LE BON

LES LEVERS
PHOTOGRAPHIQUES

1-2

R. C.

LES

LEVERS PHOTOGRAPHIQUES

ET LA

PHOTOGRAPHIE EN VOYAGE.

DERNIÈRES PUBLICATIONS DU Dr GUSTAVE LE BON.

Recherches anatomiques et mathématiques sur les lois des variations du volume du crâne (Mémoire couronné par l'*Académie des Sciences* et par la *Société d'Anthropologie* de Paris). In-8.

La méthode graphique et les appareils enregistreurs, contenant la description de nouveaux instruments. 1 vol. in-8, avec 63 figures dessinées au laboratoire de l'auteur.

De Moscou aux monts Tatras. Étude sur la transformation d'une race, avec une carte et un panorama dressés par l'auteur (publié par la *Société géographique de Paris*).

Voyage au Népal, avec nombreuses illustrations, d'après les photographies et dessins de l'auteur (publié par le *Tour du Monde*).

La civilisation des Arabes, grand in-4° illustré de 366 gravures, 4 cartes et 11 planches en couleur, d'après les photographies et aquarelles de l'auteur.

Les civilisations de l'Inde, grand in-4° illustré de 350 gravures, 2 cartes et 7 planches en couleur, d'après les photographies, dessins et aquarelles de l'auteur.

Les premières civilisations de l'Orient (Égypte, Assyrie, Judée, etc.). Grand in-4° illustré de 430 gravures, 2 cartes et 9 photographies.

LES

LEVERS PHOTOGRAPHIQUES

ET LA

PHOTOGRAPHIE EN VOYAGE.

PREMIÈRE PARTIE

APPLICATION DE LA PHOTOGRAPHIE AUX LEVERS DE MONUMENTS ET A LA TOPOGRAPHIE.

NOUVELLES MÉTHODES PHOTOGRAPHIQUES DE LEVERS DES MONUMENTS.
TRANSFORMATION DES IMAGES PERSPECTIVES EN IMAGES GÉOMÉTRIQUES.
TOPOGRAPHIE ET NIVELLEMENT.
TRIANGULATION PHOTOGRAPHIQUE ET CONSTRUCTION DES CARTES.

Par le Dr GUSTAVE LE BON

Chargé par le ministère de l'Instruction publique d'une mission archéologique dans l'Inde,
Officier de la Légion d'honneur, etc.

...maires, sans tr...
...génieur, un archi...
...ra désor...

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
ÉDITEURS DE LA BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE
Quai des Grands-Augustins, 55.

1889

grap

Le bon Gustavo 1841-1931

LES
LEVERS PHOTOGRAPHIQUES
ET LA
PHOTOGRAPHIE EN VOYAGE.

PREMIÈRE PARTIE

APPLICATION DE LA PHOTOGRAPHIE AUX LEVERS DE MONUMENTS ET A LA TOPOGRAPHIE.

INTRODUCTION.

Cet Ouvrage a pour but de faire connaître des méthodes nouvelles permettant d'obtenir avec rapidité, avec précision et sans connaissances spéciales des résultats mathématiques qui n'avaient pu être obtenus jusqu'ici que par des opérations laborieuses et de longs calculs.

D'une façon mécanique et instantanée, sans presque rien changer aux appareils photographiques ordinaires, sans travail supplémentaire sur le terrain, un ingénieur, un architecte, un officier et même un simple amateur pourra désormais prendre toutes les mesures relatives à des monuments, à des travaux d'art, à des fortifications, transformer en images géométriques les images photographiques déformées par la perspective et acquérir ainsi des notions fort utiles dans une foule de circonstances, notamment pour les missions scientifiques, les explorations et les expéditions militaires.

Ces méthodes nouvelles reposent en partie sur l'enregistrement automatique par la Photographie des mesures confiées autrefois à l'observateur et sur l'application de lois mathématiques permettant de déduire des formes apparentes d'un objet vu en perspective ses formes géométriques réelles. Pour les cas où les circonstances ne permettent pas l'emploi de la Photographie, nous avons imaginé des instruments presque microscopiques permettant, sans calculs compliqués, les mêmes mensurations que l'appareil photographique. C'est ainsi, par exemple, qu'avec notre télestéréomètre, instrument dont les dimensions ne dépassent pas celles du doigt, on peut mesurer les angles avec plus de précision qu'avec un graphomètre ordinaire, et lever le plan d'une forteresse ou d'un édifice sans provoquer la moindre attention.

Ce sont les nécessités de mes voyages et des missions scientifiques dont j'ai été chargé qui m'ont conduit à imaginer les méthodes et les instruments que je fais connaître aujourd'hui. En raison de leur nouveauté, je dirai d'abord quelques mots de leur utilité et de la façon dont j'ai été conduit à les imaginer.

La Photographie a considérablement facilité, depuis vingt ans, l'étude des monuments. Aux dessins plus ou moins fantaisistes et toujours personnels des artistes, elle a substitué des reproductions exactes, et l'on peut aisément comprendre l'influence qu'elle a exercée, en comparant d'anciens dessins de monuments faits par des artistes exercés avec les gravures de ces mêmes monuments exécutées d'après des photographies (1).

