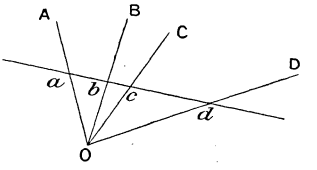
(¹) Je dois des remercîments à mon collègue M. Haag, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, professeur à l'École Polytechnique, qui a bien voulu m'aider dans la rédaction de ce paragraphe. J'ai cru devoir y rappeler des principes qui ne sont pas familiers à tous les lecteurs et donner ainsi une démonstration complète de la méthode de M. le Prof. Steiner.

que l'on représente, pour simplifier, par la notation conventionnelle

$$(A\,B\,C\,D).$$

3. Si un faisceau de quatre droites O (A B C D) est coupé par une sécante quelconque qui les rencontre en *a, b, c, d* (*fig.* 41), le rapport anharmonique des quatre droites est égal

Fig. 41.

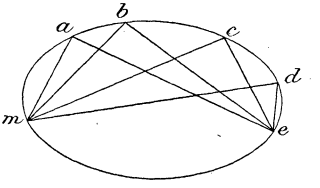



à celui des quatre points correspondants, c'est-à-dire que, d'après les notations précédentes, on a :

$$(a\,b\,c\,d) = (A\,B\,C\,D).$$

4. Si l'on joint un point *m* d'une conique à quatre points fixes *a, b, c, d* pris sur la courbe (*fig.* 42), le faisceau

Fig. 42.




*m* (*a b c d*) a un rapport anharmonique constant quand la position du point *m* varie sur la conique, ou, si l'on veut, la conique des cinq points *a, b, c, d, e* peut être considérée comme le lieu géométrique d'un point *m* tel que *m* (*a b c d*) = *e* (*a b c d*) = constante.

5. Si le point *m* se rapproche indéfiniment de l'un quelconque des quatre points *a, b, c, d,* du point *a* par exemple (*fig.* 43), la droite *ma* devient la tangente *at* à la conique au

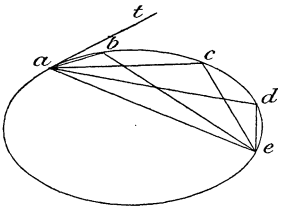
point $a$ et l'on a encore

$$a\,(t\,b\,c\,d) = e\,(a\,b\,c\,d)$$

dans ce cas limite.

Nous allons voir comment ces principes servent à résoudre le problème proposé.

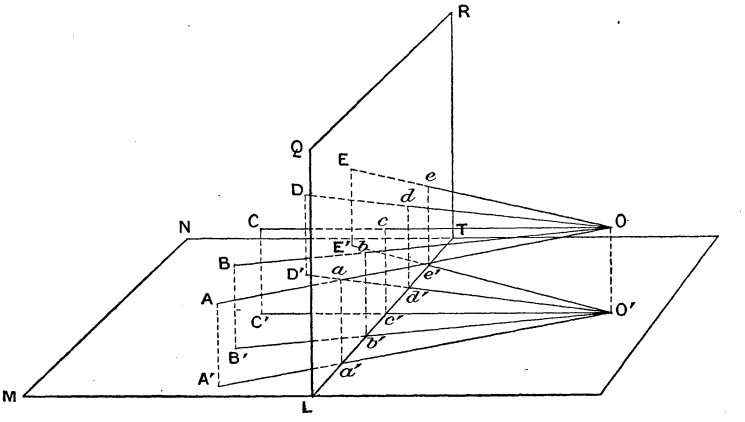
Fig. 43.




Considérons d'abord la photographie sur laquelle on a identifié les images des cinq points reconnus sur le plan.

Soient $a, b, c, d, e$ (*fig.* 44) les images des cinq points A, B, C, D, E, du paysage (dont les distances réelles sont

Fig. 44.




réduites à l'échelle du plan) projetés en A′, B′, C′, D′, E′, qui sont les points supposés connus sur le plan.

Les points $a', b', c', d', e'$, projections des images $a, b, c, d, e$,

sont également connus et, par conséquent, les rapports anharmoniques que forment quatre quelconques d'entre eux, par exemple :

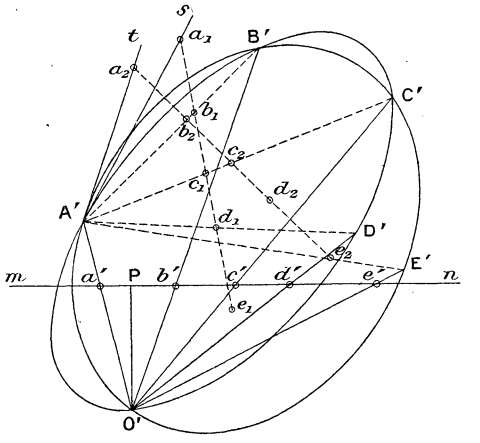
$$(a'\,b'\,c'\,d') \qquad \text{et} \qquad (a'\,b'\,c'\,e').$$

Mais ces rapports sont aussi ceux des faisceaux

$$O'\,(a'\,b'\,c'\,d') \qquad \text{et} \qquad O'\,(a'\,b'\,c'\,e').$$

Or, d'après la propriété précédemment rappelée (n° 3), le point $c'$ appartient (n° 4) à des coniques définies, la première par les quatre points A′, B′, C′, D′ (*fig.* 45), et le rapport

Fig. 45.




anharmonique $(a'\,b'\,c'\,d')$, la seconde par les quatre points A′, B′, C′, E′ et le rapport anharmonique $(a'\,b'\,c'\,e')$. Ces coniques sont d'ailleurs d'une détermination facile. En effet, d'après la propriété ci-dessus énoncée (n° 5), si l'on construit en A′ une droite A′$s$ telle que

$$A'\,(s\,B'\,C'\,D') = (a'\,b'\,c'\,d') = (a_1\,b_1\,c_1\,d_1)\,[1],$$

(1) Le procédé le plus simple pour obtenir la direction des droites A′$s$ et A′$t$ consiste encore dans l'emploi de la bande mobile de papier sur le bord de laquelle sont rapportés les points $a$, $b$, $c$, $d$, $e$ relevés sur la photographie, comme l'indique la figure.

Cette droite sera la tangente en A′ à la première conique, qui se trouve ainsi déterminée par quatre points et sa tangente en l'un de ses points.

De même, si l'on mène A′ $t$ tel que

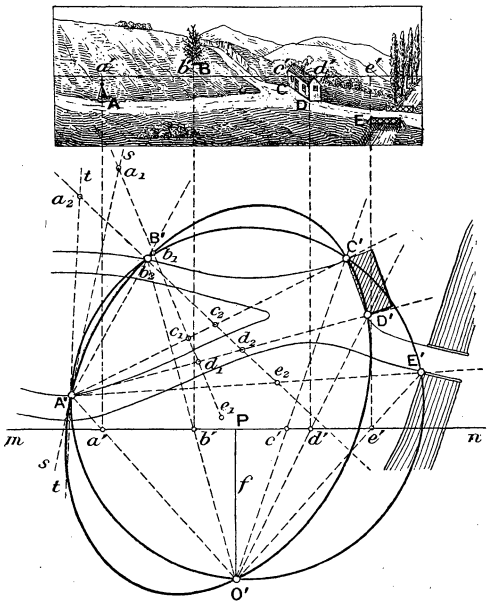
$$A'(tB'C'E') = (a'b'c'e') = (a_2 b_2 c_2 e_2),$$

la seconde conique sera tangente à A′$t$ et sera déterminée comme la première.

Le quatrième point d'intersection O′ de ces deux coniques sera le point cherché, et le problème est résolu (¹).

Indépendamment de la figure 45, qui a peut-être per-

Fig. 45 *bis*.




mis de mieux suivre la démonstration, nous reproduisons (*fig.* 45 *bis*) l'ensemble de la photographie supposée et du

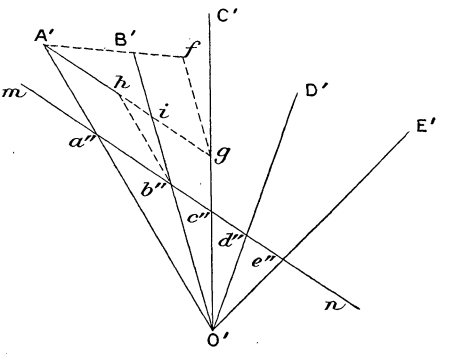
(¹) On peut obtenir le point O′ par des constructions simples sans tracer les deux coniques.

plan sur lequel on distingue les cinq points A, B, C, D, E signalés, d'après l'Ouvrage du Dr Steiner.

*Orientation de la trace du plan du tableau.* — Nous nous trouvons ramené au cas précédent de l'opérateur parvenu à déterminer sur place la projection de la station d'où avait été prise la photographie.

Le relèvement sur cette photographie des points $a', b', c', d', e'$, ou même de trois de ces points seulement, sur le bord

Fig. 46.




d'une bande de papier que l'on transporte sur le faisceau O'A'B'C'D', peut donc être employé. La méthode graphique du Prof. Schiffner serait également applicable, et c'est l'un ou l'autre de ces procédés que l'on adoptera généralement. Voici enfin une construction géométrique, également très simple, indiquée par M. Haag et qui procède des principes exposés plus haut.

Il s'agit, en définitive, de mener une sécante $mn$ (*fig.* 46) tellement placée que le faisceau intercepte sur elle des segments formant une figure égale à $a'b'c'd'e'$.

Pour cela prolongeons A'B' en $f$ tel que

$$\frac{B'f}{A'B'} = \frac{b'c'}{a'b'}$$

et menons par $f$ une parallèle à O'B' jusqu'à sa rencontre en $g$

avec O'C'. Joignons alors A'$g$; cette droite rencontre O'B' en $i$, et l'on a par les triangles semblables :

$$\frac{g\,i}{\mathrm{A}'\,i} = \frac{\mathrm{B}'\,f}{\mathrm{A}'\,\mathrm{B}'} = \frac{b'\,c'}{a'\,b'}.$$

Si nous prenons maintenant sur A'$g$ une longueur A'$h$ égale à $a'\,b'$, et si nous menons par $h$ la parallèle à O'A' jusqu'à sa rencontre en $b''$ avec O'B', la parallèle $m\,n$ à A'$g$ menée par $b''$ sera la droite cherchée.

Soient, en effet, $a''$, $b''$, $c''$, $d''$, $e''$ les intersections de cette droite avec les cinq droites du faisceau; on a, par les parallèles $m\,n$ et A'$g$,

$$\frac{b''\,c''}{a''\,b''} = \frac{g\,i}{\mathrm{A}'\,i} = \frac{b'\,c'}{a'\,b'},$$

et comme, par construction, $a''\,b'' = \mathrm{A}'\,h = a'\,b'$, il en résulte que $b''\,c''$ est égal à $b'\,c'$.

Mais les droites du faisceau O' (A'B'C'D') sont tellement disposées que le rapport anharmonique de quatre d'entre elles est égal à celui des points correspondants de la division $a'\,b'\,c'\,d'$, et l'on aura, d'après le lemme 3,

$$(a''\,b''\,c''\,d'') = (a'\,b'\,c'\,d'),$$
$$(a''\,b''\,c''\,e'') = (a'\,b'\,c'\,e').$$

Or, les deux premiers segments de chacune de ces expressions étant égaux, l'égalité des trois autres segments en résulte, ce qui démontre que la droite $m\,n$ répond bien à la question.

*Application du procédé à un exemple.* — Il serait inutile, après toutes les explications précédentes, d'insister sur ce qu'il reste à faire lorsque, la position de la station et l'orientation de la trace du tableau sur le plan étant déterminées, on admet avec l'auteur que les cotes d'altitudes d'au moins deux points, bien reconnaissables sur la photographie, se trouvent indiquées sur le plan. On obtient, en effet, facilement avec ces données le tracé définitif de la ligne d'horizon, l'altitude

de la station et les cotes de tous les autres points remarquables vus de cette station et reconnus sur la photographie.

La planche IV, que nous empruntons à la brochure du Prof. Steiner, est un exemple tout à fait concluant de ce merveilleux procédé de reconnaissance.

Le lecteur jugera bien que la réduction à laquelle l'auteur a été obligé de soumettre son dessin original et la photographie surtout, pour les besoins de la publication, s'oppose à ce que l'on puisse tenter de faire des vérifications, d'ailleurs inutiles, la méthode générale à laquelle on a eu recours pour calculer les cotes n'étant plus en question.

Il doit être bien entendu, d'ailleurs, que l'on ne se contentera pas d'une seule vue de la localité dont on désire faire la reconnaissance, toutes les fois que l'on pourra s'en procurer d'autres au moyen desquelles on obtiendra des renseignements de plus en plus nombreux en même temps que des vérifications.

*Remarque.* — Comme le problème de Pothenot, celui des cinq points est indéterminé lorsque le point cherché O est sur la même section conique avec les points donnés A, B, C, D, E ou trop près d'elle, les deux courbes que l'on construit pour l'obtenir se coupant alors sous des angles très aigus.

Mais tandis que, dans le problème de Pothenot ou des trois points, il n'y a que deux circonférences possibles à tracer, on peut recourir, dans celui des cinq points, à différents systèmes de sections coniques conjuguées deux à deux et passant par quatre des points donnés et par le point cherché.

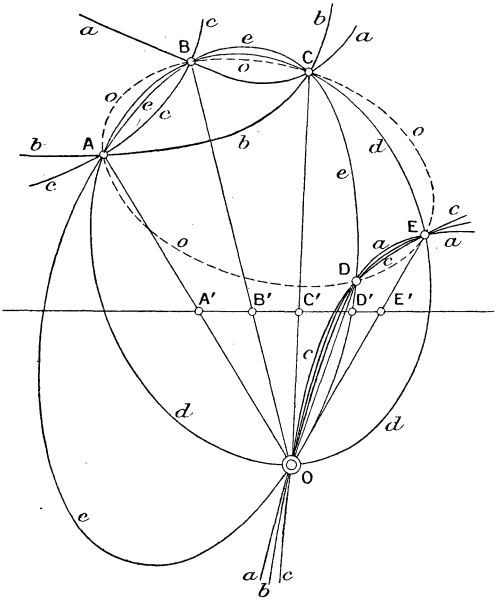
La figure 47, que nous empruntons encore au Prof. Steiner, met le fait en évidence.

Sur cette figure, il a été convenu de désigner chacune des sections coniques qui y est représentée par la petite lettre du point par lequel elle ne passe pas. Ainsi *o* est la section conique qui passe par les cinq points A, B, C, D, E et ne passe pas par O, et il en est de même pour les cinq autres *a*, *b*, *c*, *d*, *e*. Les trois premières, *a*, *b*, *c*, sont des hyperboles et les autres *d*, *e* et *o* sont des ellipses. *a*, *b*, *c* se coupent en O sous des angles trop aigus pour pouvoir servir à déter-

miner ce point, tandis que *c* et *d* se coupent presque à angle droit.

Les deux ellipses *d* et *e* sont également convenables. En résumé, il y a des cas où les différents systèmes de courbes

Fig. 47.



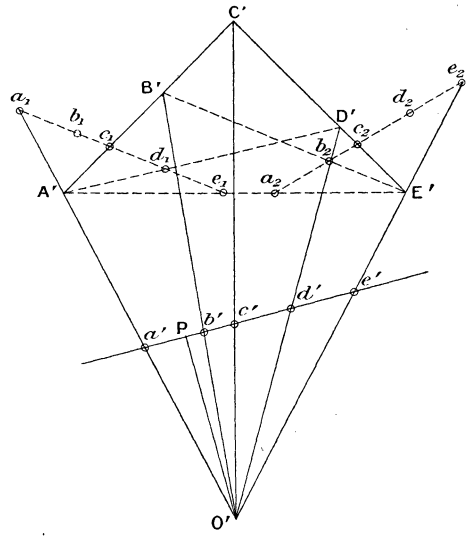

sont tous satisfaisants, mais il y en a d'autres où il faut chercher celui qui convient le mieux pour déterminer exactement le point O.

## XVI. — *Problème des cinq points* (suite).

*Solution simplifiée dans un cas particulier.* — Si les cinq points sont alignés sur deux droites qui se rencontrent, l'un d'eux se trouvant à leur intersection, comme cela arrive fréquemment lorsque la vue est prise sur un édifice d'architecture, la construction se simplifie naturellement.

Soient, en effet (*fig.* 48), les points A′, B′, C′, D′, E′ situés sur les deux droites A′C′ et C′E′; joignons le point A′, déjà réuni à B′ et à C′, aux points D′ et E′ et le point E′ au point B′. Portons successivement, à l'aide de la bande de papier pliée, la série des points $a'\,b'\,c'\,d'\,e'$ de la photographie sur le faisceau A′ (C′D′E′) et sur le faisceau E′(A′ B′ C′), de manière

Fig. 48.




à amener, dans le premier cas, le points $c_1, d_1, e_1$ sur les droites A′C′, A′D′, A′E′ et, dans le second, les points $a_2$, $b_2$, $c_2$ sur les droites E′A′, E′B′, E′C′. Dans le premier cas, le point $a_1$ joint au point A′ représentera la tangente à l'une des courbes en ce point, et dans le second le point $e_2$ joint au point E′ représentera également la tangente au point E′ à l'autre courbe. Les droites A′C′ et A′$a_1$ remplaceront la première courbe, et les droites C′E′ et $e_2$E′ la seconde. La rencontre des deux nouvelles droites $e_2$E′ et $a_1$A′ déterminera donc la position du point de vue O′ sur le plan et la perpendiculaire abaissée de ce point sur la trace $a'\,b'\,c'\,d'\,e'$ du plan du tableau, obtenue en appliquant la bande qui porte la série des points

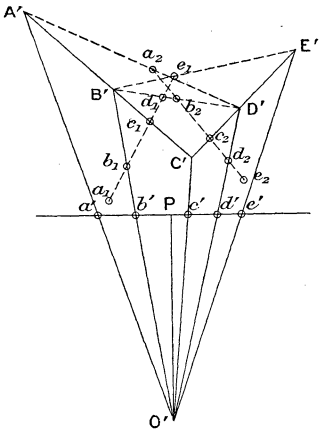
relevés sur la photographie, déterminera le point principal P et la distance O'P du point de vue au tableau, distance focale de l'appareil.

Cette solution se rapportant au cas où le point de vue est compris dans l'angle formé par les droites A'C' et C'E', on pourrait se demander comment elle s'appliquerait à celui où le point de vue est extérieur.

La construction suivante répond à ce cas, et elle est aussi simple que la première.

On joint le point A' au point D', le point B' aux points D'

Fig. 49.




et E', on applique la bande qui porte la série des points relevés sur le faisceau B' (C' D' E') en $e_1 d_1 c_1 b_1 a_1$, et alors les deux droites B' $b_1$ et C' E' remplacent l'une des sections coniques, puis sur le faisceau D' (A' B' C') en $a_2 b_2 c_2 d_2 e_2$, et les deux droites D' $d_2$ et A' C' remplacent l'autre section conique, de sorte que l'intersection des droites B' $b_1$ et D' $d_2$ prolongées donne le point de vue O' que l'on joint aux trois autres points A', C', E'.

Il ne reste plus, comme précédemment, qu'à porter la bande $a' b' c' d' e'$ sur le faisceau O' (A' B' C' D' E') pour avoir la trace du plan du tableau, et à abaisser la perpendiculaire

O′P sur cette trace pour avoir le point principal P et la distance O′P du point de vue au tableau.

## XVII. — *Problème des cinq points. Note complémentaire.*

*Solution analytique du problème des cinq rayons et des trois rayons* (1). — L'exposé précédent du problème des cinq points était imprimé quand nous avons reçu de M. Doležal une nouvelle solution très élégante de la question et même de celle d'un point par trois autres, c'est-à-dire du problème beaucoup plus simple dit *de Pothenot*. Voici, en abrégé, l'entrée en matière de l'auteur :

Le problème des cinq rayons peut s'énoncer de la manière suivante : cinq points $P_0$, $P_1$, $P_2$, $P_3$, $P_4$ (*fig.* 50) sont connus par leurs coordonnées rectangulaires horizontales $(x_0, y_0)$, $(x_1, y_1)$, $(x_2, y_2)$, $(x_3, y_3)$, $(x_4, y_4)$, et par leurs hauteurs ou coordonnées verticales $H_0$, $H_1$, $H_2$, $H_3$ et $H_4$. D'un sixième point ou station, on a pris une vue photographique sur tableau vertical, enfin on prend sur cette dernière les différences d'abscisses $d_1$, $d_2$, $d_3$ et $d_4$ des points de l'image rapportés à la ligne principale VV et à la ligne d'horizon HH. On se propose de déterminer :

*a*. Le lieu de la station;
*b*. Les constantes perspectives de la chambre noire;
*c*. L'angle d'orientation du plan du tableau.

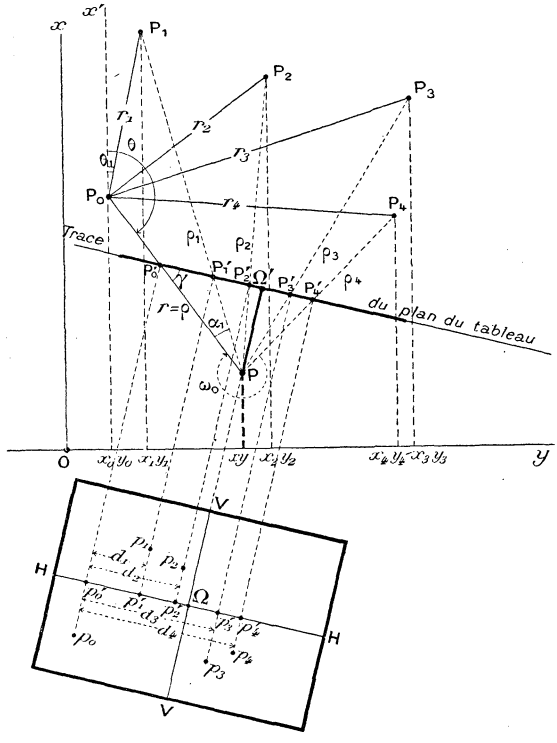
[Le lieu de la station P est déterminé par le rayon vecteur $r$ et l'angle $\theta$ de ce rayon avec l'ordonnée de $P_0$ pris pour pôle. Les constantes de la chambre noire sont sa distance focale $f$ et les positions de la ligne d'horizon et de la ligne principale; l'angle d'orientation du plan du tableau $\gamma$ est celui de la trace de ce plan avec le rayon vecteur $P_0P$.]

---

(1) *Das Problem der fünf und drei Strahlen in der Photogrammetrie* von EDUARD DOLEŽAL, in Leoben. Sonderabdruck auf *Zeitschrift für Mathematik u. Physik*, 47. Band 1902; 1 u. 2 Heft. Druck und Verlag von B.-G. Teubner in Leipzig.

Ce problème, continue M. Dolezal, a été traité pour la première fois par M. Müller, de Freiburg, à l'occasion d'autres recherches de Géométrie moderne. Mais cet auteur n'en a fait aucune application pratique. De son côté, le Prof. Franz

Fig. 50.




Steiner, de Prague, sans avoir eu connaissance des travaux de Müller, en donna une solution pratique, et c'est aussi lui qui l'a désigné sous le nom de *problème des cinq points* sous lequel il est connu en Photogrammétrie.

Le capitaine J. Mandl, de l'armée autrichienne, dans un intéressant Mémoire (1), a montré qu'en s'appuyant sur les

(1) JULIUS MANDL, *Ueber Verwertung von photographischen Aufnah-*

principes de l'Algèbre supérieure ce problème était susceptible d'une solution analytique simple et d'une construction directe, à l'aide de la règle et du compas seulement, tandis que le procédé indiqué par Steiner est pénible et exige le tracé de sections coniques ou des constructions toujours longues.

Pour justifier le nouveau nom qu'il propose de donner au problème, M. Doležal fait remarquer qu'en général, en Géodésie, les points du terrain sont déterminés par des lignes de visée ou rayons visuels qui vont de différentes stations aux points considérés. Or le point dont on cherche la position résulte de la connaissance de celle de cinq points d'où l'on peut supposer que partent des rayons qui s'y rencontre. Et il en est de même pour le problème de Pothenot que l'auteur propose, en conséquence, d'appeler le *problème des trois rayons*.

La solution trigonométrique donnée par M. Doležal est, nous le répétons, très élégante, et nous regrettons de ne pouvoir la reproduire en entier, à cause du développement des calculs, d'ailleurs très simples, qu'elle exige. Nous nous contenterons d'en indiquer les résultats en rappelant que la signification des quatre inconnues principales est mentionnée ci-dessus entre crochets.

Ces quantités $r$, $\theta$, $\gamma$ et $f$ sont données par les formules :

$$r = \frac{\sqrt{m^2+n^2}}{mq+np},$$

$$\operatorname{tang}\theta = \frac{m}{n},$$

$$\operatorname{tang}\gamma = \frac{nq-mp}{mq+np},$$

$$f = \frac{mq+np}{p^2+q^2},$$

dans lesquelles $m$, $n$, $p$ et $q$ sont des inconnues auxiliaires

---

*men aus dem Luftballon,* in den *Mitteilungen über Gegenstande des Artillerie und Genie-wesens,* XXIX. Jahrgang. Wien, 1898, S. 165.

que l'on déduit de quatre équations de la forme suivante :

$$\frac{x_1 - x_0}{d_1} m - \frac{y_1 - y_0}{d_1} n + (x_1 - x_0) p + (y_1 - y_0) q = 1,$$
$$\frac{x_2 - x_0}{d_2} m - \frac{y_2 - y_0}{d_2} n + (x_2 - x_0) p + (y_2 - y_0) q = 1.$$

Nous ne suivrons pas l'auteur dans la recherche qu'il fait de la position de la ligne d'horizon et du point principal sur la photographie d'après les hauteurs supposées connues des points considérés au-dessus d'un plan de comparaison, et nous renvoyons à son excellent Mémoire, dans lequel il traite également le problème des trois rayons et, pour le premier comme pour le second, la question du degré d'exactitude sur lequel on peut compter avec des appareils ordinaires.

En ce qui concerne le problème des trois rayons, l'auteur est naturellement obligé de recourir à d'autres données que les positions des trois points, et il admet, comme à l'ordinaire, que l'on ait pu mesurer les angles sous lesquels ces points sont vus de la station. On s'éloigne donc des conditions que nous avions supposées, mais on retrouve celles dans lesquelles sont placés les ingénieurs hydrographes, qui peuvent aujourd'hui tirer un si grand parti de la Photographie.

Nous indiquerons, en terminant cette Note, les résultats auxquels est parvenu M. Doležal, en se servant, dans les deux cas, d'une vue photographiée de la ville de Vienne prise de la plate-forme de l'observatoire de l'École technique supérieure impériale royale. Dans le premier cas, les coordonnées de cinq points très reconnaissables (les clochers de cinq églises) ont été prises sur le plan officiel de la ville, et dans le second, où l'on ne considérait que trois de ces points, on avait mesuré de la station les deux angles nécessaires.

COMPARAISON DES DEUX MÉTHODES.

| DÉSIGNATION des quantités. | CALCULÉES D'APRÈS LE PROBLÈME | |
|---|---|---|
| | des cinq rayons. | des trois rayons. |
| Rayon vecteur $r$ | $1041^{m},290$ | $1041^{m},330$ |
| Angle polaire $\theta$ | $170°\ 59'\ 25''$ | $170°\ 59'\ 12''$ |
| Coordonnées rectangulaires $x$ | $-1059^{m},180$ | $-1059^{m},092$ |
| Coordonnées rectangulaires $y$ | $-284^{m},083$ | $-284^{m},039$ |
| Distance focale $f$ | $242^{mm},44$ | $242^{mm},44$ |
| Angle d'orientation $\gamma$ | $15°\ 41'\ 20''$ | $15°\ 42'\ 51''$ |

DEGRÉ D'EXACTITUDE.

| QUANTITÉS | ERREUR ABSOLUE D'APRÈS LE PROBLÈME | | ERREUR RELATIVE D'APRÈS LE PROBLÈME | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | des cinq rayons. | des trois rayons. | des cinq rayons. | | des trois rayons. | |
| | | | | pour 100. | | pour 100. |
| $r$ | $\pm 3^{m},203$ | $\pm 2^{m},580$ | $\frac{1}{325}$ | 0,31 | $\frac{1}{404}$ | 0,25 |
| $\theta$ | $\pm 14'\ 26''$ | $\pm 14'\ 18''$ | | | | |
| $x$ | $\pm 3^{m},410$ | $\pm 2^{m},10$ | | | | |
| $y$ | $\pm 1^{m},082$ | $\pm 4^{m},58$ | | | | |
| $f$ | $\pm 0^{mm},80$ | $\pm 0^{mm},044$ | $\frac{1}{306}$ | 0,33 | $\frac{1}{5462}$ | 0,018 |
| $\gamma$ | $\pm 9'6''$ | $\pm 39'2''$ | | | | |

## XVIII. — *Reconnaissances photographiques faites de stations plus ou moins éloignées.* (*Téléphotographie.*)

*Invention du Téléobjectif.* — Nous avons expliqué, au Chapitre III, § XVI, comment, en plaçant une chambre claire en arrière de l'oculaire d'une longue-vue, on pouvait dessiner très exactement, sur une planchette convenablement disposée, des objets plus ou moins éloignés, et parvenir à en déterminer soit les dimensions d'après leur distance, soit la distance d'après les dimensions supposées connues, d'où le nom de *Télémétrographe* donné à l'appareil ainsi constitué.

Nous avons même fait connaître l'usage de cet appareil dans les reconnaissances ordinaires où la longue-vue n'avait

qu'un faible grossissement, de 4 à 5, enfin dans la défense des places, en recourant alors à de puissantes lunettes dont le grossissement atteignait de 35 à 65 et qui nous ont permis, à l'occasion du siège de Paris, de déterminer avec certitude la position et l'importance des travaux des assiégeants jusqu'à $10^{km}$ et au delà, sur certains points.

L'idée d'employer la chambre obscure dans des conditions analogues à celles du télémétrographe ou même de combiner l'objectif de cet *instrument de dessin* avec un verre divergent qui sert à dilater, amplifier l'image formée à l'intérieur de la chambre était même antérieure, et il est assurément très intéressant de constater ainsi que le *téléobjectif* a précédé de beaucoup l'invention de la photographie.

C'est ce qui se trouve nettement établi dans un Mémoire plein d'érudition du Prof. N. Jadanza, de Turin (1), auquel nous empruntons les citations et la figure suivantes de l'Ouvrage de Christian Wolff, de Breslau, publié en 1742 (2).

Le problème est posé en ces termes par l'auteur allemand :

« I. — *Telescopium astronomicum contrahere, hoc est tubum astronomicum construere, qui minoris sit longitudinis communis, visibilis tamen diametrum æque amplificet.* »

Nous ne reproduirons ni la solution ni la démonstration qu'il propose et expose assez clairement, mais un peu longuement, et nous nous contenterons de citer le corollaire suivant, qui montre bien le but qu'il voulait atteindre et qui est précisément celui que les opérateurs modernes préoccupés de téléphotographie ont eu en vue :

« Corollarium. — *Quia lens concava convexæ juncta magnam objecti imaginem in exigua distantia exprimit;*

---

(1) Nicodemo Jadanza, *Il Teleobbiettivo e la sua storia.* Torino, Carlo Clausen, 1899. Est. dalle *Memorie della Academia delle Scienze di Torino*, serie II, t. XLIX.

(2) Christiani Wolffi *Elementa mathesos universæ*, etc. Genevæ, apud Henricum-Albertum Gosse et Socios, MDCCXLII. Christian Wolff était né en 1679 à Breslau et mourut en 1754 à Halle.

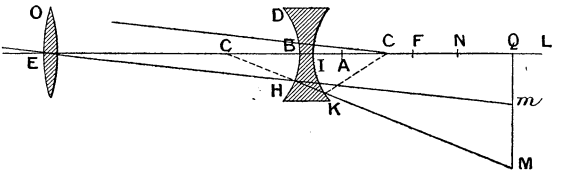
*hoc artificium egregie conducit ad cameras obscuras portatiles.* »

Et il ajoute même la remarque suivante, qui précise le but qu'il se proposait d'atteindre en obtenant la netteté des images par la nature et la disposition des lentilles :

« Scholion II. — *Quoniam usus cameræ obscuræ postulat ut imagines delineentur claræ et distinctæ quantum fieri potest; ideo et danda opera ut lentes probe elaborentur, et cavendum ne lens concava nimis acuta radios nimium dispergat. Quid fieri conducat, tentando rectius definitur, quemadmodum jam supra in casu simili annotavimus.* »

On peut suivre la marche des rayons lumineux sur la figure de l'Ouvrage de Chr. Wolff qui a servi à la démonstration et que nous reproduisons (*fig.* 51) d'après le Prof. Jadanza.

Fig. 51.




Le même auteur (M. Jadanza) rappelle encore que Képler, dans sa Dioptrique, publiée en 1611, avait déjà montré que l'on pouvait obtenir une image réelle en combinant une lentille concave avec une lentille convexe (1) et que Kircher, dans un paragraphe intitulé : *De lentium effectibus*, de son Ouvrage *Ars magna lucis et umbræ*, Roma, 1646, avait signalé le même fait de la manière la plus précise dans les termes suivants :

(1) Nous saisissons cette occasion de signaler au lecteur un remarquable article du général J. Waterhouse, publié dans *The Photographic Journal*, mai 1901, traduit de l'anglais et reproduit dans *La Photographie française*, 14e année, nouvelle série, nos 10 et 11, 1902, intitulé : *Les origines de la chambre noire*, 1° *jusqu'en* 1573 et 2° *de* 1573 *à* 1802.

« III. — *Lens concava post convexam non multum ante ordinatæ imaginæ sedem collocata, eumdem imaginem in charta ostendit, majorem distantiorem et in distantia majore quam sola lens convexa fuisset.* »

Toutefois et bien que Wolff ait négligé de s'attribuer formellement l'invention de la chambre obscure portative à agrandissement, *camera obscura portatile*, M. Jadanza conclut, avec raison, croyons-nous, que c'est à lui qu'il convient d'en reporter le mérite.

Plus tard, on trouve dans l'*Encyclopédie méthodique* une *manière de raccourcir le télescope*, par Leroy, qui n'est en réalité que la traduction incomplète du texte de Christian Wolff accompagnée d'une figure tout à fait semblable à la précédente (*fig.* 51).

Dans ces derniers temps, inspirés par les progrès incessants de la photographie, dont les applications se multiplient en même temps que les manipulations se simplifient, un grand nombre de savants et d'habiles constructeurs se sont ingéniés à créer, ils le croyaient du moins, en tout cas, à perfectionner le téléobjectif. M. le professeur Jadanza avait été précisément l'un des premiers à aborder la question en construisant en 1884, sous le nom de *lunette réduite* (*cannochiale ridutta*), un instrument qui fut remarqué par les constructeurs des autres pays dont l'attention s'était portée sur ce sujet, mais aucun d'eux, paraît-il, ni l'auteur lui-même ne connaissaient, à cette époque, la solution de Christian Wolff. Le premier essai publié de téléphotographie d'objets terrestres remonte à 1886 et a été fait en France par M. Lacombe [1], qui avait, pour cela, disposé une longue-vue en avant de l'objectif de sa chambre noire. Avec un grossissement de 10 à 12 diamètres, il avait obtenu un cliché passable du Donjon de Vincennes vu d'une distance de 4$^{km}$. Mais cet appareil était bien compliqué et M. Lacombe reconnaissait lui-même qu'il eût été préférable de supprimer l'objectif de la chambre noire et de se servir de l'oculaire de la longue-vue pour amplifier l'image réelle

[1] Voir *La Nature* du 4 septembre 1886.

produite au foyer, ainsi que l'avaient déjà fait les astronomes, comme nous l'expliquerons un peu plus loin.

C'est à peu près ce que l'on fit, dans de meilleures conditions (car la lunette de M. Lacombe n'était pas achromatisée pour les rayons chimiques), dès l'année suivante, au Service géographique de l'armée, en combinant deux objectifs photo-

Fig. 52.

graphiques de foyer très différents, l'un de $0^m,61$ et l'autre de $0^m,076$. Les résultats obtenus à cette époque et un peu plus tard par M. le commandant, depuis lieutenant-colonel Fribourg, auteur de la combinaison dont il s'agit, étaient déjà très satisfaisants. Nous donnons (*fig.* 52) une vue de l'église de Saint-Cloud prise de Bellevue, à $2500^m$ de distance environ, par le commandant Fribourg.

D'autres essais avec combinaisons d'objectifs faits de 1886 à 1892 par MM. É. Mathieu, Guilleminot, P. Nadar, etc., conduisaient plus ou moins péniblement à des résultats analogues.

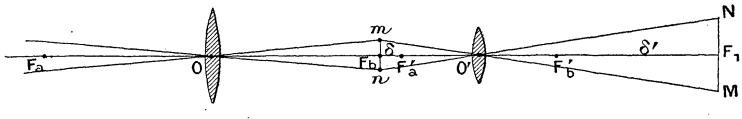
Mais, dès 1890, un habile opticien de Paris, M. Jarret, construisait un véritable téléobjectif en montant, aux deux extré-

mités d'un tube à crémaillère que l'on pouvait visser sur une chambre noire, un objectif photographique de 130$^{mm}$ de foyer et une autre lentille convergente amplificatrice que l'on pouvait éloigner ou rapprocher de l'objectif pour faire varier le grossissement. Ce système était entièrement analogue à celui de la lunette astronomique dont s'était d'ailleurs inspiré M. Jarret, tout en réduisant son appareil d'essai à de faibles dimensions.

## XIX. — *Téléphotographie* (suite).

*Téléobjectifs à deux lentilles convergentes.* — Nous donnerons immédiatement la théorie des effets de cette combinaison de deux lentilles convergentes en l'appliquant au cas de la lunette astronomique ordinaire disposée pour recevoir

Fig. 53.




les images de deux astres voisins, ou l'image d'un astre de diamètre apparent très sensible comme celui du Soleil ou de la Lune.

Soient O (*fig.* 53) l'objectif, $F_a$ et $F_b$ ses foyers antérieur et postérieur, et $f$ sa distance focale principale,

O′ l'oculaire, $F'_a$ et $F'_b$ ses foyers antérieur et postérieur, et $f'$ sa distance focale principale,

$\delta$ la distance entre $F_b$ et $F'_a$, désignée sous le nom d'*intervalle optique*,

$F_1$ le foyer du système des deux lentilles dans le plan duquel se forment les images amplifiées,

Enfin $\delta'$ la distance de ce foyer au foyer postérieur $F'_b$ de l'oculaire.

La figure 53 montre comment l'image réelle *mn* formée dans le plan focal principal de l'objectif est transformée par l'oculaire et transportée en MN dans le plan focal de $F_1$ conjugué de $F_b$ par rapport à cet oculaire.

Si l'on désigne actuellement $O'F_b$ par $p$ et $O'F_1$ par $p'$, $f'$ étant la distance focale principale de la lentille O', comme $p = \delta + f'$, $\delta$ étant supposé connu, on calculerait aisément $p'$, c'est-à-dire la distance à laquelle se forme l'image par rapport à l'oculaire, par la formule ordinaire des foyers

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'} \qquad (1)$$

mais en y remplaçant $p$ par $\delta + f'$ et $p'$ par $\delta' + f'$, et en faisant les réductions nécessaires, on la met sous la forme :

$$\delta\delta' = f'^2 \qquad (2)$$

également bien connue sous le nom d'*équation de Newton* et qui peut se traduire en langage ordinaire : Le produit des distances de l'image et de l'objet aux plans focaux d'une lentille est égal au carré de la distance focale de cette lentille, théorème général qui s'applique ici à la lentille que nous continuons à qualifier d'*oculaire,* si bien qu'avec cette formule (2), indépendante de $f$, on déterminerait $\delta'$ et par conséquent $p'$, quand on connaît ou que l'on se donne $\delta$.

Mais la valeur de $\delta'$ n'est cependant pas arbitraire, car elle entre et joue un rôle important dans une autre formule fondamentale qui donne la distance focale F de l'objectif fictif, capable de produire immédiatement l'image amplifiée en $F_1$, appelée *distance focale équivalente,* facile d'ailleurs à établir en se reportant à la figure précédente (*fig.* 53) et en se servant de la formule (2).

On voit, en effet, sur cette figure, que le rapport des deux images MN et *mn* est celui de la distance focale équivalente F à la distance focale $f$ de l'objectif de la lunette, et l'on a, par conséquent,

$$\frac{F}{f} = \frac{MN}{mn} = \frac{O'F_1}{O'F_b} = \frac{f' + \delta'}{f' + \delta},$$

d'où

$$F = f\frac{f' + \delta'}{f' + \delta},$$

et, en remplaçant $\delta'$ par $\frac{f'^2}{\delta}$, puis réduisant,

$$F = \frac{ff'}{\delta}. \qquad (3)$$

Les formules (2) et (3) contiennent toute la théorie des téléobjectifs; elles sont générales et s'appliquent aussi bien à ceux qui sont composés d'une lentille concave qu'à ceux dont nous venons de nous occuper et pour lesquels elles ont été établies.

*Application déjà ancienne aux observations astronomiques.* — Pour une lunette astronomique dont les distances focales $f$ et $f'$ de l'objectif et de l'oculaire sont déterminées, on peut se donner l'amplification désirée, c'est-à-dire la valeur de F, et calculer celle de l'intervalle optique $\delta$ par la formule (3), d'où l'on déduit celle de $\delta'$ par la formule (2).

Prenons pour exemple celui d'une lunette de 3po (81mm) d'ouverture et d'une longueur de 1m environ, dont l'oculaire avait une distance focale de 0m,02 et que nous avons employée à l'observation photographique de l'éclipse totale de Soleil du 18 juillet 1860.

L'image directe du Soleil au foyer de l'objectif avait un diamètre de 0m,01 seulement, et nous avions voulu sextupler ce diamètre afin de pouvoir bien discerner sur l'image les taches et les extrémités du croissant sur les différentes phases de l'éclipse (1). Il fallait donc obtenir pour l'objectif fictif une distance focale équivalente F de 6m.

En faisant dans l'équation (3) $F = 6^m$, $f = 1^m$ et $f' = 0^m,02$, on trouve $\delta = 3^{mm},3$, et cette valeur de $\delta$ substituée dans l'équa-

(1) La lunette astronomique était disposée horizontalement; son orientation était parfaitement déterminée et les rayons lumineux y étaient projetés à l'aide d'un héliostat. Nous espérons pouvoir indiquer plus loin la solution du problème de métrophotographie céleste qui s'est présenté à ce sujet. Nous avons proposé l'emploi de cette disposition constituant l'appareil désigné depuis sous les noms de *photohéliographe horizontal* et de *sidérostat* pour l'observation des passages de Vénus, et il a été adopté, en effet, par les astronomes français et américains en 1874 et 1882.

tion (2) donne, pour celle de $\delta'$, $0^m,121$, d'où $\delta' + f' = 0^m,141$ pour la profondeur à donner à la chambre noire, à partir de l'oculaire. Nous pourrions multiplier les exemples de l'emploi analogue fait de leurs lunettes par les astronomes, mais nous avons plutôt à nous occuper ici de la question des reconnaissances topographiques faites à distance, et nous y revenons.

Le téléobjectif à deux lentilles convergentes a été également employé, comme nous l'avons vu (p. 124), pour obtenir des vues de paysages assez éloignés. A l'occasion de reconnaissances faites en 1891 sur la frontière des Alpes, M. le commandant, depuis colonel de la Fuye, en a fait très habilement usage pour obtenir des renseignements exacts à des distances de $7^{km}$ à $8^{km}$ et plus. Ses nombreuses expériences et les résultats qu'il a obtenus sont consignés dans un Mémoire très étendu auquel nous engagerions le lecteur à se reporter, s'il pouvait se le procurer (1).

*Limitation de l'amplification pour les diverses combinaisons de lentilles.* — En reprenant la formule (3) $F = f\frac{f'}{\delta}$, on voit que l'amplification de l'image produite immédiatement par l'objectif de la lunette dépend du rapport $\frac{f'}{\delta}$ de la distance focale de l'oculaire à l'intervalle optique. Comme il ne saurait être question de réduction, $\delta$ doit toujours être plus petit que $f'$, car pour $\delta = f'$ la seconde lentille devien-

(1) *Mémoire du chef de bataillon Allotte de la Fuye, commandant l'École du génie de Grenoble, sur l'emploi des appareils photographiques pour les observations à grande et à petite distances.* Autographié à l'École du génie de Grenoble, 1891.

Dans ce Mémoire, M. Allotte de la Fuye a étudié, en effet, avec soin la question de la téléphotographie et indiqué les solutions qu'il croit devoir conseiller selon les circonstances, par exemple en campagne, dans l'attaque et la défense des places, soit de stations fixes, soit d'un ballon captif ou d'un ballon libre, pour reconnaître les positions de l'ennemi, observer les effets du tir, enregistrer les signaux de télégraphie optique, etc.

On consultera également avec intérêt le Mémoire *sur la téléphotographie*, publié par M. le capitaine du génie Bouttréaux, dans le numéro de septembre 1897 de la *Revue du Génie*, qui contient des spécimens très concluants de résultats obtenus par l'auteur.

drait inutile, puisqu'on aurait $F = f$; mais à mesure que $\delta$ décroît, F va en augmentant, même indéfiniment, et il semblerait qu'avec un système quelconque de deux lentilles on pourrait obtenir telle amplification que l'on voudrait.

Il est aisé de concevoir cependant qu'il ne saurait en être ainsi et que la question de l'intensité de la lumière transmise, de la luminosité de l'image, selon l'expression admise, pourrait devenir insuffisante et qu'elle dépend à la fois des trois variables $f$, $f'$ et $\delta$.

L'expérience, aussi bien que la théorie, a permis de limiter les amplifications convenables aux différentes combinaisons des lentilles, amplifications qui, d'ailleurs, pour chacune de celles-ci, ont encore une assez grande élasticité.

## XX. — *Téléphotographie* (suite).

*Téléobjectifs composés d'une lentille convergente et d'une lentille divergente.* — Vers 1892, en Allemagne et en Angleterre, des savants et des opticiens imaginèrent, indépendamment les uns des autres, des téléobjectifs composés, comme la chambre obscure portative de Chr. Wolff, d'une lentille convexe et d'une lentille concave (1).

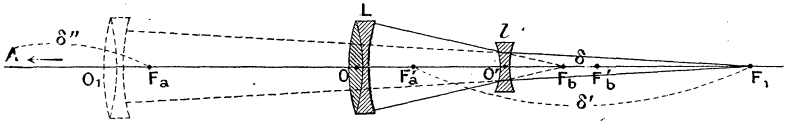
La figure schématique suivante (*fig.* 54), que l'on retrouve dans la plupart des Ouvrages ou des Mémoires cités dans la

(1) Le distingué fils de l'un de ceux qui ont réalisé les premiers d'excellents téléobjectifs, Th. R. Dallmeyer, dans la préface de l'Ouvrage *Telephotography*, dont nous donnons le titre complet ci-après, réclamait le principe de la lentille téléphotographique (*Telephotographic lens*) pour son compatriote Peter Barlow, qui l'avait appliqué, dès 1834, au télescope astronomique et avait entretenu la Société royale « des avantages que l'on aurait à employer une lentille négative dans les lunettes terrestres aussi bien que dans les lunettes astronomiques, car, en ajustant la lentille divergente, le grossissement peut varier dans une certaine proportion sans qu'il soit nécessaire de déplacer l'œil ou de perdre l'objectif de vue. Je ne doute pas, ajoutait Barlow, que cette application et d'autres encore seront faites de l'oculaire divergent ». Évidemment la conjecture de ce savant était extrêmement judicieuse et suggestive à la fois, et l'on ne saurait douter qu'il ignorait la découverte faite un siècle auparavant par Chr. Wolff.

note ci-dessous (1), montre comment le système d'une lentille convexe ou positive et d'une lentille concave ou négative peut remplacer un objectif à long foyer, et sa comparaison avec la figure 51 ne laisse aucun doute sur l'identité des idées des inventeurs modernes et de leurs devanciers des siècles précédents.

En conservant les notations de la figure 53 et en remarquant seulement que la distance $\delta'$ du foyer $F_1$ du système doit être, dans le cas actuel de la lentille amplificatrice diver-

Fig. 54.




gente, comptée à partir du foyer antérieur $F'_a$ de cette lentille, les deux formules fondamentales (2) et (3) s'appliquent sans autre modification.

*Coefficient d'amplification.* — Le rapport $\frac{f}{f'}$ des distances focales des deux lentilles a reçu le nom de *coefficient d'amplification;* en le représentant par $\gamma$, la formule $F = \frac{ff'}{\delta}$ peut

(1) *Voir :* STEINHEIL, *Ueber Fernphotographie* (*Photograph. Correspondenz,* 1892).

AD. MIETHE, Dr sc., *Optique photographique*, traduit de l'allemand par A. NOAILLON et V. HASSREIDTER. Paris, Gauthier-Villars, 1896.

T.-R. DALLMEYER F. R. A. S., etc., *The telephotographic lens*, published by J.-H. DALLMEYER; 1892.

THOMAS R. DALLMEYER, F. R. A. S., etc., *Telephotography, an elementary treatise on the construction and application of the telephotographic lens.* London, 1899.

Dr P. RUDOLPH, *Guide pour l'usage des objectifs téléphotographiques de la maison Carl Zeiss.* Iéna; 1896.

*Catalogue spécial d'objectifs photographiques.* Iéna, Carl Zeiss; 1896.

MAX LŒHR, chef de la maison C.-A. Steinheil, à Paris, *Du téléobjectif* (Annexe du *Bulletin de la Société française de Photographie*).

LE MÊME, *Sur la détermination des mesures du téléobjectif* (*Bulletin* de la même Société; 1902).

être aussi mise sous la forme $F = \gamma \frac{f'^2}{\delta}$; mais $F_1$ étant l'image de $F_b$ par rapport à la lentille négative $l$ et « le produit des distances de l'image et de l'objet aux plans focaux étant toujours égal au carré de la distance focale de la lentille », en un mot, la formule $\delta\delta' = f'^2$ s'appliquant encore dans ce cas, comme nous l'avons dit, il en résulte que $\delta'$ ou

$$F_1 F'_a = \frac{f'^2}{\delta} = \frac{1}{\gamma} F. \tag{4}$$

Remarquons maintenant que $F'_b$ peut être considéré comme l'image d'un point A de l'axe optique situé à gauche de la lentille positive par rapport à celle-ci et à la distance $\delta''$ de son foyer antérieur telle que l'on a aussi $\delta\delta'' = f^2$, d'où

$$\delta'' = \frac{f^2}{\delta} = \gamma F. \tag{5}$$

Les formules (4) et (5) peuvent servir à calculer : 1° la distance $F_1 O'$ de l'image amplifiée ou du foyer $F_1$ du système des deux lentilles à la lentille négative

$$F_1 F'_a - O' F'_a \quad \text{ou} \quad \delta' - f',$$

c'est-à-dire que

$$F_1 O' = \frac{1}{\gamma} F - f'; \tag{6}$$

et 2° celle de l'objet A à la lentille positive, OA, qui est égale à $F_a A$ ou $\delta'' + O F_a$, c'est-à-dire que

$$OA = \gamma F + f. \tag{7}$$

Si l'on considère la formule (4) et que l'on imagine le foyer antérieur $F'_a$ de la lentille négative repéré sur la monture de l'appareil, puisque $\delta' = \frac{1}{\gamma} F$, si un objectif ordinaire de distance focale $\delta'$ occupait cette place, l'image qu'il donnerait en $F_1$ serait $\gamma$ fois plus petite que celle que l'on obtient avec le téléobjectif, d'où le nom de *coefficient d'amplification*

donné au rapport $\frac{f}{f'}$ et le rôle important qui lui a été attribué par les auteurs et les constructeurs allemands (1).

La distance $\delta'$ ou $F_1F'_a$ est naturellement variable comme F avec l'intervalle optique $\delta$, et le calcul de ses différentes valeurs pour $\delta$ égal à $1^{mm}$, $2^{mm}$, $3^{mm}$, ..., $20^{mm}$ et plus, selon les circonstances, sert à régler le tirage de la chambre noire.

La formule (5) ou la formule (7), qui lient la distance de l'objet à la lentille positive, à l'intervalle optique et à la grandeur de l'image, sont utiles dans le cas où cette distance doit être prise en considération, par exemple dans un atelier pour faire des portraits ou pour reproduire des objets d'art sous d'assez grandes dimensions.

En Photogrammétrie, on n'aura à y recourir que pour relever des détails d'architecture et de construction, en ne s'éloignant pas trop des monuments auxquels ils appartiennent (et cela intéresse surtout les ingénieurs, les architectes et les archéologues). Toutes les fois, en effet, qu'il s'agira de l'étude du terrain *à de grandes distances*, on n'aura à considérer que la formule (4) ou la formule (6), l'objet ou les objets qui composent le paysage ayant leurs images dans le plan focal principal du système.

## XXI. — *Téléphotographie* (suite).

*Exemples et résultats à l'appui des théories précédentes*, — Nous jugeons inutile, dans un Travail nécessairement restreint aux notions les plus indispensables, d'entrer dans d'autres détails sur la construction et les propriétés des objectifs téléphotographiques, en particulier sur la construction des éléments positifs et négatifs et sur leurs nombreuses combinaisons deux à deux, détails que l'on trouverait dans les Traités spéciaux (2) et dans les brochures auxquelles nous

(1) *Voir* la brochure déjà citée du Dr P. RUDOLPH intitulée : *Guide pour l'usage des objectifs téléphotographiques* et le *Catalogue spécial d'objectifs photographiques de la maison Carl Zeiss, d'Iéna*, 1896.

(2) Parmi les nombreuses publications de la maison Gauthier-Villars

avons déjà plusieurs fois renvoyé le lecteur (note de la page 130). Nous nous bornerons à dire que ces combinaisons répondent à toutes les circonstances que l'on s'est efforcé de prévoir et qui sont classées sous ces trois chefs : Portraits, détails d'architecture et paysages, en y joignant l'une des deux conditions de l'instantanéité ou de la pose prolongée.

Les distances focales des deux lentilles et la valeur du coefficient d'amplification qui en résulte, le format de la plaque, en relation avec la longueur du tirage de la chambre noire, qui dépend elle-même de l'intervalle optique, aussi bien que la distance focale équivalente du système (de laquelle on peut déduire l'angle optique ou le champ), sont indiqués ou calculés dans des Tables où il ne reste qu'à choisir la combinaison dont on a besoin (1).

---

qui ont déjà contribué au progrès de la construction des objectifs photographiques en France, nous signalerons en particulier les Ouvrages suivants, dans lesquels le lecteur trouverait les renseignements qu'il nous était impossible de donner ici :

E. WALLON, *Traité élémentaire de l'objectif photographique,* 1891. — E. WALLON, *Choix et usage des objectifs photographiques.* — Lieutenant-colonel MOESSARD, *Étude sur les lentilles.* — Capitaine HOUDAILLE, *Sur une méthode d'essai scientifique et pratique des objectifs photographiques*, 1894.

Ajoutons que M. le capitaine Houdaille, aujourd'hui commandant, a entrepris depuis plusieurs années d'importantes études sur la construction des objectifs et des téléobjectifs. Deux habiles opticiens de Paris, MM. Clément et Gilmer, avaient même exécuté déjà, en 1892, plusieurs téléobjectifs qui ont été mis à l'épreuve par le commandant lui-même, par le commandant Fourtier, etc., et qui ont été trouvés irréprochables. Nous donnons, planche V, un spécimen des résultats auxquels on parvient avec ces instruments, qui méritent d'être signalés tout spécialement.

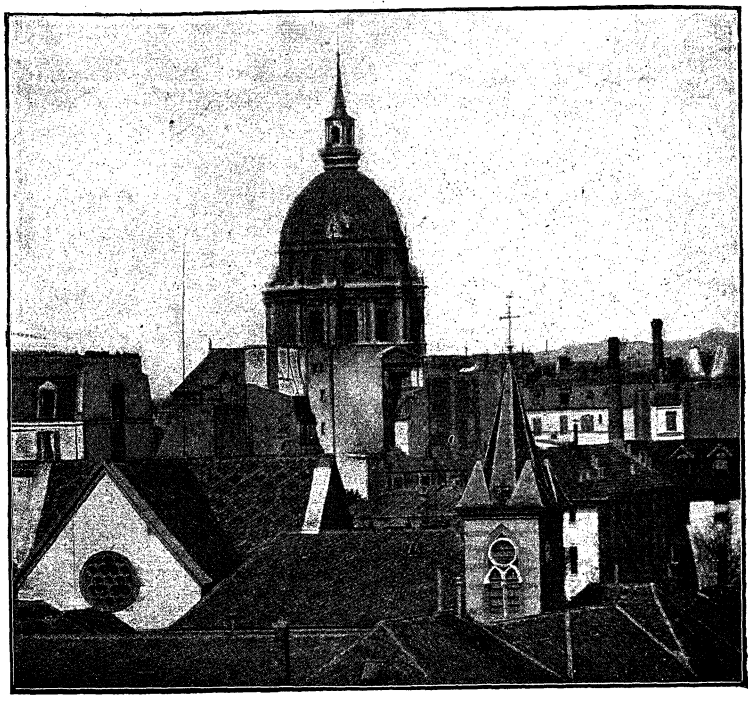
(1) La luminosité des images et le temps de pose résultant qui dépendent du diamètre de l'iris et de la distance focale équivalente sont également indiqués dans des Tables dites *Tables des diaphragmes.*

Au nombre des questions sur lesquelles il convient d'appeler la plus sérieuse attention des opérateurs qui ont à employer le téléobjectif, celle de l'état de l'atmosphère et de l'éclairage des objets éloignés doit être mise au premier plan. Nous ne saurions mieux faire, pour édifier le lecteur à ce sujet, que de le renvoyer à l'article que le distingué Directeur de la *Photographie française,* M. Louis Gastine, a publié dans cette Revue et qu'il a illustré d'un grand nombre d'épreuves prises à des distances très différentes, quelques-unes très grandes, à travers l'atmosphère de Paris, obtenues avec d'excellents téléobjectifs de M. Jarret.

Les figures 55 et 56, dont les clichés ont été mis gracieusement à

Le coefficient d'amplification $\gamma$ n'est jamais très grand dans ces combinaisons ; il varie, en général, de 2,3 à 3,5 et atteint exceptionnellement 4,5. Les intervalles optiques gravés sur

Fig. 55.



Dôme des Invalides (Montmartre à droite) vu de l'avenue de Suffren.

la monture du tube à mouvement de lorgnette, qui porte à ses deux extrémités la lentille positive et la lentille négative

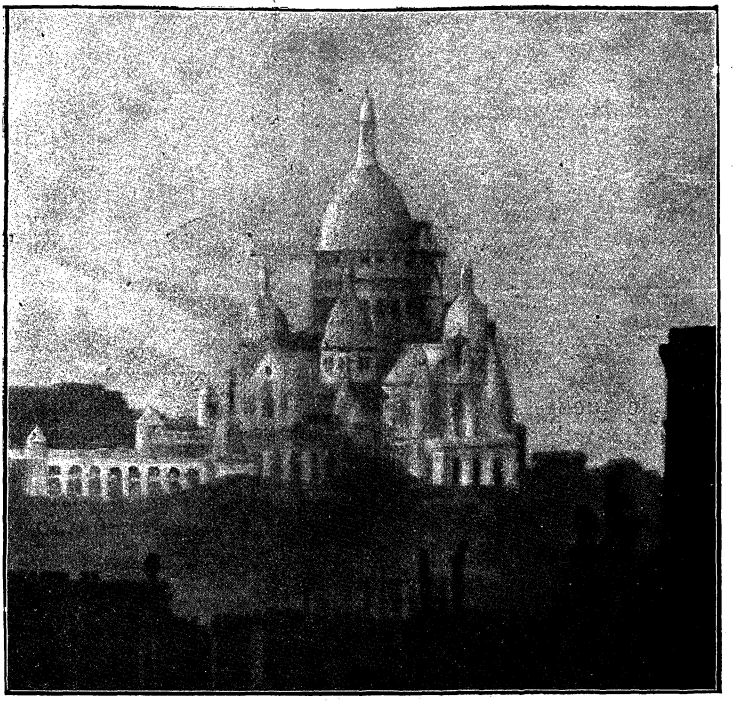
---

notre disposition par M. Gastine, témoignent de cette influence de l'état de l'atmosphère. Sur la première, avec un grossissement modéré, c'est à peine si l'on soupçonne à droite l'existence du monument du *Sacré-Cœur de Montmartre,* que, par un temps plus favorable, on a pu obtenir (*fig.* 56) en employant même un grossissement beaucoup plus considérable.

avec l'iris dont l'ouverture est réglable (*fig.* 57 et 58), varient de $1^{mm}$ à $20^{mm}$ et jusqu'à $60^{mm}$.

Les distances focales de la lentille positive sont comprises

Fig. 56.



Église du Sacré-Cœur de Montmartre vue de l'avenue de Suffren.

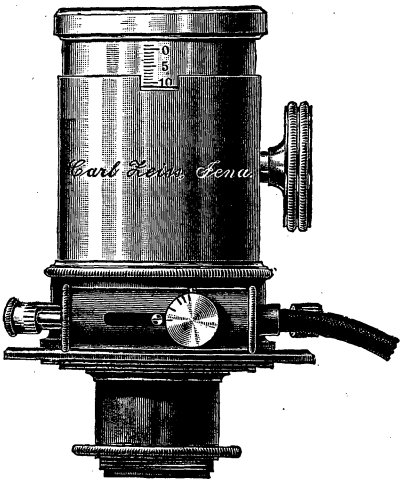
entre $120^{mm}$ et $375^{mm}$ et celles de la lentille négative entre $27^{mm}$ et $125^{mm}$ (1).

Nous n'avons pas à examiner toutes les combinaisons de lentilles que l'on peut faire dans les limites ainsi adoptées

(1) Exceptionnellement pour la lentille positive on est descendu à $110^{mm}$ et l'on est allé jusqu'à $600^{mm}$, comme nous le verrons; enfin, pour la lentille négative on est allé jusqu'à $200^{mm}$.

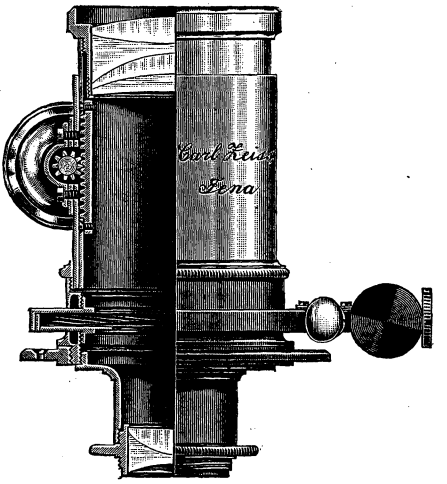
et dont le choix dépend, nous le répétons, des circonstances

Fig. 57.




dans lesquelles on doit opérer. Nous nous en tiendrons

Fig. 58.

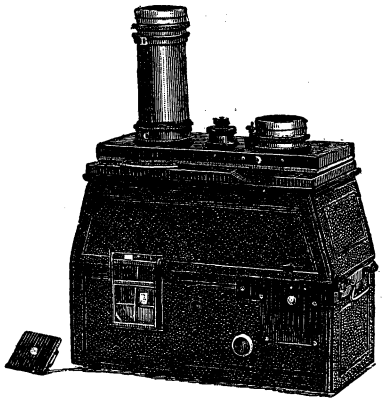



donc à deux exemples correspondant à des cas extrêmes, en

commençant par le plus modeste et le plus économique, déjà susceptible néanmoins de nombreuses et intéressantes applications.

*Téléobjectif utilisant une chambre obscure ordinaire.* — Plusieurs constructeurs en France et à l'étranger ont naturellement cherché à utiliser des objectifs et des appareils courants. M. Bellieni, de Nancy, dont les excellentes jumelles

Fig. 59.



stéréoscopiques sont bien connues, a donné une des solutions les plus simples et les plus complètes que nous connaissions et que nous allons indiquer en y joignant des spécimens des résultats obtenus qui répondent aux trois cas principaux de la pratique.

Sur la chambre noire ordinaire ou sur l'une des moitiés d'une jumelle stéréoscopique, on dévisse l'objectif correspondant que l'on place à l'une des extrémités B (*fig.* 59) d'un petit tube en aluminium, à l'autre extrémité C duquel se trouve la lentille négative amplificatrice, et l'on visse le tube ainsi préparé, qui constitue le téléobjectif, à la place de l'objectif simple.

La figure 59 représente l'ensemble de l'instrument dans le cas d'une jumelle stéréoscopique.

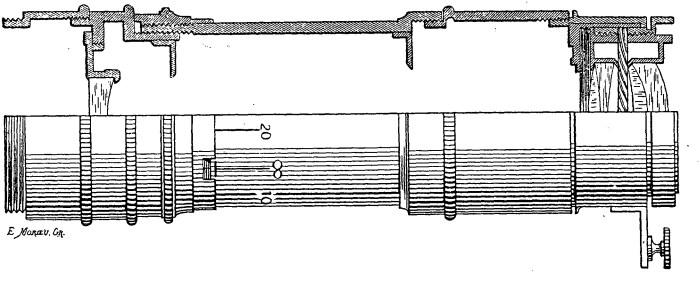
En partant des dimensions des plaques $8 \times 9$ et $9 \times 12$ et des distances focales de $f/8$ $110^{mm}$ et de $f/8$ $136^{mm}$ des objectifs employés dans la construction de ses jumelles, M. Bellieni a réalisé quatre types de téléobjectifs avec des lentilles négatives de $-27^{mm}$ et $-45^{mm}$ de distance focale dont le grossissement varie de 4 à 6 diamètres.

Nous prendrons pour exemple la combinaison la plus réduite, celle de l'objectif de $110^{mm}$ et de la lentille négative de $-27^{mm}$, le coefficient d'amplification $\gamma$ étant alors sensiblement 4. Quant à l'amplification de l'image, elle est de 5 diamètres environ, la distance équivalente ayant été faite de $533^{mm}$, qui correspond à un intervalle optique de $55^{mm}$.

Pour rendre ce système propre à photographier les objets rapprochés, sans qu'il soit nécessaire de toucher à la chambre noire pour la mise au point directe, que l'on évite ordinairement avec les appareils à court foyer, on modifie cet intervalle optique en écartant très légèrement les deux lentilles l'une de l'autre.

A cet effet, le tube (*fig.* 60) porte une graduation dont les

Fig. 60.




chiffres indiquent les différentes distances des objets rapprochés : $5^{m}$, $10^{m}$, $20^{m}$, $30^{m}$, $50^{m}$, que l'on veut pouvoir photographier en profitant du pouvoir amplifiant du téléobjectif. Cette graduation a été faite avec le plus grand soin dans l'atelier par le constructeur, sur un collimateur à foyer variable qu'il serait inutile de décrire ici.

La section faite dans le tube montre comment on peut

écarter les deux lentilles en faisant tourner ce tube, dont l'extrémité inférieure est filetée, dans un écrou porté par la monture de la lentille négative et dont le pas de vis est seulement de $0^{mm},07$.

Pour les objets situés au delà de $50^{m}$, on admet que la distance des lentilles doit rester invariable, et la division qui

Fig. 61.

Épreuve instantanée.

porte le signe de l'$\infty$ correspond alors à l'encoche pratiquée dans la monture de la lentille négative.

Pour les objets moins éloignés, le déplacement se fait par un tour ou même une fraction de tour; mais pour ceux qui sont très rapprochés, il faut plus d'un tour. Nous devions entrer dans ces détails pour expliquer la netteté qu'une mise au point rigoureuse fait obtenir pour les images dont nous donnons des spécimens (*fig.* 61 et 62).

La première (*fig.* 61) suppose l'instantanéité et montre que l'on peut utiliser le pouvoir amplifiant de ce téléobjectif pour le portrait, pour des groupes rapprochés et même pour

les objets en mouvement. La seconde (*fig.* 62), qui représente un bas-relief du tympan du grand portail de l'église d'Epvre, à Nancy, fait voir le parti que les architectes peuvent tirer de ce dispositif, et nous ajoutons, par anticipation (car nous allons y revenir dans le paragraphe suivant),

Fig. 62.

Épreuve posée à une assez faible distance.

que le cliché de la figure 62, amplifié de cinq à six fois, donne une magnifique représentation de ce bas-relief que nous regrettons de ne pouvoir mettre sous les yeux du lecteur, à cause de ses grandes dimensions.

Pour les vues de paysages ou d'objets assez éloignés, l'index reste toujours en contact avec la division qui porte le signe de l'$\infty$ et l'on n'a pas à toucher au tube.

Nous donnons (*fig.* 63) une vue de Malzéville et de ses environs, près de Nancy, prise de Champigneulles, de l'autre côté de la Meurthe, avec l'objectif de $110^{mm}$ de distance focale, seul, et l'on verra sur la Planche VI la vue d'une partie

de la ville avec le pont situé en avant, lequel est à $5^{km}$ de la station prise à l'aide du téléobjectif.

Il y a lieu de faire observer toutefois que le champ de

Fig. 63.

Vue de Malzéville prise de Champigneulles.

l'image de la figure 63, qui est de 45° environ, se trouve réduit à 7°30′ pour l'image de la figure 62.

*Remarque importante concernant les défauts d'achromatisme.* — Dans le but de garantir les épreuves des effets d'un défaut d'achromatisme des lentilles, on a soin de n'admettre que de la lumière jaune en interposant au-devant de l'objectif une lame de verre de cette couleur.

*Agrandissement eventuel des images.* — Comme les verres du petit appareil que nous venons de décrire, objectif et lentille négative, sont d'excellente qualité (et l'on ne doit pas en employer d'autres dans la construction des téléobjectifs), la netteté et la finesse des images sont telles qu'on peut encore soumettre celles-ci à un agrandissement au moins du même ordre que celui qu'a produit, immédiatement et sur place, le téléobjectif.

Cette seconde opération, qui suit la révélation et la fixation des premières épreuves, et que tout le monde sait faire actuellement, peut être effectuée à loisir, à moins qu'on ne soit pressé d'obtenir le résultat, comme cela aurait lieu, dans l'attaque ou la défense d'une place ou dans d'autres circonstances urgentes, à la guerre. Fort heureusement, toutes les manipulations nécessaires, déjà bien simplifiées, deviennent de plus en plus rapides, si bien qu'avec un matériel de campagne facile à organiser ou même à improviser, on en viendrait très vite à bout aujourd'hui. Sans donc nous en inquiéter davantage ici, nous mettons sous les yeux du lecteur (*Pl. VI*) un fragment de l'agrandissement représentant la partie qui comprend le pont de Malzéville, la Meurthe et les maisons voisines.

En comparant les dimensions d'un même édifice d'une assez grande étendue, la longueur du pont, par exemple, sur la figure et sur la planche, on trouve que le rapport de l'agrandissement est de 6,5; par conséquent, l'image définitive est celle que l'on aurait obtenue avec un objectif dont la distance focale eût été de $0^m,533 \times 6,5$ ou de $3^m,465$, en nombres ronds $3^m,50$. Or, si nous nous reportons aux vues dessinées pendant le siège de Paris, à l'aide d'une chambre claire adaptée à des lunettes dont le grossissement moyen était de 50 (ce grossissement variait de 35 à 65), nous avons vu (T. II, Chap. III, p. 120) qu'au lieu de $3^m,5$ pour le rayon du panorama auquel on pourrait rapporter l'image de la Planche VI, le rayon des nôtres atteignait et dépassait $15^m$.

Bien qu'à la rigueur on puisse augmenter le rapport de l'amplification, on doit reconnaître que, pour de plus grandes distances, comme celle de $10^{km}$ à $15^{km}$ et même davantage, que l'on peut avoir à considérer à la guerre, il convient de recourir à des téléobjectifs plus puissants.

## XXII. — *Téléphotographie* (suite).

*Téléobjectif à long foyer exceptionnel.* — Prenons donc maintenant l'exemple du téléobjectif composé d'une lentille positive de $0^m,60$ de distance focale et d'une lentille négative de $0^m,20$. Avec un intervalle optique de $0^m,01$, la distance focale équivalente de ce système est de $12^m$. La distance de l'image à la lentille négative étant, comme on le sait, $\frac{1}{\gamma}F - f'$ ($\gamma$ égal à 3 et F à $12^m$), la longueur de la chambre noire à y adapter dans ce cas est de $3^m,80$; on devine d'ailleurs qu'une pareille chambre doit être construite économiquement et installée sur des tréteaux improvisés au besoin, tout en présentant les garanties nécessaires de stabilité et d'étanchéité à la lumière.

La Planche VII représente une partie seulement d'une vue de Frascati prise du Monte Mario, près de Rome, avec le téléobjectif dont il s'agit construit par Steinheil fils, de Munich (1). L'épreuve entière était obtenue sur une plaque du format de $30 \times 40$.

La distance qui sépare Frascati de la station était de $22^{km}$. Nous n'avons pas besoin de dire que le cliché aurait pu être repris et amplifié de six à dix fois, car on avait eu le soin d'interposer le verre jaune en avant de l'objectif pour obtenir des images d'une grande netteté; mais, à moins de circonstances tout à fait rares, cette amplification ne semble pas nécessaire, et l'examen attentif d'une telle image prise à une grande distance, qui renferme tant de détails et de renseignements, convaincra sans doute tous les lecteurs intéressés que l'art des reconnaissances ne saurait négliger une ressource aussi précieuse.

Nous pouvons ajouter que cette ressource est, en effet,

(1) Le prix de cet objectif est assez élevé (1500$^{fr}$) pour que son emploi soit nécessairement limité; mais les services qu'il peut rendre sont d'un ordre tel que cette considération devient secondaire dans bien des cas.

mise très sérieusement à profit dans l'armée, aussi bien en France qu'à l'étranger, pour effectuer des reconnaissances au delà ou, pour mieux dire, par-dessus la frontière.

C'est ainsi qu'avec le même objectif de Steinheil, en faisant l'intervalle optique de $0^m,021$, d'où $F = 5^m,70$, ce qui réduit la longueur totale de l'appareil à $2^m,60$, on obtient sur des plaques de $21 \times 27$ des images sur lesquelles on peut distinguer des créneaux jusqu'à $15^{km}$ de distance, les pièces d'une batterie jusqu'à $22^{km}$, les portes et les fenêtres d'un bâtiment jusqu'à $32^{km}$.

Les résultats récents si remarquables que nous venons de résumer ne sauraient faire oublier ceux qui ont été obtenus, dès 1892, à l'aide des premiers objectifs de Dallmeyer, et qui n'ont pas encore été dépassés, à notre connaissance, en particulier par M. Frédéric Boissonnas, de Genève.

Nous donnons (*Pl. VIII*) une réduction, à moitié de sa vraie grandeur, de $50 \times 60$, d'une vue du mont Blanc prise par cet habile photographe, de Saint-Cergues, dans le Jura, c'est-à-dire à une distance de $90^{km}$ du sommet.

D'après les renseignements que nous avons pu obtenir de MM. Th. Dallmeyer et F. Boissonnas, renseignements demeurés un peu vagues sur certains points, en nous conformant aux notations précédentes on aurait eu $f = 0^m,222$, $f' = 0^m,061$ avec un grossissement de 36, d'où $F = 8^m$, ce qui donnerait $2^m$ environ pour la longueur totale de la chambre noire, au lieu de $1^m,50$ indiquée par M. Dallmeyer.

Il convient toutefois de reconnaître que ce merveilleux résultat n'a pas été atteint sans peine. M. Boissonnas a commencé ses essais en mai et n'a pleinement réussi qu'en août et septembre. Il fallait attendre que le temps fût favorable, ce qui n'arrive qu'assez rarement et vers la fin de la journée, presque au coucher du soleil. L'interposition d'un écran jaune foncé était indispensable et la durée de la pose de 15 minutes qui résultait de toutes ces circonstances pouvait faire manquer l'épreuve, les dimensions de l'appareil donnant prise au vent. Ajoutons que M. F. Boissonnas disposait d'excellentes plaques orthochromatiques préparées par son frère.

## XXIII. — *Conditions diverses dans lesquelles sont obtenues et utilisées les images dessinées ou photographiées.*

*Images dessinées à l'œil nu, à la chambre claire ou au Télémétrographe.* — Généralement les paysages dessinés par les artistes sont ou devraient être des perspectives sur un tableau situé à la distance de la vue distincte de chacun d'eux, mais il y a, on le sait, de nombreuses exceptions. Quand on emploie la chambre claire, cette distance est nécessairement celle à laquelle est disposée la planchette et, lorsqu'on interpose une lunette pour amplifier l'image d'une partie de la vue qu'on y projette, la planchette conserve la même place.

Dans ce dernier cas, l'opérateur réalise pour ainsi dire graphiquement le grossissement de la lunette puisque, au lieu de l'image qu'il voyait à l'œil nu, il dessine l'image virtuelle partielle produite par l'interposition de la lunette à la distance qui convient à sa vue.

*Distance de la vue distincte prise pour unité.* — Instinctivement la distance de la vue distincte se trouve ici prise pour unité, et il en doit être ainsi dans tous les cas; seulement, comme elle n'est pas la même pour tous les observateurs, il convenait d'adopter une valeur moyenne, et les uns ont pris $0^m,30$, les autres $0^m,25$. Il n'y a d'ailleurs rien d'absolu dans le choix que l'on peut faire de l'une d'elles, et nous ferons remarquer que déjà nous avions conseillé non seulement de dessiner les vues à la chambre claire, à cette distance de $0^m,25$ à $0^m,30$ (qui s'imposait), mais de la choisir pour distance focale des photothéodolites, à moins de la restituer en agrandissant les épreuves. Il y avait deux raisons pour cela; la première, c'est qu'il convient de donner aux rayons visuels tracés en projection sur la feuille de dessin une longueur analogue à celle de la règle de l'alidade qui convient à la construction des plans, et la seconde de conserver aux images l'aspect auquel l'œil est accoutumé.

Mais on se trouve souvent dans l'obligation d'enfreindre

cette règle, principalement quand on emploie la photographie, et il convient d'examiner les deux cas suivants, très différents l'un de l'autre.

*Images dans les appareils ordinaires.* — Les appareils que l'on emploie le plus habituellement ont une distance focale inférieure à $0^m,25$; par conséquent, les images sont *réduites;* si, par exemple, cette distance est comprise entre $0^m,12$ et $0^m,15$, de $0^m,135$, qui est assez usuelle, en doublant la grandeur des images, on aura les mêmes que celles d'un appareil dont l'objectif aurait $0^m,27$ de distance focale.

Avec un objectif de $0^m,07$, comme celui que nous avons proposé d'employer pour le photothéodolite à lunette centrale, à l'usage des explorateurs, pour réduire le volume et le poids de l'instrument, tout en étant grand angulaire, il faudrait quadrupler les images pour retrouver celles qui correspondraient à la distance de la vue distincte. En conseillant de les tripler seulement ou à peu près, c'est-à-dire de se contenter de les ramener à la grandeur de celles que donnerait un objectif de $0^m,20$ environ pour conserver le format courant de $13 \times 18$, nous avons fait un sacrifice, puisque ces dernières doivent être considérées comme réduites.

Il y a donc de légères dérogations auxquelles on est bien obligé de se résoudre dans la pratique. Il sera toujours préférable néanmoins de se rapprocher autant que possible de la grandeur normale des images correspondant à la distance de la vue distincte.

*Images dans les téléobjectifs.* — Les images que l'on demande aux téléobjectifs, même les moins puissants, sont toujours plus grandes que celles que l'on obtiendrait avec un objectif de $0^m,25$ à $0^m,30$ de distance focale. Ainsi, avec le téléobjectif de Bellieni, dont la lentille positive a $110^{mm}$ et la lentille négative $27^{mm}$ de distance focale, on ne cherche pas à obtenir d'images qui soient amplifiées moins de cinq fois, ce qui correspond à une distance focale équivalente de plus de $0^m,50$, c'est-à-dire à une image environ deux fois plus grande que celle dont nous avons jusqu'à présent conseillé l'emploi.

Dans des circonstances exceptionnelles, on pourrait à la rigueur utiliser de telles images (obtenues sans cette préoccupation) en les combinant deux à deux par la méthode des intersections, mais il eût beaucoup mieux valu, dans ce but, se contenter de la lentille positive, c'est-à-dire de l'objectif de $110^{mm}$, dont le champ est beaucoup plus considérable que celui du téléobjectif (¹), et agrandir par le procédé ordinaire les images avant de s'en servir.

Cependant, comme on peut agrandir les images fournies par le téléobjectif et que, pour des objets très éloignés, on a besoin de le faire, les *distances focales équivalentes* auxquelles on arrive ne se prêtent plus que très difficilement à la méthode des intersections.

En réalité, de même qu'avec les vues prises au télémétrographe, dès que la distance du point de vue au tableau dépasse $1^m$, on ne doit plus chercher à s'en servir que pour y découvrir des renseignements qui peuvent d'ailleurs se traduire en évaluations des distances, si l'on connaît la grandeur des objets, ou de cette grandeur elle-même, si l'on connaît la distance de l'objet considéré à la station.

Nous rappellerons, à ce propos, les chiffres que nous venons de donner un peu plus haut, à savoir que, tandis qu'avec les télémétrographes employés pendant le siège de Paris *la distance équivalente du point de vue au tableau* atteignait et dépassait $15^m$ (jusqu'à $20^m$) pour les images obtenues couramment avec le téléobjectif de Bellieni et agrandies de six à sept fois, cette distance équivalente n'est que de $3^m,50$ environ et qu'il faut recourir à des chambres noires de très grandes dimensions si l'on veut obtenir des images sur un tableau dont la distance équivalente soit comparable à celles de nos télémétrographes, comme la vue de Frascati.

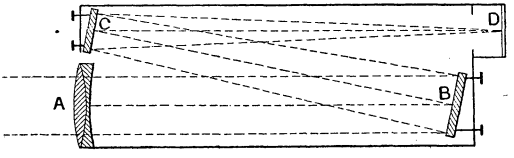
Nous n'en conclurons pas, on le sait bien, que la téléphotographie n'est pas destinée à rendre les plus grands services,

(¹) On démontre facilement que dans les lunettes ou, plus généralement, dans les systèmes optiques, le champ est en raison inverse du grossissement.

mais il ne nous est pas moins permis de recommander encore une fois l'emploi du télémétrographe, si facile à improviser en toutes circonstances, et dont un dessinateur tant soit peu exercé peut toujours tirer parti, en l'absence d'appareils téléphotographiques.

Depuis que ce paragraphe est écrit, une nouvelle disposition de lunette à long foyer avec un champ relativement étendu a été décrite par M. Aug. Vautier-Dufour, de Grandson. Cette disposition, dont le principe est dû à M. Schœr, astronome adjoint à l'Observatoire de Genève, et qui rappelle celle de la longue-vue de Porro, est représentée sur la figure suivante :

Fig. 63 *bis*.




On voit qu'elle consiste à réduire la longueur de l'instrument au tiers de la distance focale de l'objectif, par l'emploi de deux miroirs convenablement inclinés. Avec un objectif de $0^m,10$ de diamètre et un foyer de $3^m,10$, les miroirs ayant, l'un $0^m,22$ et l'autre $0^m,17$ de diamètre, l'appareil qui donne un grossissement de dix fois a une longueur de $1^m$ environ et pèse $16^{kg}$. M. Vautier-Dufour s'en est servi pour prendre des vues rapides et même instantanées du format de $13 \times 18$ et d'une netteté admirable, à des distances qui ont varié de $8^{km}$ à $114^{km}$.

Avec un objectif de $1^m,20$ de foyer donnant un grossissement de quatre fois, l'appareil serait réduit à $0^m,40$ de longueur et rendrait de grands services dans bien des circonstances (1).

(1) *Voir*, pour plus de détails, la Communication de M. Aug. Vautier-Dufour *Sur la Téléphotographie*, dans le *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, n° 143 (Lausanne, imp. Corbaz et Cie, 1902).

## ADDITION

### AUX PARAGRAPHES RELATIFS A LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE.

La nécessité de réduire au strict nécessaire l'exposé des nombreux sujets qui se rattachent à la Métrophotographie nous oblige souvent à supprimer des détails qui pourraient servir à guider les opérateurs et leur éviter des mécomptes.

L'utilisation de la téléphotographie est dans ce cas, et nous regrettons de n'avoir pu insister davantage sur la théorie et les propriétés d'instruments appelés à faciliter singulièrement les reconnaissances à grandes distances.

La question des agrandissements des épreuves obtenues, soit avec les objectifs ordinaires, soit avec les téléobjectifs, par exemple, mériterait d'être étudiée avec soin.

N'ayant ni le temps ni la place nécessaires pour entreprendre cette étude et la publier, nous nous sommes adressé à M. le Commandant Houdaille, dont la compétence en ces matières est notoire. Cet officier a bien voulu nous donner un Résumé de ses propres recherches, dont nous nous faisons un agréable devoir de le remercier, dans lequel le lecteur trouvera de précieuses indications sur quelques-unes des questions concernant l'agrandissement des épreuves ou le grossissement que peuvent donner les objectifs du commerce.

## NOTE

### SUR LA PUISSANCE DE DÉFINITION ET LE GROSSISSEMENT DES OBJECTIFS.

La *puissance de définition* d'un objectif photographique se mesure par la distance à laquelle cet instrument permet de séparer l'unité de longueur.

Ainsi un objectif capable de distinguer à 30000$^m$ deux sphères de $1^m$ de diamètre séparées par $1^m$ d'intervalle aura une puissance de définition mesurée par le chiffre 30000.

Comme terme de comparaison emprunté à la Métrophotographie, nous rappellerons que le centième de grade correspond à la puissance de définition 6366, et le millième de grade à 63660 (1).

Les objectifs photographiques de construction courante permettent presque toujours de séparer le centième de grade, tandis qu'il est très rare de trouver un instrument qui enregistre le millième de grade ou 3″ sexagésimales.

Du reste, la puissance de définition d'un objectif photographique existe en quelque sorte à l'*état latent*, et de nombreuses causes viennent limiter cette puissance ou la rendre inutilisable.

Nous examinerons sommairement les principales.

### 1° *Grosseur du grain de la gélatine.*

On sait qu'une émulsion est d'autant plus sensible que le grain du gélatinobromure est plus gros. Pour les plaques extra-rapides, ce grain peut atteindre $\frac{1}{40}$ à $\frac{1}{80}$ de millimètre de diamètre, et il empêche pratiquement d'enregistrer sur la plaque les détails dont le diamètre est inférieur à $\frac{1}{60}$ de millimètre.

De ce fait, la puissance pratique de l'objectif est sensiblement proportionnelle à sa distance focale et l'on peut en déduire que, pour définir le centième de grade, il faut employer un objectif de $0^m,10$, ou, si l'on veut séparer le millième de grade, un objectif de $1^m$ de distance focale.

### 2° *Défaut de mise au point.*

La tolérance de mise au point pour la netteté du $\frac{1}{60}$ de millimètre est extrêmement réduite.

---

(1) Rapport du rayon à la longueur du centième de grade $\frac{1}{\frac{\pi}{20000}}$.

Avec l'ouverture $\frac{f}{10}$ elle ne dépasse pas $\frac{3}{10}$ de millimètre; on se rend compte que la moindre erreur a pour effet de réduire très notablement la puissance de définition.

### 3° *Report sur papier de l'épreuve positive.*

Sauf certains cas spéciaux, on n'utilise pas directement le cliché négatif et l'on passe par l'intermédiaire d'une épreuve positive tirée sur un papier albuminé, papier au citrate ou papier au gélatinobromure.

Le transfert sur papier réduit au moins de moitié la netteté du soixantième de millimètre, de sorte que, pour obtenir la même puissance de définition du centième ou du millième de grade, il faudrait employer des objectifs de $0^m,20$ ou de $2^m$ de distance focale.

Ces derniers instruments sont d'un poids considérable et d'un prix exorbitant.

### 4° *Agrandissements.*

Au lieu d'utiliser le cliché direct ou une épreuve tirée par contact, on peut se servir d'un agrandissement.

Dans ce cas, non seulement la finesse est altérée du fait de l'objectif agrandisseur, mais encore l'image est déformée par suite du défaut presque inévitable de parallélisme du cliché et de l'écran. On peut affirmer que les mesures directes prises sur le cliché sont toujours plus précises que les mesures prises sur un agrandissement.

### 5° *Limite de la vision distincte.*

Tous les résultats que nous venons d'énumérer supposent l'examen du cliché ou de l'épreuve au moyen d'une loupe ou d'un microscope. Si l'image doit être regardée à l'œil nu, les détails d'un diamètre inférieur à $\frac{1}{10}$ de millimètre cessent d'être perceptibles. On peut en déduire qu'une épreuve permet-

tant de distinguer le centième de grade doit être obtenue avec un objectif de $0^m,60$ de distance focale au minimum.

### I. — Emploi du téléobjectif.

En plaçant à l'arrière de l'objectif un système grossissant convergent ou divergent, il devient possible d'utiliser la totalité de la puissance de *définition latente* de l'objectif.

Le grossissement maximum à adopter sera celui qui permet d'obtenir sur une épreuve la netteté de $\frac{1}{10}$ de millimètre, et il est inutile d'aller au delà, car on augmenterait le poids et les dimensions du matériel photographique, sans changer d'une façon appréciable le résultat au point de vue documentaire.

### II. — Grossissement du téléobjectif.

En divisant la puissance de définition par dix fois la distance focale exprimée en millimètres, on obtiendra le grossissement maximum à employer.

De nombreux essais, effectués tant dans notre laboratoire personnel que dans celui de la Société française de photographie, nous ont permis de dresser un Tableau de la puissance de définition moyenne des objectifs de bonne qualité.

## TABLEAU

DONNANT LA PUISSANCE DE DÉFINITION, LA NETTETÉ ET LE GROSSISSEMENT MAXIMUM DES BONS OBJECTIFS DU COMMERCE.

| DISTANCE FOCALE de l'objectif. | PUISSANCE DE DÉFINITION moyenne. | NETTETÉ MAXIMA théorique. | GROSSISSEMENT maximum. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| 15..... | 2500 | $(\frac{1}{166})$ | 17 fois | œil humain |
| 100..... | 15000 | $\frac{1}{150}$ | 15 » | |
| 200..... | 28000 | $\frac{1}{140}$ | 14 » | |
| 300..... | 39000 | $\frac{1}{130}$ | 13 » | |
| 400..... | 48000 | $\frac{1}{120}$ | 12 » | |
| 500..... | 54000 | $\frac{1}{110}$ | 11 » | |
| 600..... | 60000 | $\frac{1}{100}$ | 10 » | |
| 700..... | 66000 | $\frac{1}{95}$ | 9,5 » | |
| 800..... | 72000 | $\frac{1}{90}$ | 9,0 » | |
| 900..... | 76000 | $\frac{1}{85}$ | 8,5 » | |
| 1000..... | 80000 | $\frac{1}{80}$ | 8 » | |

NOTA. — Les chiffres ci-dessus se rapportent à des objectifs remarquablement corrigés au point de vue de l'aberration sphérique. Dans la plupart des cas il est inutile d'atteindre des grossissements aussi considérables.

### III. — DIAMÈTRE DES SYSTÈMES DIVERGENTS.

Si l'on emploie, pour amplifier l'image, un système divergent, le tirage à donner à la chambre noire est égal à la distance focale du système divergent multipliée par le grossissement *moins un*.

D'autre part, le diamètre du cercle éclairé est *sensiblement* égal au diamètre de la lentille multiplié par le grossissement *plus un*.

Enfin, il est possible de réaliser pratiquement des lentilles divergentes dont le diamètre est égal au tiers du foyer.

Ces trois remarques suffisent à résoudre la plupart des problèmes relatifs à la construction des téléobjectifs.

*Exemple.* — On possède une chambre $18 \times 24$ (diagonale $300^{mm}$) ayant $0^{m},60$ de tirage. Quel est le grossissement minimum à employer pour couvrir la plaque $18 \times 24$ sans décentrement?

On a les deux équations

$$600 = f(G-1), \qquad 300 = \frac{f}{3}(G+1);$$

d'où $G = 5$ et $f = 150^{mm}$.

### CONCLUSIONS.

L'emploi du téléobjectif permet d'utiliser toute la puissance des excellents objectifs mis actuellement dans le commerce et de les transformer en instruments de haute précision, tout en se servant d'un matériel photographique de dimensions restreintes. Ainsi, en accouplant un objectif de $600^{mm}$ avec une lentille divergente de $80^{mm}$ on pourra obtenir, au moyen d'une simple chambre noire $18 \times 24$, une image permettant de mesurer le millième de grade, résultat qui aurait exigé l'emploi d'un objectif de $6^{m}$ de foyer. Ce simple exemple montre tout l'intérêt que présentent les téléobjectifs pour la Métrophotographie et la Photographie documentaire.

### RELATIONS ENTRE LES DIVERSES DIMENSIONS D'UN OBJECTIF.

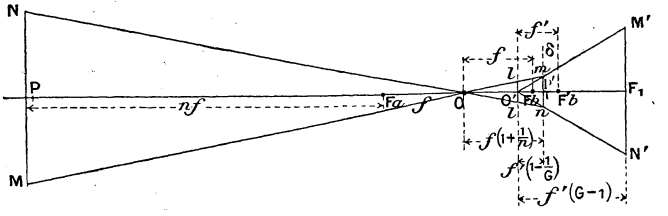
La Note précédente a été suivie d'une autre dans laquelle M. le Commandant Houdaille, s'appuyant sur les relations qui existent entre les diverses dimensions d'un téléobjectif, a montré que l'on peut aisément calculer le diamètre de la lentille divergente permettant d'utiliser une chambre noire dont les dimensions sont déterminées et obtenir un grossissement convenable fixé lui-même à l'avance.

Nous allons d'abord rappeler les relations dont il s'agit.

En reprenant les notations de la figure 54 et en supposant

seulement que $mn$ (*fig.* 64) est l'image de MN dont la distance au foyer antérieur de l'objectif convergent O est représentée

Fig. 64.




par un multiple $nf$ de la distance focale $f$, on a, pour déterminer le foyer conjugué P′ du point P de l'objet considéré,

$$\frac{1}{f(n+1)} + \frac{1}{OP'} = \frac{1}{f},$$

d'où

$$(1) \qquad OP' = f\left(1 + \frac{1}{n}\right);$$

pour le tirage $T = O'F_1$, si G désigne le grossissement, on a

$$G = \frac{O'F_1}{O'P'} = \frac{T}{f' - \delta}, \qquad \text{d'où} \qquad T = G(f' - \delta);$$

d'ailleurs on a aussi $G = \frac{F}{f}$ mais $F = \frac{ff'}{\delta}$, donc $f' = G\delta$ et

$$(2) \qquad T = f'(G - 1).$$

De

$$(3) \qquad G = \frac{O'F_1}{O'P'} = \frac{T}{O'P'}$$

on tire

$$O'P' = \frac{T}{G} = f'\left(1 - \frac{1}{G}\right).$$

Enfin, la distance des centres optiques (ou des points nodaux) des deux systèmes convergent et divergent est

$$(4) \qquad OO' = OP' - O'P' = f\left(1 + \frac{1}{n}\right) - f'\left(1 - \frac{1}{G}\right)$$

pour que l'image couvre la plaque (*mn* étant la diagonale de cette plaque) il faut que le diamètre *d* ou *ll* de la lentille négative soit au moins

$$(5) \qquad d = mn \times \frac{OO'}{OP'} = mn \times \frac{f - f' + \frac{f}{n} + \frac{f'}{G}}{f\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \quad \begin{matrix}(4)\\(1)\end{matrix}$$

et, en réduisant,

$$(6) \qquad d = mn\left\{1 - \frac{f'\left(1 - \frac{1}{G}\right)}{f\left(1 + \frac{1}{n}\right)}\right\}.$$

*Exemple numérique.* — On veut couvrir le format $13 \times 18$ avec un tirage de $0^m,32$ et le grossissement 5. Calculer le foyer et le diamètre de la lentille divergente.

Foyer de la lentille divergente $= \frac{320^{mm}}{5-1} = 80^{mm}$, d'après la relation (2).

Dimension de l'image primaire $I = mn$, la diagonale M'N' du rectangle $13 \times 18$ étant de $222^{mm}$;

$$mn = \frac{222}{5} = 44^{mm},4.$$

Diamètre de la lentille *ll* pour $G = 5$, $m = 100$ et $f = 240^{mm}$ :

*ll* ou $d = 44\left(1 - \frac{64}{242,4}\right) = 32^{mm},5$, d'après la relation (5).

La lentille divergente doit donc avoir au minimum $32^{mm},5$ de diamètre.

Calcul du tube de jonction de l'objectif convergent et de l'objectif divergent :

$$OO' = 240 - 80 + 2,4 + 16 = 178^{mm},4$$

dont il faut déduire le demi-écart des lentilles du système convergent si ce dernier est symétrique.

## XXIV. — La Photographie en ballon.

### *Reconnaissances et restitutions planimétriques.*

*Premiers essais déjà signalés.* — Nous avons rappelé, dans plusieurs paragraphes du Chapitre III et au commencement de ce Chapitre IV, les premiers essais de photographie faits avec succès en 1858 en ballon captif par Nadar (1), puis l'emploi de vues également prises en ballon captif et utilisées aux États-Unis pendant la guerre de la sécession. Nous avons aussi indiqué sommairement les propriétés et les conditions d'emploi des vues prises de stations aériennes plus ou moins élevées sur des tableaux verticaux, horizontaux ou inclinés à l'horizon, non seulement dans les reconnaissances rapides, où l'on se contente des vues elles-mêmes ou de quelques évaluations approximatives de distances, mais pour une restitution plus ou moins complète du plan de la région explorée. On pouvait prévoir, et l'on a vérifié par un exemple que les photographies obtenues sur un tableau horizontal avec de bons objectifs donnaient immédiatement le plan exact du terrain embrassé par le champ de ces objectifs, à la seule condition que le point de vue soit relativement assez élevé. Mais nous avons, d'un autre côté, pris la précaution de mettre en garde, d'une manière générale, contre les illusions que l'on pourrait se faire, sinon sur la portée des appareils, qui peut être considérable, au moins sur l'étendue vraiment utilisable des vues pour les restitutions planimétriques, et nous aurions pu comprendre *a fortiori*, dans cette restriction, les restitutions altimétriques.

Les ressources de la téléphotographie augmentent sans doute beaucoup la portée à laquelle nous venons de faire allusion, et à mesure que l'aérostat, c'est-à-dire le point de vue, s'élève, l'étendue utilisable des vues s'accroît aussi naturellement. Il

(1) Nous aurions pu citer un autre Français, Andraud, bien connu comme l'un des inventeurs les plus féconds de son temps, qui, dès 1855, avait mis en avant l'idée d'employer les ballons pour prendre des vues photographiques de stations élevées, aériennes, mais sans en tenter l'application.

serait cependant peu prudent de trop y compter, l'amplification que l'on peut donner aux images prises d'un point de vue mobile étant nécessairement subordonnée à la condition de l'instantanéité (1).

Toutes les questions soulevées à propos de la télégraphie en ballon sont étudiées aujourd'hui dans les différents pays où il existe des parcs aérostatiques militaires, et nous ne saurions les traiter ici avec les détails minutieux qu'elles comportent; nous nous en tiendrons donc à un exposé, un peu plus développé que celui auquel nous nous sommes déjà livré, des principes fondamentaux susceptibles de trouver des applications entre les mains des aéronautes, de jour en jour plus nombreux dans notre pays et dans les pays voisins, qui se dévouent aux recherches scientifiques.

*Photographies sur tableaux horizontaux.* — L'exemple donné au Chapitre III, que nous venons de rappeler et dans lequel on a rapproché d'un fragment du plan parcellaire officiel de Paris une photographie de la même région obtenue le 19 juin 1885 par MM. G. Tissandier et Ducom, de la nacelle d'un ballon, à 600$^{m}$ de hauteur, avec un objectif de Français, de 0$^{m}$,36 de distance focale, pourrait nous dispenser de répéter une démonstration par le fait qui ne saurait d'ailleurs faire l'ombre d'un doute toutes les fois que l'on opérera d'un point de vue convenablement élevé au-dessus d'un sol peu mouvementé.

Or, c'est en pareil cas, nous voulons dire dans les pays de plaines, que l'on pourrait songer, en temps de paix, à recourir aux aérostats pour compléter des études de terrain ayant réussi tant que les accidents topographiques, montagnes, collines ou simples ondulations, avaient pu fournir des stations se prêtant à la méthode photographique ordinaire (2).

---

(1) Il va sans dire que l'agrandissement ultérieur des images obtenues directement pourra encore être mis à contribution pour augmenter la portée en question, souvent même sans que l'on ait recours aux téléobjectifs, en tenant compte toutefois des indications du Commandant Houdaille.

(2) Nous aurons peut-être, avant d'avoir terminé cet ouvrage, à signaler des essais de ce genre entrepris en Perse par l'ingénieur topographe russe

Il doit être bien entendu que les précautions nécessaires devraient être prises pour assurer la continuité entre les épreuves successives qui, d'ailleurs, seraient obtenues d'altitudes inévitablement variables dans une certaine mesure. On aurait donc à la fois à ramener les *plans* à la même échelle et à les rattacher les uns aux autres, sans être toujours bien sûr de ne pas laisser subsister quelques lacunes. Mais, comme nous admettons que l'on opère à loisir et en temps de paix, ces lacunes pourraient toujours être comblées, et les éléments de vérification ne feraient pas défaut.

Nous ne nous occuperons pas du choix de l'aérostat (1), qui serait nécessairement captif, monté ou non monté d'ailleurs, le déclenchement de l'obturateur, dans ce dernier cas, pouvant être fait électriquement d'en bas, et le déplacement de la *pellicule sensible* (2) effectué automatiquement du même coup.

*Chambre noire des ballons-sondes de M. Cailletet.* — Sans vouloir fixer les détails de la construction de la chambre noire qu'il conviendrait d'employer dans les diverses circonstances de la pratique, nous prendrons pour point de départ l'ingénieux appareil construit par M. L. Gaumont, d'après un programme de M. Cailletet. Le savant physicien avait eu l'idée bien naturelle de recourir à la photographie pour contrôler les indications du baromètre anéroïde dont on se sert généralement aujourd'hui pour évaluer les hauteurs

---

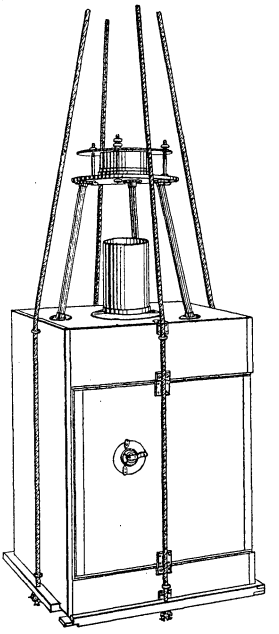
M. Thilé, qui, après avoir construit par la méthode photographique ordinaire et avec une grande habileté la Carte de la région montagneuse de Kars à Téhéran, pour l'étude du chemin de fer transcaucasien, devait continuer ses opérations de Téhéran à Ispahan et jusqu'au golfe Persique, en traversant des plaines souvent étendues.

(1) Ce choix dépend évidemment des conditions dans lesquelles se trouve l'opérateur. Nous indiquerons un peu plus loin le modèle très réduit proposé en Allemagne sous le nom de *ballon-cerf-volant* et dont M. Thilé comptait pouvoir se servir en Perse et aussi en Russie, dans les contrées où les matières premières nécessaires à la production du gaz sont difficiles à se procurer.

(2) L'emploi de la pellicule s'impose en pareil cas, et il en résulte une grande simplification dans la construction et la manœuvre ou plutôt le fonctionnement de l'appareil.

successives de l'aérostat. Ces indications sont, en effet, comme nous le savons, presque toujours entachées d'une erreur due à l'inertie du mécanisme de l'instrument, et l'on n'est pas encore bien fixé non plus sur la loi du décroissement de la pression dans les régions élevées de l'atmosphère. En obtenant simultanément, et à des intervalles de temps égaux, sur une

Fig. 65.

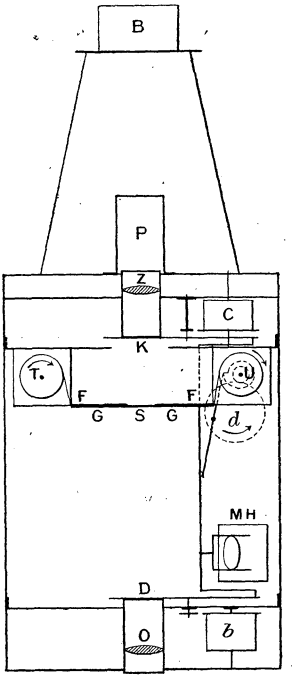


pellicule sensible, la photographie du terrain au-dessus duquel se trouve le ballon-sonde et celle du cadran et de l'aiguille du baromètre anéroïde, la hauteur du ballon pouvait être déduite avec une grande exactitude de mesures prises, d'une part, directement sur le terrain ou sur la feuille correspondante du cadastre et, de l'autre, sur la photographie, et la comparaison de cette hauteur avec celle que donne le baromètre anéroïde permettait de se rendre compte du degré d'approximation sur lequel on pourrait tabler avec cet instrument employé isolément.

La figure 65 représente l'ensemble de l'appareil avec son mode de suspension.

La figure 66 est une coupe verticale passant par l'axe de

Fig. 66.

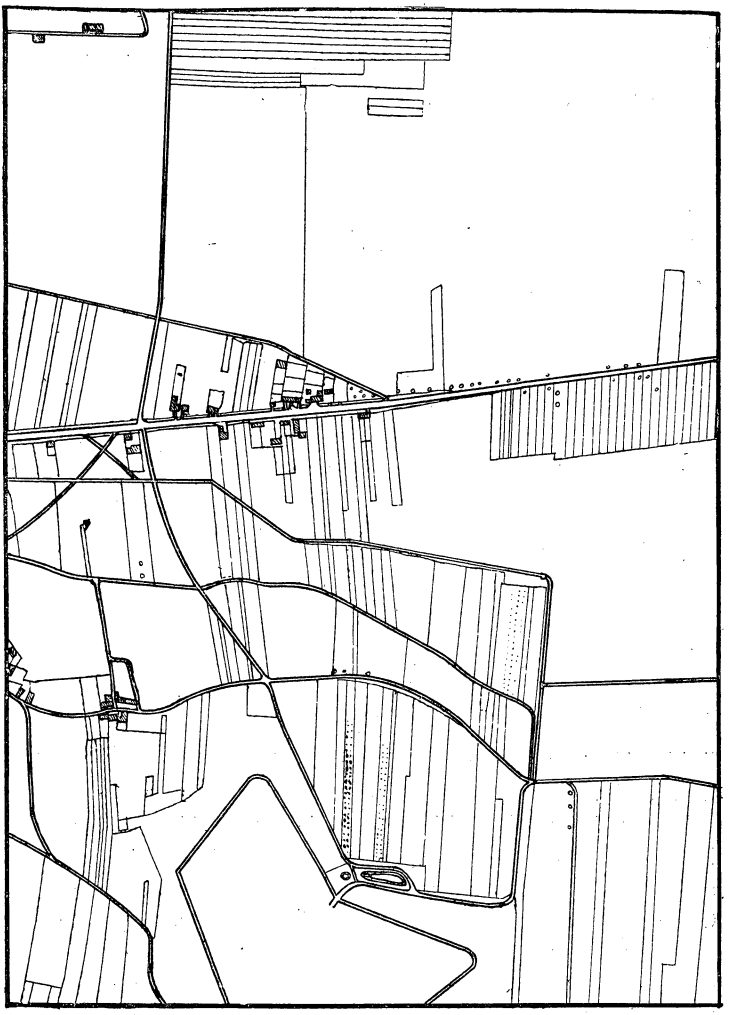



l'objectif et par le milieu des faces latérales de la chambre noire.