(1) C'est surtout pour les monuments orientaux chargés de détails qu'il y a, entre le dessin artistique et la reproduction photographique, un véritable abime. En comparant, par exemple, les dessins de divers monuments de l'Inde, qui figurent dans l'ancien Ouvrage de Langlès, avec des photographies de ces mêmes monuments, il m'au-

Il s'en faut beaucoup pourtant que la Photographie ait fourni à l'étude des monuments toutes les applications dont elle est susceptible. Elle en est restée aux reproductions pittoresques, et, en présence de l'insuffisance des résultats qu'elle fournit souvent, bien des savants emploient encore les vieilles méthodes classiques, dans lesquelles les monuments sont remplacés par des plans géométriques, et leurs vues d'ensemble par des dissertations. C'est ainsi que les vingt-trois Volumes de l'*Archæological Survey of India*, publiés au prix de vingt ans d'efforts et de dépenses énormes par le Gouvernement anglais, ne nous donnent pas, dans les nombreux plans qu'ils contiennent, de planches qui puissent nous offrir une image suffisante d'un monument quelconque. L'idée qu'on peut concevoir d'un monument dont on se borne à donner la section horizontale, est à peu près celle qu'on pourrait se faire d'une église gothique dont il ne resterait que les fondations. Trois cents pages de dissertations ajoutées au plan géométrique ne rendront guère plus claire l'idée que ce plan peut donner du monument. C'est sans doute pour cette raison que de tels Ouvrages n'ont généralement d'autres lecteurs que leurs auteurs. Il n'y a pas de dissertation, si savante qu'on la suppose, qui puisse remplacer le monument lui-même, ou, à défaut du monument, sa représentation fidèle.

rait été souvent bien difficile, sans le texte, de réussir à les identifier. Quand il s'agit de reproductions de figures, l'abime dont je parlais plus haut est vraiment immense. On s'en convaincra aisément en comparant certains bas-reliefs reproduits par des dessinateurs avec les photographies des mêmes bas-reliefs. C'est à se demander si l'artiste, au lieu de voir les choses comme elles sont, ne les voit pas d'après un type particulier fixé dans sa tête et surtout dans sa main par son éducation classique. Le graveur lui-même altère inconsciemment les photographies reportées sur bois. J'en suis arrivé à faire presque exclusivement usage de la photogravure pour mes Ouvrages sur l'Orient, tels que la *Civilisation des Arabes*, la *Civilisation de l'Inde*, etc., bien qu'elle soit très inférieure comme aspect à la gravure sur bois.

Mais, entre ces deux extrêmes, d'une part le plan géométrique de l'architecte, de l'autre la vue photographique pittoresque, sans détails, sans éléments permettant de connaître les dimensions de l'objet représenté, n'y aurait-il pas un moyen terme? Ne serait-il pas possible, par exemple, d'obtenir des photographies ayant la précision des documents d'un architecte, tout en conservant au besoin le côté pittoresque? Sans rien changer aux appareils ordinaires, ne pourrait-on obtenir, en un mot, 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 que je me suis demandé bien souvent dans mes voyages en Orient, lorsqu'il m'arrivait de me trouver en présence de monuments chargés de détails d'ornementation, de dessins ou d'inscriptions, tels, par exemple, que la mosquée d'Omar à Jérusalem, celle de Kaït-Bey au Caire, la cathédrale de Saint-Basile à Moscou, les temples de Karnak et de Louqsor, à Thèbes, etc. Je me disais alors que ce n'était pas sur place, alors que la capacité d'attention dont un voyageur peut disposer est limitée, et que son temps est plus limité encore, qu'une étude approfondie de telles œuvres était possible. Il me paraissait évident que le seul moyen de les étudier d'une façon convenable serait de les emporter dans ses bagages, afin de pouvoir les examiner chez soi à son aise au retour.

Pour réaliser un tel rêve, la lampe d'Aladin semblait nécessaire. Sans doute, la Photographie paraît bien, au premier abord, fournir les moyens d'atteindre le but cherché, mais il suffit d'examiner attentivement les photographies de monuments qu'on trouve dans le commerce, pour constater bien vite qu'elles sont beaucoup trop sommaires pour pouvoir remplacer les monuments eux-mêmes. Non seulement les détails y sont tellement réduits qu'il est impossible de les étudier sérieusement, mais, de plus, ces photographies ne nous fournissent aucun moyen de connaître les dimensions des diverses parties de l'édifice photographié. Du reste, les déformations dues à la perspective et à l'inclinaison habituelle de l'appareil altèrent les formes, au point que toute mensuration, fondée sur l'étude de telles images, est à peu près impossible.

Lorsque je commençai à préparer l'exploration archéologique des monuments de l'Inde, dont j'avais été chargé par le Gouvernement français, les mêmes questions se posèrent à mon esprit d'une façon plus pressante encore. Je savais que le nombre des monuments à étudier dans l'Inde serait considérable, et que le temps consacré à leur étude ne pourrait guère dépasser six à sept mois, en raison de la saison des pluies et de celle de l'extrême chaleur.