On y voit en F la pellicule sensible enroulée sur les deux bobines T et U dont la seconde est commandée par le barillet *d*, actionné lui-même par un mouvement d'horlogerie MH. Cette pellicule est maintenue rigide et horizontale par une glace G; *b* et *c* sont deux autres barillets qui commandent les obturateurs D et K des objectifs O et Z, dont le premier est tourné vers le sol et le second, protégé contre les rayons du soleil par le tube P, est tourné vers le baromètre anéroïde placé en B.

Au moment où les obturateurs D et K sont déclenchés simultanément, l'image du terrain et celle du baromètre impres-

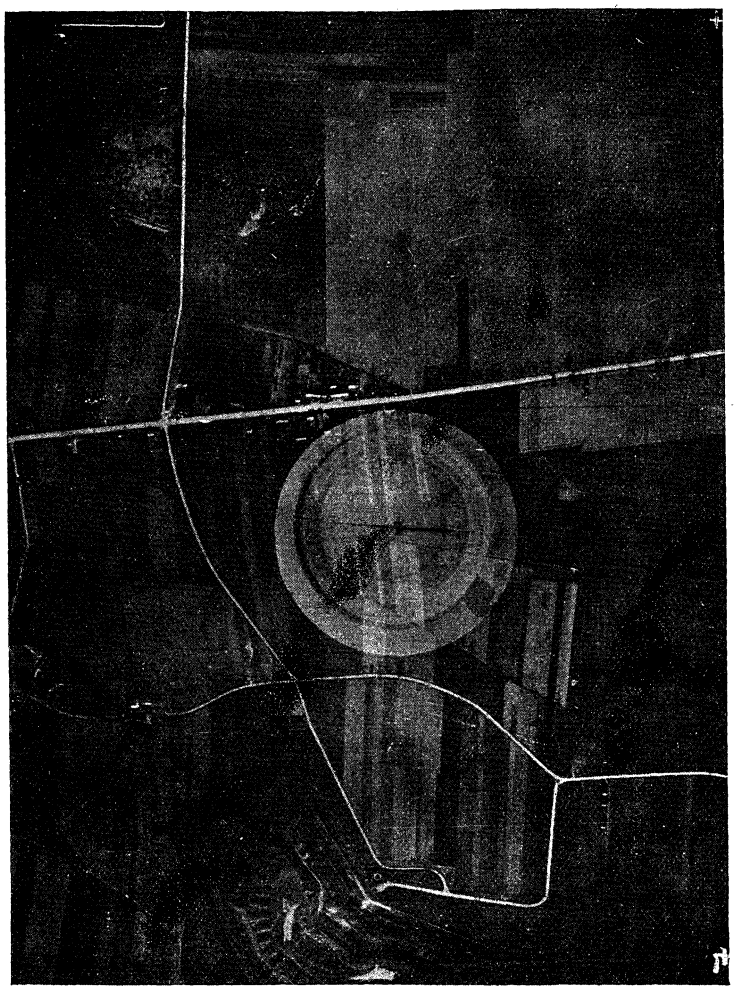
Fig. 67.



sionnent, l'une la face inférieure et l'autre la face supérieure de la pellicule. L'objectif anastigmatique O est diaphragmé

à $f/20$ et sa distance focale est de $211^{mm}$. L'obturateur D donne le centième de seconde environ.

Fig. 68.



L'objectif Z est un rectilinéaire grand angulaire de $95^{mm}$ de distance focale, et son obturateur K permet une exposition

double de celle de D nécessitée par la position du cadran du baromètre.

La pellicule a 18cm de largeur et les bobines-magasins T et U peuvent en recevoir 10m. La surface exposée vers l'objectif correspond sensiblement au format 13×18.

Pour déterminer sur chaque épreuve le retrait ou l'allongement qui peuvent se produire à la suite des diverses manipulations photographiques, la glace GG porte, gravés au diamant sur la surface en contact avec la pellicule, des traits qui sont reproduits sur un phototype.

Cette description, empruntée presque textuellement à un article de M. L. Gaumont dans la *Revue des Sciences pures et appliquées* (1), se rapporte à la chambre noire mise en expérience par MM. Hermitte et Besançon, pendant une ascension effectuée le 21 octobre 1897.

La figure 67 a été calquée aussi complètement que possible sur une épreuve obtenue quand le ballon passait sensiblement au-dessus du fort de Saint-Cyr, dont le périmètre se voit sur le bord inférieur.

Elle a été réduite de $\frac{1}{5}$ dans les deux sens pour pouvoir tenir dans le texte.

Une rapide comparaison de l'épreuve originale (*fig.* 68) (dont le format exact était dans ce cas 12×16, mais qui a été réduit, toujours pour pouvoir tenir dans le texte) avec une bonne Carte des environs de Paris à l'échelle de $\frac{1}{50000}$ a montré que le plan qui s'y trouve représenté était lui-même à une échelle très voisine de $\frac{1}{10000}$; d'où l'on peut conclure que le ballon-sonde était alors à 2000m environ au-dessus du sol.

Nous n'avons pas pris la peine de comparer ce plan avec celui de la Carte d'assemblage du cadastre à cette même échelle de $\frac{1}{10000}$, mais nous ne craignons pas d'affirmer que si, en le faisant, on constatait des différences, cela proviendrait simplement des changements survenus dans le groupement des parcelles, le tracé de routes ou de chemins nouveaux, de l'édification ou de la disparition de constructions, etc. En un

(1) Reproduit dans le n° 2, février 1898, de *La mise au point* (*Revue photographique trimestrielle*), publiée par M. L. Gaumont.

mot, c'est la photographie qui donnerait l'*état de lieux* exact à la date où elle a été prise (1).

Enfin, nous ferons remarquer qu'en admettant l'échelle de $\frac{1}{10000}$, le format annoncé de $13 \times 18$ et, par conséquent, pour le plan $1300^m$ et $1800^m$ de côtés, la superficie du terrain ainsi relevé serait de $234^{ha}$.

## XXV. — *La photographie en ballon en pays de plaines* (suite).

*Modifications proposées à la construction de l'appareil précédent.* — Pour compléter les renseignements donnés sur le fonctionnement automatique de la chambre noire de MM. Cailletet et Gaumont, nous aurions dû ajouter que c'est toutes les deux minutes que la pellicule, ayant été impressionnée à la suite du déclenchement des obturateurs, est entraînée et remplacée par une surface d'égale étendue prête à poser à son tour.

Pour l'usage auquel nous pensons qu'il serait avantageux de destiner cet appareil, il y aurait lieu d'introduire dans sa construction les modifications suivantes :

Tout d'abord, le baromètre anéroïde pourrait être supprimé tout à fait, ou bien remplacé par une boussole dont le limbe serait tracé sur une glace au centre de la surface supérieure duquel un pivot vertical supporterait l'aiguille aimantée. On prendrait naturellement alors toutes les précautions nécessaires pour éviter que l'aiguille soit influencée par le voisinage des autres parties du mécanisme dont le fer et l'acier seraient exclus autant que possible (2).

En second lieu, le déclenchement des obturateurs et le déplacement de la pellicule seraient déterminés à la volonté de l'opérateur, et non plus à des intervalles de temps réguliers.

---

(1) A la condition que l'épreuve soit bien nette dans toute son étendue, et que le terrain ne soit pas trop accidenté.

(2) L'appareil simplifié par la suppression du baromètre anéroïde pourrait même se passer de l'introduction d'une boussole. Les épreuves que l'on obtiendrait dans ces conditions seraient sans doute plus nettes.

En ballon monté, on opérerait à peu près comme à terre et l'appareil pourrait être encore simplifié; en employant un ballon captif non monté, il faudrait recourir, comme nous l'avons dit plus haut, à l'électricité; dans ce cas, le seul à considérer si l'on voulait procéder méthodiquement au lever complet d'une localité plus ou moins étendue, la hauteur ne devrait guère dépasser $500^{m}$ et la surface embrassée par le même champ se trouverait considérablement réduite. Tandis, en effet, que l'échelle serait quadruplée, c'est-à-dire de $\frac{1}{2500}$ environ, l'étendue superficielle ne serait plus que de $\frac{234}{16}$ ou de 14 à $15^{ha}$.

L'accroissement de l'échelle pourrait sans doute éventuellement offrir de l'intérêt, mais il conviendrait le plus souvent de ne pas lui sacrifier l'avantage d'obtenir d'un seul coup le plan d'un terrain suffisamment étendu. On devrait donc, croyons-nous, employer de préférence une autre chambre obscure *élargie,* mais dont le volume total ne se trouverait pas moins réduit, parce que sa hauteur serait suffisamment diminuée.

Ainsi, avec un objectif de $0^{m},10$ de distance focale seulement, d'un champ angulaire de 90° utilisé dans les deux sens, la largeur de la pellicule étant portée à $0^{m},20$ et la longueur exposée à $0^{m},20$ également, on aurait des épreuves $20 \times 20$ (1) qui, prises d'une hauteur de $500^{m}$ avec l'objectif supposé de $0^{m},10$, comprendraient un plan d'une étendue de $100^{ha}$, à l'échelle de $\frac{1}{5000}$.

Si l'on disposait d'un câble suffisant et que l'on se contentât de l'échelle de $\frac{1}{10000}$, en élevant l'aérostat à $1000^{m}$, la surface du terrain levée atteindrait $400^{ha}$.

Nous ne faisons qu'indiquer ces solutions que les aéronautes photographes et topographes sauront appliquer ou modifier selon les circonstances dans lesquelles ils devront opérer, et il en sera de même de celles que nous allons aborder.

---

(1) Il n'y a plus lieu, en pareil cas, de chercher à se rattacher aux formats adoptés pour les appareils employés à terre.

## XXVI. — *Photographie en ballon en pays de plaines* (suite).

*Épreuves sur tableaux verticaux.* — Théoriquement, et en partant de l'appareil dont nous venons de parler, on pourrait concevoir un système de quatre autres chambres noires ayant les axes de leurs objectifs horizontaux, orientés sur les côtés de la première. On aurait ainsi le moyen de relever le plan de la partie du terrain *vu* par la chambre verticale et d'obtenir en même temps le panorama *quadrangulaire* sur les tableaux verticaux des chambres horizontales, tableaux qui se raccorderaient chacun avec le côté correspondant du plan.

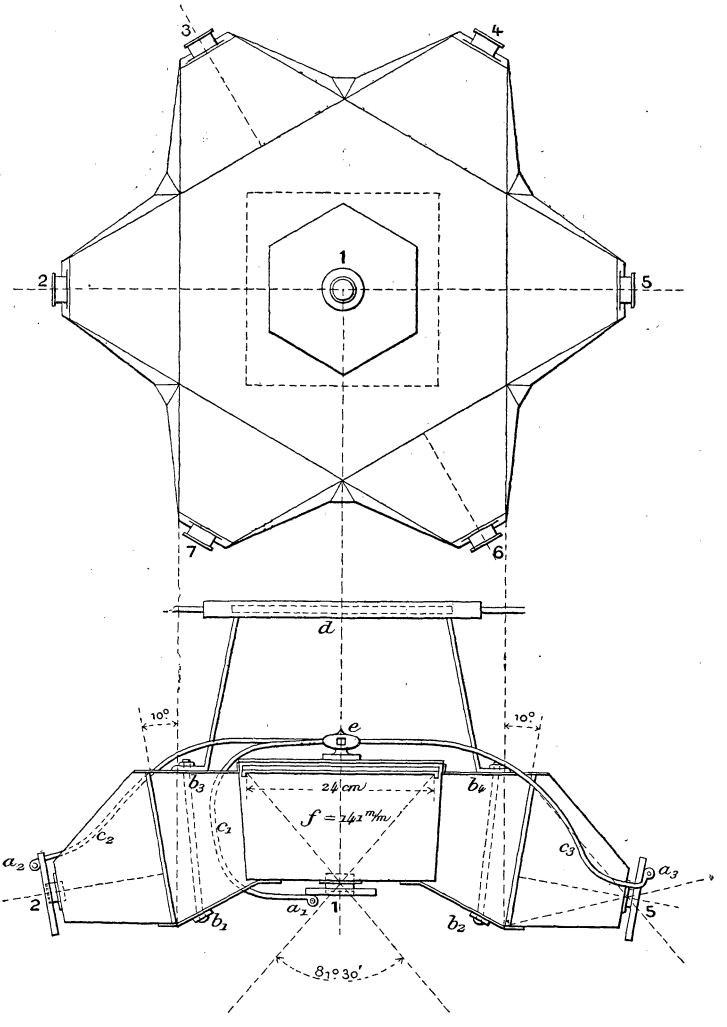
Si nous supposons toujours que l'on ait à opérer dans un pays de plaines où les différences de niveau soient négligeables, il serait évidemment facile d'effectuer la transformation des vues en plans, à l'aide de l'un des perspectographes connus, et d'étendre, par conséquent, le plan dans tous les sens, aussi loin que le permettrait la netteté des images et que les détails en pourraient être distingués.

*Épreuves sur tableaux légèrement inclinés.* — En général, cependant, il convient d'incliner l'axe des chambres noires autres que celles dont le tableau est horizontal. La difficulté d'employer des objectifs grands angulaires de 90° de champ dans toutes les circonstances a déterminé, par exemple, l'habile opérateur russe M. Thilé (1), qui avait à faire des études dans de vastes plaines, en Russie et en Perse, à adopter un système de sept chambres noires disposées comme on le voit sur la figure (*fig.* 69) qui nous a été communiquée par l'auteur.

(1) M. Thilé avait d'abord pensé à la solution précédente en recourant aux pantoscopes de Busch, d'un champ de 95°, mais il avait craint que leur trop forte connexité les exposât à ne pas être garantis des rayons solaires, et il s'est arrêté aux anastigmats de Zeiss, série V, n° 3, de 141$^{mm}$ de foyer avec un champ de 82° pour plaques 18×24. L'appareil décrit a été, croyons-nous, exécuté dans les ateliers du parc aérostatique de Saint-Pétersbourg.

Les six chambres à axes inclinés sont assujetties contre une

Fig. 69.




charpente légère composée de deux troncs de pyramides triangulaires entretoisés, emboîtant la chambre noire à axe vertical

qui leur est reliée par une solide armature en laiton $b_1$ $b_2$ $b_3$ $b_4$ rattachée elle-même à une suspension à la Cardan $d$.

Tout cet ensemble peut être manœuvré à l'aide de poulies et porté sous la nacelle, où il doit être accroché, ou ramené à terre, sans que le ballon soit obligé de descendre tout à fait.

Les axes des six chambres du pourtour sont inclinés seulement de 10° au-dessous de l'horizon, mais, comme le montre la figure, le point principal de chacune des perspectives ne passe pas par le centre de la plaque et se trouve seulement au tiers de la hauteur, ce qui augmente le champ dans le sens convenable et permet un raccordement plus facile des images ainsi obtenues avec celle de la chambre à axe vertical, dont la plaque a la même dimension dans les deux sens ($24 \times 24$, celles des chambres noires inclinées étant de $18 \times 24$. *Voir* la Note précédente).

Les sept obturateurs $a_1$, $a_2$, $a_3$, ... sont déclenchés simultanément quand on presse la poire métallique $e$ avec ventilateur de sûreté à laquelle aboutissent des tuyaux conducteurs d'air également métalliques $c_1$, $c_2$, $c_3$, ... M. Thilé se proposait de faire fonctionner la poire par une mèche à temps assez lente pour permettre de donner au ballon la hauteur jugée nécessaire.

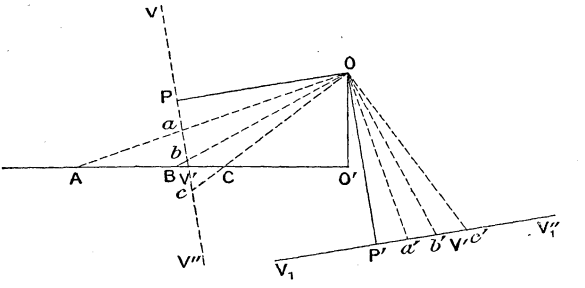
Nous avons donné la description de l'appareil de M. Thilé à peu près telle qu'il nous l'a communiquée, et nous désirerions bien pouvoir faire connaître quelques-uns des résultats auxquels il est parvenu en utilisant les images des chambres inclinées.

*Restitution du plan.* — Nous ne ferons pas moins remarquer, en attendant, qu'en pareil cas, c'est-à-dire avec une faible inclinaison du tableau, on pourra encore recourir facilement aux perspectographes, notamment au perspectographe optique, c'est-à-dire au prisme de la chambre claire.

Il suffira, en effet, de placer la photographie sur une table inférieure inclinée (de 10°) sur l'horizon (*fig.* 70), car on voit immédiatement, en se reportant au besoin au § X et à la figure 30, comment les figures tracées sur la table horizontale AO′, dont la position est déterminée par la hauteur OO′ du

point de vue au-dessus du plan de projection, ne sont autre

Fig. 70.




chose que le plan restitué des figures correspondantes sur la photographie.

## XXVII. — *Photographie en ballon en pays de plaines* (suite).

*Épreuves sur tableaux assez fortement inclinés.* — Il arrive le plus souvent que les aéronautes n'ont à leur disposition qu'une chambre noire et que, devant la diriger sur une région du panorama plus intéressante que les autres, ils sont obligés de lui donner une assez grande inclinaison. C'est aussi généralement le cas des opérateurs qui ont recours au cerf-volant, et dont les épreuves ne sont nullement à dédaigner, nous le verrons bientôt. Il est seulement à désirer que les uns et les autres s'attachent à déterminer avec autant de précision que possible la hauteur du ballon ou du cerf-volant et l'angle que l'axe optique de leur appareil fait avec l'horizon au moment du déclenchement de l'obturateur.

Ces données, sans oublier la distance focale de l'objectif, permettront d'entreprendre avec beaucoup de chances de succès la restitution du plan de la région représentée sur la photographie, si l'on suppose toujours que le terrain soit sensiblement horizontal.

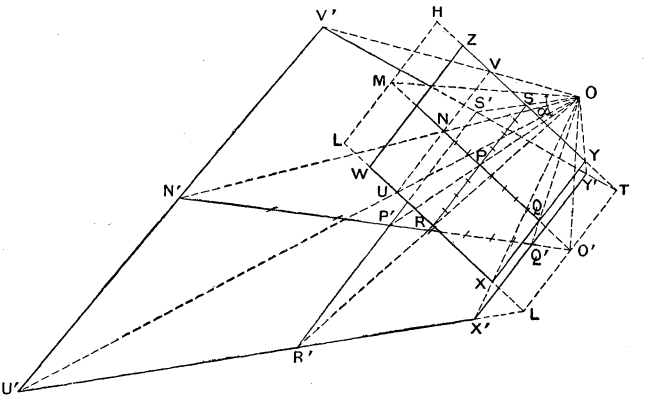
Toutefois, l'emploi d'un perspectographe devenant alors

incommode ou même impraticable, on doit recourir à la construction géométrique suivante :

Soit O (*fig.* 71) la station ou, pour mieux dire, le point de vue, XYWZ le tableau, OP la direction de l'axe optique dont l'inclinaison MOP $= \alpha$ au-dessous de l'horizon est supposée connue.

La verticale du point de vue rencontrant en O′ le plan du tableau prolongé au besoin, si l'on fait passer par ce point un plan horizontal, la pyramide quadrangulaire oblique dont le sommet est en O et qui a pour base le tableau sera coupée

Fig. 71.




par le plan horizontal suivant un quadrilatère, sur lequel les rayons visuels prolongés transporteraient et transformeraient l'image du tableau en un plan horizontal du terrain embrassé par cette image.

L'échelle de ce plan sera d'ailleurs facile à déterminer, soit que l'on connaisse la distance exacte de deux points suffisamment espacés de ce terrain, soit qu'on la déduise de la grandeur de la distance focale de la chambre noire et de la hauteur supposée connue du ballon.

Admettons, par exemple, que OP $= 0^{m},20$ avec $\alpha = 30^{o}$ et que la hauteur du ballon soit de $400^{m} = H$.

On a

$$OO' = \frac{OP}{\sin \alpha} = \frac{0^{m},20}{0,5000} = 0^{m},40$$

qui, comparé à la hauteur H de 400$^{m}$, donnerait $\frac{1}{1000}$ pour l'échelle du plan.

Mais le plus ordinairement on évitera d'exécuter des épures de trop grandes dimensions et, dans le cas supposé, on pourrait tout réduire dans la proportion de 5 à 1, ce qui donnerait $OO' = 0^{m},08$, et le plan cherché serait encore à l'échelle de $\frac{1}{5000}$.

Remarquons, toutefois, qu'au lieu du résultat numérique simple que nous venons de trouver en partant d'éléments choisis intentionnellement pour faciliter l'explication, il arrivera le plus souvent que le rapport de OO' à la hauteur du ballon ne sera pas une fraction décimale correspondant à l'une des échelles en usage. Alors, au lieu de faire passer le plan horizontal de projection par le point de rencontre de la verticale avec le plan du tableau, il suffira de l'élever ou de l'abaisser d'une quantité convenable. C'est ce que nous avons fait, comme on le verra bientôt, dans le cas que nous avons pris pour exemple.

Enfin, même alors que l'horizon de la station passe au-dessus du tableau, une partie plus ou moins étendue de l'image pouvant devenir inutilisable, à cause du trop grand éloignement des objets représentés, pour éviter d'exécuter des figures trop étendues (le quadrilatère s'élargissant précisément de ce côté), on peut, comme on l'a indiqué sur la figure 71, tracer une limite supérieure du champ UV. C'est alors le rectangle UVXY qui est la base de la pyramide dont le prolongement, jusqu'à la rencontre du plan horizontal, donne le trapèze sur lequel il s'agit d'effectuer la transformation de l'image du tableau.

Cette opération peut être faite par un procédé entièrement analogue à celui de la craticulation.

## XXVIII. — *Photographie en ballon en pays de plaines* (suite).

*Exemple de construction graphique.* — Dans une série de photographies faites en ballon pour expérimenter d'excellents objectifs de M. Suter, constructeur d'instruments d'as-

tronomie et d'optique à Bâle, nous avons choisi une épreuve obtenue à 400$^{m}$ au-dessus du Rhin (*Pl. IX*).

Notre intention ne saurait être de restituer entièrement le plan de la partie de la ville dont la photographie donne une vue très nette; nous voulons seulement indiquer la marche à suivre et qui s'appliquerait aisément au cas d'un terrain de même étendue (1) sur lequel, au lieu d'édifices qui se projettent sur les voies publiques, sur les cours ou les uns sur les autres, il n'existerait que des routes, des chemins, des divisions de culture et quelques bâtiments isolés ou à peine groupés, comme ceux d'une ferme ou d'un hameau.

On se rendra compte, toutefois, qu'à la rigueur on relèverait sur cette vue de Bâle le tracé très approximatif des principales artères, des places, des grandes cours intérieures, etc. Nous avons même choisi pour notre exemple la vue d'une ville de préférence à celle d'une plaine cultivée, pour faire pressentir que, dans le cas où l'on aurait la photographie d'un port militaire ou d'une forteresse, on en restituerait sans peine les principaux détails.

*Éléments connus ou tirés de l'épreuve.* — La distance focale de l'objectif était exactement de $0^{m},180$ (renseignement fourni par M. Suter); le format utile de l'épreuve est de $12 \times 16$ (au lieu de $13 \times 18$); la hauteur du ballon au-dessus du Rhin était de 400$^{m}$; mais l'inclinaison de la plaque n'a pas été mesurée, et il a fallu se servir de la convergence des perspectives des arêtes verticales des édifices pour obtenir le point I (*Pl. IX* et *fig.* 73), où la verticale du point de vue rencontre le plan de la plaque prolongée. En procédant un peu par tâtonnement, — car les arêtes dont il fallait se servir étaient trop courtes pour que leurs directions fussent bien déterminées, — on a trouvé $PI = 0^{m},235$, et comme la distance focale $OP = 0^{m},180$, on en conclut que $OI = 0^{m},296$ et que l'inclinaison de l'axe optique $\alpha = 37°30'$.

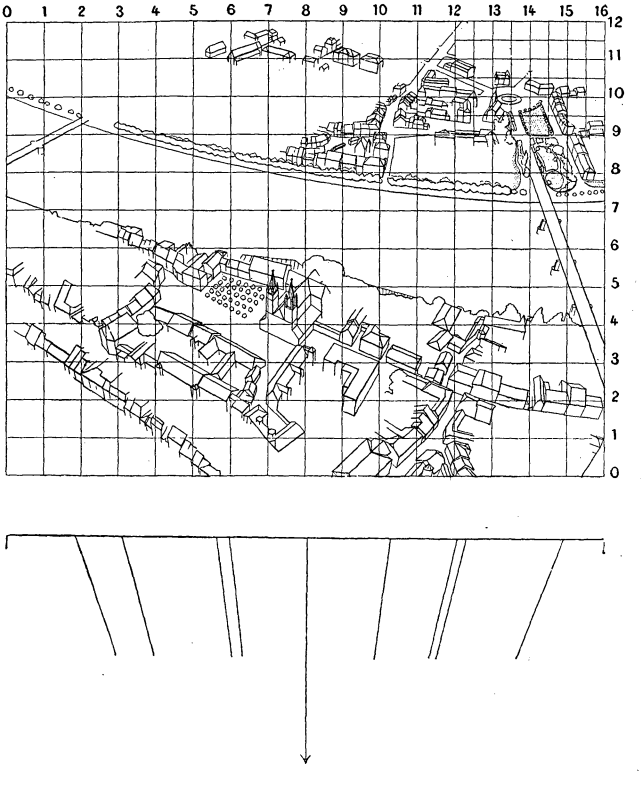
---

(1) On reconnaîtra sur l'épure (*fig.* 72 et 73) que cette étendue est de 84$^{ha}$ à 85$^{ha}$, en y comprenant la place prise par le fleuve et en supposant que l'inclinaison de l'axe optique soit exactement déterminée.

Pour exécuter la construction graphique, nous avons réduit toutes les données linéaires au quart et nous avons ainsi (*fig.* 72 et 73) : OP = $0^m$,045, PI = $0^m$,0585, OI = $0^m$,740.

Si nous adoptons l'échelle de $\frac{1}{5000}$ pour le plan, comme la

Fig. 72.

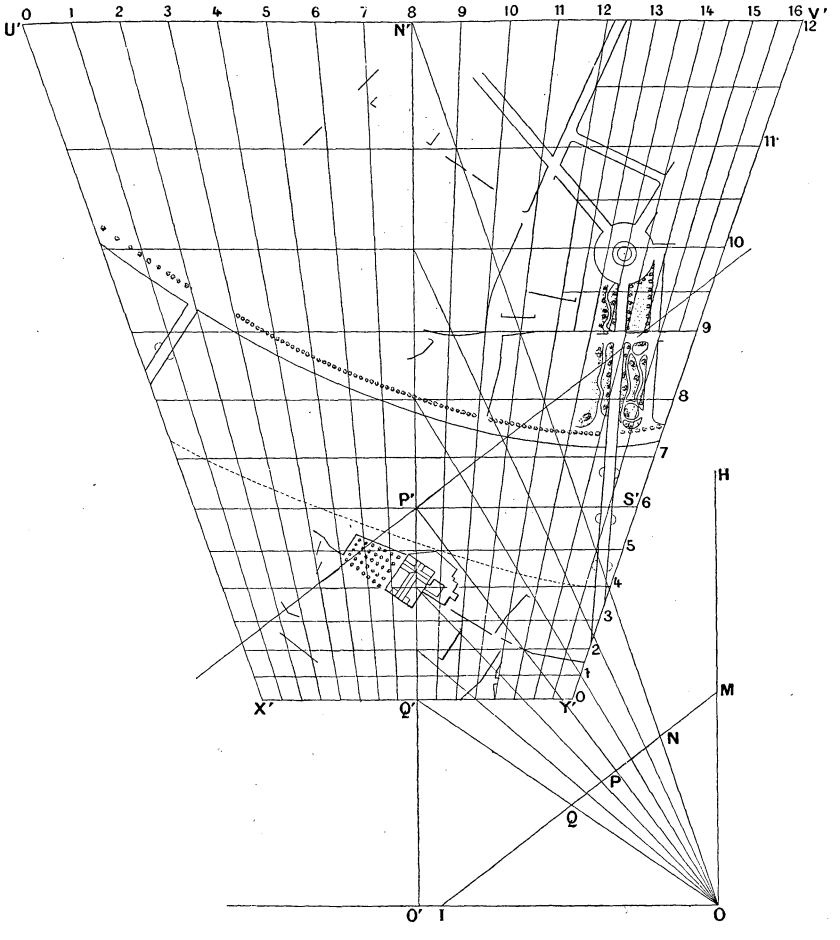



hauteur H du ballon est de $400^m$, on aura OO′ = $0^m$,080; le plan horizontal de projection se trouvera donc passer un peu au-dessous du point I.

L'inclinaison de l'axe optique étant assez grande dans ce cas et la hauteur de l'épreuve assez restreinte elle-même, cette épreuve est entièrement utilisable. On voit alors immédiatement sur la figure comment on a obtenu dans le plan

principal la hauteur N′Q′ du trapèze qui est la perspective du contour de l'épreuve, c'est-à-dire le cadre du plan. Il

Fig. 73.




est aisé de voir également comment ont été déterminées les deux bases X′Y′, U′V′ de ce trapèze, la première étant égale à la largeur de l'épreuve $\frac{1}{4}$ ($0^{m},16$) amplifiée dans le rapport de OQ′ à OQ et la seconde à cette même largeur amplifiée dans le rapport de ON′ à ON.

Pour préparer la craticulation, il suffit, après avoir quadrillé l'épreuve (*Pl. IX*) en partant de la ligne principale et de sa perpendiculaire menée par le point principal, de projeter les points de division de la ligne principale (*fig.* 73) sur sa perspective N'Q' et d'élever des perpendiculaires par les points ainsi déterminés, puis de diviser les deux bases X'Y' et U'V' en autant de parties égales que les longs côtés de l'épreuve et de joindre les points correspondants.

*Détails d'exécution.* — Nous nous sommes contenté, pour la démonstration, de diviser les axes de l'épreuve de centimètre en centimètre, et il en résulte que les mailles du plan X'Y'U'V' de la figure 73 sont trop larges, surtout dans la partie voisine de U'V', pour que la craticulation puisse s'effectuer facilement et avec précision ; mais on conçoit bien qu'il suffit de serrer ces mailles partout où l'on en éprouve le besoin, en augmentant le nombre des divisions sur l'épreuve et sur sa perspective.

Comme il serait généralement incommode de quadriller l'épreuve elle-même, il vaut beaucoup mieux construire un réseau sur papier transparent que l'on applique sur l'épreuve, où elle est rigoureusement repérée (1).

C'est ce que nous avons fait pour effectuer simplement quelques mesures sur l'épreuve photographique de la planche VI, et quoique les données dont nous nous sommes servi, autres que la distance focale de l'objectif, ne fussent pas rigoureusement exactes, nous avons pu déterminer la longueur du pont de Wettstein, qui figure à droite de l'épreuve, sa largeur, la portée de ses arches, la distance de sa sortie au rond-point de Wettstein, etc., et, en les contrôlant sur un plan de Bâle à l'échelle de $\frac{1}{16500}$ du guide Baedeker, nous avons pu constater que les différences, généralement peu importantes,

(1) Nous conseillerions même de faire tracer très exactement sur celluloïd des réseaux, de millimètre en millimètre, analogues à ceux qui sont assez communément répandus (mais tracés de centimètre en centimètre seulement) et destinés à la lecture des Cartes topographiques aux échelles décimales.

croissaient légèrement à mesure que l'on s'éloigne de la projection de la station (1).

Nous avons effectué deux autres mesures assez délicates, puisqu'il s'agissait de déduire les hauteurs réelles des tours de la cathédrale de leurs hauteurs apparentes sur la photographie, qui sont l'une de $18^{mm}$ et l'autre de $16^{mm}$. Or, nous avons trouvé $82^{m}$ pour la plus haute et $72^{m}$ pour l'autre, et le guide donne pour la première 250 pieds, ce qui fait $81^{m},25$.

Nous ne faisons d'ailleurs que citer ces derniers résultats, dont la grande précision est sans doute fortuite; mais il y a bien d'autres problèmes à la solution desquels se prêtent les photographies d'une ville prises dans des conditions favorables et notamment par un ciel découvert, les ombres portées d'édifices assez élevés permettant, par exemple, avec la date de l'observation seulement (la latitude étant connue), de déterminer, au besoin, assez approximativement l'orientation du plan.

## XXIX. — *Photographie en ballon, en pays accidenté.*

*Circonstances exceptionnelles qui justifient cette utilisation de la photographie.* — Nous avons exprimé, dans les paragraphes précédents, l'opinion qu'il ne fallait tenter les restitutions de plans, d'après les photographies prises en ballon, que dans les pays de plaines, et nous ferions remarquer, au besoin, que, dans les pays accidentés, la méthode photographique ordinaire s'applique bien plus facilement et conduit à des résultats d'une exactitude comparable à celle des méthodes dites *régulières*. Nous continuons aussi à penser, comme nous le disions au § VI du Chapitre III, qu'il sera toujours assez difficile de déterminer les différences de niveau et

(1) Si l'une des données demeurées incertaines, la hauteur du ballon (*estimée* dans ce cas en nombres ronds et l'inclinaison de l'axe optique *obtenue par tâtonnement*), était déterminée avec précision, il serait facile de corriger l'autre en se servant d'une distance mesurée sur le plan (ou sur le terrain), dans une direction voisine de celle du plan principal de la perspective, et la restitution deviendrait alors tout à fait satisfaisante.

les formes du terrain sur des épreuves prises de stations aériennes, c'est-à-dire très élevées au-dessus du sol.

Il peut cependant se présenter des circonstances, notamment à la guerre, où l'on aurait des occasions de prendre des vues en ballon monté, en pays plus ou moins accidenté, occupé par l'ennemi, et il ne faudrait pas négliger d'en tirer le meilleur parti possible. Dans ce cas, à la vérité, on aurait généralement à opérer sur une épreuve unique, et la difficulté d'en déduire le relief serait beaucoup plus grande que si l'on en avait plusieurs représentant le même terrain, prises de stations différentes.

Cette dernière expérience, relativement facile à faire en temps de paix, a été assez récemment tentée en Allemagne, et nous devons essayer de donner une idée plus complète que celle que l'on trouverait (Chap. III, § VI) de la marche à suivre en pareil cas, en faisant connaître les résultats ainsi obtenus en Bavière en 1899 [1].

Supposons qu'au moyen d'un seul ballon on ait pris successivement au moins deux vues du même terrain, de stations aériennes différentes.

Nous avons déjà indiqué, dans le paragraphe cité, comment on pouvait déterminer sur chacune d'elles un certain nombre de repères pris sur des lignes considérées comme sensiblement horizontales, tels que les bords d'un lac, d'un cours d'eau ou d'une route en plaine. Nous avons admis également que l'on avait pris les précautions nécessaires pour évaluer l'inclinaison de l'axe optique de l'appareil.

En principe, le problème serait alors facile à résoudre, à la condition, toutefois, que les hauteurs du ballon à chaque station fussent aussi exactement connues.

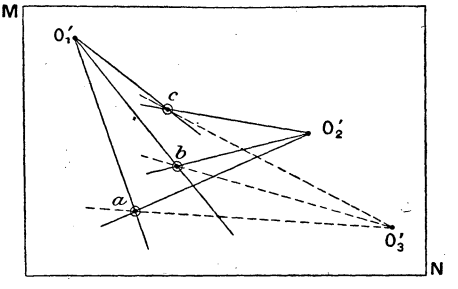
Considérons, en effet, un plan horizontal de projection sur lequel nous avons au moins trois repères du terrain $a$, $b$, $c$ (*fig.* 74). Si les opérations préparatoires décrites au paragraphe

---

[1] *Ueber die Konstruktion von Höhenkarten aus Ballonaufnahmen* von S. Finsterwalder (Separat-Abdruck aus den *Sitzungsberichten der mathem-phys. Classe der Kgl. Akademie der Wissenschaften*, 1900, Bd. XXX, Heft II. München, Verlag der k. Akademie).

précédent ont été effectuées sur les photographies prises des stations $O_1$ et $O_2$ (*fig.* 75) et sur lesquelles les trois repères sont bien reconnaissables, en présentant les calques des deux faisceaux $O'_1 abc$, $O'_2 abc$ (relevés sur les réseaux analogues

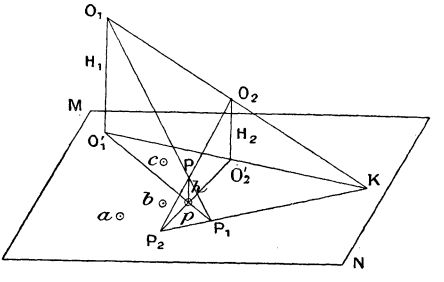
Fig. 74.




à celui de la planche X) sur ce plan, nous y déterminerons, comme il est aisé de le voir (*fig.* 74), les projections $O'_1$ et $O'_2$ des stations $O_1$ et $O_2$.

Sur le plan MN de la figure 75 élevons maintenant les per-

Fig. 75.




pendiculaires $O'_1 O_1$ et $O'_2 O_2$ respectivement égales aux hauteurs des stations successives du ballon. Un point quelconque P du terrain serait projeté obliquement en $P_1$ sur le plan (à l'aide du réseau de craticulation) d'après son image sur la photographie prise de la station $O_1$, que nous désignerons par $\Phi_1$, et en $P_2$ d'après la photographie $\Phi_2$. En tirant $O'_1 P_1$ et $O'_2 P_2$, le point d'intersection $p$ de ces deux lignes serait évidemment

la projection cherchée du point P, qui se trouverait lui-même à l'intersection *théorique* des deux rayons visuels $O_1P_1$ et $O_2P_2$.

La hauteur $Pp$ de ce point au-dessus du plan de projection se calculerait facilement par les triangles semblables $O_1O'_1P_1$ et $PpP_1$ ou $O_2O'_2P_2$ et $PpP_2$. On aurait, en effet, immédiatement $Pp$ ou $h = H_1 \frac{pP_1}{O'_1p}$ ou $h = H_2 \frac{pP_2}{O'_2p}$, ce qui donnerait une vérification.

D'un autre côté, la droite qui joint les deux points $P_1$ et $P_2$ prolongée devrait passer par le point K, où la ligne $O_1O_2$ également prolongée irait rencontrer le plan horizontal sur la droite qui passe par les projections $O'_1$ et $O'_2$ des deux stations, à une distance que l'on calculerait aussi facilement dans le cas où l'on tiendrait à faire cette vérification qui, d'ailleurs, ne devrait être tentée que si les deux hauteurs $H_1$ et $H_2$ étaient très différentes.

Enfin, il y aurait une autre source de vérification, dont on dispose rarement, à la vérité, celle qui résulterait de l'emploi d'une troisième station $O_3$ d'où l'on aurait pris une photographie du même terrain.

Les données que nous avons admises ne sont pas toujours à la disposition de l'opérateur, mais elles ne sont pas les seules qui puissent servir à résoudre le problème. Dans le cas, par exemple, où l'on emploierait un ballon captif non monté où l'inclinaison de l'axe optique de l'appareil disposé un peu arbitrairement sur le bord de la nacelle ne pourrait pas être observée (1), M. Finsterwalder indique un moyen d'obtenir directement sur le tableau le point de fuite des verticales en laissant tomber de l'équateur du ballon ou des lignes du filet d'autres cordes libres qui prennent spontanément la direction verticale et dont quelques-unes donnent sur la plaque sensible leurs images dirigées, par conséquent, vers ce point de fuite.

Nous ne suivrons pas, d'ailleurs, M. Finsterwalder dans les

(1) C'est aussi le cas d'une chambre noire enlevée par un cerf-volant, et alors on ne peut pas recourir à l'expédient indiqué par M. Finsterwalder. Voyez plus loin ce que nous disons des vues prises à l'aide d'un cerf-volant.

différentes hypothèses qu'il a faites, et nous renverrons le lecteur que ses solutions intéresseraient à la brochure citée plus haut (renvoi de la page 178). Nous nous bornerons à rendre compte sommairement d'une expérience entreprise par la Société de navigation aérienne de Munich, le 18 novembre 1899, à l'aide de deux images prises d'une hauteur approximative de $900^{m}$ au-dessus de Waal, près de Kaufbeuern, en Souabe. Une des épreuves a été prise par M. le baron V. Bassus sur une plaque $12 \times 16$ avec un objectif orthostigmat de Steinheil de $152^{mm}$ de distance focale, et l'autre par M. le Dr Heinke, sur une plaque $9 \times 12$ avec un double anastigmat de Goerz de $149^{mm}$ de distance focale.

Les positions du ballon en projection horizontale et en hauteur ont été déterminées d'après trois points connus et cotés du plan; on a trouvé pour la première $945^{m}$, pour la seconde $898^{m}$, et pour la distance horizontale des projections $1676^{m}$.

La première image a été agrandie trois fois et la seconde deux fois.

En partant de quatre points A, B, C, D, relevés sur une feuille du cadastre, à l'échelle de $\frac{1}{5000}$, on a construit, ou plutôt on a calculé, par une méthode donnée dans le Mémoire, les positions de 120 points et les hauteurs positives ou négatives de 30 de ces points, par rapport à un plan de projection choisi à l'altitude moyenne $637^{m}$ du terrain représenté.

Les positions des points sur le plan ont été comparées avec celles des mêmes points (autant que le permettait leur identification) sur la feuille du cadastre de 1811, revisée en 1841, 1849 et 1877.

Les défauts de concordance doivent être attribués, dans certains cas, aux incertitudes de l'identification, mais le plus souvent aux changements survenus dans l'état des lieux. Quant aux hauteurs, elles ont été calculées deux fois, c'est-à-dire d'après les photographies prises de chacune des stations, et l'ensemble des différences, relativement assez grandes si on les compare aux hauteurs absolues généralement petites, — car l'expérience a été faite sur un terrain à peine ondulé, — a permis de déterminer l'erreur moyenne à craindre dans les

conditions où l'on a opéré. Cette erreur moyenne est de $0^m,65$,

TABLEAU DES HAUTEURS DE POINTS DU TERRAIN DOUBLEMENT MESURÉES.

| Nos. | mm $P_1P$. | mm $P_1O'_1$. | m $h_1$. | mm $P_2P$. | mm $P_2O'_2$. | m $h_2$. | m $\Delta = h_2 - h_1$. | $\Delta^2$. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1,7 | 208 | 7,7 | 2,2 | 224 | 8,1 | 0,4 | 0,16 |
| 5 | 1,7 | 312 | 5,2 | 1,9 | 314 | 5,4 | 0,2 | 0,04 |
| 6 | 1,2 | 318 | 3,6 | 1,5 | 251 | 5,4 | 1,8 | 3,24 |
| 7 | —1,2 | 216 | —5,3 | —2,4 | 350 | —6,1 | —0,8 | 0,64 |
| 11 | —0,4 | 245 | —1,5 | —0,3 | 195 | —1,7 | —0,2 | 0,04 |
| 12 | 0,8 | 210 | 3,6 | 0,6 | 168 | 3,2 | —0,4 | 0,16 |
| 31 | 0,1 | 195 | 0,5 | 0,3 | 223 | 1,2 | 0,7 | 0,49 |
| 32 | —0,2 | 197 | —1,0 | 0,0 | 215 | 0,0 | 1,0 | 1,00 |
| 63 | 0,2 | 282 | 0,7 | 0,2 | 167 | 1,1 | 0,4 | 0,16 |
| 64 | 0,0 | 256 | 0,0 | 0,0 | 188 | 0,0 | 0,0 | 0,00 |
| 62 | 0,2 | 265 | 0,7 | 0,0 | 150 | 0,0 | —0,7 | 0,49 |
| 65 | 0,8 | 275 | 2,7 | 1,2 | 240 | 4,5 | 1,8 | 3,24 |
| 66 | 1,1 | 276 | 3,8 | 1,2 | 249 | 4,3 | 0,5 | 0,25 |
| 70 | —0,5 | 254 | —1,9 | 0,0 | 271 | 0,0 | 1,9 | 3,61 |
| 71 | —0,4 | 234 | —1,6 | —0,5 | 271 | —1,7 | —0,1 | 0,01 |
| 71 *a* | —0,2 | 283 | —0,7 | —0,5 | 274 | —1,6 | —0,9 | 0,81 |
| 71 *b* | —1,2 | 280 | —4,1 | —1,8 | 272 | —6,0 | —1,9 | 3,61 |
| 72 | —0,6 | 222 | —2,6 | —0,3 | 280 | —1,0 | 1,6 | 2,56 |
| 73 *a* | —0,9 | 226 | —3,8 | —1,0 | 298 | —3,0 | 0,8 | 0,64 |
| 83 | 1,1 | 214 | 4,9 | 1,0 | 232 | 3,9 | —1,0 | 1,00 |
| 106 | —0,8 | 174 | —4,3 | —1,3 | 312 | —3,7 | 0,6 | 0,36 |
| 108 | —0,8 | 222 | —3,4 | —1,7 | 309 | —4,9 | —1,5 | 2,25 |
| 109 | —0,9 | 199 | —4,3 | —1,9 | 332 | —5,1 | —0,8 | 0,64 |
| 111 | —0,5 | 192 | —2,5 | —0,4 | 312 | —1,2 | 1,3 | 1,69 |
| 113 | 0,8 | 314 | 2,4 | 1,1 | 212 | 4,6 | 2,2 | 4,84 |
| 100 | 1,0 | 328 | 2,9 | 1,1 | 288 | 3,4 | 0,5 | 0,25 |
| 107 | 0,8 | 287 | 2,6 | 1,5 | 293 | 4,6 | 2,0 | 4,00 |
| 114(1) | 13,3 | 242 | 52,0 | 16,0 | 264 | 54,5 | 2,5 | 6,25 |
| 116 | —0,4 | 158 | —2,4 | 0,1 | 219 | 0,4 | 2,8 | 7,84 |
| 119 | 0,2 | 268 | 0,6 | 0,2 | 358 | 0,5 | —0,1 | 0,01 |
| | | | | | | | 14,6 | 50,28 |
| | | | | | | | $= \Sigma\Delta$ | $= \Sigma\Delta^2$. |

(1) Le point 114 n'est pas situé sur le terrain même : c'est le sommet du clocher de l'église de Waal.

mais il y a des erreurs individuelles qui se sont élevées à $2^m,5$ et jusqu'à $2^m,8$ (*voir* le Tableau ci-dessus), alors que, à une

exception près, celle de la hauteur d'un clocher, les points considérés n'étaient au-dessus ou au-dessous du plan de projection que de quelques mètres (8$^{m}$ au plus).

Pour que l'on puisse bien juger de l'intérêt de cette expérience, nous donnons le Tableau des résultats du nivellement et, sur la planche X, la restitution d'un fragment du plan levé et nivelé à l'échelle de $\frac{1}{20000}$, extraits de la brochure de M. Finsterwalder, où l'on trouve aussi mentionnées les durées des diverses opérations graphiques et de calcul qui, tout compris, n'ont été que de quelques heures, sans que l'on ait tenu compte, toutefois, de celles qui concernaient les ascensions.

Peut-être des expériences analogues non parvenues à notre connaissance ont-elles été faites ailleurs? Il est bien probable, dans tous les cas, que, dans les parcs aérostatiques où l'on dispose d'un matériel qui doit être fréquemment manœuvré pour l'instruction du personnel, on aura des occasions d'en faire de plus complètes encore.

Nous devions, ne fût-ce que pour faciliter ces recherches, consacrer quelques pages à une variante de la méthode phototopographique qui, sans pouvoir être conseillée généralement, ne paraît pas devoir être négligée par les aéronautes, de plus en plus disposés à prendre des vues photographiques au cours de leurs ascensions (1).

## XXX. — *Photographie en ballon* (suite).

*Hauteur du ballon et inclinaison de l'axe optique de l'objectif.* — La hauteur du ballon ne semble pouvoir être déterminée exactement qu'en employant accessoirement une chambre noire à axe vertical, comme celle de Cailletet, que

(1) On se souvient des émouvantes expériences de M. Santos-Dumont et qu'à cette occasion on s'est donné beaucoup de peine pour déterminer la trajectoire de son ballon dirigeable à l'aller et au retour, en recourant à des photographies prises de stations fixes et à des instants qui n'étaient pas toujours rigoureusement déterminés. On peut se demander pourquoi cet aéronaute, généralement bien renseigné, ne s'était pas muni d'une chambre noire de M. Cailletet qui, en enregistrant tout, lui eût fourni le moyen d'établir sûrement cette trajectoire en plan et en hauteur.

nous avons retrouvée dans l'appareil panoramique de l'ingénieur russe Thilé et dont beaucoup d'autres aéronautes photographes avaient déjà fait usage. On sait, en effet, que ni le baromètre anéroïde ni le baromètre à mercure ne sont capables de donner une mesure suffisamment exacte de la hauteur du ballon au-dessus du sol, et M. Finsterwalder estime à $30^m$ au moins l'erreur à craindre dans les meilleures conditions d'observation de ces instruments.

A la vérité, l'incertitude sur cette hauteur n'empêche pas de restituer un plan exact, c'est-à-dire de construire une figure géométrique semblable à la projection du terrain, sauf à déterminer, après coup, l'échelle de cette figure par la mesure d'une *base* de longueur convenable et dont les extrémités sont bien reconnaissables sur l'image photographique.

Mais si l'inclinaison de l'axe optique pour les vues latérales qui embrassent de grandes étendues n'est pas exactement connue, la restitution du plan est fatalement incorrecte, et si, en même temps, la hauteur du ballon n'est connue qu'approximativement, on n'a plus le moyen de corriger l'évaluation de l'inclinaison.

*Appareil destiné à mesurer l'inclinaison de l'axe optique.* — On a cherché à mesurer cette inclinaison de plusieurs manières, mais nous allons décrire immédiatement l'appareil vraisemblablement le plus précis, sinon le plus simple, qui ait été proposé jusqu'à présent, et dont l'idée appartient au baron Conrad von Bassus, de Munich.

A l'extrémité d'une sorte de fusil, dont la monture $a$ (*fig.* 76) peut s'appuyer sur le bord de la nacelle, est accrochée la chambre noire $b$ mobile autour d'un axe de rotation $c$.

La face inférieure de la chambre noire porte un arc gradué $d$ dont les divisions passent devant un vernier $e$ fixé à la monture $a$ et dont le centre est sur l'axe de rotation $c$.

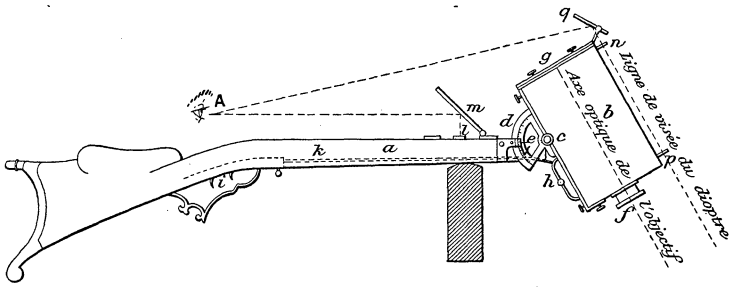
L'objectif est en $f$ et la plaque ou la pellicule sensible en $g$. Le système de déclenchement de l'obturateur est placé en $h$ et est actionné par une détente de chien de fusil $i$ et une tringle de transmission $k$.

Un niveau à bulle d'air $l$, placé à la partie supérieure de la

monture *a*, permet d'assurer l'horizontalité des arêtes de la face supérieure dont le plan passe par l'axe de rotation *c*. On observe le niveau par la réflexion de l'image de la bulle d'air dans le miroir *m*, qui est rectifiable comme le niveau lui-même.

Sur la face supérieure de la chambre noire se trouve un dioptre *np* qui, à l'aide d'un miroir *q* légèrement convexe,

Fig. 76.




permet de viser l'objet dont on veut amener l'image au point principal de la perspective.

L'observateur, dont l'œil, après l'épaulement du fusil, se trouve en A, peut voir à la fois l'image réfléchie de la bulle du niveau dans le miroir *m* et, dans le miroir *q*, l'image de l'objet sur lequel il veut orienter l'appareil, en donnant à la chambre noire la position convenable. La lecture faite sur l'arc gradué donne l'inclinaison de l'axe optique de l'objectif, la bulle du niveau maintenue entre ses repères assurant l'horizontalité de la face supérieure de la monture, dont le plan passe par le zéro de la graduation quand l'axe optique de l'objectif est lui-même horizontal.

Selon la remarque de M. Doležal (1), à qui nous avons emprunté sa description, cet intéressant appareil jouit des avantages suivants :

1. Les erreurs d'appréciation provenant habituellement de la détermination indirecte de l'inclinaison de l'axe optique se

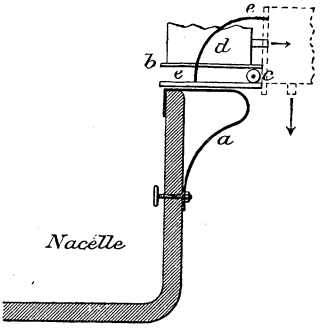
(1) *Arbeiten und Fortschritte auf dem Gebiete der Photogrammetrie im Jahre* 1899 (Separat-abdruck aus *Jahrbuch für Photographie und Reproductionstechnik für das Jahr* 1900 von Hofrath Dr Josef Maria Eder).

trouvent évitées avec cet appareil, la lecture de l'angle s'y faisant directement avec une grande précision.

2. Si l'on prend plusieurs épreuves de la même station avec la même inclinaison de l'axe optique, il en résulte une grande simplification dans les opérations graphiques de la restitution.

*Appareil simplifié.* — Peut-être le dispositif beaucoup plus simple dont s'étaient déjà servis G. Tissandier et Ducom, perfectionné un peu plus tard par un habile observateur allemand, Hagen, serait-il préférable, à la condition qu'il soit accompagné d'un niveau à bulle d'air et d'un viseur ou même d'une lunette, faciles à y introduire s'ils ne s'y trouvaient déjà, ce dont on ne peut juger d'après le schéma suivant (*fig.* 77)

Fig. 77.




que nous empruntons à l'Ouvrage, très documenté cependant, du major Pizzighelli (1).

*a* est une armature métallique accrochée au bord supérieur de la nacelle; *d* est la chambre noire qui peut pivoter autour d'un axe horizontal *c* et dont la planchette inférieure, *b*, reste en contact avec un quart de cercle divisé *ee* qui fait partie de l'armature et sur lequel on peut lire l'inclinaison de l'axe optique de la chambre noire.

(1) *Die Anwendung der Photographie dargestellt für Amateure und Touristen* von G. Pizzighelli, k. und k. major in Genie-Stab. Halle a. S., Wilhelm Knapp, 1892.

## XXXI. — *Photographie en ballon* (suite).

*Épreuves obtenues à différentes hauteurs.* — Des expériences, dont nous regrettons de ne pouvoir reproduire tous les résultats, parce qu'ils sont très frappants, ont été faites avec un même objectif de M. Suter de $0^m,180$ de distance focale, depuis $400^m$ de hauteur (vue de Bâle de la planche IX) jusqu'à $1500^m$ ($450^m$, $500^m$, $1250^m$, $1400^m$ et $1500^m$). Les épreuves ainsi obtenues successivement permettent en effet d'apprécier immédiatement les avantages et les inconvénients des changements de hauteur qui décident aussi souvent l'observateur à faire varier l'inclinaison de l'axe optique de la chambre noire. On reconnaît sur-le-champ, comme on pouvait d'ailleurs s'y attendre, que s'il s'agit de construire des plans détaillés avec des vues prises sur tableaux inclinés, en tenant compte de la grandeur de la distance focale en question, les hauteurs de $400^m$ à $500^m$ sont les plus convenables (1) et qu'il ne faudrait guère dépasser $1000^m$, à moins de recourir à des objectifs à plus longs foyers. S'il convient, au contraire, d'embrasser de grandes étendues pour obtenir seulement des renseignements généraux sur le pays ou sur des objets assez éloignés, encore suffisamment reconnaissables malgré leur petitesse, il devient indispensable de s'élever à d'assez grandes hauteurs. On est conduit d'ailleurs à conclure, de l'examen des épreuves dont il s'agit, que, pour des objets éloignés que l'on aurait intérêt à reconnaître très nettement, comme des troupes ennemies, des ouvrages de fortification, des travaux de siège ou de campagne, il faut de

(1) Nous avons vu cependant qu'avec un objectif de $0^m,211$ de foyer, c'est-à-dire à peine plus puissant que celui de M. Suter, on avait obtenu *directement* un plan du terrain à l'échelle de $\frac{1}{10000}$ environ, d'une hauteur de $2000^m$. Mais on comprendra facilement que, dans ce cas, on était dispensé d'effectuer des constructions graphiques pénibles et souvent même impraticables sur des *vues obliques* dont les détails éloignés deviennent microscopiques et généralement obtenues dans des conditions telles qu'ils ne seraient guère susceptibles d'être amplifiés.

toute nécessité recourir, sinon à la téléphotographie proprement dite, au moins à des objectifs à long foyer.

*Des objectifs à long foyer employés en ballon.* — A la suite d'essais faits avec un téléobjectif, d'ailleurs très bien étudié et qui avait même donné des résultats assez satisfaisants (1), on a été obligé de reconnaître que les conditions dans lesquelles sont placés les aéronautes étaient peu favorables à l'emploi de ces appareils.

Une Commission spéciale, composée d'officiers du génie très expérimentés, chargée d'élucider la question, avait, dès le début de ses travaux, décidé qu'il fallait se contenter de demander aux opticiens de bons objectifs à long foyer, et un concours avait été ouvert à cet effet. Les principes qui devaient servir de guides, l'organisation du concours, les méthodes d'appréciation basées sur des mesures de haute précision, enfin les résultats on ne peut plus concluants de cette épreuve sont exposés dans une Notice récemment publiée par le commandant Houdaille, rapporteur de la Commission (2).

Dans l'exposé des principes on rappelle qu'un ballon captif peut être soumis à trois mouvements : mouvement pendulaire de la nacelle, mouvement de rotation du ballon et mouvement de l'ensemble du système à l'extrémité du câble.

Le mouvement pendulaire du ballon libre est beaucoup moins sensible, mais les mouvements de giration peuvent devenir considérables et la vitesse propre de translation atteint jusqu'à $20^m$ à la seconde et au delà.

Il en résulte que, dans tous les cas, on doit pouvoir opérer dans un temps très court.

En supposant que le déplacement angulaire possible soit de 6 degrés, et en admettant qu'un déplacement de $\frac{1}{10}$ de mil-

---

(1) Ces essais ont été faits en 1895 par le capitaine du génie Bouttieaux avec un téléobjectif construit d'après les calculs du capitaine Houdaille, aujourd'hui commandant.

(2) *Notice sur les résultats du concours d'objectifs à long foyer destinés au Service de l'Aérostation militaire* (Extrait de la *Revue du Génie*, mai 1902. Paris-Nancy, Berger-Levrault et Cie).

limètre sur l'image soit tolérable, F étant la distance focale de l'objectif en millimètres et $t$ le temps de pose en secondes, comme tang $6^{\circ} = 0{,}1$, on aurait :

$$0^{mm},1 = t \times \text{tang}\,6^{\circ} \times F = t \times 0{,}1 \times F, \qquad \text{d'où} \qquad t = \frac{1}{F};$$

c'est-à-dire que le temps de pose doit être en raison inverse de la distance focale : avec un objectif de $600^{mm}$, $\frac{1^{s}}{60}$; avec un objectif de $1^{m}$, $\frac{1^{s}}{1000}$.

La vitesse des obturateurs doit donc croître proportionnellement au foyer de l'objectif et les obturateurs de plaque qui consistent en un rideau à fente très étroite se déplaçant devant la plaque peuvent seuls être employés. Avec une fente de $1^{mm}$ de largeur, il suffit, en effet, que le rideau ait une vitesse de $1^{m}$ à la seconde pour obtenir l'obturation en $\frac{1}{1000}$ de seconde. Mais on conçoit déjà que la distance focale de $1^{m}$ est une limite qu'il ne faudrait pas dépasser, et il est aisé de voir que cette distance focale doit être celle d'un objectif direct et non celle d'un téléobjectif; l'intensité de l'image sur la plaque sensible, dans ce cas, étant inversement proportionnelle, comme on sait, au carré du grossissement, ce qui la rendrait absolument insuffisante pour que les détails fussent perceptibles par l'œil de l'observateur.

Tels sont les motifs qui ont déterminé la Commission à demander des objectifs à long foyer, ne dépassant cependant pas $1^{m}$, à large ouverture et donnant des images d'une grande finesse.

Elle reconnaissait d'ailleurs hautement que, pour les vues d'ensemble, il fallait conserver les chambres du format $13 \times 18$ ou $18 \times 24$, de $180^{mm}$ à $220^{mm}$ de foyer, d'ouverture $\frac{F}{8}$, enfin d'un obturateur pouvant donner $\frac{1}{200}$ de seconde, et nous avons montré plus haut tout le parti que l'on pouvait tirer de ces vues, à la seule condition de munir les chambres d'organes de précision permettant de déterminer au moins l'inclinaison de l'axe optique.

Mais pour les détails d'objets éloignés dont les images trop petites deviennent imperceptibles, la téléphotographie étant difficilement praticable, on avait dû essayer d'augmenter la distance focale de l'objectif et sa puissance de définition, en limitant d'ailleurs nécessairement le champ.

Le but à atteindre a donc été formulé dans les termes suivants :

« *Enregistrer en toute saison, sauf par temps de brume, à la distance de* $8^{km}$, *tous les éléments constitutifs d'une batterie : servants, chevaux, canons, caissons, retranchements.*

» *Le cliché obtenu doit être lisible à l'œil nu, sans être obligé de recourir à un agrandissement.* »

Nous n'avons pas à rendre compte des opérations de la Commission, dont le lecteur pourrait prendre connaissance dans la brochure du commandant Houdaille; mais nous signalerons les conditions très nettes du concours éliminatoire qui avaient été communiquées aux opticiens intéressés, relatives à la distance focale, à la puissance de définition, d'impression et de vision (1).

1° *Distance focale principale.* — Les objectifs devaient avoir une distance focale comprise entre $0^{m},60$ et $1^{m}$; au delà de $1^{m}$, l'objectif devient trop lourd (on n'avait pas limité le poids et l'un des objectifs soumis atteignait $7^{kg},5$; le rapporteur suggère comme limite à imposer ultérieurement le poids de $3^{kg}$) et le matériel trop encombrant pour être installé dans la nacelle d'un ballon captif.

Au-dessous de $0^{m},60$, les détails sont trop fins pour être perçus directement sur le cliché sans grossissement préalable. L'image d'un homme situé à $8^{km}$ est représentée par un rectangle ayant pour côtés $\frac{1}{22}$ de millimètre et $\frac{1}{7}$ de millimètre, si l'on emploie un objectif de $0^{m},60$ de foyer.

(1) Les détails suivants, aussi bien que la plus grande partie de ceux qui précèdent, sont empruntés presque textuellement à la Notice du commandant Houdaille.

2° *Puissance de définition.* — Pour que l'on puisse compter sur le cliché les servants d'une batterie, il faut que l'objectif soit capable de séparer des détails dont la dimension est inférieure à $\frac{1}{15000}$ de la distance focale principale.

A la distance de $8^{km}$, cette condition correspond à la perception de deux servants séparés par $1^{m}$ d'intervalle.

3° *Puissance d'impression.* — L'image obtenue sur le cliché, même par la lumière diffuse, en hiver, doit être assez vigoureuse pour que les détails, dont la dimension atteint $\frac{1}{10000}$ de la distance focale, soient encore visibles à l'œil nu. Cette condition imposait en fait aux objectifs d'avoir une ouverture supérieure à $\frac{F}{10}$ et d'être bien corrigés au point de vue de l'aplanétisme.

4° *Puissance de vision.* — L'objectif doit embrasser et enregistrer nettement à des distances variant entre $2^{km}$ et $8^{km}$ l'étendue du front d'une batterie évaluée au maximum à $300^{m}$. Des expériences antérieures ayant démontré que l'erreur de pointé en ballon était inférieure à $\frac{1}{50}$ de la distance, il a suffi d'imposer aux objectifs de couvrir nettement le format $13 \times 18$.

## XXXII. — *Photographie en ballon. Objectifs à long foyer* (suite).

*Degré de précision.* — Encore une fois nous renverrions au besoin le lecteur au Rapport de la Commission pour qu'il se rendît compte de la délicatesse des épreuves auxquelles ont été soumis les objectifs présentés au concours.

Nous indiquerons seulement le procédé de mesure employé à la détermination de la distance focale pour donner une idée du degré de précision que l'on cherchait à obtenir.

Tout d'abord il convenait, dans ce cas, de ne plus se contenter de la théorie du centre optique de l'objectif et de rappeler que la distance focale principale est celle qui sépare le

point nodal d'émergence du point de concours des rayons lumineux parallèles à l'axe, tandis que la distance de l'objet doit être comptée à partir du point nodal d'incidence. Or, l'intervalle de ces deux points n'est pas toujours négligeable, car, pour les objectifs simples, elle varie du tiers à la moitié de l'épaisseur de la lentille.

Toutefois, avec les objectifs symétriques, elle est beaucoup moindre en général, et l'on peut même arriver à la rendre nulle.

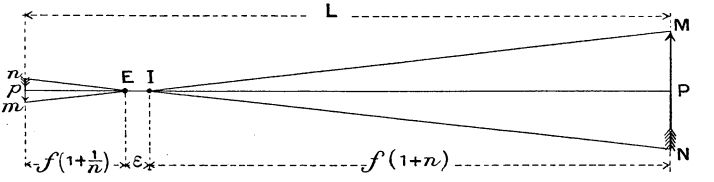
Pratiquement, dit le Rapport, on peut admettre que la distance des points nodaux est inférieure à $\frac{5}{1000}$ de la distance focale principale.

« Pour des objectifs destinés à des reconnaissances militaires, ajoute-t-il, il est indispensable de mesurer le foyer avec une certaine précision. Dans ces conditions, le cliché obtenu n'est plus une simple image, mais bien un véritable dessin géométrique sur lequel on peut relever des dimensions au compas et au double décimètre (1). »

Pour déterminer la distance focale principale d'un objectif $f$, on suppose connu le rapport $n$ de la grandeur de l'image $mn$ à la grandeur de l'objet MN (*fig.* 78).

I et E étant les points nodaux d'incidence et d'émergence

Fig. 78.




avec l'intervalle ε, P et $p$ les foyers conjugués, on sait que $IP = f(1+n)$ et $Ip = f\left(1+\frac{1}{n}\right)$; la distance L de l'image à

(1) Il est évident que la même précision s'impose toutes les fois qu'on se préoccupe de mesures géométriques à effectuer sur les épreuves, mesures linéaires ou mesures angulaires, à tous les instruments destinés à la métrophotographie.

l'objet est donc

$$L = f\left(2 + n + \frac{1}{n}\right) + \varepsilon,$$

d'où

$$f = \frac{L - \varepsilon}{2 + n + \frac{1}{n}}.$$

La précision de la mesure de F dépend donc de celle de la mesure de L, de $n$ et de la valeur de $\varepsilon$.

La Commission disposait de l'installation du Service géographique de l'armée, où la chambre noire, mobile sur rails, peut être amenée à la distance de $10^m$ avec une erreur inférieure à $5^{mm}$.

La valeur de L pouvait donc être obtenue à $\frac{5}{10000}$ près. Celle de $n$ avait le même degré de précision, grâce à des mesures micrométriques faciles à exécuter et en négligeant la distance des points nodaux ; il est aisé de voir également, puisqu'on suppose $\varepsilon$ inférieur à $\frac{5f}{1000}$ dans les objectifs symétriques, que l'incertitude résultante est elle-même inférieure à $\frac{5}{10000}$, parce que, avec les dispositions prises, $2 + n + \frac{1}{n}$ était supérieur à 10.

En résumé, l'erreur à craindre sur la mesure de la distance focale principale, effectuée dans ces conditions, est inférieure à $\frac{1}{1000}$ et devient insignifiante dans la pratique, c'est-à-dire, pour l'usage que l'on a à faire d'un objectif à long foyer, à la distance de $8^{km}$.

La conclusion de la Commission a été, en premier lieu, qu'il avait suffi de proposer aux opticiens un programme précis pour le voir résolu d'une façon satisfaisante et, en second lieu, que le concours ainsi ouvert avait permis d'établir sur des bases scientifiques et indiscutables les éléments d'appréciation de la valeur comparée d'objectifs de constructions différentes.

Les deux objectifs classés les premiers avaient été construits, l'un par M. Fleury-Hermagis et l'autre par M. Voigtländer (M. Gaumont, dépositaire). Le premier était un objectif de $1^m$ de foyer, ouvert à $\frac{F}{9}$ ; le second un objectif de $0^m,60$ de foyer,

ouvert à $\frac{F}{9}$. Ils ont été achetés tous les deux par l'établissement de Chalais et mis en service pendant les manœuvres d'aérostation du camp de Châlons en octobre 1901.

Malgré le mauvais temps, ils ont fourni des résultats absolument remarquables et ont démontré que le problème posé de relever les détails d'une batterie située à 8$^{km}$ était pratiquement résolu (1).

## XXXIII. — *Photographie par cerf-volant.*

*Premiers essais. Avantages que présente le cerf-volant.* — Deux habiles expérimentateurs français, MM. Arthur Batut, d'Enlaure, près Labruguière (Tarn), et Émile Wenz, de Reims, ont utilisé successivement le cerf-volant pour obtenir des vues photographiques du terrain, de points déjà assez élevés au-dessus du sol pour constituer des reconnaissances relativement étendues, le plus souvent très intéressantes et dont ils espéraient que les topographes pourraient tirer parti, comme nous en sommes convaincu nous-même.

Les motifs qui ont guidé les deux inventeurs dans leurs recherches sont dignes de la plus sérieuse attention. Alors, en effet, que l'emploi des ballons exige habituellement un personnel nombreux, ainsi qu'un matériel encombrant et dispendieux (2), rien n'est plus facile que d'improviser partout, à peu de frais, l'ingénieux appareil connu depuis si long-

(1) *Notice sur les résultats du concours d'objectifs à long foyer destinés au Service de l'Aérostation militaire*, page 333.

(2) On a bien pensé à réduire le plus possible le volume de ballons captifs destinés uniquement à enlever des appareils photographiques; mais la construction de ces engins reste encore assez onéreuse et, dans tous les cas, il faut avoir le gaz à sa disposition. Enfin, selon la remarque de M. Wenz, le ballon captif ne peut pas s'élever par un grand vent, qui est, au contraire, favorable au lancement du cerf-volant, et l'on en doit conclure avec lui que le mieux serait, si on le pouvait, d'avoir recours aux ballons captifs pendant les temps calmes et au cerf-volant dès que la vitesse du vent atteint 5$^{m}$ à la seconde, et à plus forte raison au delà, ce qui arrive sept fois sur dix, selon les statistiques établies à l'École aérostatique de Meudon.

temps et en usage dans tous les pays pour la distraction de la jeunesse, dont elle exerce à la fois l'adresse et l'agilité. Ce genre de sport très attachant n'est d'ailleurs pas le seul titre du cerf-volant à l'attention générale. On sait que, depuis plus d'un siècle, il a servi à l'étude de l'électricité atmosphérique à d'assez grandes hauteurs et, dans ces derniers temps, il est même devenu l'un des auxiliaires les plus précieux des météorologistes (1).

Les premiers essais de photographie à l'aide d'un cerf-volant, faits par M. A. Batut, remontent à 1888 (2). Frappé de la netteté et de l'intérêt des résultats obtenus par d'habiles aéronautes, mais en même temps de la dépense et des autres difficultés inhérentes à l'emploi des ballons (3), M. Batut s'était demandé pourquoi l'on ne tenterait pas de recourir au cerf-volant et, en très peu de temps, grâce à son ingéniosité, il parvenait à réaliser un projet qui, au premier abord, aurait pu paraître bien hasardeux.

La publication dans *la Nature* des premières épreuves obtenues par un procédé aussi original fut à la fois une sorte d'événement dans le monde photographique et un véritable triomphe pour l'inventeur. Mais, quoique ces épreuves fussent déjà remarquablement nettes (et l'on en pourra juger par la vue de Labruguière, photographiée le 29 mars 1889, le cerf-volant étant à 90$^{m}$ de hauteur, reproduite *Pl. XI*), l'inventeur ne se tint pas pour satisfait et, avec la plus louable persévérance, il a continué et continue encore à perfectionner la construction du cerf-volant et de sa chambre noire, le mode de suspension de cette dernière, le mécanisme de l'obturateur,

(1) Dans plusieurs grands pays de l'Europe et aux États-Unis. En France, il convient de mentionner tout particulièrement l'*Observatoire de Trappes*, si habilement dirigé par M. Léon Teisserenc de Bort.

(2) A la même époque, un Anglais, M. E. Douglas-Archibald, avait employé le cerf-volant pour obtenir des vues photographiques. Le fait est consigné dans une brochure ayant pour titre : *Les cerfs-volants militaires*, par E. DOUGLAS-ARCHIBALD, Librairie Universelle, Paris, 1888; mais on ne connaît aucune reproduction des épreuves de cet auteur.

(3) *Voir* GASTON TISSANDIER, *La Photographie en ballon*. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1886; *La Nature*, années 1888, 1889, 1890 et 1897, et *La Photographie aérienne par cerf-volant*, par ARTHUR BATUT. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1890.

en un mot tous les détails d'un engin qui, pour simple qu'il soit en principe, n'en est pas moins très délicat. Il s'est beaucoup occupé aussi du choix de l'objectif et du procédé photographique, employant tour à tour comme supports de l'image des glaces et des pellicules; enfin il a expérimenté tous les moyens d'enlever le cerf-volant même dans les temps calmes, c'est-à-dire quand la vitesse du vent était inférieure à 5$^{m}$ à la seconde.

Dès l'année suivante (1890), M. Arthur Batut avait un disciple et un émule qui, aussitôt engagé dans la même entreprise, lui prêtait un précieux concours en résolvant, de son côté, plusieurs des difficultés du problème.

A moins d'entrer dans des détails trop minutieux, nous ne saurions exposer ici tous les travaux de ces deux infatigables chercheurs; mais nous engageons le lecteur à consulter leurs publications (1) et celle d'un ingénieur distingué qui, dans un livre attachant, après avoir donné une théorie élémentaire de l'appareil, a résumé l'histoire anecdotique, scientifique, militaire, utilitaire en général, du cerf-volant en Europe, en Asie (en Chine, au Japon, en Corée) et en Amérique (2).

Nous nous contenterons donc d'indiquer succinctement les caractères essentiels des cerfs-volants utilisés pour la photographie par MM. Batut et Wenz (3), nous réservant de signaler ensuite les difficultés que présente encore le procédé dont il s'agit, au point de vue d'une restitution possible du plan, et, par suite, les desiderata auxquels il faudra s'efforcer de satisfaire

---

(1) ARTHUR BATUT, Notes dans *la Nature*, années 1888, 1889, 1890 et 1897, et *La Photographie aérienne par cerf-volant*, déjà citées.

ÉMILE WENZ, dans *l'Aéronaute : Note sur la photographie aérienne par cerf-volant*, octobre 1897, et *Note sur l'enlèvement d'un cerf-volant par temps calme au moyen d'une voiture automobile*, avril 1899.

Dans le *Bulletin de la Société française de Photographie : Observatoire-sonde avec enregistreur photographique*, mars 1900; *Résumé historique de l'invention de la photographie aérienne par cerf-volant*, avril 1902.

(2) *Les cerfs-volants*, par J. LECORNU, Ingénieur des Arts et Manufactures. Paris, Nony et Cie, 1902.

(3) On ne peut que mentionner, d'après le *Résumé historique* de M. E. Wenz, les résultats analogues à ceux de nos compatriotes obtenus postérieurement (en 1895) par MM. William-A. Eddy et Gilbert Totten-Woglom, à New-York.

pour que la photographie par cerf-volant parvienne à rendre les mêmes services que la photographie en ballon.

*Forme et dispositions principales des cerfs-volants portant une chambre noire.* — La forme la plus répandue en France est celle d'un quadrilatère symétrique par rapport à sa plus grande diagonale dite *épine dorsale,* la petite, qui lui est par conséquent perpendiculaire, la coupant en deux parties généralement assez inégales. C'est aussi celle qui paraît convenir au cerf-volant photographique, la petite diagonale pouvant d'ailleurs rester rectiligne ou être arquée comme dans la plupart des cerfs-volants que l'on construit journellement pour le seul plaisir de les lancer dans l'air.

Une particularité importante de la construction, introduite d'abord par M. Wenz et adoptée par M. Batut, a été de rendre la carcasse du cerf-volant démontable et, par conséquent, facilement transportable. Quant à la voilure (que l'on peut faire en papier dans les circonstances ordinaires), lorsqu'il s'agit d'un appareil destiné à durer et à fonctionner par tous les vents, elle doit être en étoffe solide, andrinople ou ponghée (soie de Chine), la première recommandable par son bon marché, la seconde plus chère, mais beaucoup plus légère et plus résistante.

On sait que, pour donner plus de stabilité au cerf-volant en l'air, on attache à l'extrémité inférieure de la grande diagonale ou de l'épine une queue dont la longueur est environ quadruple de celle de l'épine elle-même. Cette queue est formée d'une ficelle double garnie, à des intervalles réguliers de $0^m,10$ à $0^m,20$, de petits morceaux de papier ou d'étoffe de $0^m,30$ de longueur sur $0^m,15$ de largeur, repliés sur eux-mêmes et fortement noués à la ficelle (1), terminée elle-même par une sorte de panache de même nature ou par un petit sac de toile convenablement lesté de sable fin ou de terre.

Enfin, on sait également que, pour enlever le cerf-volant, une bride à laquelle est attachée la corde de manœuvre se

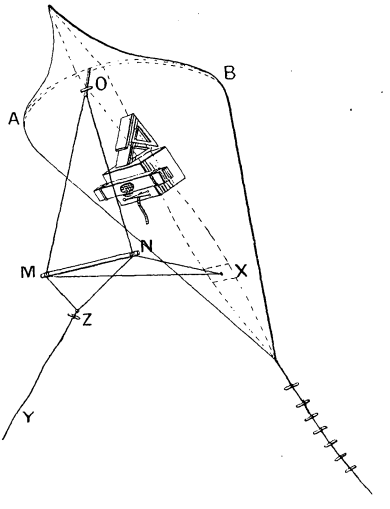
(1) On remplace avantageusement cette queue à nœuds par une bande d'étoffe de même longueur posée à cheval sur la ficelle.

trouve ordinairement fixée par ses deux extrémités en deux points convenablement déterminés de l'axe, c'est-à-dire de l'épine rectiligne.

Ce dernier dispositif a dû nécessairement être modifié pour dégager le champ de l'objectif de la chambre noire.

La figure 79 montre la solution adoptée dès le début par M. Batut et qui consiste à substituer à l'épine rectiligne un

Fig. 79.




Cerf-volant photographique de M. Arthur Batut.

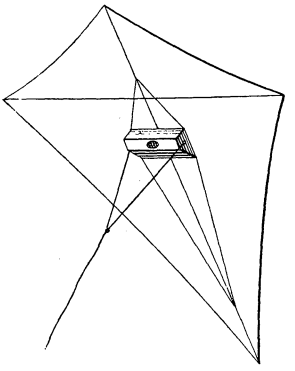
bâti (ponctué sur la figure) sur lequel est fixée la chambre noire et à la bride un système de quatre cordes partant deux à deux des points d'attache ordinaires de la bride O et X et aboutissant aux extrémités d'un palonnier en roseau MN, lesquelles servent également de points d'attache à une corde lâche dont le milieu Z est noué à l'extrémité supérieure de la corde de manœuvre Y.

La figure 80 représente le cerf-volant de M. Wenz avec un mode de suspension de la chambre noire d'une extrême simplicité.

M. Wenz a voulu, en effet, conserver facilement démontable

la carcasse du cerf-volant et, pour cela, il a supprimé le bâti.

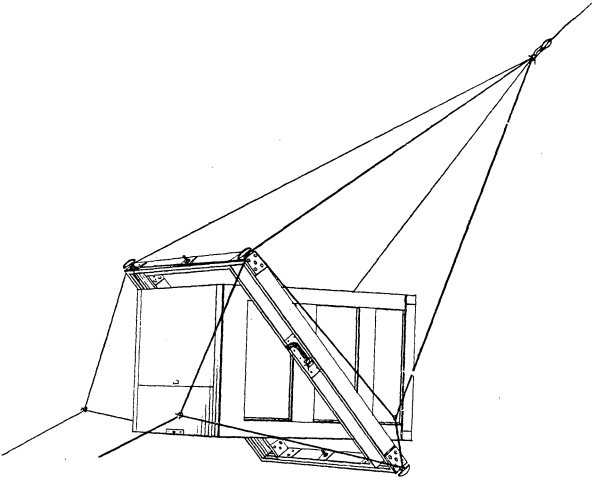
Fig. 80.



Cerf-volant photographique de M. Émile Wenz.

D'un autre côté, sa chambre noire remplace pour ainsi dire le palonnier de M. Batut, puisque c'est à ses deux flancs que s'ac-

Fig. 81.

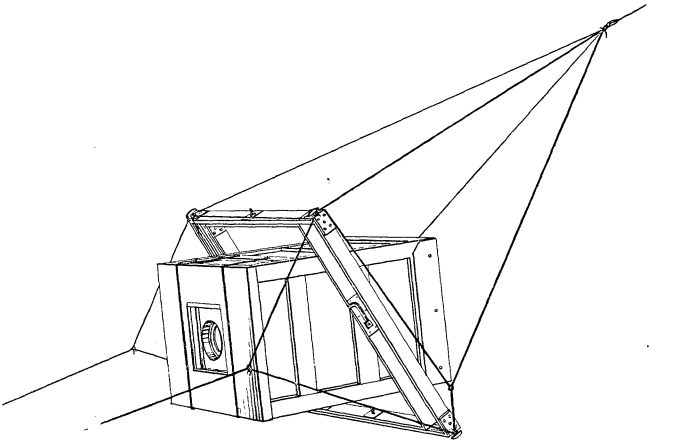


croche le système de cordes qui remplace la bride ; il en résulte que le champ de l'objectif est entièrement libre, que la surface

soumise à l'action du vent est sensiblement augmentée, enfin que l'inclinaison voulue de l'axe optique de la chambre peut être réglée depuis une perspective en avant jusqu'à une perspective en arrière du cerf-volant, en passant, bien entendu, par la verticale, si l'on veut exécuter directement une vue qui donne le plan du terrain. La chambre noire est d'ailleurs beaucoup moins influencée par les mouvements du cerf-volant.

Pour faciliter le changement de direction de l'axe optique et pour régler son inclinaison, M. Wenz a eu recours à un

Fig. 82.



cadre en bois aux quatre angles duquel sont attachés les brins de la bride, comme cela est représenté sur les deux figures 81 et 82.

Sur la dernière, la chambre noire est disposée de manière à plonger en avant du cerf-volant, et sur la première elle plonge en arrière. On voit sur les deux figures l'une des encoches du cadre dans lesquelles on engage l'axe horizontal de rotation perpendiculaire à l'axe optique et l'écrou correspondant qui sert à régler l'inclinaison de cet axe par rapport au cadre dont le plan est sensiblement parallèle à celui du cerf-volant.

## XXXIV. — *Photographie par cerf-volant* (suite).

*Difficultés d'exécution. Desiderata déjà atteints en partie.* — Nous avons laissé de côté la question des dimensions et du poids de l'ensemble de l'appareil, celle des moyens d'assurer l'enlèvement du cerf-volant et quelques autres difficultés d'exécution d'ordre purement matériel. Nous en dirons seulement quelques mots à la fin ou dans le courant de ce paragraphe; mais il y a trois points essentiels qu'il nous importe surtout d'élucider, savoir : la détermination de la hauteur du cerf-volant, celle de l'inclinaison de l'axe optique de l'objectif, enfin le moyen d'obtenir sûrement la vue du terrain que l'on désire reconnaître.

*Hauteur du cerf-volant au-dessus du sol.* — On sait que cette hauteur sert à déterminer l'échelle des restitutions. Son évaluation à l'aide de la longueur déployée de la corde de manœuvre et de l'inclinaison estimée (1) de la droite qui passe par les deux extrémités de la chaînette formée par cette corde ne peut être qu'approximative. Il en est souvent de même, d'ailleurs, de celle que l'on obtient par l'observation d'un baromètre anéroïde avant le départ et au retour du cerf-volant, celui-ci ayant emporté le baromètre et la hauteur atteinte pouvant s'être enregistrée au moment du déclenchement de l'obturateur de l'objectif.

Le procédé le plus précis sera toujours de se procurer, quand on le pourra, les positions en plan de trois ou quatre points du terrain bien reconnaissables sur la photographie; mais, à défaut de ce renseignement, c'est au baromètre anéroïde que l'on est disposé à recourir.

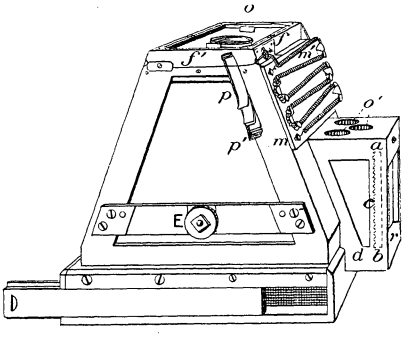
MM. Batut et Wenz ont cherché tous les deux à enregistrer la position de l'aiguille du baromètre, et nous allons indiquer le moyen le plus récemment employé par M. Wenz avec une

(1) Mesurée à peu près au moyen d'un petit quart de cercle. Voir *Les cerfs-volants,* par M. J. LECORNU, p. 158.

chambre noire en forme de pyramide tronquée, ce qui a permis d'en diminuer le poids. Nous profiterons de cette occasion pour indiquer le procédé de déclenchement de l'obturateur adopté de préférence par les deux expérimentateurs.

La figure 83 représente la chambre noire en forme de pyra-

Fig. 83.




mide tronquée dont les arêtes sont en bois et les faces en carton fort.

Le renflement que l'on voit à droite sur la figure est une petite chambre auxiliaire qui contient le baromètre *ab* dont l'aiguille retournée en crochet *cd* est disposée de manière que son extrémité *d*, éclairée par les ouvertures O', affleure la surface de la plaque sensible quand le cerf-volant atteint la hauteur que l'on a cherché à lui donner. L'image de cette extrémité se fait au voisinage d'un repère triangulaire *r*, et la position de l'aiguille sur le cadran du baromètre s'en déduit facilement.

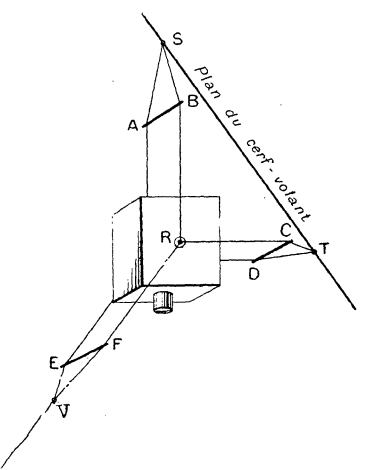
Le déclenchement de l'obturateur est produit par une *mèche à temps mm'* repliée plusieurs fois le long de l'une des faces de la chambre (1) et dont la longueur est calculée pour que le feu vienne atteindre le fil *f* qui retient l'obturateur armé, quand le cerf-volant est à la hauteur voulue, et, du

(1) M. Wenz s'est aussi servi de l'électricité pour obtenir le déclenchement, mais la mèche à temps, dont l'emploi est plus simple, semble assez sûre et a suffi dans la plupart des expériences faites jusqu'à présent.

même coup, le fil *f'* qui est tendu sur l'extrémité d'une banderole de papier *pp'*, laquelle, en se développant, informe l'opérateur que la plaque est impressionnée.

*Indépendance relative désirable de la chambre noire et du cerf-volant; inclinaison de l'axe optique.* — On a déjà vu que le contact immédiat de la chambre noire et du cerf-volant avait été supprimé et que cela avait eu les plus heureux effets. Cette disposition, proposée par M. Wenz, avait été aus-

Fig. 84.




sitôt approuvée par M. Batut, qui, de son côté, a réalisé d'importants perfectionnements dans le même ordre d'idées.

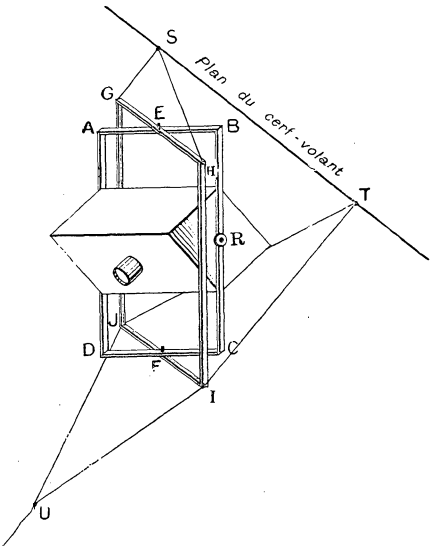
Ainsi, pour obtenir une vue qui soit un plan du terrain, c'est-à-dire pour diriger verticalement l'axe optique de la chambre noire, celle-ci est munie de deux tiges déterminant un axe horizontal perpendiculaire à l'axe optique; à ces tiges, dont l'une est en R (*fig.* 84), on attache des brides liées deux à deux à des palonniers AB, CD, EF, et prolongées en se réunissant, les premières jusqu'aux points d'attache S, T sur l'épine et les dernières au point V, extrémité de la corde de manœuvre.

Pour incliner commodément l'axe optique, M. Batut a

adopté un autre système de suspension, représenté sur la figure 85.

Deux cadres en bois ABCD, GHIJ s'entre-croisent en E et F et sur l'un deux, ABCD, la chambre noire est suspendue par

Fig. 85.




deux tiges formant axe horizontal de rotation. L'autre, GHIJ, est relié au cerf-volant en S et à la corde de manœuvre en U. Un écrou R, placé sur l'une des tiges qui est filetée, sert à arrêter la chambre noire en donnant à l'axe optique l'inclinaison convenable.

M. J. Lecornu ayant suggéré l'idée que l'on pourrait éloigner bien davantage le système de suspension du cerf-volant (1), M. Wenz s'en est emparé et, en s'aidant de tous les perfectionnements antérieurs, il est parvenu à accrocher sur

(1) *Les cerfs-volants*, p. 152. M. Lecornu indique encore un peu plus loin l'emploi d'un gouvernail triangulaire en toile pour maintenir l'appareil de suspension dans le lit du vent. Toutes ces idées contribueront, sans doute, au perfectionnement ultérieur de la photographie par cerf-volant.

la corde de retenue (1) un système de suspension à la Cardan analogue à celui de la figure 85, à une cinquantaine de mètres du cerf-volant, ce qui donne la plus grande indépendance possible à la chambre noire.

La question de la mesure de l'inclinaison de l'axe optique de l'objectif est donc bien près d'être résolue.

Si l'on était sûr, en effet, à l'aide d'un poids placé au-dessous des deux cadres de la suspension à la Cardan et à leur intersection, de maintenir exactement la verticalité des montants, ce qui ne semble pas impossible, il suffirait de disposer un cercle divisé sur la paroi de la chambre en contact avec l'un des montants AD, BC (*fig.* 85) et un index sur le montant pour régler l'inclinaison de l'axe optique, qui serait ainsi connue.

M. Wenz pense que l'on pourrait, à la rigueur, se contenter, indépendamment de la direction verticale qui donnerait le plan du terrain sur la photographie, des deux inclinaisons à 45° en avant et en arrière du cerf-volant, ce qui conserverait une plus grande simplicité à la construction des appareils.

*Sur quelques-uns des résultats déjà obtenus.* — Si nous n'étions pas obligé de limiter le nombre de nos planches, nous reproduirions volontiers plusieurs des nombreuses épreuves que les deux ingénieux inventeurs ont bien voulu nous faire parvenir. Après celle de Labruguière de M. Batut (*Pl. XI*), nous donnerons seulement les deux suivantes :

1° Une vue de l'hôpital de Berck-sur-Mer (Pas-de-Calais) (*Pl. XII*), prise à 350$^{m}$ de hauteur avec un objectif dont la distance focale était de 0$^{m}$,206. Le point où la verticale du

(1) Cette manœuvre, dont une solution a été également indiquée par M. Lecornu, suppose que le lancement du cerf-volant se fait avec beaucoup de méthode et que l'opérateur est maître de toutes les parties de son appareil. Nous n'avons pas à nous arrêter ici sur des détails techniques que l'on trouverait dans l'Ouvrage déjà si souvent cité. Quant aux moyens de lancer les cerfs-volants : coureurs à pied, cavaliers, automobiles, etc., nous n'avons pas non plus à nous en occuper et nous supposons même tout de suite que l'on a recours au treuil qui est employé généralement pour les travaux scientifiques, dans les observatoires météorologiques notamment, et dont se sont servis MM. Batut et Wenz.

centre optique de cet objectif rencontre le plan de la photographie, c'est-à-dire, dans ce cas, le point de concours des perspectives de nombreuses verticales (arêtes des édifices), s'obtient immédiatement avec beaucoup de précision ; il serait aisé, dès lors, connaissant, par exemple, la longueur du grand bâtiment, qui est de $121^{m},80$, de vérifier la hauteur indiquée par M. Wenz, de déterminer l'inclinaison de l'axe optique, puis de construire, à une échelle choisie, le plan de tous les bâtiments représentés, le bord mouillé du rivage au momen de l'opération, enfin de trouver la hauteur des principaux édifices.

On remarquera toutefois que, d'après la position de la trace de la verticale du point de vue sur la photographie, le plan principal de la perspective est dirigé presque suivant la diagonale de l'épreuve, au lieu d'être parallèle aux petits côtés, comme sur les épreuves ordinaires. Cela n'altérerait évidemment en rien l'exactitude des résultats, mais il serait préférable de conserver l'orientation que l'on a choisie, et il est probable que, avec la disposition de la chambre noire suspendue à une certaine distance du cerf-volant, il en sera ainsi.

2° Deux vues stéréoscopiques d'une partie du village de Jonchéry-sur-Vesle (Marne) (*Pl. XIII*). Nous ne présenterons aucune observation au sujet de cet essai, qui sera continué par M. Wenz. Nous voulions seulement montrer, dès à présent, que l'on est arrivé, dans cet ordre d'idées, à des résultats acceptables et qui en font espérer d'autres dont on pourra songer à tirer parti, comme des vues stéréoscopiques prises de stations terrestres dont nous nous occuperons bientôt.

Nous compléterons cet historique de la Photographie par cerf-volant par l'indication de quelques chiffres qui répondront à plusieurs questions que pourrait se faire le lecteur. Nous les empruntons à l'excellent Ouvrage de M. J. Lecornu, que nous ne saurions trop lui recommander, et à la Communication faite en avril dernier (1902), à la *Société française de Photographie,* par M. Wenz.

Le format des épreuves en centimètres a été, au début, de $8 \times 10$, et il s'est élevé jusqu'à $18 \times 24$;

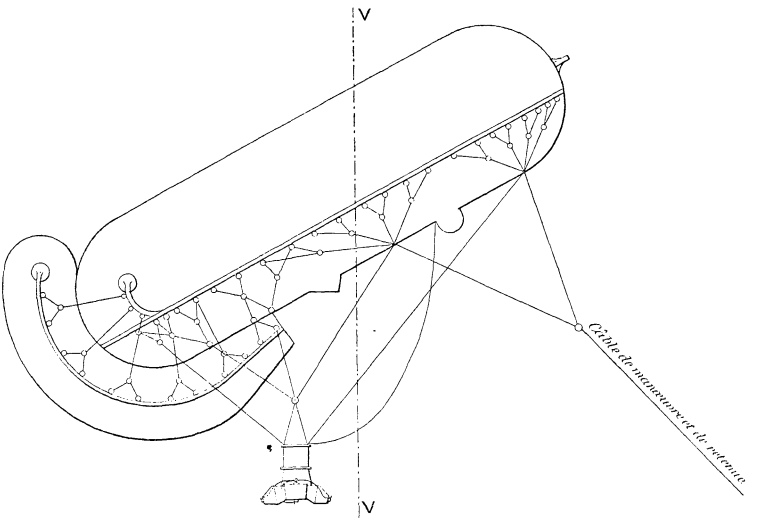
Les foyers des objectifs ont varié de $0^{m},166$ à $0^{m},210$;

Enfin, le poids minimum de l'appareil a été de $0^{kg},600$ et n'a pas dépassé, jusqu'à présent, au maximum $1^{kg}$.

Dans les expériences de nos deux compatriotes, la hauteur des cerfs-volants est restée comprise entre $50^{m}$ et $350^{m}$.

Nous ne saurions terminer ce qui se rapporte à la *Photographie par cerf-volant* sans mentionner la tentative qui a été faite en Allemagne d'employer de petits ballons pour accroître la force ascensionnelle du cerf-volant, en un mot des engins nouveaux désignés sous le nom de *ballons cerfs-volants*. Nous donnons un croquis d'un de ces engins (*fig.* 86)

Fig. 86.




construits à Augsbourg, chez Augustus Riedenger; nous y joignons les renseignements suivants pris dans le catalogue de cette maison et qui se rapportent à quatre modèles de capacités différentes :

| Nos. | Capacité. $m^3$ | Hauteur à atteindre. m | Prix. mks |
|---|---|---|---|
| 1 | 10,4 | 200 | 360 |
| 2 | 37 | 340 | 820 |
| 3 | 64 | 550 | 1600 |
| 4 | 100 | 780 | 2200 |

On remarquera sans doute qu'avec les nos 3 et 4 on pourrait atteindre des hauteurs assez considérables, ce qui est un avantage; mais il faut ajouter aux prix déjà élevés de ces appareils celui d'accessoires assez nombreux et fort encombrants, en particulier de ceux qui sont nécessaires pour fabriquer l'hydrogène.

Nous sommes loin d'ailleurs de vouloir critiquer une tentative dont il faut, au contraire, souhaiter le succès.

Dans tous les cas, il est sûrement permis d'espérer, d'après tout ce qui précède, que la branche si intéressante de la *photographie aérienne*, créée en France, continuera à y faire des progrès entre les mains de ses deux initiateurs et de leurs émules. Il y a lieu d'espérer aussi qu'elle sera mise à profit par les topographes, dans des circonstances où les autres procédés deviendraient difficiles ou même impossibles à employer. Elle peut être recommandée, en particulier, aux explorateurs qui, pour la plupart, accoutumés à s'ingénier, ne seraient pas embarrassés de construire un cerf-volant *de fortune* et sauraient s'en servir utilement pour se renseigner sur des parties plus ou moins inaccessibles des contrées qu'ils parcourent.

En traitant à nouveau la question de la Photographie en ballon et par cerf-volant, nous nous attendons à voir se reproduire des critiques d'ailleurs peu sérieuses, celle, entre autres, de l'emploi fréquent que nous faisions du conditionnel. Il nous suffira de prier le lecteur impartial de remarquer que cet Ouvrage a été entrepris pendant la gestation d'une *doctrine* (car le nom de *méthode* est désormais insuffisant) que nous nous efforcions de vulgariser, en faisant loyalement nos réserves à propos de difficultés d'exécution qui ont déjà bien diminué et tendent à disparaître l'une après l'autre.

Le sous-chapitre qui va suivre fera juger si nous avions raison de compter sur les ressources merveilleuses, inépuisables, de la Perspective et de la Photographie pour venir puissamment en aide à l'art de lever les plans.

## LA STÉRÉOSCOPIE APPLIQUÉE A LA CONSTRUCTION DES PLANS.

*Considérations préliminaires.* — Nous avons fait pressentir, dès le début de ce Chapitre, au paragraphe XV, que les vues stéréoscopiques pourraient faciliter souvent le travail du phototopographe, en lui permettant de se mieux rendre compte des formes du terrain, quelquefois difficiles à bien saisir sur une vue isolée ou sur deux vues prises de stations trop éloignées l'une de l'autre. Nous n'avions pas été seul à nous en aviser et nous n'avons même pas tardé, depuis lors, à apprendre que, de divers côtés, le problème de la construction immédiate des plans nivelés par la stéréoscopie avait été abordé et résolu, au moins théoriquement, d'une manière, on pourrait dire de plusieurs manières satisfaisantes (1).

Il y aurait même dès à présent tout un livre à faire sur ce sujet, que nous devons traiter avec quelque détail, mais pas aussi complètement que nous l'eussions souhaité, faute de temps et de place. D'ailleurs la question est encore à l'étude et nous chercherons surtout à donner une idée aussi nette que possible de l'état dans lequel elle se trouve, avec l'espoir que les renseignements contenus dans les pages suivantes engageront le lecteur à remonter aux sources qui y sont indiquées et peut-être à contribuer lui-même au succès d'une

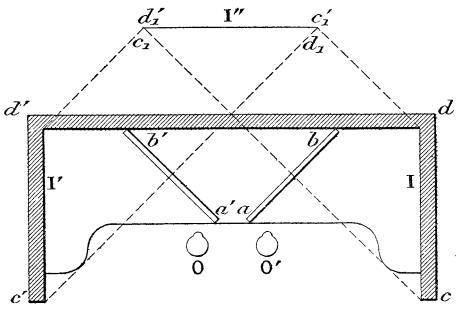
(1) Au premier abord, en se référant aux principes très justifiés de la méthode des intersections, on serait peu disposé à admettre que l'on puisse parvenir, avec de petites bases, à déterminer exactement des points relativement éloignés. Mais l'extrême délicatesse des images photographiques d'une part, et leur précision géométrique de plus en plus grande, d'autre part, ont cependant permis de modifier cette méthode en la rapprochant de celle des parallaxes dont les astronomes sont bien obligés de se contenter depuis longtemps.

méthode plus délicate que celle à laquelle nous avions dû nous arrêter, mais dont, après tout, si elle réussit, elle aura tiré son origine.

## XXXV. — *Principe du stéréoscope.*

*Stéréoscope à miroirs.* — Le stéréoscope a été imaginé par le célèbre physicien anglais Wheatstone en 1832, c'est-

Fig. 87.




Stéréoscope de Wheatstone.

à-dire plusieurs années avant la publication de la découverte de Niepce et de Daguerre. Il était surtout destiné à mettre en évidence les propriétés de la vision binoculaire et les deux images planes conjuguées qui servaient aux expériences n'étaient d'abord que des figures géométriques composées de lignes droites dont la séparation et l'orientation dans l'espace produisaient déjà des effets de relief saisissants. Le premier modèle de stéréoscope de Wheatstone est représenté par la figure 87.

Il se compose de deux miroirs (1) $ab$, $a'b'$ formant un angle dièdre de 90° et de deux planchettes $cd$, $c'd'$ disposées latéralement à la même distance du plan bissecteur (distance

(1) Métalliques ou argentés en dessus pour éviter les doubles images.

correspondant à celle de la vue distincte), contre lesquelles on applique les dessins. En plaçant les yeux en *o* et en *o'* chacun d'eux voit le dessin correspondant I ou I' en I'' où les deux images se superposent; mais comme elles sont symétriques des originaux, pour obtenir l'effet de la vision directe, il faut que ceux-ci aient été exécutés en sens inverse.

*Stéréoscope à réfraction.* — Brewster ne tarda pas à améliorer l'instrument de Wheatstone en indiquant la construction suivante généralement adoptée, à quelques modifications près introduites successivement par l'artiste français Duboscq, puis par d'autres savants ou artistes de divers pays (1).

Le stéréoscope de Brewster (*fig.* 88) est une boîte en bois de forme évasée comparable à un tronc de pyramide quadrangulaire. Au fond de cette boîte sont placés les deux dessins disposés à côté l'un de l'autre et éclairés par l'ouverture d'un volet V. Deux demi-lentilles égales *p* et *p'* convenablement équarries (2), placées symétriquement à la partie supérieure de la boîte (*fig.* 88 et 89), servent à regarder les deux images à la fois, et, pour éviter la confusion, une cloison *mn* isole les images dont chacune ne peut être vue que par l'un des deux yeux.

La hauteur de la boîte ou plutôt la distance des centres optiques des objectifs aux dessins est ordinairement de $0^m,15$; mais les images sont transportées virtuellement à la distance de la vue distincte en même temps qu'elles sont projetées l'une sur l'autre par l'effet de la réfraction sur les bords inclinés des demi-lentilles qui agissent comme deux prismes accolés par leurs arêtes.

---

(1) *Voir* pour ces modifications et la description de divers modèles de stéréoscope l'intéressante brochure de M. F. Drouin intitulée : *Le Stéréoscope et la photographie stéréoscopique.* Paris, Charles Mendel, éditeur, 1894.

(2) Remplacées depuis par des lentilles entières dont les axes optiques n'ont pas besoin de converger, surtout quand l'instrument est destiné à examiner des photographies de paysages qui donnent ainsi des effets plus naturels.

On introduit les deux dessins convenablement juxtaposés par une fente *f* pratiquée au bas du stéréoscope et on les

Fig. 88.

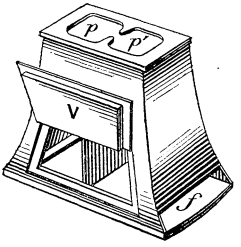
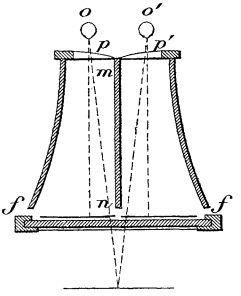



Fig. 89.




Stéréoscope de Brewster.

éclaire en ouvrant le volet V dont la surface intérieure est recouverte d'une feuille d'étain pour servir de réflecteur.

Enfin, dans le cas où les dessins sont tracés sur une substance transparente (papier huilé, celluloïd, pellicule, verre), on a remplacé le fond de la boîte par une glace dépolie qui permet de diriger l'appareil vers le jour ou vers une lumière artificielle et d'éclairer les images aussi vivement qu'on le désire.

## XXXVI. — *Propriétés de la projection stéréoscopique.*

*Images dessinées et images photographiées.* — Puisque la Stéréoscopie a précédé la Photographie, les premières expériences ont naturellement été faites, comme nous l'avons supposé jusqu'à présent, à l'aide de dessins géométriques ou obtenus par d'ingénieux procédés mécaniques (1). On a

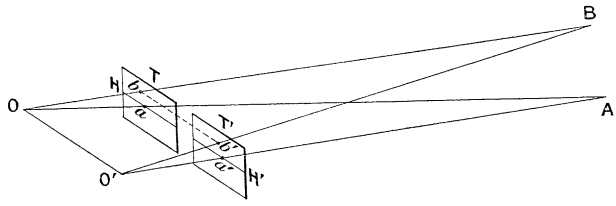
(1) On peut citer entre autres les images stéréoscopiques tracées par l'appareil de Tisley, dit *harmonographe* (Tisley et Cie de Londres), dont un modèle existe au Conservatoire des Arts et Métiers, depuis l'Exposition Universelle de 1878.

encore récemment fait usage de figures dessinées expressément pour éprouver l'aptitude à la vision binoculaire des personnes appelées à l'utiliser.

Nous tâcherons de profiter nous-mêmes du moyen indiqué à cet effet par M. le Dr Pulfrich d'Iéna, à propos de l'application du téléstéréoscope de Helmholtz à la télémétrie, mais nous devons auparavant indiquer quelques-unes des propriétés fondamentales de la projection stéréoscopique.