Évidemment, la Photographie seule pouvait fournir la base d'un moyen d'étude suffisamment rapide; mais, pour arriver au but fondamental que je me proposais : obtenir des images sur lesquelles on pût faire les mêmes investigations et mensurations que sur les monuments eux-mêmes, il fallait combiner la Photographie avec certains procédés géométriques, susceptibles de permettre de transformer au besoin les images déformées par la perspective en images géométriques.

Les seules recherches faites dans cette voie étaient celles, déjà vieilles de trente ans, dues au colonel Laussedat. Excellente pour des levers de plans de terrains, ainsi que j'aurai occasion de l'indiquer dans cet Ouvrage, sa méthode ne saurait être d'aucune utilité pour les monuments. Elle exige en effet qu'on prenne plusieurs photographies du même monument, des extrémités d'une base parfaitement mesurée. En outre, ces photographies ne servent que comme points de repère pour dessiner par intersections l'objet représenté. Reproduire géométriquement par ce procédé la façade d'un monument un peu chargé de détails demanderait bien à un dessinateur un bon mois de travail. Les auteurs allemands qui ont proposé d'appliquer cette méthode à l'étude des monuments — en oubliant, bien entendu, de citer le nom de l'inventeur français de ce qu'ils ont appelé la Photogrammétrie — ont été les premiers à y renoncer lorsqu'ils ont eu à l'appliquer en voyage. On les excuse parfaitement en voyant que, dans une des deux ou trois applications qu'ils en ont faites, le lever du plan d'une mosquée rectangulaire a demandé quarante-cinq photographies prises de vingt-cinq points différents. Pour être transformées en plans géométriques, ces photographies ont demandé ensuite au retour un travail considérable. Ce n'est pas évidemment à de tels procédés, bien inférieurs assurément aux vieilles méthodes classiques, que je pouvais avoir recours.

Mes premières recherches m'ayant conduit à des résultats que je croyais utiles aux voyageurs, je publiai dans la *Revue scientifique*, au retour de mon expédition dans l'Inde, un exposé très sommaire, dégagé de toute théorie, des procédés et instruments dont j'avais fait usage, me réservant d'étudier plus tard les points qui me paraissaient, d'après l'expérience acquise pendant ce voyage, devoir être modifiés et perfectionnés.

La réimpression de ce travail ayant été demandée, je songeai à le développer et à le perfectionner. C'était mettre fatalement le doigt dans cet engrenage que connaissent bien toutes les personnes adonnées à des recherches scientifiques. Ce que je croyais demander seulement quelques jours de travail exigea une année. Un Mémoire fort sommaire devint un Traité sur un sujet entièrement neuf. Les Ouvrages classiques de Photographie ou de levers des plans ne disant pas un mot de la question qui m'occupait, n'ont pu m'être d'aucune utilité.

Ce sont uniquement les résultats de mes recherches personnelles que j'offre ici au lecteur.

Toutes les démonstrations contenues dans ce travail paraîtront fort simples, je l'espère, aux ingénieurs, aux architectes, aux savants chargés de missions scientifiques pour lesquels elles sont écrites ; elles paraîtront un peu moins simples, peut-être, aux photographes de profession. J'engage ces derniers à lire uniquement le premier Chapitre de cet Ouvrage, écrit

spécialement pour eux, et qui résume, sans théorie ni calcul, tout ce qu'ils ont besoin de connaître. Avec une heure d'étude, et la dépense insignifiante obligée pour faire subir à leurs appareils les transformations nécessaires, ils auront les moyens d'obtenir des photographies qui, tout en n'ayant absolument rien perdu de leur valeur artistique, contiendront les éléments suffisants pour qu'une personne un peu exercée puisse les considérer comme le monument lui-même. Au lieu d'être de simples documents pittoresques, leurs photographies seront des documents scientifiques d'une haute valeur.

Quant aux personnes qui voudront bien ne pas se laisser rebuter par quelques démonstrations élémentaires et me suivre dans mon étude, elles verront bientôt que l'appareil photographique est le plus simple et le meilleur des instruments de Topographie pour mesurer les angles et les distances, faire de la planimétrie et du nivellement. En étudiant les propriétés des lentilles photographiques, elles verront bien vite que le photographe a entre les mains une sorte de baguette magique qui lui permet de rapprocher ou éloigner à volonté les objets, ralentir ou accélérer la vitesse des corps en mouvement, etc.

J'ai divisé ce Mémoire en deux Volumes. Le premier est consacré exclusivement aux applications immédiates de la Photographie, à l'étude des monuments. Il indique à l'opérateur toutes les ressources qu'il peut tirer de la connaissance approfondie des propriétés des objectifs et des principes de la perspective. Dans le second Volume, j'ai décrit, pour les personnes qui désireraient pousser plus loin la connaissance des monuments, les opérations très simples, — avec les nouveaux instruments que j'indique, — permettant de compléter en voyage l'étude des parties d'édifices qu'on ne juge pas utile de photographier. J'y ai montré en même temps les moyens de lever rapidement des itinéraires permettant de rattacher à des localités connues des ruines situées dans des pays peu explorés. J'ai terminé en consacrant deux Chapitres, l'un à la Technique photographique, l'autre à l'étude de la Photographie instantanée. Ces deux Chapitres sont à peu près les seuls traitant de sujets déjà abordés dans les Ouvrages de Photographie. Je crois cependant qu'ils ne feront pas double emploi.