Soient $o$ et $o'$ (*fig.* 90) les yeux de l'observateur, T et T′ deux tableaux situés dans un même plan vertical parallèle à la ligne des yeux supposée horizontale, H H′ la ligne d'horizon, la

Fig. 90.




même sur les deux tableaux, et A un point d'un objet rapproché situé dans le plan de l'horizon; enfin $a$ et $a'$ les images de ce point sur chacun des deux tableaux qui correspondent aux points de vue $o$ et $o'$.

L'écart $a\,a'$ de ces images sera facile à calculer si l'on connaît l'intervalle $o\,o'$ des yeux, la distance des points de vue aux tableaux et la distance du point A au plan de ces tableaux ou de ce point à la ligne des yeux.

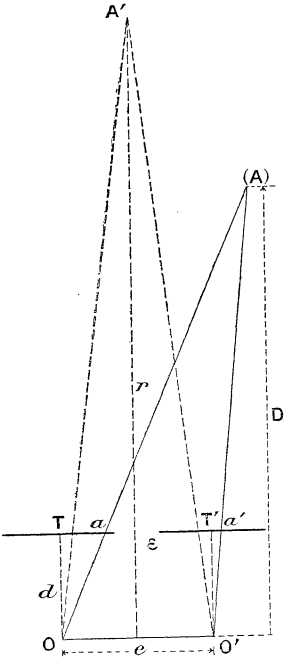
Si l'on considère un autre point B situé au-dessus ou au-dessous du plan de l'horizon, il est évident que ses deux images $b$ et $b'$ sont situées sur une parallèle à $o\,o'$ et par conséquent à la ligne d'horizon.

On démontre encore aisément que si le point A se déplace en restant dans un plan parallèle à celui des tableaux, l'écart des deux images est toujours égal à $a\,a'$ (1).

(1) La démonstration analytique de ces propriétés et d'autres encore

Cela étant, considérons (*fig.* 91) un point A situé à une certaine distance en avant de la ligne des yeux *o o'*. Soient

Fig. 91.




T et T' les traces des deux tableaux interposés sur le plan d'horizon pris pour plan de projection. Joignons le point considéré ou, s'il n'est pas dans le plan d'horizon, sa projection (A) aux points *o* et *o'*, les intersections *a* et *a'* des droites *o*A et *o'*A avec les deux tableaux déterminent l'écart des images du point A.

Soient D la distance du point A ou de sa projection à la ligne des yeux, *d* la distance des yeux aux tableaux (la hauteur du

---

de la projection stéréographique se trouve dans l'*Optique physiologique* de Helmholtz, traduite par Émile Javal et M. Th. Klein. Paris, Victor Masson et fils, 1867, p. 842 et suivantes.

stéréoscope ordinaire), $e$ l'intervalle $o\,o'$ égal à la distance des axes parallèles des yeux, de $0^m,06$ à $0^m,07$, enfin $\varepsilon$ l'écart $aa'$ des deux images; on aura :

$$\frac{D}{e} = \frac{D-d}{\varepsilon}, \qquad \text{d'où} \qquad \varepsilon = e\,\frac{D-d}{D}.$$

En tenant compte du grossissement des lentilles du stéréoscope, $d$ devient égale à la distance de la vue distincte, de $0^m,25$ à $0^m,30$, c'est-à-dire que, dans tous les cas, c'est une très petite quantité par rapport aux distances (D) des objets extérieurs que l'on a à considérer. $\frac{D-d}{D}$ diffère donc très peu de l'unité, et la parallaxe linéaire $e - \varepsilon$ est elle-même toujours très petite et devient insensible pour les objets très éloignés.

La distance à laquelle la sensation du relief ou de la profondeur relative des différents objets cesse d'être perceptible avec la vision binoculaire correspond, d'après de nombreuses expériences, à une parallaxe angulaire $o\,A'\,o'$ de 30 secondes sexagésimales, pour une vue normale. En supposant $e$ égale à $0^m$, 065, il en résulte que les objets situés au delà de $450^m$ se confondent avec le fond du tableau (1).

Pour des yeux dont l'intervalle optique n'est que de $0^m,06$ et si l'acuité de la perception correspond seulement à une parallaxe de $1'$ comme plusieurs anciens expérimentateurs, Helmholtz en tête, l'admettaient en général, cette distance au delà de laquelle la sensation du relief s'évanouit, dépasserait à peine $200^m$.

Les personnes jeunes, douées d'une excellente vue, et, en particulier, celles dont les deux yeux ont le même degré de sensibilité, arrivent toutefois à accroître de beaucoup cette portée et, pour quelques-unes, des parallaxes de $10''$ et même

---

(1) Comme il s'agit de très petits angles qui peuvent être pris pour leurs tangentes, on peut écrire (Voir *fig.* 91) $e = r \times 30''$ et comme $1'' = \frac{1}{206\,265}$ et $e = 0^m,065$, $r = \frac{0^m,065}{30} \times 206\,265 = 446^m,90$, soit en nombre rond $450^m$.

moindres permettent encore d'apprécier des différences de profondeur jusqu'à $1200^{m}$ à $1500^{m}$ de distance et plus.

Ces personnes sont les mieux qualifiées, non seulement pour employer le *télémètre stéréoscopique* dont nous parlons un peu plus loin, mais pour tracer les courbes de niveau par la méthode métrophotographique ordinaire en s'aidant de vues stéréoscopiques qui leur font sentir les formes du terrain.

Dès qu'à la suite des perfectionnements de l'objectif photographique, on put compter sur des images correctes de paysages, on songea à accoupler deux chambres noires pour prendre des vues simultanées du même site qui, placées dans le stéréoscope, y produisirent aussitôt des effets de relief encore bien plus expressifs que ceux que l'on avait obtenus avec les figures géométriques les mieux dessinées (1).

Les modèles nombreux de *jumelles photographiques* si répandues aujourd'hui peuvent tous être utilisés pour aider les opérateurs dans les travaux de métrophotographie, et, parmi eux, il en est un, le *vérascope* de M. Jules Richard, qui doit être signalé tout particulièrement parce qu'il réalise

---

(1) C'est le cas de rappeler que les images obtenues à l'aide d'une jumelle photographique ont besoin d'être inversées, c'est-à-dire que celle de droite dans la jumelle doit être placée à gauche dans le stéréoscope et celle de gauche placée à droite.

Nous profiterons de l'occasion pour rappeler aussi qu'en laissant à ces images leurs positions sur les clichés sortant de la jumelle et en les regardant sans instrument, mais en usant du strabisme artificiel, pour les dédoubler et superposer les deux images médianes, on produit l'effet stéréoscopique exact.

Enfin en prenant, au contraire, les épreuves préparées pour être vues dans le stéréoscope, c'est-à-dire après leur inversion, mais en les regardant sans l'instrument et en usant encore du strabisme artificiel, on amène en avant les objets situés en arrière, c'est-à-dire que l'on renverse l'effet du relief comme Wheatstone le faisait au moyen de l'appareil cité plus loin dans le texte sous le nom de *pseudoscope*.

Cette faculté de faire converger à volonté les axes optiques de nos deux yeux peut être utilisée, quand on l'a suffisamment exercée, pour provoquer d'intéressants phénomènes de vision binoculaire et pour mieux se rendre compte, en particulier, des effets stéréoscopiques.

On peut ainsi, par exemple, arriver à *toucher du doigt* les points amenés en coïncidence dans l'espace et effectuer de véritables mesures sur les *reliefs virtuels* d'objets dont on a combiné optiquement les deux images.

rigoureusement l'idée de Brewster qui conseillait de regarder les images avec des lentilles de même puissance optique que les objectifs des jumelles.

## XXXVII. — *Effets stéréoscopiques intentionnellement exagérés.*

*Insuffisance de la distance des yeux comme base géométrique.* — Mais on a voulu aller plus loin, et, en se préoccupant moins de la vérité de l'impression physiologique, on a cherché à accroître l'effet du relief, d'abord pour reculer la limite de la perception de la profondeur et surtout afin de pouvoir effectuer sur les nouvelles images stéréoscopiques des mesures que les très faibles parallaxes correspondant à la distance des yeux prise pour base interdisaient autrement.

Nous ne saurions mieux faire, pour préciser l'origine d'une innovation qui a déjà eu et qui promet d'avoir des conséquences considérables, que de citer le passage suivant du grand Ouvrage de Helmholtz (1).

« Aussi, d'après la proposition de Brewster, se sert-on généralement aujourd'hui de chambres noires jumelles qui fonctionnent simultanément sur deux parties différentes de la même plaque. Les centres des deux objectifs ont la même distance que les yeux de l'homme ou une distance un peu plus grande, de $0^m,07$ à $0^m,075$; la chambre noire elle-même présente donc l'aspect d'un stéréoscope renversé. Ces instruments sont très convenables pour photographier les objets voisins et reproduisent ce que verrait un observateur immobile en se mettant à la place de l'appareil. Ils présentent surtout cet avantage que, par un beau soleil, l'exposition instantanée de la plaque peut donner de bonnes images d'objets mobiles, d'hommes, d'animaux, de vaisseaux et même les images magnifiques d'une mer agitée.

---

(1) *Optique physiologique,* traduction française de Javal et Klein, p. 869 et suivantes.

» Mais ils ne suffisent pas pour des paysages qui présentent des lointains, parce que la distance des points de vue est trop petite pour donner des différences suffisantes ; aussi les parties éloignées d'un paysage demeurent-elles ordinairement tout à fait planes.

» Pour des cas de ce genre, il vaut mieux obtenir une sorte d'effet téléstéréoscopique, en prenant deux épreuves à partir de points éloignés. »

« C'est ainsi, ajoute-t-il, que parmi les excellentes épreuves de paysages de Braun (de Dornach), j'ai trouvé des vues du Wetterhorn prises de deux points différents de Grindelwald, deux autres vues de la même montagne prises de deux points différents de Bachalp, de même deux vues de la Jungfrau prises de Mürren ; on obtient un modèle excellent de la forme montagneuse, si l'on sépare les images de chaque paire et qu'on les associe deux à deux, de manière à obtenir la combinaison d'épreuves prises de points assez éloignés. Au lieu de reconnaître la forme des montagnes aussi mal qu'un observateur immobile, on la distingue alors bien mieux, comme un observateur qui se déplacerait et comparerait les aspects successifs que la montagne lui aurait présentés. »

Dans un autre endroit, Helmholtz avait insisté sur ce fait qu'une telle comparaison est bien plus incertaine lorsqu'elle se fait de mémoire que quand elle a pour objet deux sensations instantanées. Il en concluait naturellement que des photographies d'une montagne prises de deux points de vue convenablement espacés et mises en présence l'une de l'autre donneraient une idée bien plus précise de la forme de cette montagne que le souvenir des aspects perçus successivement et faisait en quelque sorte pressentir ce qu'il appelle l'*effet téléstéréoscopique*. Il a d'ailleurs réalisé lui-même cet effet, en élargissant, modérément toutefois, la distance des deux points de vue à l'aide de l'instrument qu'il a désigné précisément sous le nom de *téléstéréoscope*.

## XXXVIII. — *Téléstéréoscope, ses analogues et ses dérivés.*

*Téléstéréoscope de Helmholtz.* — Les conditions de la vision binoculaire peuvent être facilement altérées par l'interposition, entre les yeux et les objets, de miroirs plans qui modifient les trajets des rayons lumineux et par suite les directions des rayons visuels. C'est ainsi que Wheatstone renversait totalement le relief stéréoscopique en plaçant devant chaque œil un prisme rectangulaire avec ses arêtes perpendiculaires au plan de visée et dont les hypoténuses de $0^{m},015$ de côté environ disposées sensiblement en face l'une de l'autre formaient miroirs et produisaient la superposition des images entrecroisées, ce qui donnait un effet inverse du relief naturel. Cet appareil est connu sous le nom de *pseudoscope*, et un autre expérimentateur, le Dr Javal, a montré que l'on pouvait même, toujours à l'aide de miroirs convenablement placés sur le trajet des rayons lumineux, faire disparaître le relief des objets les plus espacés en profondeur et ramener toutes les images de ces objets à prendre l'aspect d'une peinture plane.

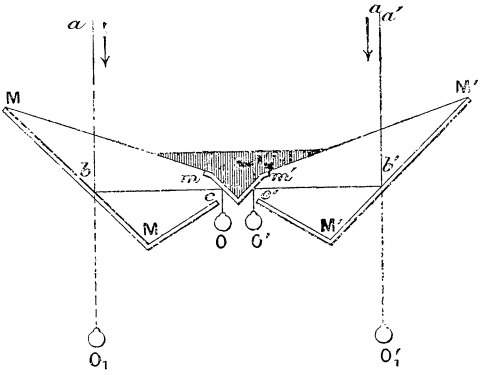
Ce dernier appareil, désigné sous le nom d'*iconoscope*, est composé de quatre miroirs plans disposés à l'inverse de ceux du *téléstéréoscope* de Helmholtz représenté (*fig.* 92) et qui est, en effet, destiné, au contraire, à exagérer le relief, en écartant pour ainsi dire l'un de l'autre les yeux de l'observateur :

Les deux grands miroirs MM, M'M' sont disposés à angle droit, l'un par rapport à l'autre, dans une boîte ouverte par devant, qui renferme en outre les deux petits miroirs $m$ et $m'$, respectivement parallèles aux premiers et leur faisant face. La cloison de la boîte a deux ouvertures par où les yeux $o$ et $o'$ peuvent regarder les images des objets éloignés vers lesquels l'instrument est dirigé. Les rayons lumineux partant, par exemple, d'un point $a$ très éloigné, se réfléchissent d'abord en $b$ et en $b'$ sur les deux grands miroirs, puis en $c$ et en $c'$ sur les deux petits et sont reçus par les yeux $o$ et $o'$.

La parallaxe produite par cette modification du trajet des

rayons lumineux est celle qui existerait pour deux yeux placés en $O_1$ et en $O'_1$, et, si l'on examine un paysage dans cet instrument, l'œil O le voit comme s'il était en $O_1$, et l'œil O′ comme

Fig. 92.




Téléstéréoscope de Helmholtz.

s'il était en $O'_1$. En un mot, la base d'observations est amplifiée dans le rapport de $O_1O'_1$ à $OO'$ (1).

« Il se produit, dit Helmholtz, quelque chose d'analogue au téléstéréoscope lors de l'*examen* de la plupart des photographies stéréoscopiques de paysages, parce qu'en général, en prenant la photographie, on a donné aux deux points de vue une distance bien plus grande que celle des deux yeux (2). »

*Stéréoscope de Cazes.* — L'illustre physicien ne paraît pas toutefois avoir songé à se servir de son ingénieux instrument pour regarder, comme dans un stéréoscope, les images prises de points de vue assez distants l'un de l'autre.

Un sagace expérimentateur, M. L. Cazes, s'en est avisé et a réalisé un appareil dont la disposition générale est la même

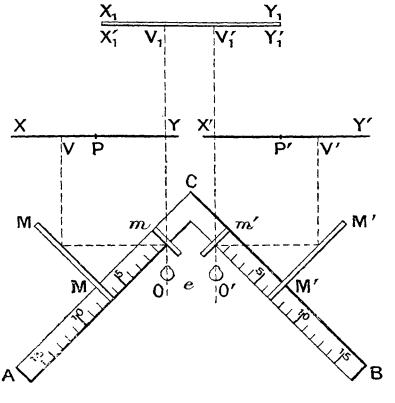
(1) Si l'on imagine un appareil entièrement analogue, mais réduit à des proportions telles qu'en le retournant les yeux puissent se placer en *a* et en *a′*, les rayons lumineux venus des objets éloignés qui tomberaient d'abord sur les deux petits miroirs se rapprocheraient en continuant leur route, au point de presque se confondre. On aurait l'*iconoscope* de Javal.

(2) *Optique physiologique*, p. 822.

que celle du téléstéréoscope avec cette unique particularité que les positions relatives des miroirs et celles des photographies sont réglables (1).

A cet effet, les deux petits miroirs *m m'* (*fig.* 93) étant fixés sur les branches d'une sorte d'équerre ACB, les grands miroirs MM, M'M' peuvent glisser sur ces branches et y être arrêtés à une distance convenable, la même des deux côtés,

Fig. 93.




en se guidant sur les graduations qui y sont tracées et dont les zéros correspondent aux petits miroirs.

Les épreuves XY, X'Y', prises aux deux stations, sont disposées dans un même plan perpendiculaire au plan bissecteur de l'angle droit de l'équerre, à un intervalle qui dépend surtout du format de ces épreuves.

Le déplacement des grands miroirs entraîne, comme il est aisé de le voir, un déplacement latéral des images virtuelles, par rapport aux épreuves elles-mêmes, qui, pour chacune, est égal à l'intervalle des miroirs parallèles multiplié par $\sqrt{2}$, ce dont il est tenu compte sur la graduation en parties égales dont chaque division est de $0^{cm},705$ pour $0^{cm},5$.

---

(1) *Voyez* à ce sujet: L. CAZES, *Stéréoscopie de précision. Théorie et pratique.* Paris, Librairie Michelet, Ph. Pellin, éditeur, 21, rue de l'Odéon, 1895.

Le rapprochement des images peut être réglé de façon que chacun des yeux de l'observateur qui les voit séparément se trouve dans les mêmes conditions qu'avec le stéréoscope de Wheatstone, en y joignant cette circonstance favorable que les deux réflexions successives redressent ces images.

Si les épreuves supposées du format $13 \times 18$ ont été obtenues en dirigeant le plus grand côté horizontalement (on peut aussi les obtenir avec ce côté vertical), en les juxtaposant, la distance de leurs points principaux sera au moins de $0^m,18$; admettons que cette distance soit de $0^m,19$. Pour que les points principaux soient ramenés à l'écartement des yeux, de $0^m,065$ en moyenne, il faudra les rapprocher de

$$0^m,19 - 0^m,065 = 0^m,0125,$$

ce qui se fera par moitié, au moyen des deux couples de miroirs, les grands étant placés sur la division $\frac{12,5}{2} = 6,25$.

Les épreuves sont elles-mêmes portées par un support mobile (*fig.* 94) le long d'une tige reliée à l'équerre qui permet de les éloigner ou de les rapprocher des yeux; il convient d'en régler la position de façon que les images virtuelles soient reportées à une distance égale à la distance focale de l'objectif (si l'on emploie deux chambres noires, leurs objectifs doivent avoir la même distance focale). Supposons que cette distance soit de $0^m,20$, on placera les épreuves à $0^m,20 - 0^m,0625$ ou $0^m,1375$ des yeux, car le stéréoscope dont il s'agit ne fait pas que déplacer latéralement les images, il les éloigne de la même quantité, c'est-à-dire de $0^m,0625$ dans le cas actuel.

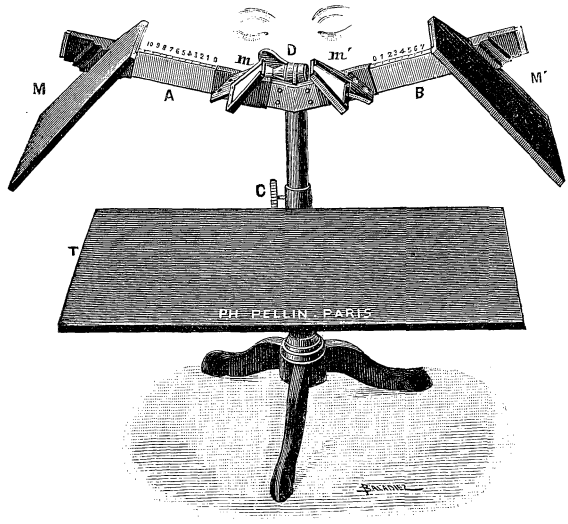
Il reste enfin à examiner ces images avec des verres (bésicles) appropriés d'une part à la vue de l'observateur, et de l'autre à la condition de produire le relief le plus exact, le plus parfait possible.

Nous ne pourrions pas entrer ici dans toutes les explications que donne M. Cazes pour préciser les conditions dans lesquelles doivent être prises les épreuves et celles que doit s'imposer l'observateur pour produire le *relief exact*. Nous renvoyons le lecteur à l'excellent Mémoire de cet

auteur (1) et nous nous bornerons à dire que les épreuves prises successivement aux deux stations, plus ou moins éloignées l'une de l'autre, doivent être situées dans des plans verticaux parallèles entre eux et à la direction de la base et, autant que possible, au même niveau (2).

Nous donnons (*fig.* 94) une vue du stéréoscope à miroirs

Fig. 94.




Stéréoscope de Cazes.

de M. Cazes, construit par l'habile opticien M. Ph. Pellin, et nous reproduisons (*Pl. XV*) deux vues photographiques prises

(1) Le Chapitre essentiel de ce Mémoire contient une étude du phénomène de l'accommodation de la vision combiné avec celui de la convergence des axes optiques des yeux de l'observateur qui sert à déterminer *le premier plan de front du sujet* dont la distance est liée à celle qui sépare les deux stations. Il cite, comme exemples, des bases de 120$^{m}$ sur lesquelles il a opéré, le premier plan étant à 6$^{km}$, et il ajoute : « La reconstitution ne laisse rien à désirer au double point de vue de l'exactitude géométrique et de l'illusion ; le relief s'impose infiniment plus qu'en présence de la nature. »

(2) M. Cazes paraît même disposé à exiger que cette dernière condition soit remplie, ce qui, dans certains cas, pourrait rendre la méthode plus difficilement praticable.

aux extrémités d'une base de $20^m,62$ avec un objectif de $0^m,1962$ de distance focale, qui, disposées sur le plateau-support T du stéréoscope, à la distance indiquée ci-dessus, les miroirs étant eux-mêmes réglés d'après l'intervalle nécessaire entre les deux épreuves, produisent un effet de relief vraiment surprenant.

L'impression qui en résulte permettrait déjà à un opérateur exercé de s'en inspirer très utilement pour interpréter graphiquement les formes du terrain, mais M. Cazes a voulu faire davantage, parvenir à exécuter le plan de tous les accidents topographiques *visibles à la fois* sur les deux photographies et y tracer les courbes de niveau par un procédé optique et mécanique sur lequel nous reviendrons par la suite en indiquant les méthodes analogues imaginées par d'autres savants.

## XXXIX. — *Téléstéréoscope et ses dérivés* (suite).

*Télémètre stéréoscopique.* — L'appareil désigné sous ce nom, conçu, comme nous l'avons dit au paragraphe XV, en 1893, par feu l'ingénieur Hector de Grousilliers, de Charlottenburg, et réalisé dans ces dernières années par la maison Zeiss, d'Iéna, présente une disposition tout à fait analogue à celle du téléstéréoscope. Il agrandit comme lui la base de la vision binoculaire, mais l'effet stéréoscopique y est encore rendu beaucoup plus sensible par le grossissement des images. Sur le trajet des rayons lumineux se trouvent installées, en effet, deux lunettes deux fois coudées (*fig.* 95) dans lesquelles les miroirs plans du téléstéréoscope sont remplacés par des prismes à réflexion totale (comme dans la longue-vue de Porro).

D'un autre côté, au foyer de chacune de ces lunettes sont placées, au lieu de réticules, des plaques de verre sur lesquelles sont gravées des séries de repères chiffrés disposés en ligne droite ou sur des lignes brisées dont l'ensemble est destiné à former des *échelles de distances aériennes en profondeur*. C'est pour faire comprendre le rôle de ces échelles qu'ont été publiées les deux vues stéréoscopiques dont il est

question au paragraphe XV de ce Chapitre IV et qui sont reproduites sur la planche I.

En même temps que les perspectives du paysage formées

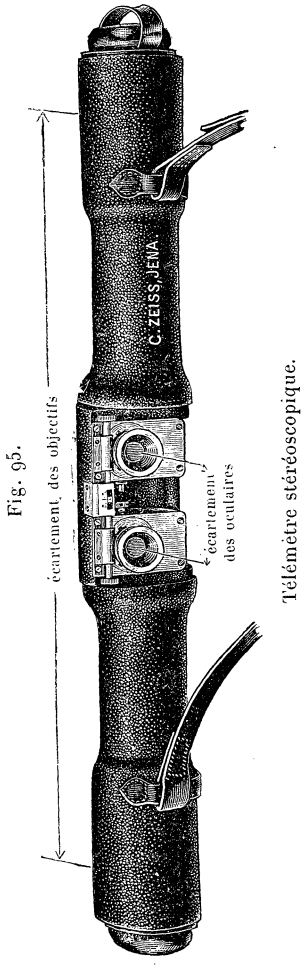



Fig. 95. — Télémètre stéréoscopique.

aux foyers des deux lunettes sont vues stéréoscopiquement par l'observateur, les repères se présentent eux-mêmes comme des objets aériens distribués systématiquement en

files qui s'éloignent et planent au-dessus du sol. En inclinant légèrement l'appareil dans un sens ou dans l'autre, on amène cette sorte d'échelle sur le point dont on veut connaître la distance, laquelle se trouve précisément exprimée par le chiffre de la division qui l'atteint, ou bien estimée avec une approximation suffisante quand le point considéré tombe entre deux divisions.

Les objectifs du télémètre sont fixés invariablement à la monture. Les oculaires, au contraire, peuvent être déplacés pour se prêter à l'écartement des yeux, entre les limites de $58^{mm}$ à $72^{mm}$. Ils sont d'ailleurs, comme dans toutes les lunettes, susceptibles d'être mis au point, séparément même, pour les observateurs dont les yeux ne sont pas égaux.

Nous avons déjà dit que le Dr Pulfrich, qui a dirigé la construction de ce télémètre (1), appelait *effet du relief total* le produit $G \times \frac{E}{e}$ du grossissement des lunettes par le rapport de l'écartement des objectifs à l'écartement des oculaires ou des yeux de l'observateur.

Il existe trois modèles du télémètre stéréoscopique dans lesquels l'écartement des objectifs est de $51^{cm}$ pour le premier, $87^{cm}$ pour le second et $144^{cm}$ pour le plus grand, avec des grossissements correspondants de 8, 14 et 23 fois, ce qui donne pour les effets du relief total 63, 188 et 510. Cela signifie que, tandis qu'à la vue simple les effets du relief ne se font plus sentir, en général, au delà de $450^{m}$, avec le premier modèle le champ de la vision stéréoscopique pourrait s'étendre à $63 \times 450^{m}$ ou à $28^{km}$, avec le second modèle à $84^{km}$, enfin avec le troisième à $228^{km}$; ce qui ne veut pas dire d'ailleurs que l'on puisse avoir la prétention de faire des évaluations à de pareilles distances, même si l'on y découvrait le terrain.

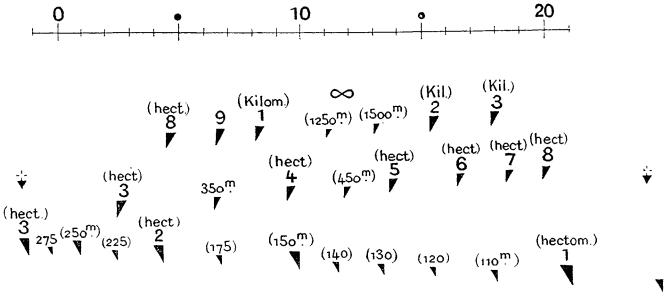
*Échelle des largeurs et des hauteurs ou de front.* — Les

(1) *Voir* la *Notice sur le télémètre stéréoscopique.* Communication présentée à la *Naturforschersammlung* à Munich, le 10 septembre 1899, par le Dr Pulfrich, d'Iéna. S. Hirzel, éditeur, Leipzig; et le *prospectus de Notre télémètre stéréoscopique*, de Carl Zeiss, optische Werkstätte, Iéna, 1901.

champs angulaires des lunettes de ces trois modèles sont respectivement de 2° 54′ (2°,9′), 2° et 1°; nous n'examinerons que le premier modèle, le plus portatif et le plus employé (1).

Chacune des plaques focales sur lesquelles sont tracés les repères (*fig.* 96), porte en outre une échelle divisée en vingt parties égales, destinée à évaluer les largeurs et les hau-

Fig. 96.




teurs des édifices ou des objets (lignes de tentes, lignes de troupes, etc.) qui se présenteraient de front. L'étendue embrassée par le diamètre du champ de 2°,9′ (soit $\frac{1}{20}$, en substituant la tangente à l'arc) sur un plan de front qui serait situé à 1000m serait de 50m et, en général, de $\frac{D}{20}$ pour une distance quelconque D. L'échelle des parties égales est tracée de façon que l'une de ses divisions corresponde à $\frac{1^{\circ}}{16}$ afin que l'intervalle intercepté de front à 1000m soit de 1m et par conséquent de $\frac{D^{m}}{1000}$ à la distance D. Cette échelle et celle des profondeurs dont il nous reste à expliquer la construction sont exécutées en grand et réduites par la photographie sur les plaques focales où elles sont gravées chimiquement.

(1) Le poids de ce modèle est de 3kg environ; il peut à la rigueur être manœuvré à la main. Le poids du second est de 8kg et celui du troisième de 13kg,5; ces derniers entraînent inévitablement l'emploi d'un trépied.

*Échelle des profondeurs. Calcul des parallaxes.* — Supposons le télémètre dirigé vers un point A indéfiniment éloigné (*fig.* 97), les images de ce point se faisant aux foyers des deux lunettes en $a$ et en $a'$ ; si l'on considère un autre point A′ suffisamment rapproché et que son image dans la lunette de gauche se fasse encore en $a$, celle qui se fera dans la lunette

Fig. 97.

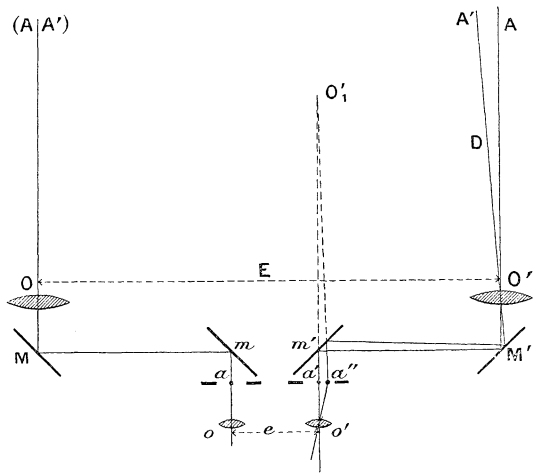



Schéma de la marche des rayons lumineux dans le télémètre stéréoscopique.

de droite se trouvera déplacée en $a''$, et c'est cette parallaxe $a'a''$ qu'il s'agit de calculer. Or, si l'on imagine l'axe du faisceau des rayons lumineux redressé en ligne droite, depuis le centre optique O′ jusqu'en $a''$, et ramené de $a''$ en $O'_1$, à la rencontre de $o'a'$ prolongé, on formera un triangle $a''a'O'_1$ semblable à OO′A′ ; en désignant donc par E l'écartement des objectifs, par D la distance du point A′ à l'instrument et par $f$ la distance focale reconstituée de l'objectif $a''O_1$, on a :

$$(1) \qquad \frac{a'a''}{f} = \frac{E}{D} \qquad \text{d'où} \qquad a'a'' = \frac{E\,f}{D}.$$

Les positions des repères sur les lignes légèrement inclinées

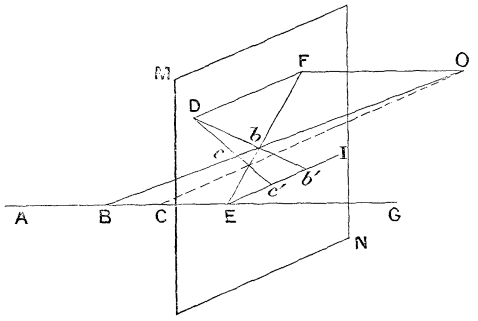
que l'on voit sur la figure (*fig.* 96) peuvent être déterminées graphiquement, et alors il suffit de marquer avec soin les extrémités de chacune de ces lignes, c'est-à-dire les deux repères limites, les intermédiaires s'y insérant ensuite facilement (1).

---

(1) Nous supposons que les repères de la figure 96 ont été ainsi tracés et cela nous donne l'occasion de rappeler le procédé graphique très simple que l'on emploie généralement pour diviser en parties égales une ligne droite donnée en perspective, ce problème pouvant avoir d'assez fréquentes applications en Métrophotographie.

Soient MN le plan du tableau (*fig.* 98), O le point de vue et AG une droite qui rencontre le tableau en E; par le point de vue menons la

Fig. 98.




parallèle OF à AG, le point F sera le point de fuite de la perspective de la droite AG et EF sera cette perspective; par le point F, menons une droite FD dans une direction qui peut être quelconque, mais que nous choisirons parallèle à la ligne d'horizon et portons de F en D une longueur égale à OF; sur la droite AG prenons un point B et joignons-le au point de vue, OB rencontrera le Tableau en $b$ sur EF; enfin menons par le point E une parallèle EI à FD et joignons D$b$ qui, prolongée, rencontrera EI en $b'$.

Les triangles semblables F0$b$, $b$BE donnent la proportion

$$\frac{OF}{BE} = \frac{Fb}{bE},$$

et les triangles FD$b$ et $bb'$E également semblables donnent

$$\frac{Fb}{bE} = \frac{FD}{b'E},$$

d'où l'on conclut, par comparaison avec la proportion précédente,

$$\frac{OF}{BE} = \frac{FD}{b'E}.$$

Mais FD = OF par construction; donc BE = $b'$E.

Les longueurs E$c'$, E$b'$, etc. portées sur la droite EI, à partir du point E,

## XL. — *Téléstéréoscope et ses dérivés* (suite).

*Degré de précision des mesures de distances stéréoscopiques.* — Si l'on désigne par $a$ la parallaxe linéaire $a'a''$, en différentiant l'expression (1) de la page 228

$$(1) \qquad a'a'' \qquad \text{ou} \qquad a = \frac{Ef}{D}$$

dans laquelle E et $f$ sont constants, on trouve

$$dD = -\frac{D}{a}da = -\frac{D^2}{Ef}da;$$

$da$, c'est-à-dire l'incertitude sur la valeur de la parallaxe

---

sont donc égales à celles que l'on mesurerait sur la droite AG, à partir de ce même point et en s'éloignant du plan du tableau. Il est aisé de conclure de là que, si l'on divise en parties égales un intervalle quelconque pris sur EI, en joignant les points de division au point D, on aura sur EF une division correspondante qui sera la perspective de celle que l'on aurait effectuée sur la droite AG elle-même.

La petite épure (*fig.* 99) exécutée sur des tableaux d'un format réduit avec l'écartement des yeux de $0^m,065$ et la distance focale de $90^{mm}$ est simplement destinée à donner une idée de la manière dont peuvent être tracées les échelles aériennes.

Sur le tableau de gauche MN, les points E et F de rencontre et de fuite de la droite sur laquelle doivent s'aligner les repères ont été pris un peu arbitrairement mais de façon toutefois à placer convenablement l'échelle, et la construction de cette échelle résulte immédiatement de l'explication précédente.

Quant à l'échelle du tableau de droite M'N', elle a été déduite de la première, en menant des parallèles à la ligne d'horizon par tous les points de division et en prenant sur les deux extrêmes des longueurs calculées d'après la formule de la page 229

$$\varepsilon = \frac{D-d}{D}e$$

dans laquelle $e = 0^m,065$ et $d = 0^m,009$ (distance focale des objectifs) et en admettant que le point le plus rapproché soit à $20^m$ et le plus éloigné à $100^m$. Les autres divisions 3, 4, 5 et 7 de cette échelle sont les intersections de la droite 2 — 10 avec les parallèles venant des divisions correspondantes de l'échelle du tableau MN.

On conçoit d'ailleurs que, pour obtenir des échelles suffisamment précises, les épures doivent être exécutées en grand et les résultats réduits par la Photographie.

linéaire, est proportionnelle à la parallaxe angulaire que nous

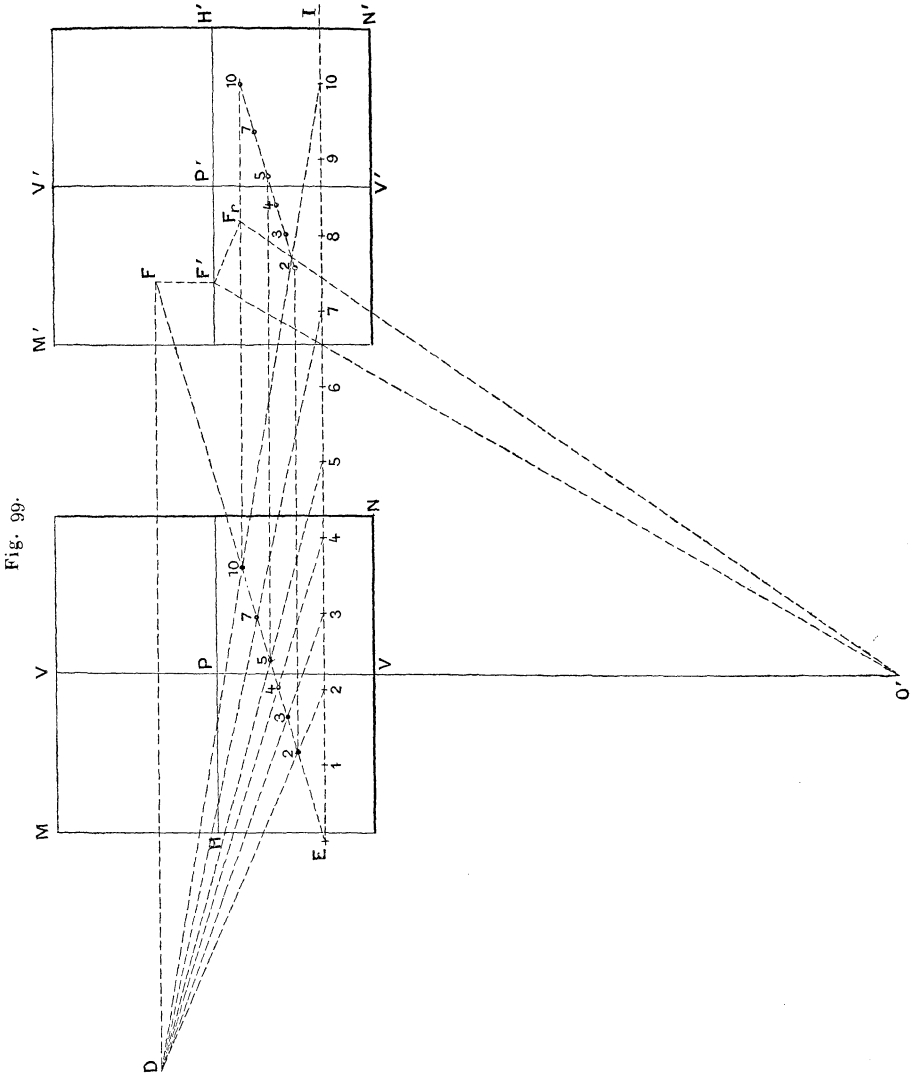



Fig. 99.

désignerons par $\delta$, à la distance focale $f$ des lunettes et en

raison inverse du grossissement G, $\left(da = \frac{f}{G}\delta\right)$, par conséquent, on peut écrire :

$$(\alpha) \qquad dD = -\frac{D^2}{EG}\delta,$$

mais si $r$ désigne le rayon du champ de vision stéréoscopique à l'œil nu, c'est-à-dire la distance à laquelle un objet doit se trouver pour être vu sous l'angle parallactique $\delta$, on a :

$$(2) \qquad e = r\delta \qquad \text{ou} \qquad r = \frac{e}{\delta}$$

et en désignant par R le rayon du champ dû à *l'effet du relief total*,

$$(3) \qquad R = r \times \frac{E}{e} \times G = \frac{EG}{\delta}.$$

D'où, en substituant dans l'expression ($\alpha$),

$$(\beta) \qquad dD = \frac{D^2}{R}.$$

En admettant 30″ pour la valeur de la parallaxe angulaire nous avons vu (note de la page 215) que $r = 447^m$ et que, grâce au relief total $\frac{E}{e}G$, les télémètres de $51^{cm}$, $87^{cm}$ et $144^{cm}$ de base avec les grossissements correspondants de 8, de 14 et de 23 fois atteignent, cela a été également indiqué, des champs de vision stéréoscopique dont le rayon R est respectivement égal à $28^{km}$, $84^{km}$ et $228^{km}$; d'où, en appliquant la formule ($\beta$), les erreurs suivantes que l'on peut avoir à craindre selon l'instrument que l'on emploie :

| DISTANCE. | Ier MODÈLE. base 51cm grossissement 8. | IIe MODÈLE. base 87cm grossissement 14. | IIIe MODÈLE. base 144cm grossissement 23. |
|---|---|---|---|
| m | m | m | m |
| 500 | 9 1,8 pour 100 | 3 0,6 pour 100 | // |
| 1000 | 35 3,5 » | 12 1,2 » | 5 0,5 pour 100 |
| 2000 | 141 7,0 » | 50 2,5 » | 18 0,9 » |
| 4000 | 564 14,1 » | 200 5,0 » | 70 1,8 » |
| 8000 | // | 800 10,0 » | 280 3,5 » |

De nombreuses expériences entreprises en Allemagne, en Angleterre, en Autriche, en Italie, en Suisse, par des observateurs indépendants (1) ont confirmé pour la plupart ces indications théoriques. Nous nous contenterons de signaler particulièrement au lecteur l'une des brochures y relatives que la Maison Zeiss met à la disposition de ceux qui lui en font la demande, celle du Dr O. Hecker, de Potsdam (2).

*Mesure des distances pendant la nuit.* — On peut aussi mesurer les distances des points lumineux plus ou moins éloignés pendant la nuit. A cet effet, au-devant des objectifs sont disposés des réflecteurs plans inclinés à 45° sur la ligne de visée et percés d'ouvertures qui laissent passer les rayons

(1) Nous avons fait nous-même récemment d'assez nombreuses expériences avec un télémètre stéréoscopique du 1er modèle et nous avons acquis la conviction que cet instrument donnait, en effet, des résultats d'une précision remarquable, pour peu que l'on ait pris la peine de s'assurer si l'on était suffisamment doué.

(2) *Ueber die Beurtheilung der Raumtiefe und den stereoskopischen Entfernungmesser von Zeiss-Jena* von Dr O. Hecker, Potsdam. Sonderabdruck aus der *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 1901, Heft 3. Stuttgart, Verlag von Konrad Witwer, 1901.

On trouve, à la date de février 1901, une bibliographie complète des *comptes rendus détaillés sur l'emploi du télémètre dans l'armée*, dans le *Prospectus de Notre télémètre stéréoscopique* de Carl Zeiss.

Zeiss a également construit un autre type de télémètre stéréoscopique. Dans ce type à *compensateur*, il n'y a qu'un seul index dans le champ de chaque oculaire. Cet index se déplace par mouvement micrométrique. Grâce à ce système, on peut procéder successivement à des mesures indépendantes les unes des autres qui donnent, par comparaison, une idée de la précision que l'on peut obtenir.

venant des points lumineux. Pour éclairer le champ, on place une lanterne en avant et au milieu de l'appareil. Le point lumineux considéré se détache alors sur les divisions de l'échelle aérienne et sa distance s'évalue comme à l'ordinaire, en présence de ces divisions convenablement éclairées.

*Aptitude ou inaptitude à la vision stéréoscopique. Tableaux d'épreuve.* — Les observations de jour aussi bien que celles de nuit ne réussissent qu'avec un instrument parfaitement réglé; celui dont nous nous occupons est naturellement construit de manière à se prêter aux vérifications et aux rectifications nécessaires (1). Mais même alors que les rectifications seraient supposées effectuées avec le plus grand soin, nous avons déjà prévenu (p. 215) qu'il y avait des personnes pour lesquelles la vision stéréoscopique était très limitée, on peut ajouter très imparfaite.

De même que pour celles qui sont affectées du daltonisme, c'est-à-dire qui ne distinguent pas bien les couleurs et qui, après des épreuves convenables, sont déclarées incapables de se guider avec les signaux d'avertissement sur les chemins de fer, il fallait chercher un moyen de reconnaître l'aptitude plus ou moins grande ou même de constater l'inaptitude absolue de celles qui pourraient être appelées à se servir des instruments stéréoscopiques, en particulier lorsqu'ils sont destinés à évaluer les distances.

C'est dans ce but que le Dr Pulfrich a imaginé et construit un Tableau d'épreuves (*Prüfungstafel*) dont nous indiquerons succinctement la disposition (2).

Ce Tableau reproduit Planche XIV ne comprend que des figures très simples, dessinées au trait, ne présentant aucun relief apparent, aucune ombre portée, rien qui puisse faire

(1) Voyez *La Notice sur le télémètre stéréoscopique*, par le Dr Pulfrich, L'*Instruction pour l'emploi du télémètre stéréoscopique grossissant 8 fois*, et *le Prospectus de Notre télémètre stéréoscopique* de Carl Zeiss.

(2) Voyez *Ueber eine Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen* von Dr C. Pulfrich in Iena, in *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, 1901, Heft 9. M. Max Lœhr, représentant à Paris de la Maison Steinheil, nous a prêté gracieusement son concours pour la lecture de ce Mémoire. Nous lui adressons ici nos remercîments.

pressentir, à la simple vue, la position relative dans l'espace de leurs différents éléments.

Mais, sous un stéréoscope ou, même sans instrument, pour un observateur exercé au strabisme artificiel, toutes ces figures semblent s'animer, s'éloigner plus ou moins du plan du Tableau et se décomposer chacune en parties détachées les unes des autres, en un mot produire des effets de relief des plus variés, poussés jusqu'aux extrêmes limites de la distinction en profondeur.

*Tracé des figures.* — Toutes les figures ont été dessinées à la main, à une grande échelle (treize fois environ celle du Tableau) et réduites par la Photographie. Pour la perfection de l'effet stéréoscopique, les figures choisies ou composées avec soin étant tracées dans le grand cercle de gauche, on les a transportées une à une parallèlement à elles-mêmes dans le grand cercle de droite, les éloignements relatifs étant déterminés par l'écartement entre les deux composantes calculé d'après la formule connue

$$\varepsilon = e\,\frac{D - d}{D} \times \text{le coefficient d'amplification},$$

dans laquelle $e$ est l'écartement des yeux, $d$ la hauteur du stéréoscope et D l'éloignement voulu.

La construction dont il s'agit a été opérée sur le dessin original au moyen d'une longue règle de verre divisée en millimètres, sur laquelle on estime aisément $0^{mm},2$ (1).

Nous citerons comme exemple le tracé de la figure 1 de la Planche XI, composé d'un point, d'un triangle, d'un carré et d'un cercle qui, sous le stéréoscope, sont vus à des profondeurs allant en décroissant du premier au dernier.

Il est bien entendu que les chiffres suivants conviennent au

(1) Sur les figures réduites, l'incertitude résultante devient

$$\pm \frac{0^{mm},2}{13} = \pm 0^{mm},015,$$

ce qui correspond à une parallaxe de $\pm 20''$, limite de la perception du relief en profondeur atteinte par les observateurs assez bien doués.

Tableau de la Planche, c'est-à-dire à la réduction du dessin original exécuté à grande échelle.

L'écartement des yeux $e$ étant supposé de $0^m,06$ et la hauteur $d$ du stéréoscope de $0^m,15$, pour les distances voulues du point, du triangle, du carré et du cercle, on trouve les intervalles correspondants et les parallaxes linéaires et angulaire résultantes.

| D. | OBJETS. | ε. | DIFFÉRENCES ou parallaxes. |
|---|---|---|---|
| m | | mm | mm |
| 5,52 | point. | 58,37 | $0,40 = 9'10''$. |
| 4,43 | triangle. | 57,97 | $0,43 = 9'51''$. |
| 3,66 | carré. | 57,54 | $0,38 = 8'42''$. |
| 3,17 | cercle. | 57,16 | // |

Nous ne pourrions pas reproduire dans tous ses détails l'instruction du Dr Pulfrich qu'il faut suivre en entier pour faire servir le Tableau d'épreuve à la sélection des personnes convenablement douées de la vision stéréoscopique; mais nous signalerons quelques-uns des effets les plus remarquables et qui permettent déjà de se rendre compte de leur utilité pratique.

Ainsi la figure 2 est la reproduction de deux photographies de Saturne, obtenues le 9 et le 10 juin 1899, par le professeur Wolf, à l'Observatoire de Heidelberg. La base qui en résulte pour les deux yeux est donc la partie de l'orbite terrestre parcourue pendant un jour. Cette base qui, d'ailleurs, n'est pas de moins de 2500000 kilomètres (réduits à la vérité à 1730000 par le déplacement de la planète), suffit pour faire voir Saturne avec ses satellites suspendu dans l'espace en avant des étoiles fixes qui forment un fond plan.

Sur la figure 4 se trouvent deux échelles dont l'une, celle de gauche, avec des traits rigoureusement équidistants, tandis que sur celle de droite il existe de légères irrégularités de tracé. Sous le stéréoscope ces irrégularités sont révélées par des différences de profondeur des traits. La première

échelle peut servir de règle normale à laquelle on compare la seconde. Le stéréocomparateur du Dr Pulfrich est destiné à faciliter de telles comparaisons et à beaucoup d'autres recherches intéressantes, en particulier aux applications métrophotographiques.

A propos de l'inscription en caractères d'impression placée au centre des figures, l'auteur rappelle que la comparaison stéréoscopique d'un vrai billet de banque et d'un faux ou même d'une bonne pièce de monnaie et d'une fausse dévoile la fraude. On voit très bien, par exemple, sur le Tableau, que le mot *Prufüngstafel* est irrégulier, avec des différences de profondeur des lettres qui montrent que la composition n'est pas rigoureusement la même sur les deux Tableaux de droite et de gauche. La figure 7 représente quelque chose d'analogue à ce que l'on voit dans un télémètre stéréoscopique; d'abord des objets appartenant à un paysage: une tour surmontée d'une croix, une croix de Lorraine, une girouette ou un drapeau et en outre différents repères de l'échelle aérienne amenés dans les positions propres à l'évaluation des distances de ces objets.

Encore une fois, il convient de recourir au Mémoire du Dr Pulfrich et de mettre à profit les indications plus complètes qu'il renferme pour pouvoir se prononcer sûrement sur l'aptitude de tel ou tel observateur à la perception du relief en profondeur et par suite à l'emploi des instruments stéréoscopiques.

## XLI. — *Le stéréocomparateur* (1).

*Objet et particularités de cet instrument.* — Le stéréocomparateur de Pulfrich est en quelque sorte le complément du télémètre stéréoscopique. Ce qui le caractérise essentielle-

(1) Tout ce qui se rapporte au stéréocomparateur est extrait du Mémoire intitulé : *Ueber neueren Anwendungen der Stereoskopie und über einen hierfur bestimmten Stereo-comparator* von Dr C. Pulfrich, in Iena; Sonderabdruck aus der *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, 1901, H. 3, 5, 6, Julius Springer, Berlin N. Nous avons eu recours, pour nous aider à traduire cet important travail, à l'obligeance de M. le Dr Arthur Viana, de Lima, à qui nous exprimons ici notre reconnaissance.

ment, c'est qu'avec lui, ce n'est plus le paysage que l'on examine, mais des images photographiques. Aussi, au lieu d'une double longue-vue à prismes, est-ce un microscope binoculaire (avec un stéréoscope à miroirs pour l'examen d'ensemble) qui constitue ici l'appareil optique.

Il convient d'ailleurs d'ajouter que ces photographies ne sont plus nécessairement prises aux extrémités d'une petite base (celle du télémètre stéréoscopique du plus grand modèle est de $1^m,50$). Nous verrons même que la grandeur de cette base peut devenir considérable, quand on ne se contente plus de photographier des paysages pour effectuer des mesures topographiques. On peut en effet étudier avec le stéréocomparateur des phénomènes éloignés comme les météores ou même ceux qui intéressent les corps célestes, en les photographiant de deux points distants de plusieurs kilomètres au besoin ou même de deux points successifs de l'orbite terrestre, comme dans le cas déjà cité de Saturne.

*Propriétés du stéréocomparateur.* — Les ressources du stéréocomparateur sont pour ainsi dire inépuisables. Indépendamment des mesures photogrammétriques ordinaires, du contrôle des billets de banque et des monnaies, de l'évaluation des erreurs de division sur les échelles, etc., l'instrument peut servir à la comparaison des clichés de paysages ou d'objets célestes pour y découvrir les défauts de plaques ou les changements survenus dans les objets eux-mêmes ou dans leurs positions. Entre autres avantages que présente l'instrument et qui le distinguent essentiellement du télémètre stéréoscopique, l'auteur cite les effets merveilleux (que nous connaissons déjà d'ailleurs) [1] produits par la vue stéréoscopique d'un paysage alpestre dont les éléments ont été obtenus aux extrémités d'une base de $45^m$ par le colonel Baron von Hübl, de l'Institut géographique militaire de Vienne. L'examen de ces clichés avec le microscope stéréo-

[1] *Voyez* paragraphe XXXVII les effets de *relief exact* obtenus avec des épreuves prises aux extrémités d'une base pouvant aller jusqu'à $120^m$ de longueur, dans le stéréoscope de Cazes.

scopique permettrait de construire le modèle en relief de cette contrée (Steinen-Alpen mit der Ojstrien-Spitze) avec la plus grande exactitude, à ce point que jusqu'à $2^{km}$ de distance on peut distinguer sur les plaques des différences de profondeur de $1^{m},50$.

Une seconde supériorité du procédé stéréoscopique consiste en ce que les mesures et les comparaisons s'effectuent ainsi beaucoup plus facilement, plus rapidement et plus sûrement que par tout autre moyen, et l'auteur cite comme exemples : la constatation des mouvements des glaciers, des affaissements du sol, des mouvements propres des étoiles, la recherche des petites planètes, etc. Quant aux irrégularités, aux différences d'un cliché à l'autre, elles se trahissent immédiatement, soit par un effet particulier du relief, soit par une vision stéréoscopique troublée, vague (1).

---

(1) Ces affirmations ne sont pas le moins du monde hasardées et nous pensons que le lecteur nous saura gré de donner ici la traduction d'une Note tout à fait précise du Dr Pulfrich, publiée dans les *Astronomische Nachrichten*, Bd CLIX, Juli 1902, intitulée : *Auffindung eines neuen Planeten*, 1899, I. F. *mit Hülfe des Stereo-Komparators*.

« J'ai pu démontrer, à l'aide des plaques photographiques d'étoiles que M. le professeur Wolf a mises à ma disposition pour les premiers essais du stéréo-comparateur, que des objets tels que des orbites de planètes, des étoiles variables et des défauts de plaques qui ne se trouvent que sur l'une des deux que l'on compare entre elles ou qui occupent sur les deux plaques des plans différents se font remarquer de suite sans qu'on ait besoin de les rechercher spécialement. Le trouble que les différences existant entre les deux plaques apportent dans la représentation de l'espace produit en effet, devant les yeux de l'observateur, une espèce de lueur vacillante qui dirige immédiatement son attention sur l'endroit intéressant de la plaque. Effectivement je réussis, dès mes premiers essais dans cette voie, en juin de l'année dernière (1901), non seulement à retrouver plusieurs petites planètes déjà découvertes par M. le professeur Wolf, mais en outre à décider avec la plus grande facilité si le trait signalé est l'orbite d'une planète, une série d'étoiles fixes très faibles ou un défaut de la plaque.

» Récemment j'ai encore consacré un certain temps à la recherche de petites planètes sur les deux plaques de Wolf, ξ d'Ophiuchus, des 9 et 10 juin 1901, qui ont servi de fond à l'image stéréoscopique si connue de Saturne (a) et je suis parvenu à découvrir encore une planète sur ces plaques, planète qui avait passé inaperçue auparavant, ainsi que me l'a écrit M. le professeur Wolf; et cet oubli est bien facile à comprendre,

(a) Cette image est celle qui est reproduite sur le Tableau d'épreuve (*Pl. XIV*, *fig.* 1).

La précision avec laquelle on évalue les différences sur les images comparées est un troisième avantage de la méthode stéréoscopique qui permet de déterminer le lieu précis d'objets à contours vagues comme la hauteur des nuages ou d'objets mobiles tels que des oiseaux en plein vol, des gerbes d'eau ou de terre sous l'influence d'explosifs. Très probablement la même méthode sera d'une application féconde dans l'étude des étoiles filantes, des aurores boréales, des taches solaires, de la lumière zodiacale et des comètes (1). Enfin il est aisé de se rendre compte que le stéréocomparateur peut être aussi employé pour la mesure des longueurs par observation monoculaire.

*Suggestions et tentatives antérieures.* — Avant de décrire son instrument et d'indiquer la manière de l'utiliser en photogrammétrie (2), le Dr Pulfrich rappelle que le colonel Baron von Hübl et nous-même avions signalé l'intérêt que présentait l'examen stéréoscopique du paysage dans cet ordre d'idées. A Iéna, ajoute-t-il, on a fait, depuis 1895, des recherches dans ce but. Dès 1893, Stolze avait insisté sur la valeur des vues téléstéréoscopiques pour l'étude des terrains, de chaque

---

tant à raison du faible éclat de cette planète que de l'extrême difficulté que présente la découverte d'orbites planétaires de cette sorte par la vision monoculaire.

» A l'aide des organes de mesures que comporte le stéréocomparateur et en prenant comme base les cartes célestes de Bonn, j'ai déterminé la position de cette planète le 9 juin 1899: heure moyenne de l'obtention du cliché : $11^h49^m6^s$; durée de l'exposition: $10^h59^m6^s$ à $12^h39^m5^s$; temps moyen de Heidelberg; mouvement en $\Delta R$ : $-0^m,8$, et en $\Delta D$ : $-0',4$ jusqu'à $11^h43^m5^s$ du 10 juin. Éclat entre la 12e et la 13e d'après M. le Dr Villiger, de Munich. »

(1) Nous semblons depuis quelque temps nous éloigner beaucoup des questions de Phototopographie, mais nous avons cru devoir suivre l'ordre adopté par l'auteur et, si nous trouvions plus tard l'occasion de traiter les applications de la Métrophotographie à la Météorologie et à l'Astronomie, nous n'aurions qu'à rappeler les suggestions et les faits exposés dans ce Paragraphe et dans un autre endroit du Mémoire du Dr Pulfrich visé plus loin.

(2) Pour abréger, nous négligeons les applications de la stéréoscopie à l'Astronomie citées par l'auteur et faites la première fois, depuis plus de quarante ans, par Warren de la Rue et plus récemment par divers astronomes français, allemands et américains.

côté d'une route parcourue. Il s'était déjà servi alors pour la mesure sur les plaques d'un procédé semblable à celui employé à cette époque chez Zeiss pour le télémètre stéréoscopique imaginé par Grousilliers. Stolze avait en effet recours à deux réseaux gravés sur verres, identiques, dont un mobile, ce qui est analogue à l'indicateur qui, dans le télémètre ou le stéréocomparateur, parcourt le champ de vision.

Enfin, bien antérieurement, en 1866, le professeur E. Mach signalait déjà la portée scientifique des applications de la Photographie et de la Stéréoscopie à la Stéréométrie, à la géométrie descriptive, à la représentation complète des organes de machines, des préparations anatomiques, etc. (1). Mais les dispositifs étudiés par Mach et par Stolze ne paraissent pas avoir fourni de procédé de mensuration pratiquement utilisable.

## XLII. — *Descriptions du stéréocomparateur.*

1° Le stéréocomparateur (*fig.* 100) se compose d'un microscope redresseur binoculaire, d'un champ de quelques millimètres seulement, grossissant de 4 à 8 fois, à prismes de Porro, servant à l'étude des détails et à la mesure des trois coordonnées : distance, hauteur et largeur (direction des objets).

2° D'un stéréoscope à miroirs, dans le genre du téléstéréoscope de Helmholtz, permettant d'examiner les vues dans leur ensemble. La figure 100 représente le premier modèle du stéréocomparateur. Ce modèle est disposé pour recevoir des plaques $13 \times 18$; les nouveaux stéréocomparateurs actuellement en construction établis pour plaques $16 \times 16$ et $24 \times 30$ avec quelques perfectionnements de détail, n'en diffèrent que par les dimensions et par la faculté d'autres déplacements que ceux indiqués ci-après (2).

---

(1) Cet auteur serait même allé jusqu'à parler d'apparitions d'esprits, à l'exemple d'ailleurs de Brewster dans *the Stereoscope*, p. 175-205, ce qui, on nous permettra de le dire, est au moins jusqu'à présent extra-scientifique.

(2) Nous abrégerons la description de l'instrument donnée dans le Mémoire de l'auteur, la figure permettant de se rendre compte des précautions prises, par exemple, pour équilibrer le poids du cadre mobile à

$P_1$ et $P_2$, qui sont les plaques à comparer, peuvent être

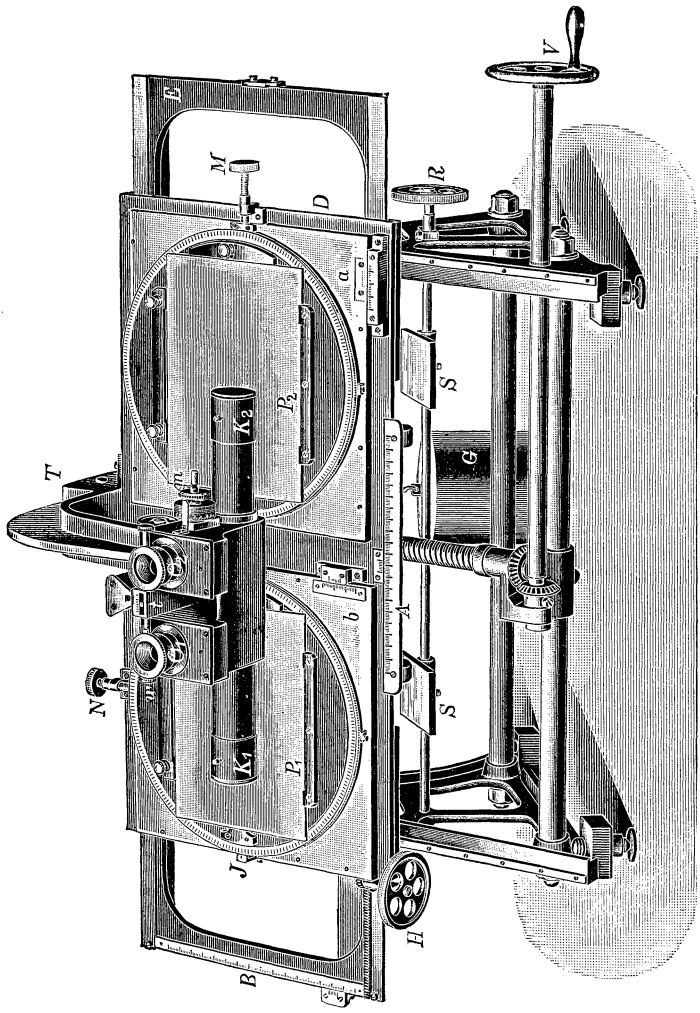



Fig. 100.

déplacées en tous sens, isolément ou à la fois, parallèlement

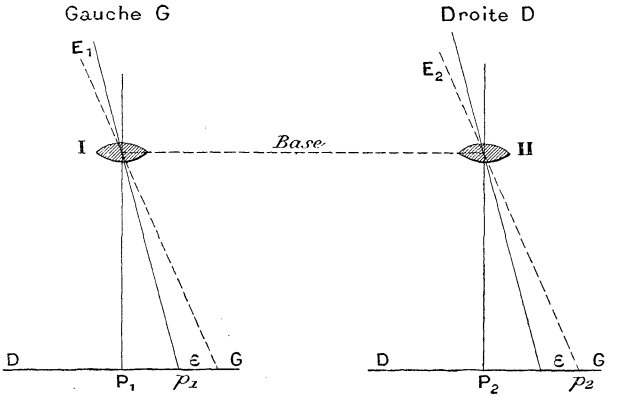
---

l'aide du contrepoids G et pour faciliter les déplacements au moyen des manivelles H, R, V et de vis et écrous ou même d'engrenages d'angle dont les fonctions se comprennent à première vue.

au plan de leur support (cadre). Le bras T peut porter à volonté soit : le microscope binoculaire à travers les oculaires duquel on examinera successivement toutes les régions de la plaque à étudier, soit : le stéréoscope à miroirs. Les réflecteurs S éclairent les plaques à examiner, et, pour éviter le miroitement, des verres dépolis sont interposés à $1^{cm},5$ des plaques. Les objets non transparents sont éclairés par en haut (1).

*a*, *b*, A, B sont des règles divisées avec leurs verniers qui servent à effectuer la mesure des déplacements; J est l'index

Fig. 101.




de la division du cercle pour l'orientation des plaques; tous les verniers donnent jusqu'à $\frac{1}{100}$ ou $\frac{2}{100}$ de millimètre. L'ensemble de ce dispositif permet de mesurer les déplacements des cadres effectués : 1° parallèlement à la ligne des oculaires, à l'aide de la vis micrométrique M; 2° perpendiculairement à cette direction à l'aide de la vis micrométrique N; le nouveau modèle de comparateur permet de tenir compte de la différence d'épaisseur des deux plaques $P_1$, $P_2$. Le cadre E peut enfin aussi se déplacer le

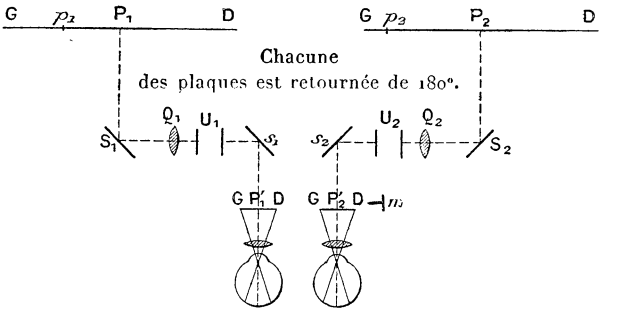
(1) Dans les nouveaux modèles les plaques transparentes sont éclairées à l'aide de petites lampes électriques.

long de son support en pupitre, et ses déplacements sont mesurés sur les échelles A et B.

La marche des rayons dans le stéréocomparateur et auparavant pour l'obtention des plaques est représentée sur les figures 101, 102 et 103.

La figure 101 indique cette marche pour les vues prises avec l'appareil photographique; $P_1$ et $P_2$ sont les plaques et $\varepsilon$ la parallaxe résultant de la grandeur I-II de la base.

Fig. 102.




Yeux de l'observateur.

La figure 102 représente la marche des rayons dans le microscope stéréoscopique.

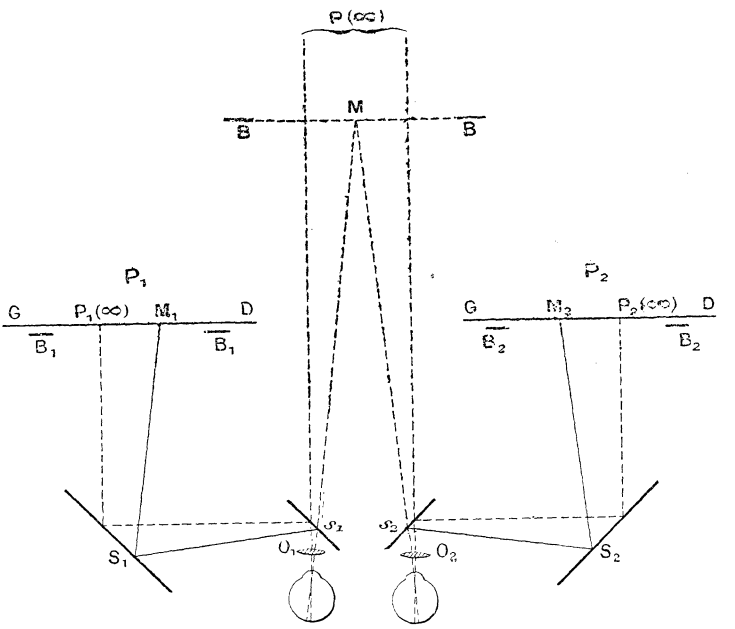
Les deux objectifs $Q_1$, $Q_2$ sont mobiles suivant l'axe du microscope stéréoscopique. Le grossissement des oculaires est d'environ 6 fois ($f = 30^{mm}$), et de cette façon le grossissement des microscopes peut varier à volonté de 4 à 8 diamètres.

La marche des rayons dans le stéréoscope à miroirs est indiquée sur la figure 103.

$M_1$, $M_2$ sont les centres des diaphragmes $B_1$ $B_1$, $B_2$ $B_2$ placés devant chaque image; ceux-ci combinés dans la vision stéréoscopique formeront un cadre BB à la vue du paysage. $s_1$, $S_1$, $s_2$, $S_2$ sont les quatre surfaces réfléchissantes; $s_1$, $s_2$ étant des faces argentées de prismes, tandis que $S_1$, $S_2$ sont des glaces planes argentées. On règle la position des surfaces réfléchissantes de façon que l'image stéréoscopique des dia-

phragmes, B B, soit approximativement à la même distance de l'œil que les plaques elles-mêmes (en tenant compte des rayons brisés). Si l'objectif qui a servi à prendre les vues

Fig. 103.




$P_1$, $P_2$ a un foyer égal à la distance des plaques à l'œil, la perspective ne sera pas altérée.

## XLIII. — *Emploi du microscope-stéréoscope.*

*Ordre des opérations.* — On met d'abord au point les oculaires $O_1$, $O_2$ (*fig.* 100) pour chaque œil séparément, en se servant du mouvement hélicoïdal et des indications en *dioptries* dont ils sont munis; dans le champ de chacun des oculaires on doit voir nettement un index. Puis, à l'aide

de la vis micrométrique $w$ on règle l'écartement des oculaires de façon à pouvoir bien superposer les images. Si l'on connaît la distance pupillaire, l'écartement pourra être établi d'emblée en amenant le trait $t$ en face de la division convenable.

En mettant alors simultanément au point les deux plaques, la parallaxe entre l'index et l'image doit disparaître.

Les mesures avec le microscope-stéréoscope se font au moyen de l'index mobile qui avance ou recule dans le sens de la profondeur quand on agit sur la vis micrométrique $m$ que l'on voit sur les figures 100 et 102. L'index est un petit trait vertical qui se trouve dans le champ de l'oculaire droit et peut se mouvoir latéralement dans le sens de la ligne $O_1O_2$ des deux oculaires. On peut lire directement sur l'échelle le millième de millimètre.

Cette vis micrométrique $m$ ne doit d'ailleurs être employée que pour les petites différences de profondeur. Habituellement et, en particulier, dans les applications photogrammétriques, on la laissera au zéro et l'on aura recours à la vis M (*fig.* 100) de l'échelle $a$.

On effectue les mesures comme avec le télémètre stéréoscopique, en faisant arriver l'index au-dessus ou à côté de l'objet à mesurer et en réglant la position de M (ou de $m$) de manière que l'index soit vu à la même distance apparente que l'objet.

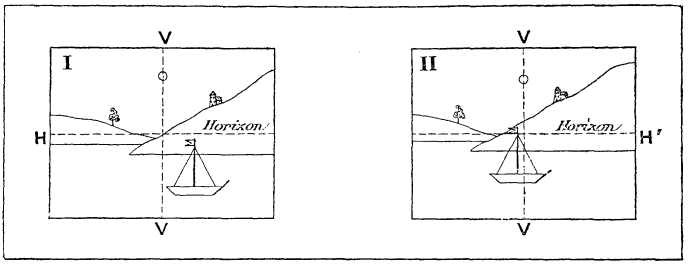
*Orientation des plaques.* — Pour se retrouver dans les conditions mêmes de l'observation, on a soin de disposer les plaques $P_1$, $P_2$ sur le stéréocomparateur de la manière suivante : les *négatives* la couche en bas, les *diapositives*, faites par simple contact, la couche en haut. On met les plaques $P_1$ et $P_2$ sur le stéréocomparateur, à gauche et à droite, de façon à reproduire l'orientation naturelle. Cela n'est nécessaire toutefois, on le comprend, que pour les paysages et non pour les clichés stellaires.

Dans tous les cas, on doit toujours procéder de façon que l'observateur, en se servant du stéréocomparateur, voie les choses comme si ses yeux se trouvaient aux deux extrémités de la base qui peut être d'ailleurs inclinée ou non par

rapport à l'horizon des plaques, c'est-à-dire aux deux stations d'où les vues ont été prises.

Le meilleur procédé pour l'examen du détail et pour les mesures avec le stéréoscope-microscope est d'orienter la plaque (quelle que soit l'inclinaison de la base) de manière que son horizon soit parallèle à la ligne des deux oculaires (*fig.* 104). Alors les divisions A et B (*fig.* 100) donnent

Fig. 104.




immédiatement les deux coordonnées d'un point de l'image, et, de la projection B′ de la base sur l'horizon de la plaque ainsi que des projections (ε′) directement mesurées des différences parallactiques sur le même horizon découle la distance cherchée.

Dans cette orientation des plaques, le résultat de la mensuration est en tout le même que si les objets du paysage et les deux stations d'observation se trouvaient sur un même plan (le plan de projection passant par l'axe optique et l'horizon de la plaque), l'observateur les voyant des deux extrémités de la projection de la base.

Une autre orientation peut être utile pour la mensuration [1].

---

[1] L'auteur avait indiqué tout d'abord une orientation s'appliquant au cas très fréquent où la base est inclinée sur l'horizon, elle consiste à faire tourner les deux plaques placées d'abord sur le stéréocomparateur avec leurs lignes d'horizon parallèles à la ligne des yeux, d'un angle égal à l'inclinaison de la base, mesuré à l'aide de l'index J (*fig.* 100). Avec cette disposition on évite certaines chances d'erreurs en examinant les plaques dans toute leur étendue, au moyen du stéréoscope à miroirs qui facilite une exploration rapide du paysage.

Toutefois elle ne saurait être employée que subsidiairement dans la

Dans le cas où la différence de hauteur des deux stations est plus grande que la distance horizontale, il est avantageux de faire tourner chacune des deux plaques I et II (*fig.* 104) d'un angle de 90° vers la gauche ou vers la droite, suivant que la station I est plus haute ou plus basse que la station II. La ligne des oculaires est alors parallèle à la verticale de la plaque.

*Examen des plaques sous divers angles de position.* — Les considérations précédentes s'appliquent à l'interprétation exacte de l'effet stéréoscopique, quand il existe une base. S'il n'y a pas de base et que l'on se propose seulement de découvrir et de mesurer des différences d'images, alors l'examen peut se faire sous n'importe quel angle de position, mais toujours le même sur les deux plaques.

Dans tous les cas où ne prédomine pas une direction déterminée pour le déplacement des points de l'image, l'observation stéréoscopique des plaques dans deux angles de position différant entre eux de 90° sera nécessaire et suffisante pour reconnaître et mesurer les déplacements de points enregistrés sur les plaques.

Il y a naturellement beaucoup de précautions à prendre pour assurer l'exactitude des mesures, et la position des plaques sur le stéréocomparateur a notamment besoin d'être bien réglée; mais nous ne saurions entrer ici, à ce sujet, dans tous les détails nécessaires et nous devons encore renvoyer le lecteur au Mémoire de l'auteur (1). Nous signalerons cependant l'emploi de deux *prismes à réversion* fixés sur une monture qui peuvent être introduits près des oculaires du microscope-stéréoscope, ce qui permet de tourner et d'in-

---

pratique courante, car si elle permet de déterminer immédiatement les différences parallactiques ainsi que les distances cherchées des objets, elle ne se prête pas à la détermination des éléments nécessaires au calcul des autres coordonnées (largeur et hauteur) des points des images. *Voir* l'une des *Notes complémentaires,* à la fin de l'Ouvrage.

(1) *Ueber neuere Anwendungen der Stereoskopie,* etc., Sonderabdruck aus der *Zeitschrift für Instrumentenkunde,* 1902, Heft 5. S. 138, 139 und 140.

terchanger les plaques sans avoir à procéder à un nouveau réglage.

*Degré d'exactitude de la détermination des parallaxes stéréoscopiques.* — La condition d'aptitude pour la vision stéréoscopique est avant tout indispensable et l'on sait que la limite de la sensation du relief correspond à une parallaxe angulaire de 30″ pour un observateur ayant une vue normale et qu'elle atteint 10″ pour un observateur exceptionnellement doué.

Mais une différence de l'angle de convergence des axes des deux yeux de 1′ correspond dans le stéréoscope, avec un oculaire de foyer $f' = 30^{mm}$, à une différence parallactique *du point de l'image* de $0^{mm},009$, soit $0^{mm},01$ (1).

Avec cette valeur linéaire limite de la différence parallactique ($da = \pm 0^{mm},01$) et la distance focale $f$ de l'objectif photographique, la parallaxe angulaire *du point de l'espace,* à la limite de la perception du relief, peut être obtenue immédiatement, car elle est égale à $\frac{da}{f}$, ou, ce qui revient au même, à $\frac{\delta}{G}$, $\delta$ étant l'angle parallactique à l'œil nu (supposons 1′) et G le grossissement de l'ensemble optique, c'est-à-dire le rapport $\frac{f}{f'}$ de la distance focale de l'objectif photographique qui a donné les images à celle de l'oculaire du stéréocomparateur avec lequel on les a examinées.

Par exemple, avec une distance focale de $170^{mm}$, supposée la plus petite que l'on doive employer dans les levers photo-

(1) L'auteur avait déjà présenté la remarque suivante, à un autre endroit. « Avec le stéréocomparateur, par suite du grain des plaques (des émulsions), la distinction des différences de profondeur est nécessairement un peu réduite. Néanmoins, de bons observateurs arrivent encore à distinguer 10″ comme différence de profondeur sur d'excellentes plaques. Avec le grossissement moyen (6 diamètres) du microscope stéréoscope, on aurait donc comme dernière limite linéaire de la distinction de profondeur pour les plaques, dans les meilleures observations, $\pm 0^{mm},0015$ et $\pm 0^{mm},01$ pour une moyenne ordinaire en chiffres ronds. Avec les grossissements de 4 ou de 8, cette limite serait naturellement plus petite ou plus grande. »

grammétriques, la différence de direction du point de l'espace est de 10″ à 12″; avec une distance focale de 3m,40, comme celle des objectifs employés au lever de la Carte du ciel, cette différence n'est plus que 6″, et, dans les meilleures circonstances, elle se réduit même à 2″ et jusqu'à 1″.

## XLIV. — *Principes de la Stéréophotogrammétrie* (1) *ou Métrostéréographie.*

*Avantages de la Stéréophotographie.* — Le procédé de mensuration stéréoscopique, tout en permettant une plus grande précision, n'exige que des bases dix ou vingt fois plus petites que celles dont on fait habituellement usage en Photogrammétrie et qui sont de 500m à 1000m et plus.

Dans les levers stéréophotogrammétriques, on doit diriger constamment les axes optiques parallèlement entre eux et perpendiculairement à la direction de la base, les deux stations étant, d'ailleurs, à la même altitude ou à des altitudes différentes (2).

A bord d'un bâtiment il serait facile d'installer, à poste fixe, deux appareils identiques, en ayant ainsi pour base une partie bien déterminée de la longueur de ce bâtiment et en prenant les dispositions nécessaires pour que les obturateurs soient déclenchés simultanément par l'électricité; on ferait ainsi d'excellentes études de topographie des côtes dans des conditions qui ne sauraient être trop appréciées. Il serait même à souhaiter qu'à l'avenir, les expéditions organisées en vue d'*explorations hydrographiques*, ne négligeassent jamais l'emploi de la photographie et de la stéréoscopie.

---

(1) C'est le nom adopté par le Dr Pulfrich auquel nous substituerons souvent celui de *métrostéréographie* employé par M. Cazes. Nous n'attachons d'ailleurs pas plus d'importance à l'une de ces désignations qu'à l'autre, et ce qui nous intéresse avant tout, c'est de rencontrer la meilleure solution de la question. En faisant une analyse aussi complète que possible du Mémoire de M. le Dr Pulfrich, nous continuerons donc à nous servir de l'expression qu'il a choisie.

(2) On se souvient qu'au contraire, avec le stéréoscope de M. Cazes, les deux stations doivent être sensiblement à la même altitude.

*Conditions que doivent remplir les appareils photographiques.*— La plaque doit être perpendiculaire à l'axe optique et bien centrée, c'est-à-dire que le point d'intersection des deux traits, horizontal et vertical, qui figurent sur l'épreuve, doit correspondre à la rencontre de l'axe optique (point principal de la perspective). La distance de la plaque au point nodal d'émergence de l'objectif doit être constante et, quand on emploie deux appareils, ces distances doivent être identiques. On conçoit, notamment, que cette condition est absolument indispensable dans l'observation de phénomènes instantanés, comme les mouvements des vagues ou des nuages, les étoiles filantes, les aurores boréales, etc.

Lorsqu'on ne dispose que d'un appareil qui doit être placé successivement aux extrémités de la base, dans les levers topographiques, la condition d'égalité se trouve spontanément remplie, mais il pourrait arriver qu'entre les deux opérations il se produisît un changement d'éclairage appréciable dans la vision stéréoscopique. Heureusement cela n'exerce aucune influence sensible sur l'exactitude des mesures.

La rigidité de l'appareil est tout à fait nécessaire. On emploiera donc une chambre noire métallique. Les plaques devront être bien planes, et c'est un motif de préférence pour les glaces. Les déformations de l'image par l'objectif pouvant avoir une influence sensible sont celles qui portent sur les coordonnées en hauteur et en largeur.

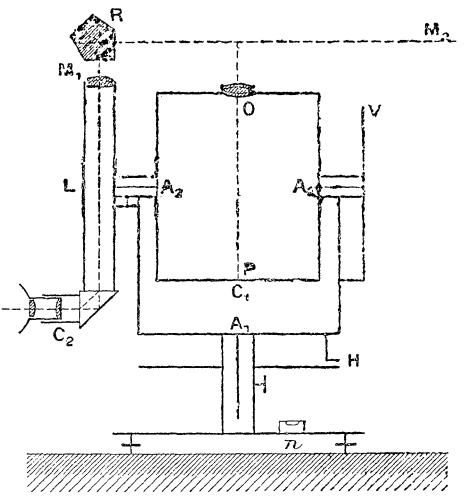
*Disposition et mise en station de l'appareil.* — La figure 105 est un croquis schématique de l'appareil photogrammétrique.

Cet instrument est naturellement du type du théodolite. $A_1$ est son axe vertical, $A_2$ son axe horizontal, H le cercle azimutal et V le cercle vertical, L la lunette, O l'objectif, P la plaque.

La croisée + qui doit être reproduite sur l'épreuve est tracée sur la face extérieure d'une glace parallèle que l'on dispose à très petite distance en avant de la couche sensible de la plaque. Un prisme à réflexion totale R dit *de Prandtl,* dont l'angle de déflexion est constant et de 90°, est placé devant

l'objectif de la lunette et peut tourner autour de l'axe optique. Grâce à ce dispositif, la condition formulée plus haut est facilement remplie, à savoir que les axes optiques des appareils

Fig. 105.




placés aux extrémités de la base seront dirigés perpendiculairement à celle-ci et seront parallèles entre eux.

## XLV. — *Stéréophotogrammétrie. Détails théoriques.*

*Détermination de la position d'un point dans l'espace à l'aide des mesures stéréophotogrammétriques.* — Soient $M_1$, $M_2$ (*fig.* 106) les centres des objectifs photographiques; $O_1M_1$ et $O_2M_2$ les axes optiques, parallèles entre eux et perpendiculaires à la base B; $P_1$ et $P_2$ les plaques photographiques, parallèles à la base et perpendiculaires à OM, sur lesquelles les lignes horizontales $O_1X$ et $O_2X$ ont été obtenues indépendamment, à chacune des stations, quelle que soit la différence de niveau de celles-ci.

Soient enfin $i$ l'inclinaison de l'axe optique sur l'horizon

dans les deux stations, S le point à déterminer (*fig.* 106 *bis*), par ses distances $d_1$ et $d_2$ à $M_1$ et $M_2$.

Les images de S sur les plaques $P_1$ et $P_2$ étant $p_1$ et $p_2$, pour déterminer immédiatement la différence parallactique

Fig. 106.

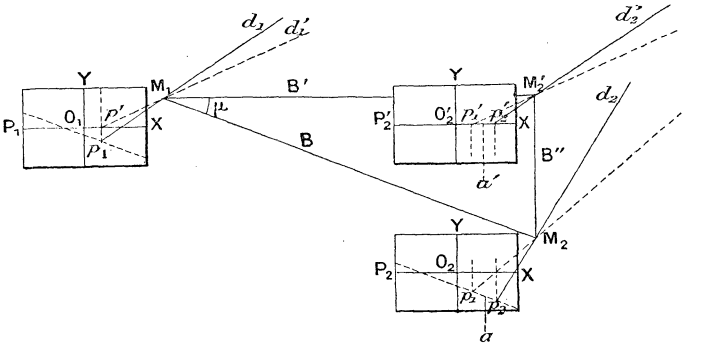
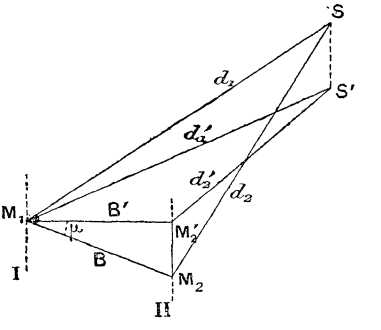



Fig. 106 *bis*.




$a = p_1 p_2$, le premier moyen qui se présente est d'orienter les deux plaques, comme cela a été indiqué dans la note de la page 261, et l'on trouve en même temps les coordonnées des points d'image $p_1$ et $p_2$, par rapport à la croisée des lignes verticales et horizontales des deux plaques.

Avec ces données et la longueur de la base B, en recourant à la similitude des triangles $p_1 p_2 M_2$ et $M_1 M_2 S$, on calculerait assez facilement $d_1$ et $d_2$.

Mais on peut supposer les points $M_1$, $M_2$ et S projetés sur un

plan passant par l'axe optique et par la ligne horizontale $O_1 X$ de la plaque et ensuite sur un plan passant par le même axe optique et la ligne verticale $O_1 Y$ de la plaque.

En orientant alors convenablement les deux plaques, selon le cas, d'après les indications données page 261 (*fig.* 104), on détermine successivement les différences parallactiques

$$a' = p'_1 p'_2 = x_2 - x_1 \quad (\textit{fig.}\ 106 \text{ et } 107)$$

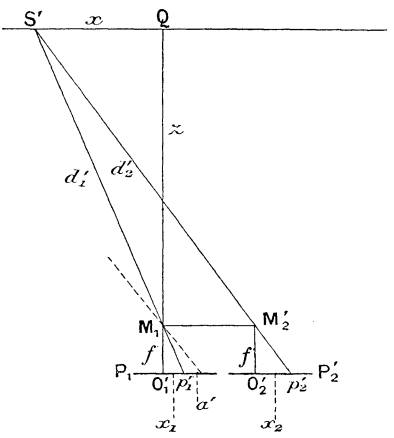
et

$$a'' = p''_1 - p''_2 = y_1 - y_2$$

(et l'on en déduirait au besoin $a$, puisque $a' = a \cos \mu$ ou $a'' = a \sin \mu$ et que l'on peut déterminer l'inclinaison de la base $\mu$ comme nous le montrerons).

En menant par le point S, dans le premier cas, un plan parallèle à ceux des plaques, la trace de ce plan sur le plan

Fig. 107.




de projection sera S' Q (*fig.* 107), S' étant la projection de S, et, selon la remarque de M. le professeur C. Koppe, la distance $Z = M_1 Q$ de ce plan à la station $M_1$, qui est la projection sur l'axe optique des distances $d_1$, $d_2$, $d'_1$, $d'_2$, peut être avantageusement employée dans les calculs.

Après avoir obtenu, en effet, sous le stéréocomparateur, les

projections $a'$ et $a''$ de la différence parallactique $a$ pour tous les points considérés des épreuves $P_1$ et $P_2$, d'après la similitude des triangles $p_1 p_2 M_2$ et $M_1 M_2 S$ (*fig.* 106 et 107) et celle des triangles $p_1 O_1 M_1$ et $M_1 SQ$, on a :

$$a : B :: p_1 M_1 : d_1 = f : z$$

et, d'après la similitude des triangles $p'_1 p'_2 M'_2$ et $M_1 M'_2 S'$ et celle des triangles $p'_1 O'_1 M_1$ et $M_1 S' Q$,

$$a' : B' :: p'_1 M_1 : d'_1 = f : z$$

et l'on trouverait de même $a'' : B'' = f : z$.
Ainsi l'on a la relation générale

$$(I) \qquad z = \frac{f}{a} B = \frac{f}{a'} B' = \frac{f}{a''} B'' \ (^1).$$

En prenant $M_1$ pour origine d'un système de coordonnées rectangulaires ayant la parallèle à $O_1 X$ pour axe des X, la parallèle à $O_1 Y$ pour axe des Y et l'axe optique pour axe des Z ; sur les trois coordonnées, Z est donnée immédiatement par l'une des équations (I), et, pour déterminer les deux autres, nous aurons, par les coordonnées $x_1$ et $y_1$ du point de l'image sur l'épreuve $P_1$, les valeurs :

$$(II) \qquad X = \frac{x_1}{f} z \qquad \text{et} \qquad (III) \quad Y = \frac{y_1}{f} z ;$$

ces trois expressions peuvent d'ailleurs être réunies sous la forme suivante :

$$\left.\begin{array}{l} X = x_1 \\ Y = y_1 \\ Z = f \end{array}\right\} \times \frac{B'}{a'} \quad \text{ou} \quad \times \frac{B''}{a''}$$

et le problème est ainsi complètement résolu.

La distance du point S ou de sa projection S' à $M_1$ et à $M_2$ se calcule en effet immédiatement au moyen de X, Y et Z.

---

(1) Il résulte de cette relation que la *différence parallactique* et ses projections sont les mêmes pour tous les points situés dans un même plan perpendiculaire à l'axe optique ou parallèle aux plans des plaques.

Il y a lieu toutefois de bien se rendre compte des précautions à prendre dans l'emploi du stéréocomparateur, en partant des zéros des deux échelles A et B (*fig.* 100) pour évaluer les coordonnées $x_1$ et $y_1$ de chacun des points de l'épreuve $P_1$ et celles $x_2$ et $y_2$ de l'épreuve $P_2$.

Il reste enfin à savoir comment on obtient les valeurs de B′ et de B″. On a bien $B' = B\cos\mu$ et $B'' = \sin\mu$, mais l'angle $\mu$ que la base fait avec la ligne horizontale OX de la plaque ne peut pas être mesuré directement; il faut donc mesurer l'inclinaison $i$ de l'axe optique et celle $\lambda$ de la direction de la base avec l'horizon, et l'on voit alors facilement que $B' = \frac{B}{\cos i}\sqrt{\cos^2 i - \sin^2\lambda}$ et $B'' = \frac{B}{\cos i}\sin\lambda$; d'où l'on pourrait aussi déduire la valeur de $\mu$.

Quant à la longueur de la base elle-même, on la mesure avec un décamètre ou bien elle est déduite d'une triangulation ordinaire.

## XLVI. — *Stéréophotogrammétrie. Suggestions pratiques.*

*Construction des plans et des modèles.* — Il y a deux cas particulièrement intéressants à considérer dans la pratique : celui où l'axe optique est horizontal $i = 0$ et celui où il est vertical $i = 90°$.

Dans le premier, qui est de beaucoup le plus fréquent, en considérant d'abord l'épreuve $P_1$, tous les points dont les images sont sur $O_1X$, qui est alors la *ligne d'horizon* et que nous prendrons pour axe des Y, sont évidemment à la même hauteur que $M_1$. En calculant X et Z, on a donc les éléments du tracé de la courbe de niveau correspondante.

On peut opérer de même sur l'épreuve $P_2$ et obtenir ainsi, en général, deux courbes de niveau distinctes dont la différence de hauteur est égale à $B\sin\mu$, $\mu$ étant alors égal à $\lambda$.

L'auteur ajoute qu'en prenant des épreuves à plusieurs hauteurs différentes, on construirait autant de courbes de niveau par ce procédé; mais cela serait peu pratique.

Au contraire, d'après la propriété indiquée dans la note (1) de la page 255, on conçoit la possibilité de déterminer une série de profils verticaux à des distances convenables les uns des autres et de l'une des deux stations $M_1$ ou $M_2$.

Le second cas, où $i = 90^0$, correspond à celui de vues prises en ballon avec une chambre noire dont l'axe optique est vertical et où ces vues, prises de hauteurs suffisantes, constituent de véritables plans; on conçoit alors également que l'on puisse déterminer autant de courbes de niveau que l'on voudra, en se fondant sur la remarque précédente relative aux profils verticaux que l'on obtient dans le cas où l'axe optique est horizontal.

L'auteur espère, à l'aide du stéréocomparateur associé à un mécanisme approprié comprenant un pantographe, parvenir à tracer directement, soit les courbes de niveau, soit les profils verticaux à l'échelle convenable et, par conséquent, à réunir les éléments nécessaires pour construire, au besoin, des modèles en relief du terrain; mais il n'est pas encore entièrement fixé à ce sujet.

*Évaluation des erreurs et mesure des dimensions d'objets éloignés.* — Pour évaluer les erreurs, il faut tenir compte de l'exactitude avec laquelle les trois quantités $a$, $x_1$ et $y_1$ peuvent être mesurées.

En ce qui concerne $a$, nous avons admis qu'à la limite $da = \pm 0^{mm},01$ (p. 249); pour $x_1$ et $y_1$, l'erreur à craindre résulte de la lecture des deux verniers A et B (*fig.* 100); donc

$$dx_1 = dy_1 = \pm 0^{mm},1.$$

En différentiant les expressions (I), (II) et (III), il vient

$$dZ = -\frac{fB}{a^2}da = \frac{Z^2}{fB}da, \qquad dX = \frac{dx_1}{f}Z, \qquad dY = \frac{dy_1}{f}Z.$$

L'exactitude des dimensions des objets éloignés dépend également de celle des lectures faites sur le stéréocomparateur, c'est-à-dire de $da$, $dx_1$ et $dy_1$.

Dans la formule de $dZ$, qui est la plus importante, on peut introduire avantageusement le rayon R du champ stéréoscopique dû à l'effet du *relief total*, en remplaçant l'écartement E des objectifs du télémètre par la base B dans la formule (3) de la page 232 qui devient alors :

$$R = \frac{G}{\delta} B \qquad \text{et comme} \qquad da = \frac{\delta f}{G} \text{ (p. 246)}$$

$$(1) \qquad R = \frac{f B}{da}$$

pour une distance Z, l'erreur sera donc :

$$(2) \qquad dZ = \frac{Z}{fB} da \qquad \frac{Z^2}{R} \qquad \text{d'où} \qquad R = \frac{Z^2}{dZ}$$

ou encore la proportion $dZ : Z :: Z : R$.

Cette formule peut servir à calculer rapidement la longueur de la base qu'il faut employer pour mesurer, avec une approximation donnée $dZ$, la distance Z d'un objet indiqué, quand on se sert d'un objectif dont la distance focale est connue.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse, avec un objectif de $180^{mm}$ de foyer, de mesurer la distance d'un point situé à $10^{km}$ environ, à $100^{m}$ près, on aura pour R [formule (2)]

$$R = \frac{Z^2}{dZ} = \frac{100^{km}}{\frac{1^{km}}{10}} = 1000^{km}$$

et pour B [formule (1)]

$$B = \frac{R}{\frac{1}{da} f} \text{ (1)} = \frac{1000000^{m}}{18000} = \frac{1000^{m}}{18} = 55^{m},6.$$

La Table suivante donne quelques valeurs numériques relatives au foyer $f = 180^{mm}$ et aux éléments considérés B, D, $a$, c'est-à-dire la base, la distance du point et la différence parallactique, enfin le *relief total* qui, comme nous le

(1) $\frac{f}{da} = \frac{180^{mm}}{0^{mm},01} = 18000.$

savons, est le coefficient d'amplification du champ de vision à l'œil nu : $G \times \frac{B}{e}$, G étant le grossissement et $e$ l'écartement

| Distance D = Z en kilomètres. | Différence parallactique $a = \frac{B}{D} f$ en millimètres pour $f = 180^{mm}$ et $\delta = 1'$. | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2000 | | | < 0,01 | < 0,01 |
| 1000 | | | 0,01 | 0,02 |
| 500 | | | 0,03 | 0,04 |
| 200 | | < 0,01 | 0,06 | 0,07 |
| 100 | | 0,02 | 0,13 | 0,18 |
| 80 | | 0,02 | 0,16 | 0,36 |
| 60 | < 0,01 | 0,03 | 0,21 | 0,45 |
| 40 | 0,01 | 0,05 | 0,31 | 0,60 |
| 20 | 0,03 | 0,09 | 0,63 | 0,90 |
| 10 | 0,05 | 0,18 | 1,26 | 1,80 |
| 8 | 0,07 | 0,22 | 1,58 | 3,60 |
| 6 | 0,09 | 0,30 | 2,10 | 4,50 |
| 4 | 0,13 | 0,45 | 3,15 | 6,00 |
| 2 | 0,27 | 0,90 | 6,30 | 9,00 |
| 1 | 0,54 | 1,80 | 12,60 | 18,00 |
| 0,8 | 0,66 | 2,25 | 15,75 | 36,00 |
| 0,6 | 0,90 | 3,00 | 21,00 | 45,00 |
| 0,4 | 1,35 | 4,50 | 31,50 | 60,00 |
| 0,2 | 2,70 | 9,00 | 63,00 | |
| 0,1 | 5,40 | 18,00 | | |
| Base B en mètres. | 3 | 10 | 70 | 200 |
| Rayon R du champ stéréoscopique en kilomètres. | 54 | 180 | 1260 | 3600 |
| Relief total. | 280 | 925 | 6500 | 18500 |

des axes des yeux ($65^{mm}$ en moyenne). Cette Table est aussi également intéressante pour les relevés téléstéréoscopiques.

## XLVII. — *Stéréophotogrammétrie ou métrostéréoscopie. État de la question.*

*Solutions diverses proposées ou à l'étude.* — La meilleure preuve que la métrostéréoscopie tend à s'introduire dans la pratique, sinon à se substituer entièrement à la méthode photographique ordinaire (ce qui ne serait pas toujours possible, il faut bien en convenir), c'est que plusieurs personnes s'en occupent, indépendamment les unes des autres et dans différents pays, en France, en Allemagne, en Autriche, et dans deux des plus importantes colonies anglaises, au Cap et au Canada.

*En France,* sans rappeler nos propres prévisions, l'habile opérateur et observateur, M. Cazes, a déjà réuni les éléments d'une solution dont il poursuit activement la réalisation. A la prière que nous lui avions faite de nous mettre au courant de ses recherches, il nous a fait la réponse suivante (1) :

« En ce qui concerne mon procédé de métrostéréoscopie (dont l'étude complète ne pourra se faire qu'après mon retour à Paris), je ne voudrais pas trop m'avancer dans les explications y relatives, de crainte de laisser échapper quelques inexactitudes.

» Tout ce que je puis dire pour l'instant, c'est qu'il consiste essentiellement en un appareil permettant d'utiliser immédiatement la vision stéréoscopique pour tracer un plan coté méthodique de la région photographiée dans des conditions déterminées, de deux points de vue différents.

» Les conditions principales à réaliser sont les suivantes :

» 1° Les deux points de vue seront à la même altitude;

» 2° Les distances focales des deux objectifs seront égales;

» 3° Les plaques sensibles seront dans un même plan;

» 4° Les deux points de vue seront distants l'un de l'autre

(1) Lettre datée du 30 août 1902, de Fos (Haute-Garonne).

d'une longueur qui ne dépassera pas le $\frac{1}{5}$ de la distance du point de vue au premier plan de front utilisé (1).

» Je compte obtenir une précision variable avec la distance, mais de même ordre que celle qu'on obtiendrait par la méthode habituelle des intersections, si l'on reportait tous les points au $\frac{1}{20}$ de millimètre près.

» La rapidité des mesures est vraiment étonnante, grâce à l'ordre systématique adopté. »

*En Allemagne.* — M. le Dr Pulfrich, de son côté, dans les conclusions de son Chapitre sur les *principes de la stéréophotogrammétrie* dont nous avons mis les parties essentielles sous les yeux du lecteur, dit qu'il a fait des essais, dans les ateliers de Zeiss, sur de nombreuses épreuves photographiques, et comparé quelques-uns des résultats qu'il obtenait avec ceux du colonel autrichien baron von Hübl. Il dit aussi qu'un autre promoteur de la photogrammétrie, le professeur C. Koppe, s'est rendu compte personnellement, à Iéna, des propriétés de son appareil et de son emploi, en l'appliquant à l'examen de vues de la Jungfrau qui, par leur combinaison stéréoscopique, avec une base de plus de $1000^{m}$, donnaient des effets de relief un peu exagérés pour des objets situés jusqu'à $3^{km}$ ou $4^{km}$, mais tout à fait surprenants en ce qu'ils faisaient saisir d'un coup d'œil les vraies formes de la montagne (2).

Les deux planches XIV et XV déjà citées représentent, l'une les vues stéréoscopiques de la *Vallée de Fos* prises par M. Cazes et la moitié inférieure de l'autre une réduction de deux vues prises dans les *Alpes dolomitiques* par M. le Colonel baron von Hübl.

Ces groupes examinés, le premier avec le stéréoscope à deux miroirs pour chaque vue de M. Cazes, et le second dans un stéréoscope ordinaire de Brewster, produisent des effets

---

(1) Pour la détermination de cette distance du premier plan de front utilisable, *voir* la *Stéréoscopie de précision*, de M. L. Cazes.

(2) A rapprocher de ce que disait déjà Helmholtz, à propos des vues de la Jungfrau prises de Mürren par Braun père (p. 218).

de relief déjà très accusés et qui peuvent donner une idée de ceux qui viennent d'être signalés.

*Au Cap de Bonne-Espérance.* — M. H.-G. Fourcade, du Service forestier, a proposé aussi une méthode stéréoscopique pour le lever des plans (1), qui présente la plus grande analogie avec celle du Dr Pulfrich. Voici comment l'auteur en expose lui-même l'idée fondamentale.

« Dans la méthode proposée, des photographies sont prises avec la chambre noire, de deux stations, les plaques étant exposées dans le plan vertical qui passe par ces deux stations. Un réseau ou un cadre gradué donne le moyen de mesurer les coordonnées de chaque point sur la plaque par rapport à l'axe optique de la chambre. Après le développement et le fixage, les négatives ou les positives sont examinées dans un *appareil stéréoscopique mesureur*, en les combinant de façon à rendre possible l'exacte identification des points communs aux deux images. Des fils micrométriques traversent le champ de chacune des images et on les amène à être vues simultanément avec les deux yeux. La lecture des micromètres rapportée au réseau donne les trois coordonnées du point correspondant, par multiplication ou par division, les constantes pour les plaques étant la distance focale de l'objectif et la longueur de la base.

» Quand les points ont été rapportés en assez grand nombre, on peut tracer les courbes de niveau. »

Suivent, après la théorie de la méthode, la description de la chambre noire montée toujours comme un théodolite avec une lunette dont la direction est perpendiculaire à l'axe optique de l'objectif, la détermination des constantes instrumentales, la description de l'appareil pour effectuer les mesures sur les plaques qui, sous tous les rapports, rappelle le *stéréo-comparateur* (2), enfin une discussion relative à la précision

(1) *A stereoscopic method of photographic surveying.* A paper read on october 2, 1901, before the South Africa Philosophical Society, by M. H.-G. FOURCADE, Forest Department, Capetown. Abstract from *Nature* June 5, 1902. London.

(2) Cela est si vrai que, M. Fourcade s'étant adressé à la maison Zeiss pour

des mesures, en faisant varier la grandeur de la base qui doit être réduite, notamment quand on opère dans des vallées étroites.

La méthode, dit en terminant l'auteur, peut être d'ailleurs combinée avec celle des levers photographiques ordinaires. Elle est plus particulièrement recommandable quand on a à lever de grandes étendues en pays de montagnes.

*Au Canada.* — Nous terminerons cette revue par la description d'un *appareil stéréoscopique pour la construction des plans topographiques* présenté récemment par M. E. Deville à la Société royale du Canada (1).

M. E. Deville a bien voulu nous communiquer un extrait de son Mémoire accompagné d'un dessin très expressif qui n'ont été publiés que postérieurement à la rédaction suivante, à laquelle nous n'avons rien eu à changer.

*Appareil stéréoscopique de M. E. Deville.* — Cet appareil représenté planche XVI n'est, comme on le voit, autre chose qu'un *stéréoscope de Wheatstone* posé sur une planche à dessiner et accompagné d'un écran vertical mobile dont le rôle sera expliqué ci-après.

Les deux photographies destinées à être conjuguées doivent toujours avoir été prises dans un même plan vertical, mais il n'est pas nécessaire que les deux stations soient au même niveau (2).

Les œilletons D, D du *viseur* A sont percés dans une plaque de métal mobile autour d'un axe horizontal et dont l'inclinaison

---

faire construire un appareil qui réaliserait sa conception, il lui a été répondu que cet appareil existait et qu'il pouvait lui être envoyé en communication (renseignement donné par M. le Dr Pulfrich, qui ne doute pas d'ailleurs qu'il s'agisse simplement d'une coïncidence, singulière, à coup sûr, mais comme il s'en produit cependant assez souvent quand une question nouvelle s'impose à l'attention générale).

(1) Société royale du Canada. Session de mai 1902 à Toronto. Section III. Sciences mathématiques, physiques et chimiques. *Sur l'emploi du stéréoscope de Wheatstone dans les levers topographiques,* par E. DEVILLE, arpenteur général du Canada.

(2) M. Deville espère même pouvoir s'affranchir de la première condition à laquelle les autres auteurs sont obligés de se conformer.

est évaluée sur un arc gradué fixe E devant lequel passe un vernier appartenant à la plaque.

Les deux petites glaces verticales F, F à faces parallèles portées par le même bâti que le viseur sont inclinées à 45° sur l'axe de rotation de celui-ci. Leur face antérieure est légèrement argentée pour former miroir, mais pas assez pour empêcher de voir, à travers, le point brillant d'un trou pratiqué au centre de l'écran mobile L L (1).

Les châssis ou cadres B, B qui portent les diapositives des vues convenablement présentées (c'est-à-dire retournées pour compenser l'effet de symétrie produit par la réflexion sur le petit miroir) sont verticaux et parallèles entre eux et à l'axe de l'appareil. La distance de chaque diapositive à l'image, de l'œilleton correspondant, dans son petit miroir, doit être égale à la distance focale de l'objectif qui a servi à prendre les vues.

Le bâti C qui porte l'écran L L se compose de deux montants verticaux soutenus par un trépied reposant lui-même sur trois vis calantes renversées dont les têtes en forme de calottes sphériques peuvent glisser facilement sur le papier posé sur la planchette. Dans la partie médiane de ce trépied se trouve engagée la tige d'un crayon N dont la pointe doit être la projection horizontale du trou pratiqué dans l'écran. La hauteur de l'écran (et du trou) est indiquée par une échelle tracée sur l'un des montants M M du bâti. L'ensemble de ce système est désigné sous le nom de *traceur*.

Si l'on place les œilletons sur une même horizontale, en faisant coïncider les zéros du vernier et de l'arc gradué, lorsque le trou de l'écran est à la hauteur de l'axe de rotation, le bas de cet écran doit être au zéro de l'échelle dont la graduation s'étend dans les deux sens au-dessus et au-dessous.

Chacun des organes que nous venons d'énumérer porte des vis de rectification qui permettent de régler complètement l'appareil.

---

(1) Pour éviter la réflexion sur la seconde face, on peut substituer aux glaces des cubes de verre dont le plan diagonal est formé d'une mince lame d'or comme dans la *chambre claire de Govi*.

*Mode d'opérer.* — La distance des deux stations ou la *base* et l'inclinaison de cette base étant mesurées, d'où l'on peut conclure la différence de niveau des deux stations, admettons que la station de gauche soit la plus élevée.