Le jour où je verrai généralement appliquées les méthodes expliquées dans cet Ouvrage, j'estimerai avoir rendu un certain service aux voyageurs et à la Science, et me considérerai comme largement récompensé des recherches pénibles qu'il m'a demandées (1).

---

(1) Je ne veux pas terminer cette Introduction sans remercier infiniment mon savant ami, M. Ch. Lallemand, ingénieur au corps des Mines, secrétaire de la Commission du nivellement de la France, du concours précieux qu'il m'a souvent prêté pendant la rédaction de ce Mémoire. Ses grandes connaissances en Mathématiques et son esprit ingénieux sont venus plus d'une fois à mon aide pour la solution des nombreux problèmes que contient cet Ouvrage. Mon but constant était toujours de trouver pour chaque problème des solutions simples. Les personnes habituées à ce genre de recherches peuvent seules savoir combien sont difficiles ces solutions simples, et par combien de solutions compliquées il faut d'abord passer avant d'y parvenir.

CHAPITRE I.

RÉSUMÉ DE LA MÉTHODE A EMPLOYER POUR OBTENIR DES PHOTOGRAPHIES PERMETTANT LES MÊMES ÉTUDES QUE LE MONUMENT LUI-MÊME.

1. *Modifications à faire subir aux chambres noires.* — Calotte sphérique à double écrou et niveau sphérique permettant de mettre immédiatement une chambre noire de niveau. — Division de la glace dépolie. — Graduation de la planchette porte-objectif et des parois latérales de la chambre. — 2. *Conditions que doivent réaliser les images photographiques pour pouvoir permettre les mêmes études et mensurations que sur le monument lui-même* — Moyen d'obtenir par la Photographie des réductions géométriques. — — Reproduction d'objets à plusieurs plans. — Emploi du mètre pour l'enregistrement automatique des mensurations. — Degré de précision obtenu. — Impossibilité des erreurs. — Résumé des règles à suivre pour les reproductions des monuments.

1. — Modifications à faire subir aux chambres noires.

Le but de ce Chapitre est de résumer les règles à suivre pour obtenir des photographies permettant les études et les mensurations impraticables sur de simples photographies pittoresques. Les personnes qui voudraient, au prix d'un travail très faible, transformer leurs photographies artistiques en véritables documents scientifiques, devront suivre très fidèlement les indications contenues dans ce Chapitre.

Je commencerai par la description des légères modifications à faire subir aux chambres noires. Pour n'avoir pas à y revenir ailleurs, j'indiquerai immédiatement toutes celles dont il pourra être question dans le cours de ce travail.

Toutes les chambres noires munies de bons objectifs sont aptes à reproduire les monuments avec un degré de précision suffisant pour les calculs, à la simple condition qu'on leur fera subir les trois additions que je vais indiquer et qui, je l'espère, deviendront bientôt classiques. Elles rendent en effet le maniement des appareils très facile, et sont fort utiles même pour les personnes ne se proposant aucun but scientifique.

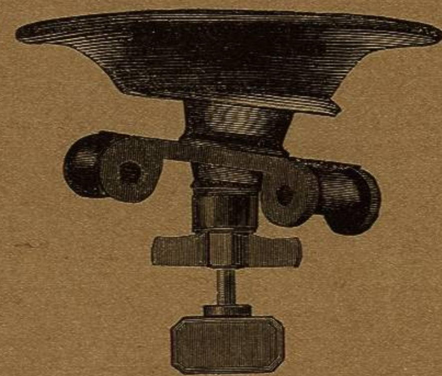
La première de ces modifications consiste à ajouter à la chambre noire ce qui est nécessaire pour pouvoir la rendre parfaitement horizontale. Cette horizontalité peut, à la rigueur, s'obtenir approximativement en traçant au crayon des lignes verticales et horizontales parallèles sur la glace dépolie, et amenant une des lignes verticales du monument à être parallèle à une ligne verticale quelconque de la glace dépolie; mais ce moyen, que j'ai d'abord employé, exige une grande expérience, puisque tous les mouvements de la chambre noire ne peuvent être obtenus qu'en écartant plus ou moins les branches du pied. Je n'y ai du reste eu recours que par suite de l'imperfection des chambres noires du commerce et de l'insuffisance des niveaux cylindriques en croix qu'on y voit figurer. Il y a bien vingt ans que les constructeurs mettent ces derniers sur les appareils de Photographie, et il est vraiment curieux que pendant une si longue période personne n'ait constaté que cette adjonction est radicalement inutile, attendu qu'avec les pieds actuels, l'opérateur le plus exercé ne saurait réussir, alors même qu'il y dépenserait deux heures de travail, à mettre une chambre noire horizontale.

Les niveaux en croix placés sur les chambres noires ordinaires du commerce ne peuvent servir qu'à prouver l'ignorance de leurs constructeurs. Ces niveaux n'ont leur raison d'être que sur des instruments munis d'accessoires convenables, tels que des plateaux à vis calantes.

Quelques savants ont fait construire pour leur usage des chambres noires supportées par des plateaux à vis calantes;

mais ce système rend l'appareil si lourd, si fragile, si coûteux et si difficile à manier, qu'on ne trouverait pas, je crois, un seul constructeur ayant essayé de le mettre en vente. Quelque singulière que la chose puisse paraître, jusqu'à la publication de mes recherches, on ne pouvait trouver à Paris,

Fig. 1.