On commencera par donner à la plaque du viseur l'inclinaison observée (voir *Pl. XVI*) et l'on déterminera l'échelle de réduction du *relief stéréoscopique* du terrain représenté par les deux vues (relief que l'on doit concevoir comme existant dans l'espace, bien qu'il soit virtuel), en comparant la distance des œilletons (réglée sur celle des yeux de l'observateur) à la distance effective des deux stations.

Pour fixer les idées, supposons que cette dernière, c'est-à-dire la longueur de la base, soit de $65^{m}$ et la première de $0^{m},065$, l'échelle de réduction sera de $\frac{1}{1000}$; supposons aussi que l'inclinaison de la base soit de $10°30'$, cela donnera $12^{m}$ pour la différence de niveau.

Les lignes d'horizon et les lignes principales étant tracées sur chacune des photographies, il reste à placer celles-ci dans leurs châssis respectifs, en se préoccupant des conditions dans lesquelles elles ont été prises. Considérons d'abord la diapositive de la station de gauche introduite dans son châssis. On commence par mettre l'écran à la hauteur convenable pour l'œilleton correspondant, en le relevant au-dessus du zéro de l'échelle de la moitié de la différence de niveau des deux stations réduite, dans le cas actuel, à l'échelle de $\frac{1}{1000}$, soit de $6^{mm}$; puis on manœuvre le traceur dont on a soulevé le crayon, en suivant le point brillant du trou de l'écran à travers l'œilleton de gauche pour l'amener près de l'image du bord du châssis que l'on déplace en hauteur à l'aide des vis H, H, H jusqu'à ce que l'image de l'extrémité de la ligne d'horizon bissecte ce point brillant. On répète la même opération pour le bord opposé du châssis et on la recommence, au besoin, alternativement pour les deux bords jusqu'à ce qu'on ait obtenu que les deux extrémités de la ligne d'horizon soient exactement à la même hauteur que le point brillant.

On s'occupe ensuite de régler la position de la ligne principale. Pour cela, on mène sur le papier par la projection horizontale de l'œilleton, que l'on obtient facilement à l'aide

d'un fil à plomb, une parallèle à l'axe du viseur ou au plan du châssis. On amène sur cette parallèle la pointe du crayon traceur, puis on abaisse l'écran jusqu'à ce que le point brillant paraisse sur le bord inférieur du châssis ou plutôt de la diapositive, et, en agissant sur les vis JJ, on amène l'image de l'extrémité de la ligne principale sur le point brillant.

On fait les mêmes séries d'opérations pour la diapositive de droite et, quand elles sont terminées, si elles ont été faites avec soin, en regardant à la fois par les œilletons avec les deux yeux, on doit apercevoir le trou de l'écran se projetant comme un point lumineux sur le relief du terrain.

*Tracé du plan et des courbes de niveau.* — Ce point lumineux peut être, dès lors, considéré comme un repère mobile lié à la pointe du crayon traceur qui en est la *projection horizontale* sur le papier. En le promenant systématiquement sur tout le relief stéréoscopique, il est dans le cas de servir à en explorer complètement la *surface* et, par conséquent, à en projeter tous les détails, c'est-à-dire, à en tracer le plan, le crayon abaissé et appuyé sur le papier suivant exactement les mouvements du point brillant.

Il convient seulement de rappeler une fois de plus que, pour exécuter les opérations dont il s'agit, il est indispensable d'être doué de l'aptitude stéréoscopique, car il faut, évidemment, une grande netteté de perception en même temps que beaucoup d'attention et d'adresse de main pour maintenir le point lumineux à la surface d'un relief virtuel, sans rester en deçà et sans le faire pénétrer plus avant.

L'honorable auteur, dans une lettre qui accompagnait la description de son intéressant appareil, convenait que celui-ci ne saurait prétendre à une aussi grande précision que le stéréocomparateur du Dr Pulfrich et que l'opérateur se trouverait plus limité dans le choix de ses stations. Il estimait, toutefois, que ce *stéréoscope graphique* devait être plus expéditif et pourrait rendre des services dans les reconnaissances détaillées.

Il ajoutait, d'ailleurs, avec autant de modestie que de prudence, qu'on ne pouvait dire ce que vaut une idée tant

qu'elle n'a pas été mise en pratique. Or, jusqu'à présent, il n'a pas eu le loisir de faire construire son instrument.

Nous ne devons ni ne pouvons être plus affirmatif que lui, et, cependant, nous ne craignons pas de dire qu'il y a de grandes chances pour que l'on obtienne de très bons résultats avec un appareil aussi simple qu'ingénieux, de nombreuses expériences faites sur des reliefs virtuels produits spontanément à l'aide du strabisme artificiel, à l'aide de vues stéréoscopiques analogues à celles dont il s'agit, nous ayant permis de nous rendre compte de la facilité avec laquelle on peut fixer la position dans l'espace d'autant de points que l'on veut de ces reliefs, en en approchant, par exemple, une tête d'épingle qui revient toujours à la même place chaque fois que l'on recommence l'expérience.

*Application à l'exemple donné sur la planche XVI.* — En nous reportant à la planche XVI et en y considérant, sur les deux vues, la ligne qui dessine le bord d'un golfe ou d'un lac et qui est, par conséquent, une *courbe de niveau*, il est aisé de concevoir qu'en amenant le point brillant sur l'un des caps que l'on y remarque, et en faisant suivre ce bord ou cette côte par le point lumineux, le crayon tracera le plan de cette courbe de niveau sur le papier. Si, maintenant, on remonte l'écran d'un millimètre, que l'on mette le point brillant en contact avec un point de la surface du relief stéréoscopique et qu'on fasse marcher le traceur en maintenant ce contact du point brillant et de la surface du relief, la courbe de niveau de $1^m$ au-dessus du golfe ou du lac sera tracée dans le voisinage de la première. On voit immédiatement comment on parviendrait à obtenir de même toutes les courbes équidistantes de $1^m$ ou de tout autre intervalle.

On conçoit aussi que, chemin faisant, partout où l'on rencontre des détails topographiques : arbres, rochers, ruisseaux, routes, maisons, etc., on peut les dessiner sur le plan ou au moins les repérer (pour ne pas interrompre le tracé de la courbe de niveau, en changeant la hauteur de l'écran), sauf

à y revenir après coup et à raccorder à la main les fragments des détails (1).

Nous avons profité de l'exemple que nous avions sous les yeux, parce qu'il nous fournissait l'occasion de faire pressentir qu'en pareil cas on pouvait vérifier facilement le réglage de l'instrument et de la mise en place des diapositives, le point brillant devant suivre la côte, l'écran conservant la même hauteur.

NOTA. — Ce paragraphe était écrit et imprimé quand M. le Dr Pulfrich, après avoir pris connaissance du projet d'appareil de M. E. Deville, s'est occupé des modifications qui pourraient y être introduites pour le rendre sûrement utilisable. Indépendamment de plusieurs améliorations apportées aux différents organes, ce savant a reconnu la nécessité de recourir au pantographe. Avec un appareil provisoire qui n'était pas muni de cet intermédiaire, il s'était, en effet, vu obligé d'employer un aide pour manœuvrer le traceur.

M. le Dr Pulfrich n'est pas moins parvenu, en opérant sur le plancher d'une chambre bien éclairée, à tracer, d'après deux des vues stéréoscopiques prises dans les Alpes dolomitiques par le colonel baron von Hübl, un certain nombre de courbes dont les extrêmes s'éloignaient jusqu'à $4^{km}$. Or, la base étant de $44^{m},3$ et par conséquent l'échelle de $\frac{1}{650}$ (pour un écartement des yeux de $0^{m},068$), il avait fallu couvrir un espace de $6^{m}$ de longueur, après quoi l'opérateur avait jugé bon de réduire son tracé à l'échelle de $\frac{1}{6500}$, ce qu'il eût réalisé immédiatement avec le secours du pantographe. M. le Dr Pulfrich fait exécuter, à la date où nous écrivons cette note (janvier 1903) sous le nom de *stéréo-planigraphe*, l'appareil dont il s'agit.

*Téléstéréoscopie.* — Nous avons déjà employé cette expression en suggérant l'idée qu'en mer, pour effectuer

(1) M. Deville conseille, pour le dessin des détails, de substituer à l'écran percé d'un trou un autre écran portant une fente verticale le long de laquelle on peut suivre les accidents du sol, chemins, cours d'eau, limites de cultures, etc. Il serait même d'avis de substituer au simple trou de l'écran cette fente verticale recroisée à la place du trou par une amorce de fente horizontale.

des reconnaissances rapides de côtes, d'îles, d'archipels, on recourrait avantageusement à la téléphotographie pour prendre des vues simultanées de deux points suffisamment espacés à bord d'un même navire, dans des circonstances où les appareils ordinaires et des vues isolées ne fourniraient le plus souvent que des indications insuffisantes.

Il est bien évident que des circonstances analogues se présenteront aussi à terre et tout ce que nous savons des propriétés de la Téléphotographie et de la Stéréoscopie nous permet de prévoir, dans ce cas comme dans l'autre, ce que l'on peut attendre de l'emploi combiné de ces deux puissants auxiliaires du procédé habituel.

Nous jugeons donc inutile d'entrer à ce sujet dans d'autres détails et nous nous contenterons de mettre sous les yeux du lecteur (*Pl. XVII et XVIII*) deux spécimens de vues téléstéréoscopiques prises avec le téléobjectif de M. Bellieni. Nous l'engageons à les placer, l'un après l'autre, sous un stéréoscope, il y constatera aussitôt les merveilleux effets de relief évidemment utilisables que produit déjà un appareil très portatif placé successivement à deux stations espacées de $10^m$ seulement pour les premières et de $55^m$ pour les secondes.

## CONCLUSION DE CE QUATRIÈME CHAPITRE.

L'auteur aurait bien désiré pouvoir remplir intégralement le programme esquissé dans l'*Avertissement* de ce Chapitre, c'est-à-dire indiquer ici, au moins sommairement, les applications de la Métrophotographie à la Météorologie, à l'Astronomie et en général aux sciences d'observation. Il aurait voulu aussi pouvoir tenir l'engagement qu'il avait pris avec le lecteur en annonçant, en plusieurs endroits, la publication de documents concernant notamment le dessin topographique dans l'antiquité, qui eussent complété ceux qu'il a déjà mentionnés. Mais il lui eût fallu, pour cela, beaucoup abréger les explications dans lesquelles il a cru devoir entrer pour mettre le lecteur à même de se rendre compte des progrès de la méthode phototopographique proprement dite et d'en profiter.

Quand il a commencé à écrire ce Chapitre, il soupçonnait à peine, en effet, ceux qu'allaient faire la Téléphotographie, la Photographie en ballon et par cerf-volant et surtout la Stéréoscopie.

Il avait espéré, d'un autre côté, pouvoir faire l'historique des travaux topographiques déjà si considérables exécutés à l'aide de la Photographie dans les différentes contrées de l'Europe et des autres parties du monde et donner des spécimens de quelques-uns des résultats les plus remarquables ainsi que des instruments qui ont servi à les obtenir. Ne pouvant pas y songer, faute de place, il doit se borner à renvoyer les lecteurs à l'une des Bibliographies les plus complètes qu'il connaisse (1) pour permettre à ceux qui consulteraient les Ouvrages indiqués de contrôler l'exactitude des nombreuses citations qu'il en a faites.

---

(1) Cette Bibliographie se trouve dans un remarquable petit Traité intitulé : *Die Anwendung der Photographie in der praktischen Messkunst*, von EDUARD DOLEŽAL Halle a. S. Druck und Verlag von Wilhelm Knapp. 1896.

Depuis cette époque, M. Doležal a donné, chaque année, dans le *Jahrbuch für Photographie* du Dr Eder de Vienne, des analyses très complètes des publications sur la Métrophotographie faites dans tous les pays.

# NOTES RECTIFICATIVES OU COMPLÉMENTAIRES.

TOME Ier, *page* 32, au bas de la page. — J'ai répété là, après bien d'autres, que vraisemblablement Gerbert était allé s'instruire en Espagne au temps de la brillante civilisation des Maures.

Je n'ignore pas que cette opinion soit contestée par les érudits de notre temps, qu'Olleris notamment, l'éminent biographe de Gerbert, ait affirmé que celui-ci ignorait l'arabe et que ses méthodes d'enseignement n'étaient autres que celles des continuateurs des *agrimensores* romains. Nous avons dit nous-même, d'après des renseignements précis (page 381, à la fin de la Note de bas de page), que Gerbert enseignait, en effet, la géométrie pratique d'après les ouvrages écrits, entre le Ier et le VIe siècle, par les *gromatici veteres* dont il possédait une collection à Bobbio. Mais ce grand homme n'en avait pas moins vécu pendant plusieurs années à Vich, dans le comté de Barcelone, et l'on sait qu'il en était revenu beaucoup plus savant que tous ses contemporains de la chrétienté, le pape tout le premier qui, l'ayant vu et entendu, était resté émerveillé de ses facultés et de la culture de son esprit.

Il y a donc bien des chances pour que le futur pape Sylvestre II, s'il n'était pas allé, de sa personne, à la célèbre École de Cordoue, ait pu prendre connaissance de quelques-uns des innombrables ouvrages de la non moins célèbre bibliothèque de cette école et toute la question serait de savoir si les difficultés de la langue que l'on parlait tout près de lui l'ont véritablement empêché de le faire. Dans tous les cas, il eût pu avoir recours aux traductions.

Ainsi Olleris dit formellement lui-même que Gerbert avait demandé à Lupitus, de Barcelone, sa traduction d'un traité d'astronomie, *écrit sans doute en arabe*. Il avait aussi réclamé le livre de la multiplication et de la division de Joseph; en un mot, il s'instruisait par tous les moyens en son pouvoir et c'est seulement de l'aveu indirect qu'il aurait fait de ne pas comprendre l'arabe qu'Olleris paraît avoir conclu qu'il n'avait visité ni Cordoue ni Séville.

TOME I[er], *page* 210, *lignes* 14 *et suivantes*. — Il y a là, dans la description du parallélogramme articulé de l'*homolographe* de Peaucellier et Wagner, une inadvertance qu'il importe de signaler et de rectifier.

La seconde articulation des petits côtés intermédiaires ou traverses du parallélogramme multiple ne peut évidemment pas être sur une parallèle à l'axe optique de la lunette. Les points de chacune de ces traverses équidistantes, marqués sur cette parallèle, en dedans ou même en dehors du parallélogramme (*voy.* fig. 76), sont les positions de pivots numérotés de 1 à 12 que l'on peut engager individuellement avec le crochet d'un curseur (formant vernier pour le nivellement) qui glisse le long du côté vertical de l'équerre. Le rôle de ces pivots numérotés est expliqué dans le paragraphe suivant du texte qui a pour titre *Manière d'opérer*.

Obligé de beaucoup abréger la description de l'homolographe, nous pourrions, indépendamment de cette inexactitude, craindre de n'avoir pas donné les détails nécessaires à la parfaite intelligence d'un instrument tout à fait nouveau. Nous croyons donc devoir engager le lecteur qui voudrait se bien rendre compte de l'ingéniosité de cette invention, à consulter dans le numéro 23 du *Mémorial de l'Officier du génie*, année 1874, le mémoire original de M. le Commandant Wagner, intitulé : *Des méthodes de levers en usage à la brigade topographique et de l'emploi d'un nouvel instrument destiné à substituer aux opérations habituelles des procédés purement mécaniques*.

TOME II, CHAP. IV, § XII, *page* 31, note (2). — Au lieu de $2^{km},5$ sur $1^{km}$, il faut $4^{km}$ sur $2^{km}$.

TOME II, CHAP. IV, § XVIII, *pages* 120 *et suivantes*. — Pour remonter à l'invention très ancienne du téléobjectif, tout en reconnaissant, page 122, que Képler avait, le premier, fait voir, dès 1611, que l'on pouvait obtenir une image réelle en combinant une lentille concave avec une lentille convexe et que Kircher, en 1646, avait signalé le même fait dans son Ouvrage *Ars magna lucis et umbræ*, nous avions cru pouvoir, avec le professeur Jadanza, considérer Christian Wolff, de Breslau, dont les *Elementa mathesos universæ* avaient été publiés seulement en 1745, comme l'inventeur de *la chambre obscure portative* (avec agrandissement des images).

M. le Général J. Waterhouse, dont nous avions signalé (Note de la page 122) la remarquable Notice sur *les origines de la chambre noire* publiée en 1902 dans le *Photographic Journal*, traduite et reproduite dans la *Photographie française*, 14[e] série, n[os] 10 et 11, a continué ses recherches en les faisant porter sur *les origines de l'objectif* (*voy.* la

*Photographie française*, nos 19 et 20). Le savant auteur rappelle tout d'abord que « l'on peut considérer nos téléobjectifs modernes comme dérivant du système dioptrique étudié par Képler dans le problème CV de son *Dioptrice*, publié en 1611, peu après l'apparition de la lunette de Galilée; « je mentionnais aussi, ajoute-t-il, l'application du même principe par le P. Scheiner dans son hélioscope ». Après avoir passé en revue les principaux ancêtres de l'optique et de la photochimie, c'est-à-dire les précurseurs de la photographie, M. le Général Waterhouse, sans vouloir insister sur les titres qu'aurait Roger Bacon à l'invention du télescope et de la chambre noire, cite un passage assez inattendu de la *Pantometria*, de Léonard Digges (publiée, comme nous le savons, en 1571), duquel il résulte que l'auteur connaissait la combinaison de deux verres, l'un convexe, l'autre concave, qu'il appliquait non seulement aux observations visuelles, mais aussi au *décalque d'images projetées*.

Revenant au P. Scheiner, le Général Waterhouse signale, dans le Chapitre XXVIII de la *Rosa ursina* (1630), ce fait tout à fait intéressant au point de vue de l'histoire du téléobjectif que l'Auteur y avait étudié « le cas de la lentille divergente placée à une petite distance en avant du foyer postérieur de la lentille convergente, de façon à former sur l'écran une image plus grande, plus distincte et plus éloignée que si la lentille convergente était employée seule; le thème par lequel il explique le rôle de la lentille divergente est en progrès très notable sur la figure donnée par Képler; il ne serait nullement déplacé dans un Traité moderne sur le téléobjectif ».

Nous renvoyons le lecteur à l'excellente Notice du Général reproduite, comme nous l'avons déjà dit, dans les numéros 10, 11, 19 et 20 de la 14e série de la *Photographie française*, pour les autres détails qu'il donne à ce sujet et sur les différents auteurs anciens qui l'ont traité; mais nous devions signaler tout particulièrement le fait concernant Léonard Digges et la part considérable qui semble appartenir au P. Scheiner dans l'invention du téléobjectif. Parmi ceux qui, toujours avant Christian Wolff, ont fait faire des progrès à la théorie et aux applications des combinaisons de lentilles, on trouvera cités le *Cursus seu mundus mathematicus* de Claude-François Milliet, publié à Leyde en 1674, le *Nervus opticus* de Fr. Zacharias Trober, à Vienne, en 1675, l'*Oculus artificialis teledioptricus* de Johann Zahn, à Wurzbourg, en 1686 et en 1702; enfin la *Nova Dioptrica* ou *Treatise of Dioptricus* de W. Molyneux, suivis d'appendices qui n'ont pas été reproduits en français et qu'il faudrait consulter dans la Notice originale (*Photographic Journal*, 1902).

TOME II, CHAP. IV, *pages* 227 et 228. *Propriétés de la projection sté-*

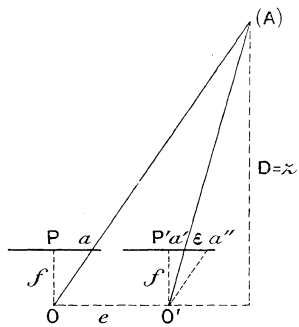
*réoscopique*. — Nous avons supposé la ligne qui joint les deux points de vue, horizontale, parce que c'est ce qui a naturellement lieu quand on prend ponr base l'écartement des yeux. Mais on a vu plus loin, pages 252 et suivantes, quand les deux stations s'éloignent l'une de l'autre pour accroître les effets du relief, que la base et même l'axe optique de l'objectif pouvaient être inclinés sur l'horizon.

Toutefois, on évite autant que possible cette dernière circonstance, et il est toujours avantageux, quand on le peut, de prendre les deux stations au même niveau.

Si ces conditions se trouvent remplies, les propriétés indiquées pages 227 et 228 en découlent très simplement. Nous l'avons vu pour la première. La seconde, qui consiste en ce que *tous les points ayant même parallaxe sont situés dans un même plan vertical parallèle à celui des deux tableaux*, est aussi facile à démontrer (1).

Elle résulte, en effet, immédiatement de la figure 91 que nous repro-

Fig. 91 *bis*.




duisons figure 91 *bis*, en modifiant légèrement les notations, et de la relation

$$\frac{\varepsilon}{f} = \frac{e}{D},$$

donnée par la similitude des triangles OO'(A) et $a'a''O'$, et dans laquelle $f$ représente la distance focale de l'objectif et $\varepsilon$ la *parallaxe* des deux images que l'on mesure à l'aide du stéréocomparateur, $O'a''$ étant la parallèle à $Oa$ menée par le point O'. Or, si D est constant, $e$ et $f$ l'étant nécessairement, $\varepsilon$ l'est également, et la propriété est démontrée.

M. le Dr Pulfrich s'en est servi très avantageusement pour tracer, dans

(1) Elle l'a déjà été, d'ailleurs, page 255, pour le cas le plus général.

certains cas, les courbes *d'égale distance apparente* elles-mêmes, et aussi immédiatement les courbes de niveau sur les plans topographiques.

Fig. 108.

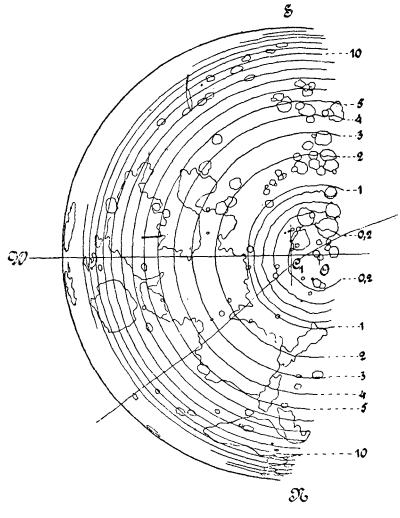
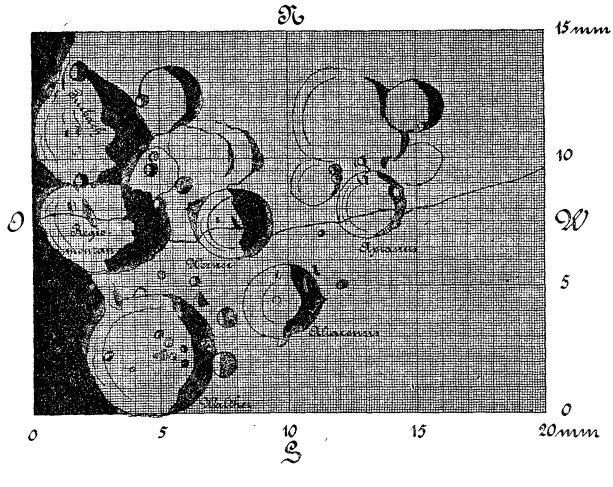



Fig. 109.



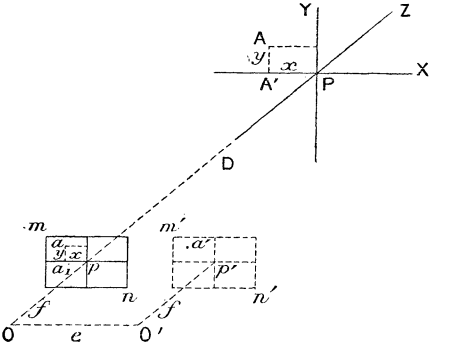

Nous citerons, comme l'un des premiers et des plus remarquables résultats obtenus par ce savant, l'application qu'il a faite de son stéréo-

comparateur au tracé des courbes d'égale distance sur la surface de la Lune.

Ce tracé, représenté figure 108 et figure 109, a été déduit de deux images de notre satellite, à peu près à la même phase, prises par MM. Lœvy et Puiseux, à deux époques où les aspects étaient très sensiblement modifiés par le phénomène de la libration. Sur la figure 108 les courbes d'égale distance sont échelonnées d'abord de $20^{km}$ en $20^{km}$, puis de $100^{km}$ en $100^{km}$ jusqu'à $1000^{km}$ et plus du point le plus rapproché de l'observateur. On y peut constater les ondulations de ces courbes, dues aux accidents de la surface lunaire. Sur la figure 109, considérablement amplifiée, d'une faible partie de cette surface, on suit celles de la courbe de $200^{km}$, et l'on se rend compte de la manière dont elles sont produites à la rencontre des bourrelets en saillie des volcans.

*Suite au* § XLVI. — Non content d'avoir donné la solution générale du problème de la photogrammétrie à l'aide du stéréo comparateur, le Dr Pulfrich a systématisé la recherche des *courbes de niveau* dans le

Fig. 110.




but d'abréger les opérations numériques et graphiques (1). Nous allons indiquer succinctement cette méthode en admettant que les deux images sont prises dans le même plan vertical passant par les deux stations (condition essentielle) et aussi que les deux stations sont situées à la même hauteur (pour simplifier l'explication). Les nota-

(1) *Ueber die Konstruction von Hohenkurven und Plänen auf Grund stereo-photogrammetrischer Messungen mit Hülfe des Stereo-komparator* von Dr C. Pulfrich, in Iena. Sonder-Abdruck aus der *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, 1903, Februar.

tions de la figure 110, rapprochées de celles de la figure 91 *bis*, nous dispenseront de les définir.

Nous rappellerons qu'en général on commence par placer les plaques *mn*, *m'n'* des deux images sous les microscopes du stéréo comparateur réglés pour l'intervalle des yeux de l'observateur, en amenant les points principaux *p* et *p'* sous les croisées des fils de ces microscopes, puis qu'après avoir lu les index, on peut déplacer parallèlement à la ligne des yeux l'une des plaques d'une quantité

$$\varepsilon = \frac{e}{D} f$$

lue sur le tambour *m* ou sur l'échelle *a* (*fig.* 100) et telle que tous les points des images pour lesquels on rétablira la coïncidence par le déplacement simultané des deux plaques ayant la même parallaxe se trouveront dans le même plan vertical à la distance D.

La méthode du Dr Pulfrich consiste, en définitive, à combiner deux séries de plans, les uns verticaux régulièrement espacés à partir d'une première valeur de D, et les autres horizontaux à une équidistance convenable à l'échelle adoptée, en cherchant systématiquement les intersections.

Sur la figure 110, on voit le système des coordonnées auquel sont rapportés les points d'un premier plan vertical à la distance D. L'axe optique de l'objectif y est pris pour axe des Z, et les axes des X et des Y sont des parallèles à la ligne d'horizon, et à la ligne principale de l'épreuve *mn*. Si donc *a* et *a'* sont les images du point A situé dans le plan considéré, en mesurant micrométriquement $pa_1 = x$ et $aa_1 = y$, on en conclurait :

$$X = x \frac{z}{f}, \tag{1}$$

et

$$Y = y \frac{z}{f}; \tag{2}$$

X servant à tracer la direction du point A projeté en A' sur le plan (*fig.* 111), et Y étant la différence de niveau du point considéré et du plan de l'horizon de l'épreuve *mn*. La hauteur de l'axe optique au-dessus du sol et la cote de la station (son altitude) étant connues, celle de la ligne d'horizon de l'épreuve *mn*, que nous appellerons *h*, et celle du point considéré en résulteront.

Si *md* (*d* étant l'équidistance adoptée de 20m, 50m, etc.) est le multiple supérieur le plus voisin de la cote de la ligne d'horizon *h*, on voit facilement comment l'on obtiendra les quantités *y*, dont il faudra rele-

ver ou abaisser simultanément les deux plaques par rapport à la ligne des repères des microscopes pour obtenir les points qui sont à la hauteur Y sur chaque plan vertical, selon la distance Z = D.

La relation (2) donne, en effet,

$$y = Y \frac{f}{z},$$

mais

$$Y = md - h + nd,$$

$n$ pouvant prendre successivement les valeurs

$$0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \text{ etc.},$$

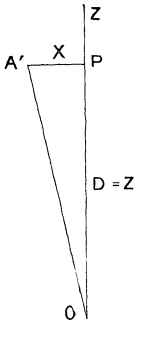
donc

$$y = \frac{md - h + nd}{z} f$$

sera la formule à employer pour les différentes distances Z des plans verticaux.

Nous pensons en avoir assez dit pour mettre le lecteur qui disposerait d'un stéréo comparateur à même de se rendre compte de la sim-

Fig. 111.




plicité de la méthode; mais pour exécuter les opérations dans l'ordre le plus convenable, faire à propos les lectures sur l'instrument, en un mot pour la marche à suivre dans le but d'économiser le temps, nous le renvoyons à la Note originale dont nous avons donné le titre au bas de la page 276.

*A propos des vues stéréoscopiques des objets célestes.* — Si nous avons dû renoncer à traiter la question générale des applications de la photographie à l'astronomie, l'emploi du stéréoscope, qui nous a

permis d'étudier les effets du relief sur des objets terrestres de plus en plus éloignés, nous offre une occasion, trop naturelle pour la laisser échapper, de signaler au moins quelques-uns de ceux que l'on est parvenu à révéler en se servant du même appareil pour examiner des images d'objets célestes prises dans des conditions convenables.

Toutefois une remarque préliminaire s'impose, car, si pour les objets terrestres et même pour les nuages qui se forment dans notre atmosphère, toujours relativement rapprochés de l'observateur, on n'a besoin que de très petites bases pour obtenir des résultats intéressants ou même pour effectuer des mesures suffisamment exactes, il est évident qu'il en doit être autrement pour les objets célestes qui sont tellement éloignés qu'au premier abord on pourrait les considérer comme étant hors de notre portée.

A commencer par notre plus proche voisine, la Lune, dont la distance à la Terre est de 380000$^{km}$ *seulement,* une base de plusieurs centaines de mètres, de kilomètres ou même de centaines de kilomètres prise à la surface de la Terre serait insuffisante, car l'aspect de l'astre ne changerait pas sensiblement. Il a donc fallu prendre un détour, attendre que, pour une même phase, le phénomène de la libration produisît spontanément le changement d'aspect nécessaire et se servir de deux images prises à des époques différentes.

C'est ainsi qu'avait déjà opéré Warren de la Rue, il y a plus de 40 ans, pour obtenir l'effet stéréoscopique cherché, c'est-à-dire la sensation de la forme globulaire de notre satellite et du modelé de sa surface si accidentée. Récemment encore, le Dr Pulfrich, en rapprochant sous le stéréoscope les deux vues de phases analogues de la Lune déjà citées, obtenues à l'Observatoire de Paris par MM. Lœwy et Puiseux, et convenablement réduites, a non seulement répété l'expérience de Warren de la Rue, mais effectué, comme nous l'avons vu, des mesures très précises à la surface de la Lune au moyen de son stéréo-comparateur.

Les données de cette intéressante observation sont les suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| Dates des épreuves..... | 7 février 1900 | 20 avril 1896 |
| Temps moyen de Paris.. | 6$^h$ 15$^m$ 30$^s$ | 8$^h$ 18$^m$ 3$^s$ |
| Temps de pose ..... | 0$^s$,7 | 1$^s$ |

L'effet total de la libration, dont l'amplitude était dans ce cas de 14°, est tel que, comme on le voit aisément, c'est comme si l'observateur s'était déplacé de 95000$^{km}$, c'est-à-dire du quart de la distance qui nous sépare de la Lune.

Cette parallaxe de 14° produit même des effets de relief exagérés, mais elle a contribué à rendre plus précises les mesures auxquelles nous avons fait allusion.

Une autre expérience non moins attachante, celle qui a permis de faire voir Saturne en avant du *tableau* indéfiniment éloigné de la sphère céleste, a été faite avec deux épreuves obtenues à Heidelberg par le professeur Wolf, le 9 et le 10 juin 1899, chacune un peu avant minuit. Dans ce cas, le temps de pose a dû être prolongé pour la première pendant 1 heure et demie et, pour la seconde, pendant 2 heures.

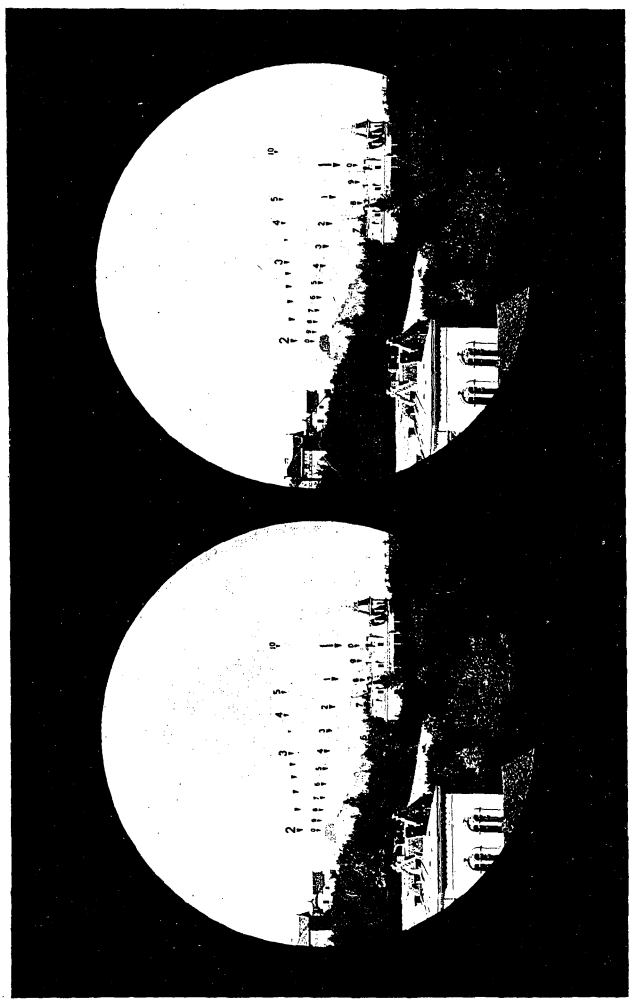
Ces durées, nécessaires pour l'obtention des images des étoiles, ont fait que l'éclat de la planète a effacé celui de l'anneau qui n'est pas visible sur les épreuves sur lesquelles on découvre, au contraire, deux des satellites qui, comme Saturne, sous le stéréoscope, semblent suspendus dans l'espace en avant du fond occupé par les étoiles.

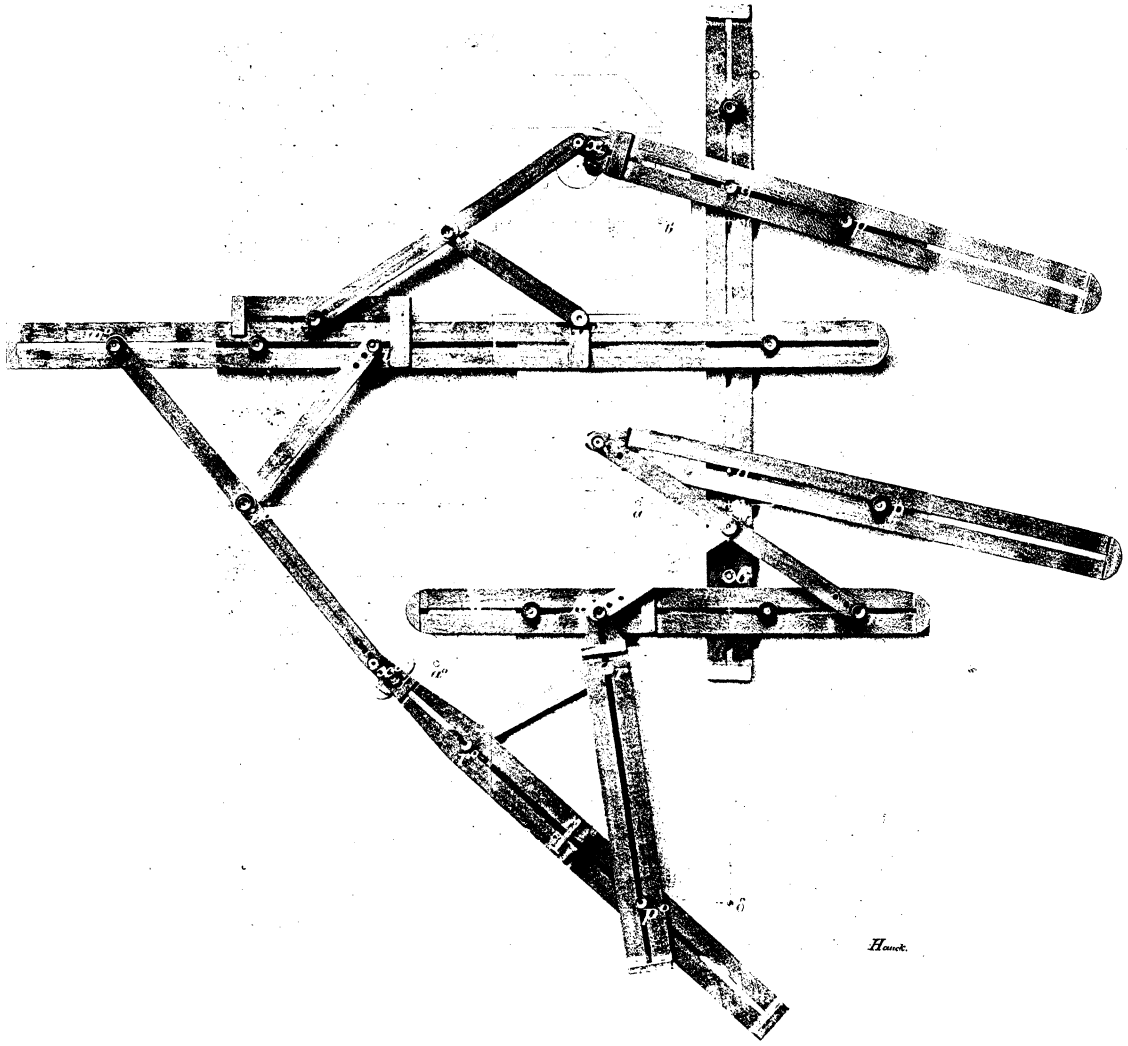
La grandeur de la base résulte ici du déplacement de la Terre dans son orbite, plus considérable que celui de Saturne dans la sienne. L'espace parcouru par la Terre en 24 heures est, en effet, de $2\,500\,000^{km}$ et celui que parcourt Saturne dans le même temps, dans le même sens et à peu près parallèlement, puisqu'il est en opposition, n'est que de $800\,000^{km}$. D'où une différence de $1\,700\,000^{km}$ pour la grandeur de la base. Or, comme la distance de Saturne à la Terre est alors de 1260 millions de kilomètres (différence des rayons des deux orbites), la parallaxe angulaire est de $\frac{1,70}{1260} = \frac{1}{74,1}$ ou $4'',6$, bien plus faible que celle du cas précédent, mais encore très sensible comparée à celle des étoiles qui est tout à fait inappréciable. Le spectacle qui en résulte, à coup sûr inattendu, produit toujours beaucoup d'impression quand on le voit pour la première fois. Il peut servir d'ailleurs à donner une idée nette de l'effet d'une parallaxe relativement faible et c'était une raison pour que nous signalions cette expérience désormais célèbre.

*Page* 268; après le paragraphe où il est question du stéréoplanigraphe du Dr Pulfrich.

Nous faisons nous-même construire un stéréoplanigraphe en nous servant, au lieu du stéréoscope de Wheatstone indiqué par M. E. Deville et adopté par le Dr Pulfrich, d'un stéréoscope ordinaire de Brewster. Sur chacun des objectifs de cet appareil si simple nous avons placé une chambre claire de Govi; les diapositives, convenablement disposées sur le fond, sont éclairées à l'aide d'un miroir plan incliné réglable qui reçoit la lumière du jour ou celle d'une lampe. L'effet obtenu est tout à fait satisfaisant. Le traceur, guidé par un pantographe, est en ce moment à l'étude dans les ateliers de M. Pellin (mars 1903).

FIN.

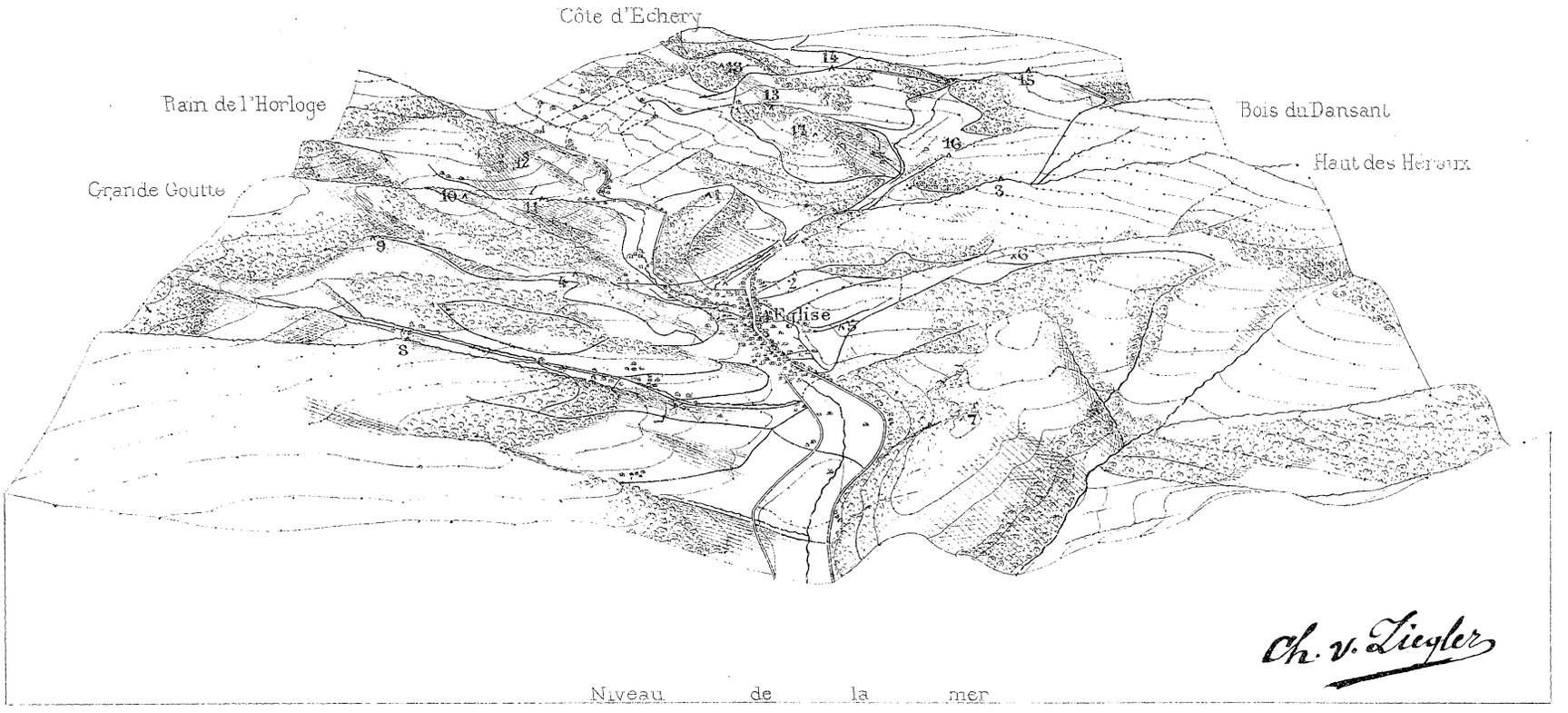





PERSPECTOGRAPHE DE GUIDO HAUCK

# VUE DE Ste-MARIE-AUX-MINES ET DES ENVIRONS

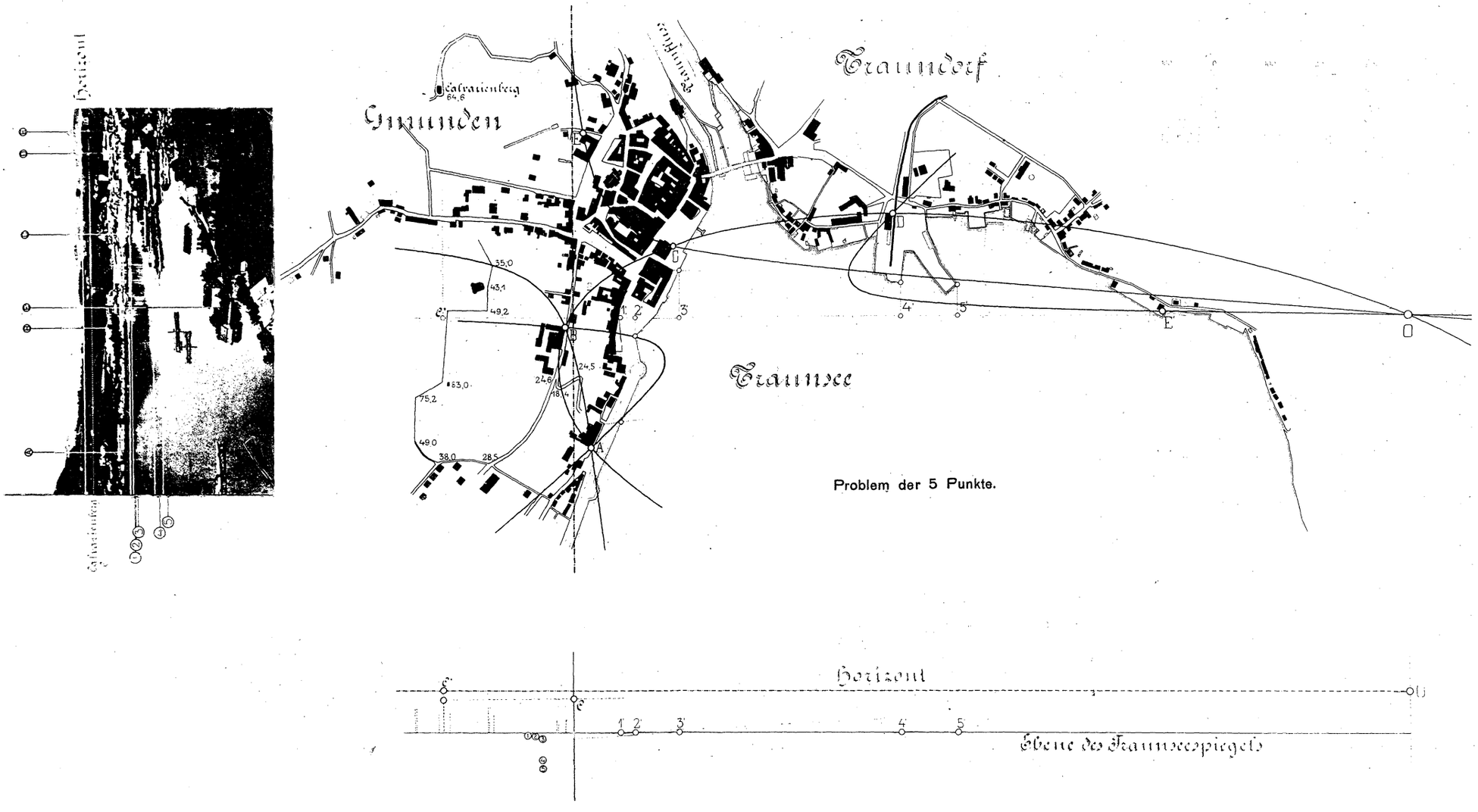
dessinée à l'aide du perspectographe de M. Ch. von ZIEGLER, d'après le plan nivelé de M. le Capitaine JAVARY




Le point de vue est pris à 9 kilomètres à l'Est de l'Église et à 3.000m au-dessus du niveau de la mer.

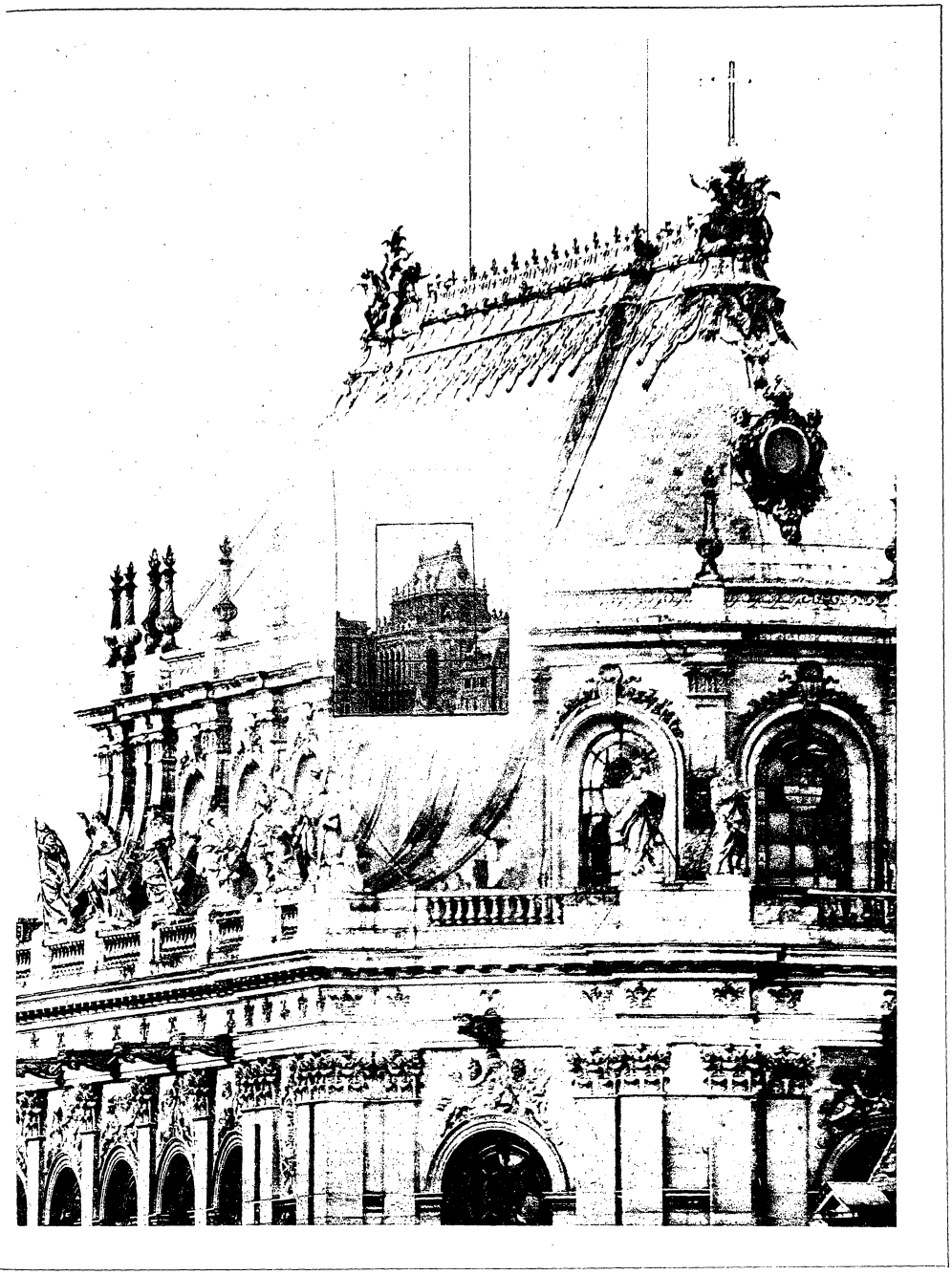
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Détermination de la Station. — Mesure des cotes de hauteur, d'après un plan et une photographie pris dans le commerce.



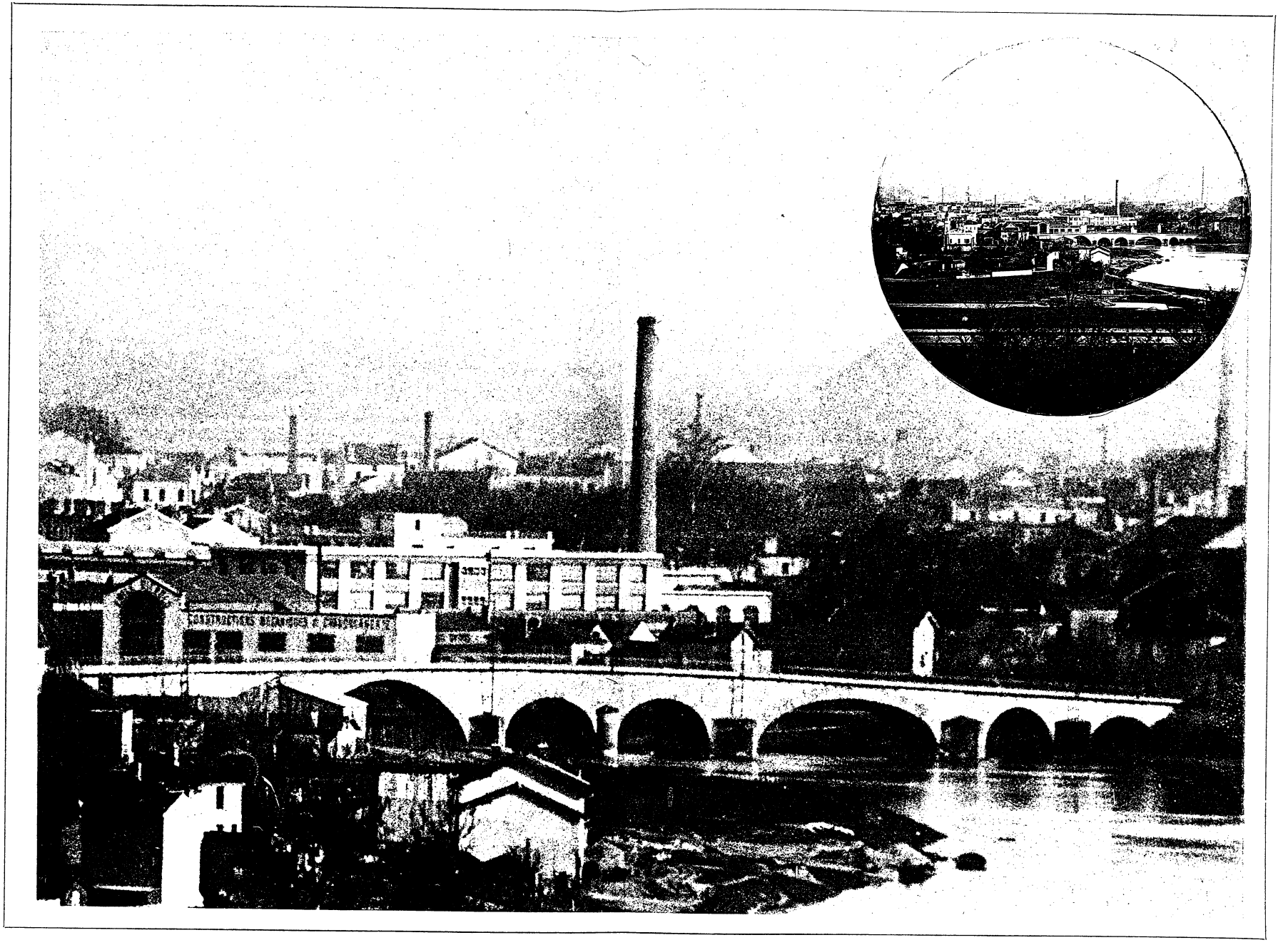

PORT DE GMUNDEN, sur le lac de la Traun, dans le SALZKAMMERGUT (AUTRICHE).

Extrait de : *Die Photographie im Dienste des Ingenieurs, ein Lehrbuch der Photogrammetrie* von Dipl. Ing. FRIEDRICH STEINER. Wien, R. Lechner, 1893.



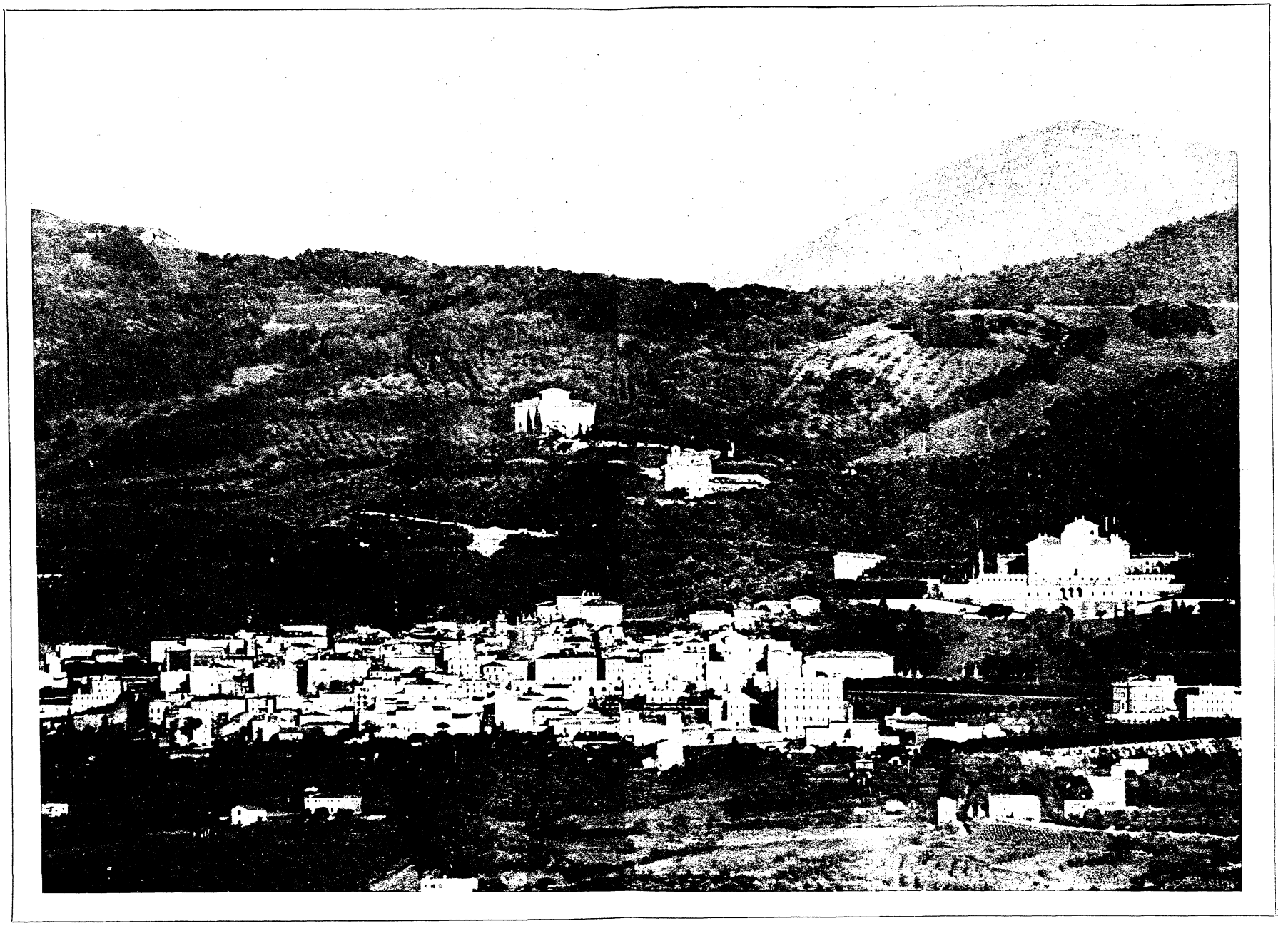
VUE DU CHATEAU DE VERSAILLES

PRISE EN 10" A LA DISTANCE DE 450 m - GROSSISSEMENT 10 FOIS EN DIAMÈTRE 100 FOIS EN SURFACE

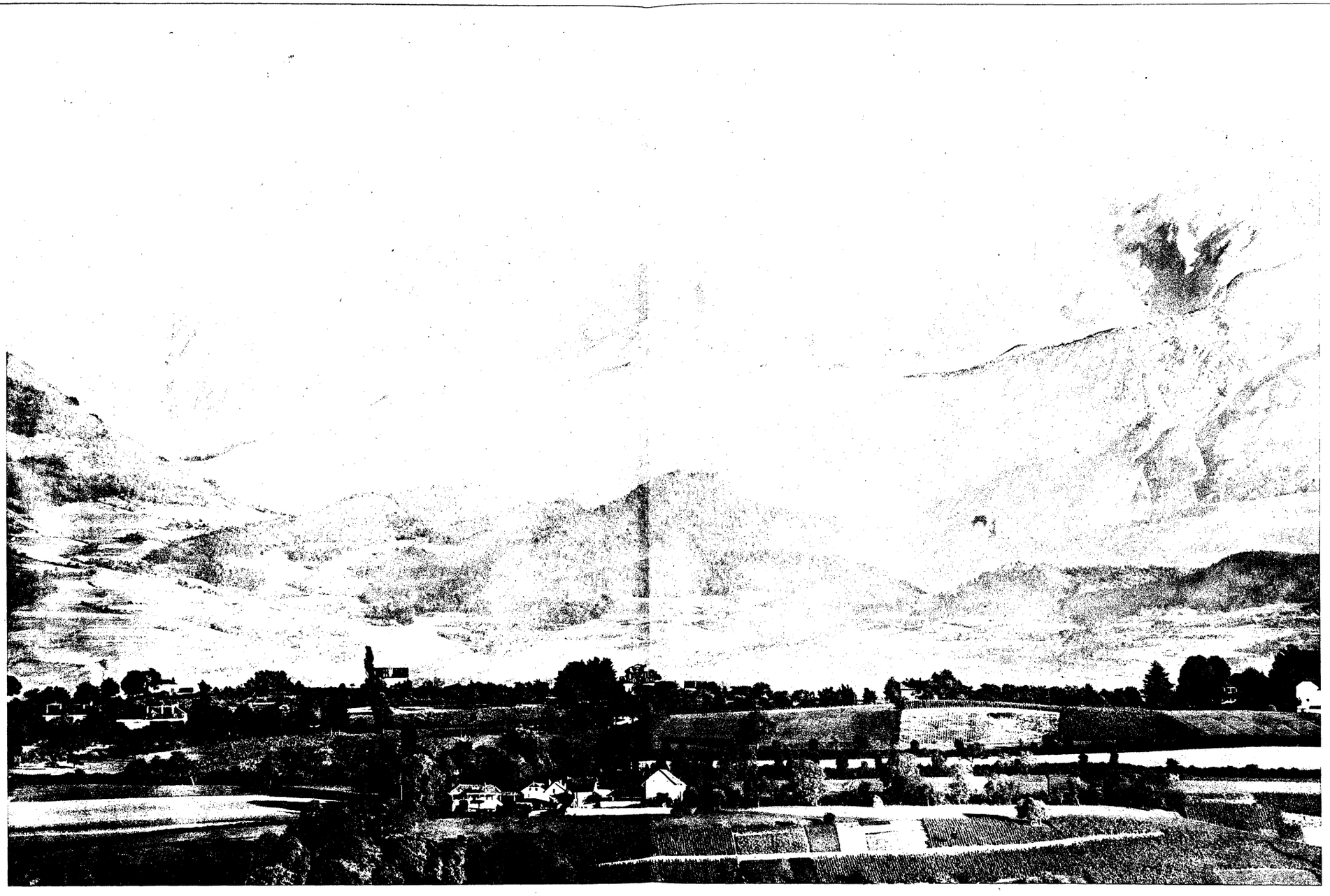


Vue de Malzeville sur la Meurthe

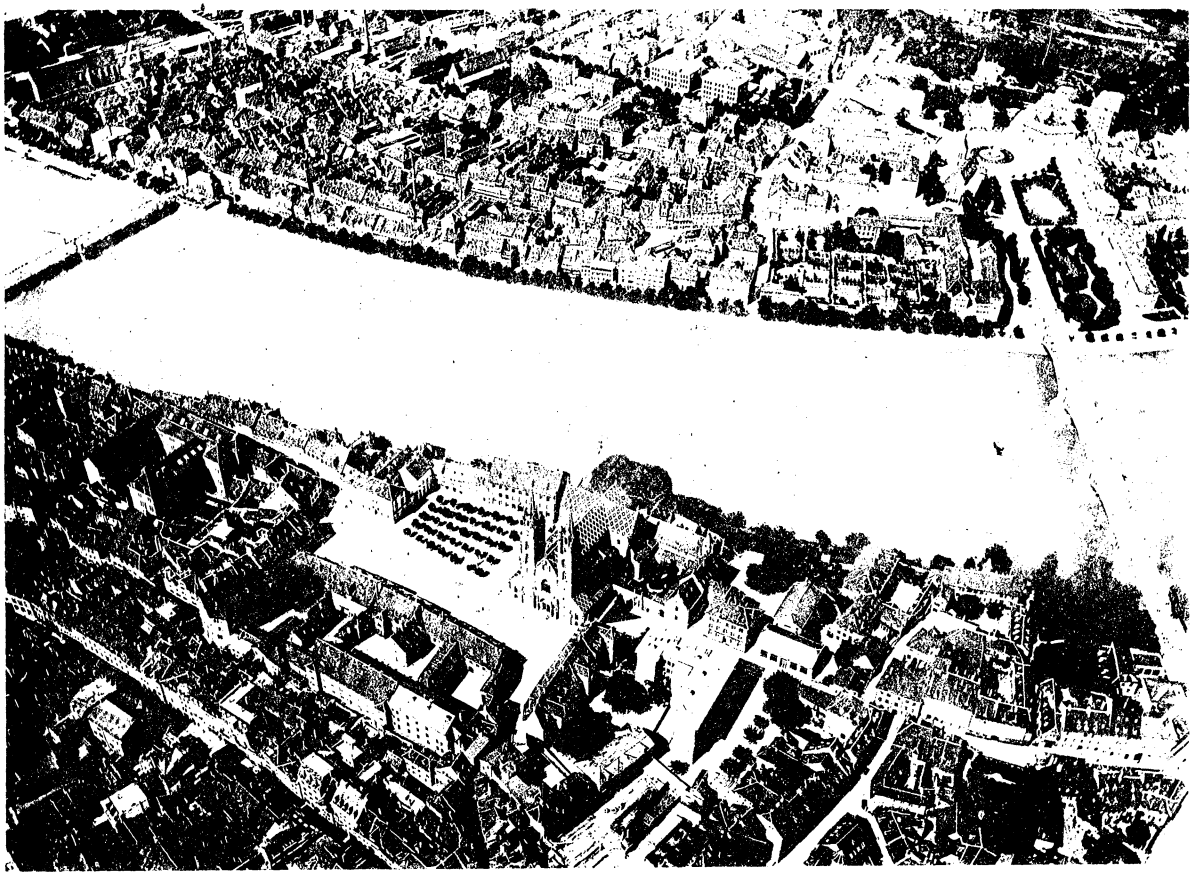
prise de Champigneulles, l'une avec le téléobjectif directement, et l'autre agrandie d'après la première



Vue de Frascati, prise du Mont Mario près de Rome a 22 kilomètres



VUE DU MONT BLANC PRISE DE SAINT-CERGUES A 90 KILOMÈTRES DU SOMMET PAR Mr FRÉDÉRIC BOISSONAS, DE GENÈVE

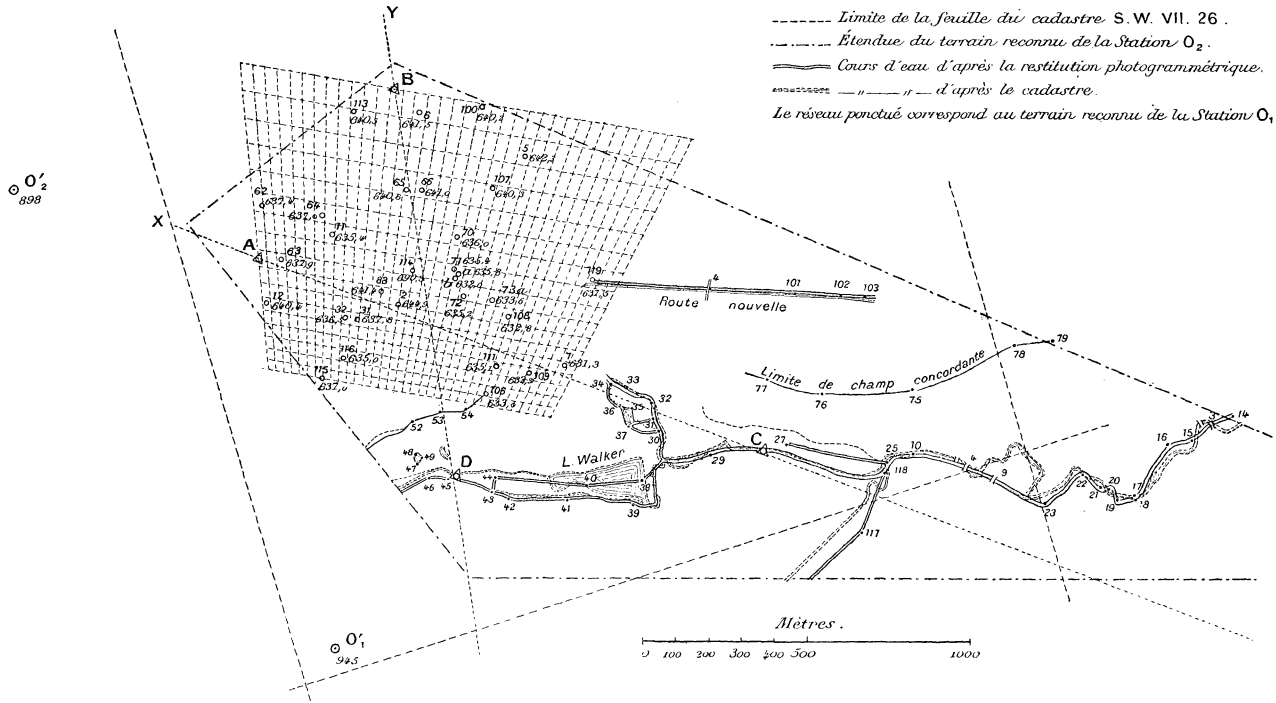


VUE DE BÂLE PRISE EN BALLON A 400M AU DESSUS DU RHIN, PAR M. SUTER

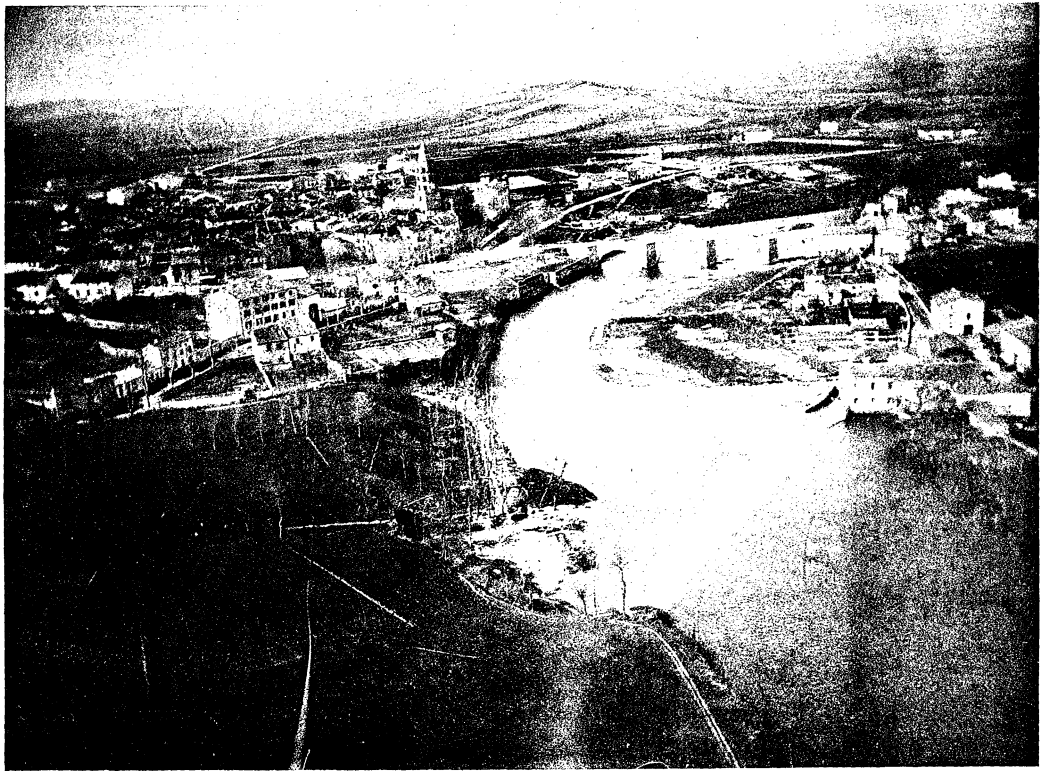
S. FINSTERWALDER.

# RESTITUTION PHOTOGRAMMÉTRIQUE

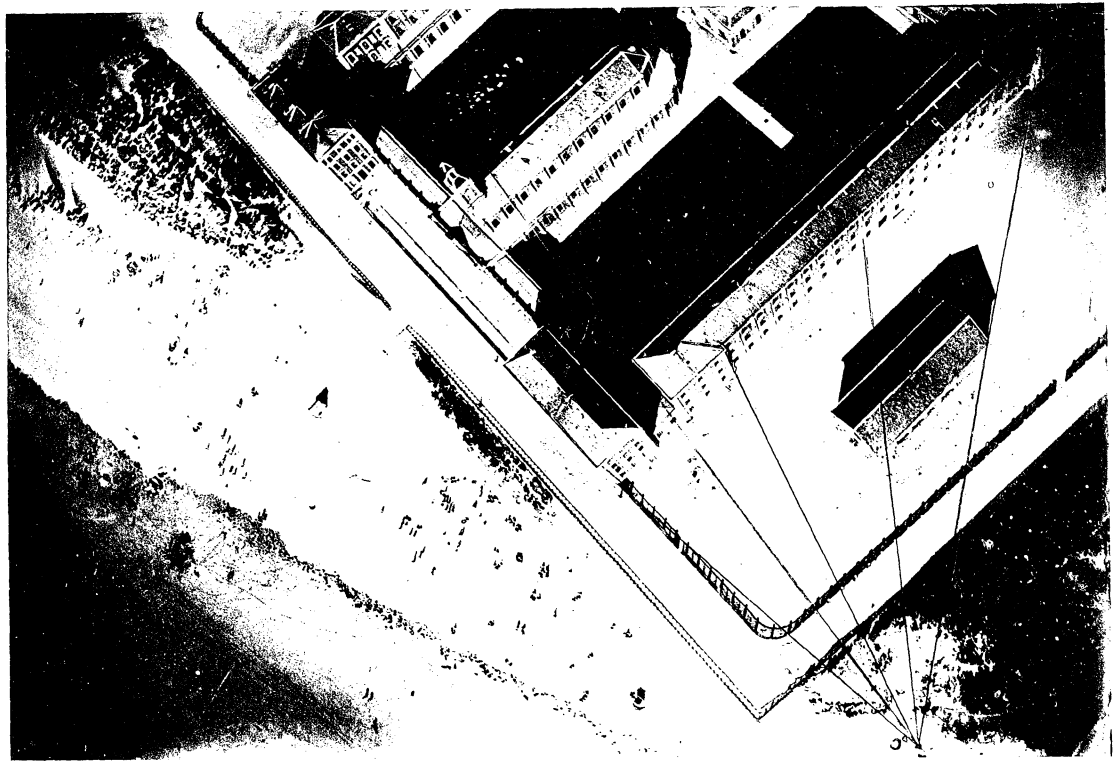
d'après des vues prises en ballon.



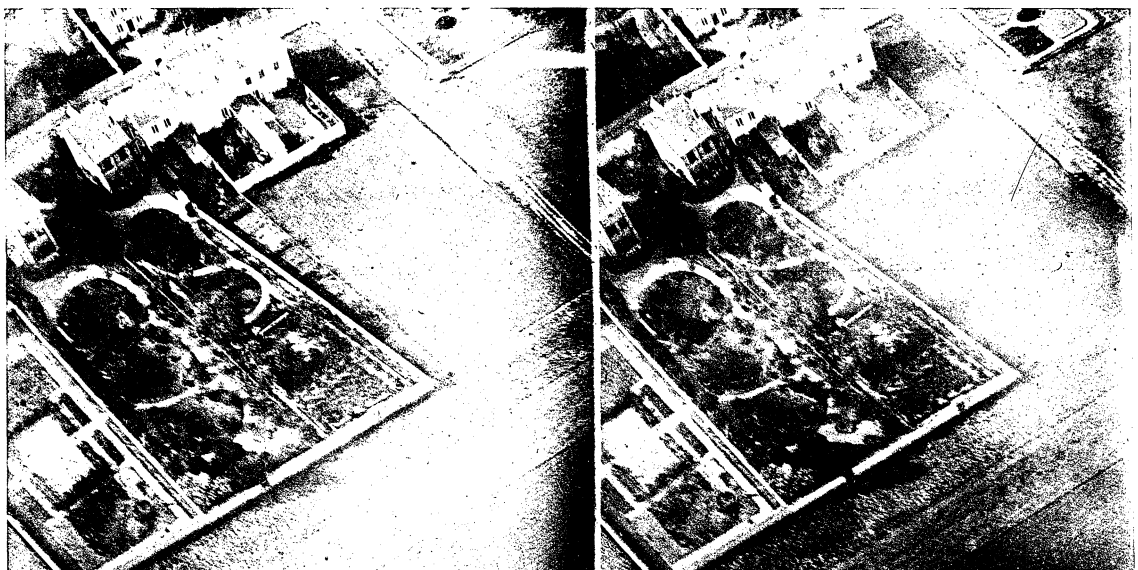

*Comptes rendus de la classe Mathématique-Physique de l'Académie des Sciences de Munich,* année 1900.



VUE DE LABRUGUIÈRE (TARN) PRISE A L'AIDE D'UN CERF-VOLANT
PAR M. ARTHUR BATUT



VUE DE BERCK-SUR-MER PRISE A L'AIDE D'UN CERF-VOLANT, PAR Mr WENZ



VUES STÉRÉOSCOPIQUES DE JONCHERY-S-VESLE, PRISES A L'AIDE D'UN CERF-VOLANT PAR Mr WENZ

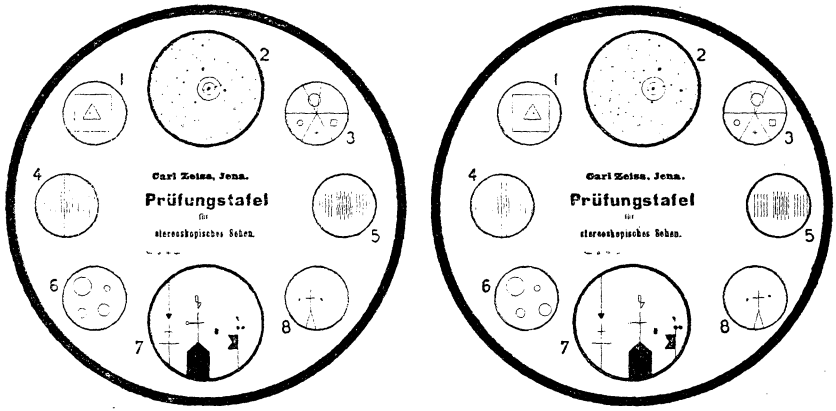
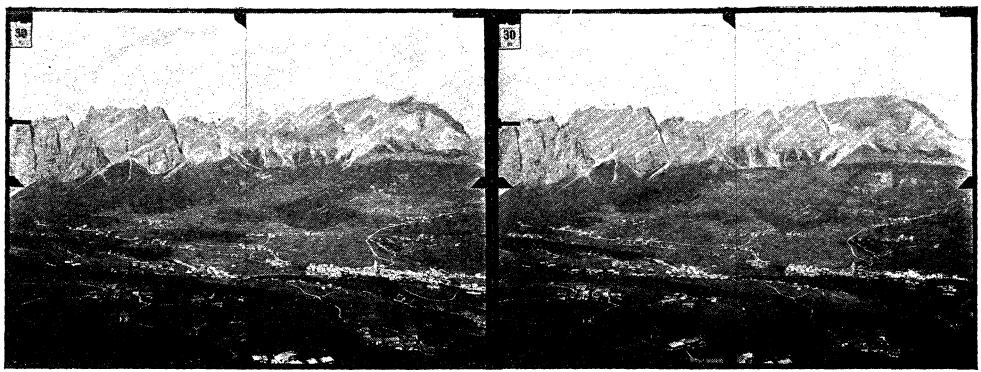
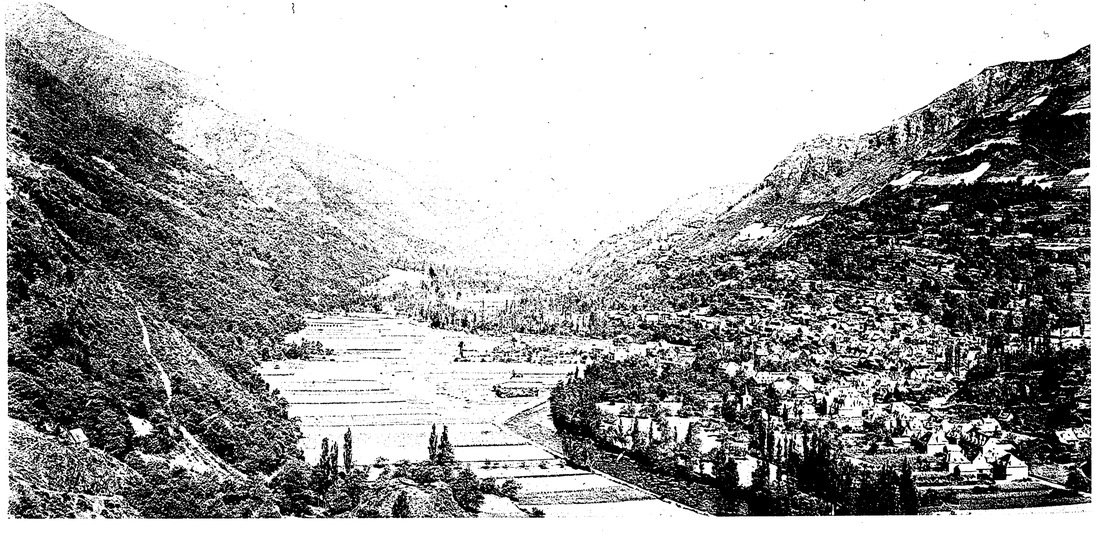


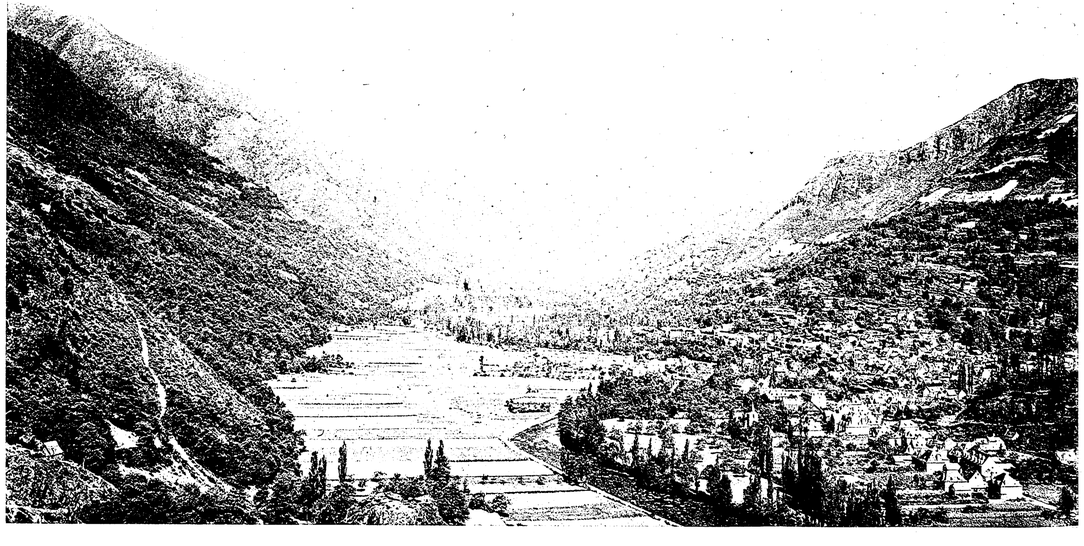

Tableau d'épreuve pour la vision stéréoscopique.




Vues stéréoscopiques prises dans les Alpes dolomitiques par le Colonel Baron von Hübl.

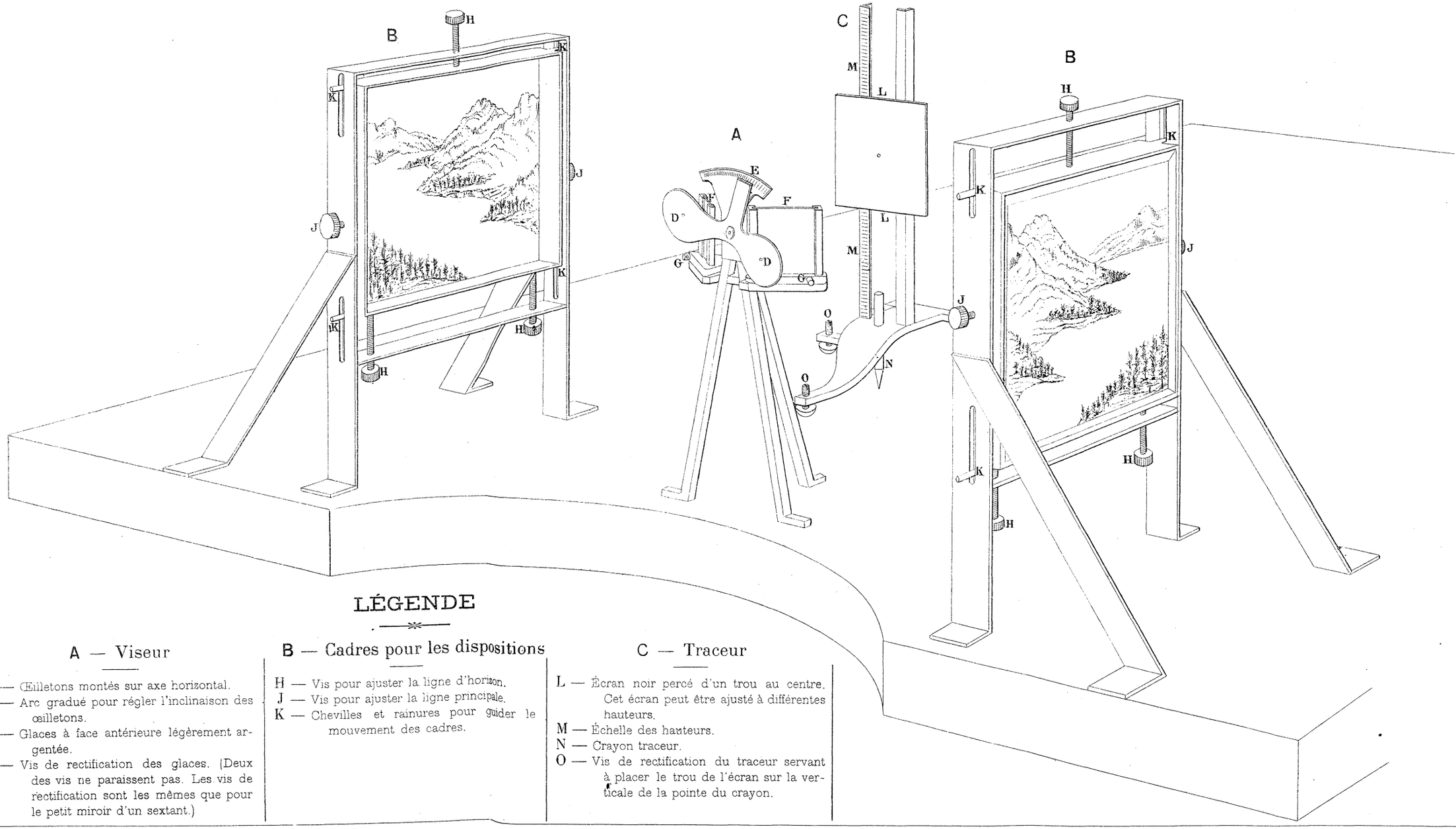
Distance des stations $73^{m},80$. Distance focale de l'objectif $241^{mm},2$. Échelle de réduction $\frac{1}{3,5}$.





VUES STÉRÉOSCOPIQUES DE LA VALLÉE DE FOS - CLICHÉS DE M. L. CAZES

# APPAREIL STEREOSCOPIQUE POUR LA CONSTRUCTION DE PLANS TOPOGRAPHIQUES




## LÉGENDE

### A — Viseur

D — Œilletons montés sur axe horizontal.
E — Arc gradué pour régler l'inclinaison des œilletons.
F — Glaces à face antérieure légèrement argentée.
G — Vis de rectification des glaces. (Deux des vis ne paraissent pas. Les vis de rectification sont les mêmes que pour le petit miroir d'un sextant.)

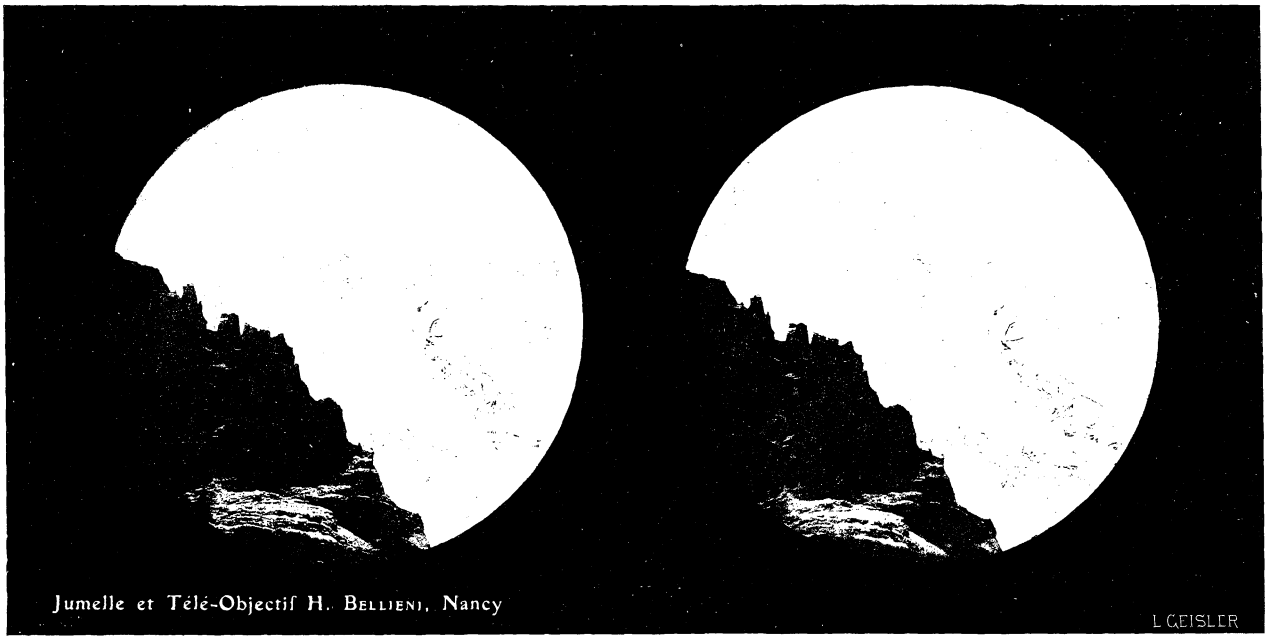
### B — Cadres pour les dispositions

H — Vis pour ajuster la ligne d'horizon.
J — Vis pour ajuster la ligne principale.
K — Chevilles et rainures pour guider le mouvement des cadres.

### C — Traceur

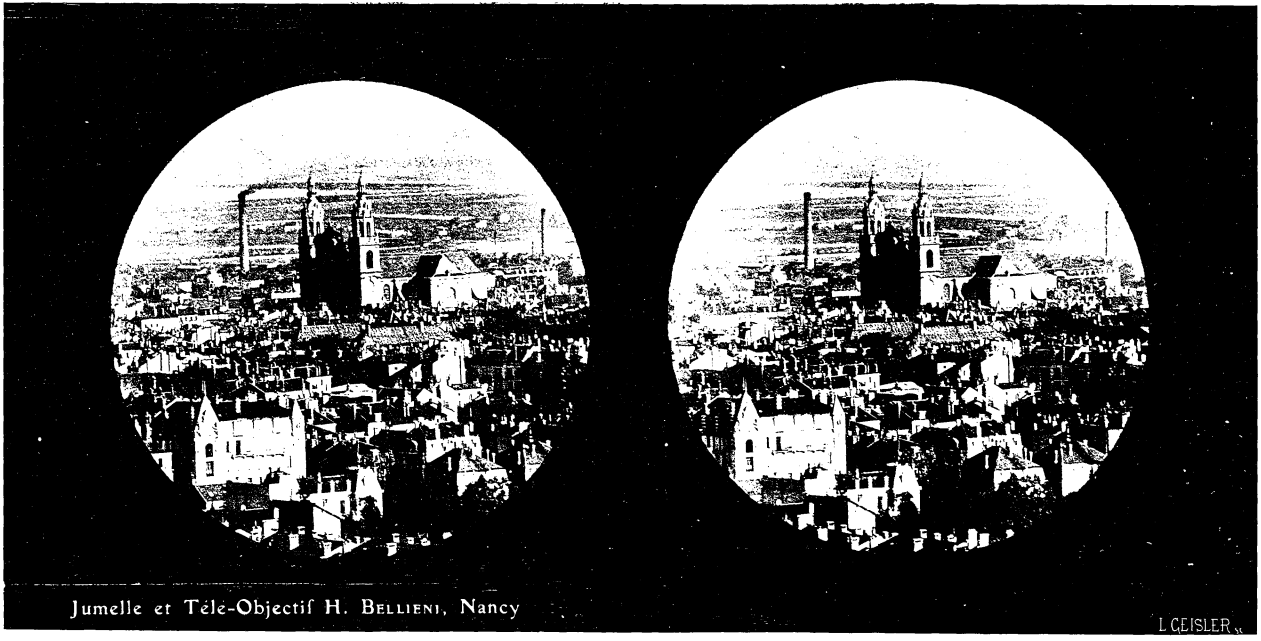
L — Écran noir percé d'un trou au centre. Cet écran peut être ajusté à différentes hauteurs.
M — Échelle des hauteurs.
N — Crayon traceur.
O — Vis de rectification du traceur servant à placer le trou de l'écran sur la verticale de la pointe du crayon.

44891
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris




Vues télé-stéréoscopiques des sommets de la Jungfrau, prises de la Scheidegg.

Intervalle des stations : 55 mètres. — Distance de l'appareil au premier sommet : 6,500 mètres.




Vues télé-stéréoscopiques de la ville de Nancy.

Intervalle des stations : 10 mètres. — Distance de l'appareil à la Cathédrale : 2,500 mètres.

# TABLE DES MATIÈRES

DE LA SECONDE PARTIE DU TOME SECOND.

## CHAPITRE IV.

**Développement et progrès de la Métrophotographie à l'Étranger et en France.**


Pages

*Avertissement*..... 1

COUP D'ŒIL RÉTROSPECTIF SUR L'HISTOIRE DE LA MÉTROPHOTOGRAPHIE.

I. — *En Allemagne*..... 7

II. — *En Italie*..... 10

III. — *En Autriche-Hongrie*..... 11

IV. — *Aux États-Unis et au Canada*..... 13

V. — *En Suisse*..... 16

VI. — *En Russie*..... 18

VII. — *En Angleterre*..... 20

VIII. — *En Espagne*..... 23

IX. — *En France*. — Le Dr Gustave LE BON. — Archéologie... 25

X. — » Le commandant V. LEGROS. — Explorateurs. 26

XI. — » M. Édouard MONET. — Règles hypsométriques..... 27

XII. — » MM. J. et H. VALLOT. — Carte du mont Blanc..... 29

XIII. — *Sur les véritables causes du temps d'arrêt de la Métrophotographie en France*..... 33

XIV. — *A propos des difficultés qui ont peut-être contribué à entraver les progrès de la Métrophotographie en France*..... 35

Pages.

XV. — *Vues stéréoscopiques destinées à faciliter l'étude des formes du terrain* ..... 36

XVI. — *Quelques autres renseignements recueillis sur les travaux de Métrophotographie entrepris ou projetés en divers pays* ..... 38

**Méthodes et Instruments de dessin. — Innovations principales proposées.**

I. — *Sur les opérations communes aux différentes méthodes et sur celles qui sont propres à la méthode photographique* ..... 42

De la base de la triangulation ..... 42

II. — *Opérations de détail propres à la Métrophotographie.* 45

Planimétrie et nivellement ..... 45

III. — *Problèmes et solutions suggérées par les propriétés de la perspective* ..... 50

Vérification des points identifiés sur deux perspectives ..... 50

Théorème du Dr G. Hauck ..... 51

IV. — *Détermination directe des cotes de nivellement par des vues photographiques en pays de montagnes* ..... 57

Méthode des intersections verticales ..... 61

V. — *Instruments destinés à faciliter les constructions graphiques* ..... 63

Trirègle de Nicholson ou règle de convergence ..... 63

VI. — *Instruments, etc.* (suite) ..... 68

Bureau ou tablette photographique de Deville ..... 68

VII. — *Instruments de perspective destinés à la transformation des figures* ..... 70

Perspectographes ..... 70

Appareil de M. le Dr G. Hauck ..... 72

VIII. — *Instruments, etc.* (suite) ..... 77

Perspectographe de M. Hermann Ritter ..... 77

IX. — *Instruments. etc.* (suite) ..... 81

Perspecteur de M. Ch. von Ziégler ..... 81

X. — *Instruments, etc.* (suite) ..... 86

Perspectographe optique ..... 86

XI. — *Instruments de perspective destinés à prendre des mesures sur les images dessinées ou photographiées* .. 89

Perspectomètre angulaire ..... 89

Perspectomètre linéaire ..... 92

Pages.

XII. — *Instruments destinés à simplifier le calcul des différences de niveau*..... 95
Règle à calcul..... 95
Compas de proportion..... 96
Échelle angulaire..... 97
Règles hypsométriques..... 98

**Du parti que l'on peut tirer des photographies obtenues dans des circontances exceptionnelles ou même de celles que l'on trouve dans le commerce.**

XIII. — *Utilisation de vues recueillies accidentellement d'une localité dont on possède un plan plus ou moins détaillé*..... 101
Vues trouvées dans le commerce..... 101
XIV. — *Cas où l'opérateur peut se rendre sur les lieux*..... 102
XV. — *Cas où l'opérateur ne peut pas se rendre sur les lieux. — Problème des cinq points*..... 104
Application du procédé à un exemple..... 111
XVI — *Problème des cinq points* (suite)..... 113
Solution simplifiée dans un cas particulier..... 113
XVII. — *Problème des cinq points. — Note complémentaire*.... 116

**Reconnaissances photographiques faites de stations plus ou moins éloignées. — Téléphotographie.**

XVIII. — Invention du téléobjectif..... 120
XIX. — *Téléphotographie* (suite)..... 125
Téléobjectifs à deux lentilles convergentes..... 125
XX. — *Téléphotographie* (suite)..... 129
Téléobjectifs composés d'une lentille convergente et d'une lentille divergente..... 129
XXI. — *Téléphotographie* (suite)..... 132
Exemples et résultats à l'appui des théories précédentes..... 132
Téléobjectif utilisant une chambre obscure ordinaire. 137
Agrandissement éventuel des images..... 141
XXII. — *Téléphotographie* (suite)..... 143
Téléobjectif à long foyer exceptionnel..... 143
XXIII. — *Conditions diverses dans lesquelles sont obtenues et utilisées les images dessinées ou photographiées*..... 145
Images dessinées à l'œil nu, à la chambre claire ou au télémétrographe..... 145
Images dans les appareils ordinaires..... 146
Images dans les téléobjectifs..... 146

ADDITION AUX PARAGRAPHES RELATIFS A LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE.

Pages.
NOTE *sur la puissance de définition des objectifs*..... 149

**La Photographie en ballon.**

XXIV. — Reconnaissances et restitutions planimétriques. — Premiers essais déjà signalés..... 157
Photographie sur tableaux horizontaux..... 158
Chambre noire des ballons-sondes de M. Cailletet.... 159
XXV. — *La Photographie en ballon en pays de plaines*..... 165
Modifications proposées à la construction de l'appareil précédent..... 165
XXVI. — *La Photographie en ballon* (suite)..... 167
Épreuves sur tableaux verticaux..... 167
Épreuves sur tableaux légèrement inclinés..... 167
XXVII. — *Photographie en ballon* (suite)..... 170
Épreuves sur tableaux assez fortement inclinés..... 170
XXVIII. — *Photographie en ballon* (suite)..... 172
Exemple de construction graphique..... 172
Éléments connus ou tirés de l'épreuve..... 173
XXIX. — *Photographie en ballon en pays accidenté*..... 177
Circonstances exceptionnelles qui justifient cette utilisation de la Photographie, avec exemple..... 177
XXX. — *Photographie en ballon* (suite)..... 183
Hauteur du ballon et inclinaison de l'axe optique de l'objectif..... 183
Appareil destiné à mesurer l'inclinaison de l'axe optique..... 184
Appareil simplifié..... 186
XXXI. — *Photographie en ballon* (suite)..... 187
Épreuves obtenues à différentes hauteurs..... 187
Des objectifs à long foyer employés en ballon..... 188
XXXII. — *Photographie en ballon. — Objectifs à long foyer* (suite). 191
Degré de précision..... 191

**Photographie par cerf-volant.**

XXXIII. — Premiers essais. — Avantages que présente le cerf-volant... 194
Forme et dispositions principales des cerfs-volants portant une chambre noire..... 197
XXXIV. — *Photographie par cerf-volant* (suite)..... 201
Difficultés d'exécution. — Desiderata déjà atteints en partie..... 201
Sur quelques-uns des résultats déjà obtenus..... 205
Ballons cerfs-volants..... 207

**La Stéréoscopie appliquée à la construction des plans.**

Pages.

CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES ..... 209

XXXV. — *Principe du stéréoscope* ..... 210
Stéréoscope à miroirs ..... 210
Stéréoscope à réfraction ..... 211

XXXVI. — *Propriétés de la projection stéréoscopique* ..... 212
Images dessinées et images photographiées ..... 212

XXXVII. — *Effets stéréoscopiques intentionnellement exagérés* ..... 217
Insuffisance de la distance des yeux comme base géométrique ..... 217

XXXVIII. — *Téléstéréoscope, ses analogues et ses dérivés* ..... 219
Téléstéréoscope de Helmholtz ..... 219
Stéréoscope de Cazes ..... 220

XXXIX. — *Téléstéréoscope et ses dérivés* (suite) ..... 224
Télémètre stéréoscopique ..... 224
Échelle des largeurs et des hauteurs ou de front ..... 226

XL. — *Téléstéréoscope et ses dérivés* (suite) ..... 230
Degré de précision des mesures de distances stéréoscopiques ..... 230
Mesure des distances pendant la nuit ..... 233
Aptitude ou inaptitude à la vision stéréoscopique. — Tableaux d'épreuve ..... 234
Tracé des figures de ces tableaux ..... 235

XLI. — *Le stéréocomparateur* ..... 237
Objet et particularités de cet instrument ..... 237
Propriétés du stéréocomparateur ..... 238
Suggestions et tentatives antérieures ..... 240

XLII. — *Description du stéréocomparateur* ..... 241

XLIII. — *Emploi du microscope-stéréoscope* ..... 245
Ordre des opérations ..... 245
Orientation des plaques ..... 246
Examen des plaques sous divers angles de position .. 248
Degré d'exactitude de la détermination des parallaxes stéréoscopiques ..... 249

XLIV. — *Principes de la Stéréophotogrammétrie ou Métrostéréographie* ..... 250
Avantages de la Stéréophotographie ..... 250
Conditions que doivent remplir les appareils photographiques ..... 251
Disposition et mise en station de l'appareil ..... 251

XLV. — *Stéréophotogrammétrie. Détails théoriques* ..... 252
Détermination de la position d'un point dans l'espace à l'aide des mesures stéréophotogrammétriques .... 252

Pages.

XLVI. — *Stéréophotogrammétrie. Suggestions pratiques*..... 256
Construction des plans et des modèles ..... 256
Évaluation des erreurs et mesure des dimensions d'objets éloignés ..... 257

XLVII. — *Stéréophotogrammétrie ou Métrostéréoscopie. État de la question* ..... 260
Solutions diverses proposées ou à l'étude :
En France (M. CAZES)..... 260
En Allemagne (M. le Dr PULFRICH)..... 261
Au Cap de Bonne-Espérance (M. H.-G. TOURNADE). 262
Au Canada (M. E. DEVILLE) ..... 263
Appareil stéréoscopique de M. E. Deville..... 263
Mode d'opérer..... 265
Tracé du plan et des courbes de niveau..... 266
Application à l'exemple donné sur la planche XVI... 267
Téléstéréoscopie..... 268

**Notes rectificatives ou complémentaires**..... 271

## PLANCHES.

*Pl. I.* — Vues stéréoscopiques obtenues par le Dr Pulfrich.

*Pl. II.* — Perspectrographe de Guido Hauck.

*Pl. III.* — Vue de Sainte-Marie-aux-Mines et des environs, dessinée à l'aide du perspectrographe de M. Ch. von Ziégler, d'après le plan nivelé de M. le capitaine Javary.

*Pl. IV.* — Port de Gmüden, sur le lac de la Traun, dans le Salzkammergut. Détermination de la station. Mesure des cotes de hauteur, d'après un plan et une photographie pris dans le commerce.

*Pl. V.* — Vue du château de Versailles prise en 10 secondes à la distance de 450m. Grossissement 10 fois en diamètre, 100 fois en surface.

*Pl. VI.* — Vue de Malzéville, sur la Meurthe, prise de Champigneulles, l'une avec le téléobjectif directement, et l'autre agrandie d'après la première.

*Pl. VII.* — Vue de Frascati, prise du mont Mario, près de Rome, à 22km.

*Pl. VIII.* — Vue du mont Blanc, prise de Saint-Cergues, à 90km du sommet, par M. Frédéric Boissonas, de Genève.

*Pl. IX.* — Vue de Bâle prise en ballon, à 400$^{m}$ au-dessus du Rhin, par M. Suter.

*Pl. X.* — Restitution photogrammétrique d'après des vues prises en ballon, par M. S. Finsterwalder.

*Pl. XI.* — Vue de Labruguière (Tarn) prise à l'aide d'un cerf-volant, par M. Arthur Batut.

*Pl. XII.* — Vue de Berck-sur-Mer prise à l'aide d'un cerf-volant, par M. Wenz.

*Pl. XIII.* — Vues stéréoscopiques de Jonchery-sur-Vesle prises à l'aide d'un cerf-volant par M. Wenz.

*Pl. XIV.* — Tableau d'épreuve pour la vision stéréoscopique. Vues stéréoscopiques prises dans les Alpes dolomitiques par le colonel baron von Hübl.

*Pl. XV.* — Vues stéréoscopiques de la vallée de Fos. Clichés de M. L. Cazes.

*Pl. XVI.* — Appareil stéréoscopique pour la construction de plans topographiques.

*Pl. XVII.* — Vues téléstéréoscopiques des sommets de la Jungfrau, prises de Scheidegg.

*Pl. XVIII.* — Vues téléstéréoscopiques de la ville de Nancy.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES DE LA SECONDE PARTIE DU TOME SECOND.

30545. — PARIS, IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,

55, Quai des Grands-Augustins.