Partie supérieure du nouveau pied à calotte sphérique adapté aux chambres noires par l'auteur.

dans le commerce, une chambre noire de voyage munie d'accessoires permettant de la rendre horizontale.

Je suis arrivé à mettre les chambres noires parfaitement horizontales en quelques secondes par deux additions très simples qui ne modifient pas leur poids. Elles consistent dans l'emploi d'un très petit niveau sphérique combiné avec une calotte sphérique particulière — susceptible de s'adapter à tous les pieds ordinaires. — Cette calotte permet à la chambre de s'incliner à volonté en tous sens et en même temps de tourner autour de son axe quand elle a été fixée dans une position choisie.

Ce nouveau pied ou plutôt cette nouvelle portion de pied est une simple adaptation aux pieds ordinaires des photographes de la calotte sphérique à ressort et double écrou concentrique, imaginée par le colonel Goulier pour l'École d'Application du génie et adoptée par la Commission du nivellement de la France. Je me suis borné à lui faire subir les modifications nécessaires pour la rendre économique et légère. Elle peut s'adapter à tous les pieds ordinaires de Photographie pour une douzaine de francs (1).

Le niveau sphérique s'encastre derrière le verre dépoli dans l'épaisseur de la planchette de la chambre noire. Son épaisseur est de $0^m,01$, son diamètre celui d'une pièce de 1^{fr} (2). Sa courbure est celle d'une sphère de $0^m,30$ à $0^m,40$ de rayon.

Il suffit de desserrer d'un quart de tour un des écrous du pied pour permettre à la chambre noire de s'incliner à frottement gras dans tous les sens. En 20 secondes on arrive, en surveillant la bulle du niveau, à mettre la planchette qui supporte la chambre parfaitement horizontale : il n'y a plus alors qu'à serrer l'écrou pour la fixer dans cette situation. Un second écrou permet de faire tourner la chambre sur son axe autant qu'il peut être nécessaire, sans qu'elle cesse de rester horizontale.

Ces deux modifications, calotte sphérique et niveau sphérique, sont *absolument indispensables*. Tout photographe qui les aura essayées une seule fois en fera certainement toujours usage. Grâce à la calotte sphérique, la chambre peut être

(1) La calotte sphérique dont je me sers a été construite, sur mes indications, par M. Labre, 59, avenue des Gobelins. Elle peut être très facilement copiée d'ailleurs par tous les constructeurs.

(2) La plupart des niveaux sphériques du commerce sont des instruments grossièrement imparfaits, mal centrés et qui perdent rapidement leur liquide. Il n'y a guère à Paris que deux ou trois constructeurs capables d'en fabriquer de convenables. Le constructeur qui a posé les miens est M. Berthelemy, 16, rue Dauphine. Il peut les livrer et les adapter pour 5^{fr} à 6^{fr} sur une chambre noire quelconque, derrière la glace dépolie.

placée, non seulement horizontalement, mais encore subir toutes les inclinaisons en avant que nécessitent quelquefois les portraits, sans qu'on ait à toucher au pied.

La troisième modification que je vais indiquer n'est pas aussi indispensable que les précédentes, mais elle est cependant d'une utilité telle que je ne saurais trop la recommander. Elle consiste dans la division de la glace dépolie à l'acide fluorhydrique (1). Grâce à cette division, on mesure à volonté les dimensions des objets, les angles horizontaux et verticaux, mesures qu'on pourrait faire à la rigueur avec un décimètre, mais d'une façon bien imparfaite.

Ces divisions peuvent être faites d'ailleurs au crayon; mais le temps qu'on y passerait serait supérieur à la dépense de la gravure. Voici, dans tous les cas, comment doit être faite cette graduation. Les personnes familières avec les propriétés des lentilles et des lignes trigonométriques comprendront immédiatement les considérations géométriques, inutiles à développer ici, sur lesquelles cette graduation repose.

On commence par tracer sur la glace et passant par son centre, deux lignes, l'une verticale, l'autre horizontale. Ces lignes sont divisées en millimètres et graduées comme un décimètre, en ayant soin de prendre le centre de la glace comme zéro de toutes les divisions. On obtient ainsi quatre graduations allant en quatre sens différents, c'est-à-dire vers le haut de la glace, vers le bas, vers la droite et enfin vers la gauche. Les deux lignes en croix passant par le centre de la glace sont les seules qu'il soit utile de diviser en milli-

(1) Les divisions millimétriques sur glaces dépolies ont été faites par les soins de M. Molteni, 44, rue du Château-d'Eau. Le prix est d'une dizaine de francs pour les grandes glaces de $0^m,15$ sur $0^m,21$. C'est également à ce constructeur que j'ai confié le soin d'exécuter les divisions figurant sur les parois antérieures et latérales des chambres noires dont il est parlé plus loin, ainsi que l'adaptation d'une boussole sur la planchette.

mètres et de graduer. Sur le reste de la glace, on trace de centimètre en centimètre, en hauteur et en largeur, des lignes parallèles aux deux divisions fondamentales. L'opération terminée, la glace se trouve couverte de carreaux ayant $0^m,01$ de côté. La finesse des lignes empêche que les divisions nuisent à la netteté de l'image des objets extérieurs qui se forme sur la glace dépolie, quand on met au point [1].

En dehors des trois modifications fondamentales précédentes, indispensables à tous les photographes, il en est d'autres utiles seulement aux personnes qui veulent lever par la Photographie des plans de monuments, et que je ne mentionnerai que succinctement. Je veux parler des divisions millimétriques sur la planchette dans les rainures de laquelle glisse le porte-objectif; ces divisions permettent, comme nous le verrons, de retrouver sans difficulté la position du centre optique quand on déplace l'objectif. Des divisions latérales sur la planchette horizontale de la chambre noire sont également fort utiles dans beaucoup de cas pour des reproductions à une échelle déterminée, pour une mise au point automatique en cas de rupture de la glace dépolie, etc. Toutes ces divisions étant faites d'avance sur des bandes de cuivre ajustées ensuite avec des vis, représentent une dépense insignifiante.

Je ne parlerai que pour mémoire de l'addition d'une boussole, divisée en degrés, que j'ai fait encastrer dans la planchette de ma chambre noire. Elle peut rendre des services dans certains cas, mais il faut avoir soin alors de remplacer par des pièces en cuivre les pièces en fer de l'appareil photographique, notamment la crémaillère de la chambre noire.

---

(1) Tous les photographes auxquels j'ai indiqué cette graduation de la glace dépolie et ses avantages l'ont immédiatement adoptée. M. A. Londe, directeur du service photographique de la Salpêtrière, a adopté notre modèle pour cet établissement et l'a représenté dans son intéressant Traité de Photographie.

2. — Conditions que doivent réaliser les images photographiques pour permettre les mêmes études et mensurations que le monument lui-même.

Pour que des images photographiques d'un édifice puissent être considérées comme aptes à remplacer ce dernier, elles doivent remplir les deux conditions fondamentales suivantes :

1° Être obtenues à une échelle suffisante pour que les détails importants, ornements, statues, inscriptions, etc., soient parfaitement visibles;

2° Contenir tous les éléments nécessaires pour permettre de calculer les dimensions des diverses parties représentées.

Pour montrer comment il est possible d'obtenir facilement des images satisfaisant aux conditions précédentes, nous allons indiquer de quelle façon nous opérons dans les différents cas qui peuvent se présenter, en commençant naturellement par les moins compliqués.

Le plus simple de tous ces cas sera celui de la reproduction d'une surface plane, la façade d'une maison, par exemple.

La première des conditions énumérées plus haut, — avoir des images riches en détails, — est celle dont la réalisation est la plus facile. La grandeur d'une image étant fonction de la longueur du foyer de la lentille qui a servi à l'obtenir, on peut, sans avoir à déplacer la chambre noire, et uniquement en faisant usage de lentilles de foyers différents, obtenir des photographies à une échelle quelconque, avoir ainsi successivement une vue d'ensemble à une petite échelle, et à une plus grande échelle toutes les vues de détails dont on aura besoin. Cette façon d'opérer est d'ailleurs parfaitement connue, et, si elle n'est guère appliquée, c'est simplement parce que les photographes de profession ne cherchent à obtenir que des vues d'ensemble des monuments, au lieu de vues de détails qui ne leur sont pas demandées. Le photographe ne doit jamais oublier que lorsqu'on possède des objectifs de foyers différents, c'est exactement comme si l'on pouvait obliger les monuments à s'éloigner ou se rapprocher à volonté. Si l'on emploie, par exemple, un objectif de $0^{m},20$ de foyer pour photographier une tour placée à 100^{m}, on peut, en lui substituant un objectif de $0^{m},40$ de foyer, avoir exactement la même image que si, ne possédant que le premier objectif de $0^{m},20$ de foyer, on avait pu obliger la tour à se rapprocher de 50^{m}.

Pour que l'image photographique d'une surface plane puisse être considérée comme une réduction sensiblement géométrique, c'est-à-dire dépourvue des déformations perspectives, il est nécessaire de s'assujettir à une série de conditions le plus souvent ignorées des photographes. Il est indispensable, tout d'abord, que l'appareil soit horizontal et que l'objectif ne puisse se déplacer qu'en restant parallèle à lui-même; il faut ensuite que la glace dépolie soit parallèle à la surface à reproduire. A ces conditions s'en joint une dernière que je ne mentionnerai que pour mémoire, car elle est connue de tout le monde: je veux parler de l'obligation de ne faire usage que de lentilles dites rectilinéaires, c'est-à-dire d'objectifs construits de telle façon que l'aberration de l'une des lentilles soit corrigée par l'aberration en sens contraire de l'autre.

Pour rendre la glace dépolie parallèle à la surface supposée plane du monument à reproduire, il suffit, une fois qu'on est devant cette surface, — et il n'est nullement nécessaire de se trouver vis-à-vis son centre, — de faire pivoter la chambre noire sur elle-même autour de son axe, jusqu'à ce que les lignes horizontales des parties supérieure ou inférieure du monument, toits, fenêtres, portes, etc., soient parfaitement couvertes par une des lignes horizontales gravées sur la glace dépolie. Tant que la glace dépolie ne sera pas parallèle au monument, les lignes horizontales de ce dernier, au lieu d'être parallèles aux lignes de la glace dépolie, seront coupées obliquement par elles.

Ce moyen est aussi simple qu'exact, et l'on peut s'en con-

vaincre facilement en mettant au point un monument quelconque, ou simplement une carte de géographie : on verra qu'il n'y a qu'une position angulaire dans laquelle le parallélisme entre les lignes de l'objet et celles de la glace dépolie subsiste; la moindre rotation de l'appareil autour de son axe le fait disparaître [1].

Les personnes au courant des lois de la perspective comprendront aisément pourquoi nous avons dit de choisir les lignes horizontales du haut ou du bas du monument. C'est sur ces lignes, en effet, que l'obliquité des fuyantes est la plus grande. Sur les lignes voisines de la ligne d'horizon, le parallélisme subsisterait dans toutes les positions angulaires de la chambre noire.

Les mêmes lois de la perspective montrent également pourquoi nous parlons de déplacement angulaire. Il est évident, en effet, que l'appareil photographique peut être déplacé

---

[1] Bien que le procédé que je viens d'indiquer pour mettre un appareil photographique parallèle à un monument soit fort simple, je ne l'ai trouvé indiqué nulle part. On se rendra compte de sa très grande exactitude en constatant, comme je l'ai dit plus haut, à quel point une légère rotation de la chambre noire sur son axe, le pied restant immobile, altère sur l'image le parallélisme des lignes horizontales du monument, ou, ce qui revient au même, la hauteur d'une ligne verticale comprise entre deux lignes parallèles. A une trentaine de mètres, avec un objectif de $0^{m},25$ environ de foyer, l'image d'un monument de 20^{m} de hauteur se réduit immédiatement d'environ 5 à 6 millimètres pour une rotation de quelques degrés de la chambre sur son axe. On pourrait même déduire de cette indication un moyen de rendre parallèle à un monument une chambre noire dont la glace dépolie ne serait pas graduée. Il suffirait après la mise au point et sans toucher au pied, de desserrer un peu l'écrou maintenant la chambre noire et la faire tourner sur son axe jusqu'à ce que l'image ait la plus grande dimension possible. A ce moment, la glace serait exactement parallèle au monument. On voit aisément, quand on est arrivé à cette dimension maxima, parce que, en continuant à faire tourner la chambre dans le même sens, l'image, au lieu de continuer à croître, diminue au contraire de grandeur.

parallèlement à lui-même devant la surface à reproduire sans cesser de lui être parallèle, et par conséquent sans cesser de donner des réductions géométriques.

Dans le cas assez rare où l'on aurait à reproduire une portion de monument privé de lignes horizontales, on arriverait à se mettre parallèlement à ce monument en traçant une croix sur le milieu de la surface à reproduire ou mieux en la divisant en deux parties égales par un fil à plomb. Cette croix ou ce fil à plomb ayant été amené, pendant la mise au point, au zéro des divisions de la glace dépolie, cette dernière se trouvera parallèle à la surface à reproduire lorsque les images des deux portions latérales de cette surface auront la même dimension apparente.

Lorsque l'appareil a été mis bien horizontal et parallèle à la surface à reproduire, il peut arriver qu'une partie de cette surface n'entre pas dans le champ de l'instrument. On l'y fait entrer aisément en déplaçant l'objectif parallèlement à lui-même. Ce n'est que par ce déplacement parallèle qu'on peut éviter ces déformations qu'on observe si souvent sur les photographies de monuments élevés et qui sont la conséquence de l'inclinaison de l'appareil.

Rien n'est plus facile que de déplacer l'objectif parallèlement à lui-même, puisqu'il suffit de le monter sur une planchette pouvant glisser entre des rainures verticales, de façon à lui permettre un déplacement vertical ou latéral assez étendu. Un mouvement vertical très faible de la lentille produisant un déplacement très grand de l'image sur le verre dépoli, on arrive aisément à reproduire le sommet d'un monument élevé sans être obligé d'incliner l'appareil. La plupart des chambres noires qu'on trouve aujourd'hui dans le commerce permettent un déplacement léger de la planchette porte-objectif mais, dans la plupart des appareils existant actuellement, l'étendue de ce déplacement est tout à fait insuffisante.

Une photographie obtenue en suivant les indications précédentes représentera une véritable réduction géométrique de la surface plane reproduite. Nous pourrons donc déterminer plus tard, à notre aise, les dimensions de toutes ses parties, si nous avons eu soin d'appliquer un mètre sur un point quelconque de la surface à reproduire et de le photographier avec elle.

J'ai supposé, dans ce qui précède, le cas d'une surface plane à reproduire; et, à la rigueur, si nous n'étions pas obligé d'économiser le plus possible les plaques photographiques, nous pourrions nous arranger de façon à n'avoir à reproduire le plus souvent que telles surfaces. En pratique, il vaut mieux, généralement, obtenir d'un seul coup plusieurs plans et s'arranger de façon à obtenir en même temps les éléments nécessaires à la mensuration des éléments contenus dans chacun de ces plans. Les lois de la perspective montrent immédiatement que, l'échelle du premier plan, obtenue comme il a été indiqué plus haut, n'est en aucune façon applicable aux autres plans. Si nous reproduisons, par exemple, la porte d'un temple, au delà de laquelle nous apercevons une avenue de colonnes, l'image obtenue conformément aux règles précédentes nous donnera bien une réduction géométrique de la porte du temple, mais non des colonnes. Nous pourrons donc bien calculer les dimensions des objets situés au premier plan, mais nullement celle des objets situés dans les autres plans.

Un procédé très simple nous permettra de tourner cette difficulté et d'obtenir une image avec laquelle on pourra reconstituer plus tard les dimensions des objets situés dans les différents plans. Il suffit de placer un petit nombre de mètres (trois ou quatre au plus) en un certain nombre de points convenablement choisis. Nous verrons dans d'autres parties de cet Ouvrage qu'en appliquant les lois de la perspective on peut se contenter d'un seul mètre et même s'en passer entièrement. Si nous préférons les multiplier, c'est qu'ils constituent un moyen de vérification précieux.

Admettons, pour fixer les idées, que l'intérieur du temple que nous venons de prendre pour exemple contienne, sur les parties latérales, des colonnes de hauteur égale, et qu'il soit terminé par un autel. Il est évident qu'un premier mètre, placé au premier plan, un second, le long d'une colonne quelconque, et un troisième, devant l'autel, nous donneront, quand ils seront photographiés, les dimensions de la porte d'entrée, des colonnes et de l'autel. Si les colonnes sont égales, il suffit de connaître la hauteur de l'une d'elles pour connaître celle de toutes les autres. Si elles sont composées de rangées inégales, un quatrième mètre [1] nous donnerait les dimensions de toute la rangée de colonnes de hauteur différente.

On peut, par des artifices analogues à ceux qui précèdent, connaître les dimensions des diverses parties d'un édifice, même sans s'assujettir à le photographier de face, lorsque des raisons artistiques ou le défaut de place conduisent à le reproduire de trois quarts. Ce n'est, d'ailleurs, que pour des portions définies, riches en détails, qu'il est nécessaire de faire les photographies de face, en suivant les règles indiquées plus haut.

Les photographies exécutées de la façon qui précède portent sur elles toutes les indications nécessaires pour reconstituer deux des dimensions d'un intérieur quelconque (hauteur et largeur). Rien n'est plus simple que de retrouver la troisième dimension, la profondeur. On peut y arriver en suivant la méthode indiquée dans un autre Chapitre, avec un mètre unique placé au premier plan. Il est cependant plus sûr de placer un mètre au dernier plan. Si l'on connaît la distance focale de l'objectif, des calculs très simples, indiqués ailleurs, permettront ensuite de calculer cette profondeur.

[1] Je me sers simplement de ces mètres de poche, en bois, munis de ressorts assurant leur parfaite rectilignité quand ils sont ouverts. On les trouve dans tous les bazars au prix de 1fr.

Pour que la vue d'un ou plusieurs mètres sur une façade de monument ne nuise pas à l'aspect artistique de la photographie, on a le soin de les placer dans un angle quelconque, entre des parties faisant saillie. Il est inutile qu'ils soient trop visibles sur l'image, il suffit qu'on puisse les y retrouver.

Telles sont les lignes générales de la méthode, dont les Chapitres de cet Ouvrage nous montreront les applications aux divers cas qui peuvent se présenter.

La méthode photographique qui vient d'être décrite permettrait de réunir un nombre suffisant de morceaux d'un monument pour pouvoir reconstituer entièrement son plan; mais, comme beaucoup de ces photographies, qu'il faudrait prendre pour arriver à ce résultat, pourraient être dépourvues d'intérêt artistique, il est préférable, lorsqu'on tient uniquement à connaître les dimensions des diverses parties d'un édifice de remplacer la Photographie par d'autres procédés, de manière à conserver sa provision de glaces pour des choses essentielles. Nous indiquerons ailleurs comment, au moyen de mesures effectuées avec des appareils très portatifs, on peut compléter les indications fournies par la Photographie. Il serait inutile d'insister maintenant sur ce point, ce Chapitre étant uniquement destiné à indiquer les règles essentielles qui permettent aux photographes ordinaires d'obtenir, sans aucun travail supplémentaire, des photographies portant sur elles des éléments suffisants de mensuration.

Les divers procédés indiqués dans ce Chapitre ne conduisent certainement pas à des résultats d'une précision absolument mathématique, mais néanmoins à des résultats d'une précision plus que suffisante dans la pratique. Au point de vue archéologique, il est tout à fait inutile de mesurer au centimètre des monuments généralement en ruines, et dont la chute d'une pierre peut faire varier d'un instant à l'autre la hauteur. Le défaut de précision absolue est racheté par la sûreté des indications. Étant automatiques et la présence du mètre sur la photographie rendant toujours la vérification facile, les méthodes de mensuration que nous avons indiquées rendent les erreurs impossibles.

Il faudrait bien se garder de croire, d'ailleurs, que même en sacrifiant inutilement un temps considérable et en emportant avec soi des instruments volumineux, on puisse espérer obtenir en voyage, par un procédé quelconque, une précision plus grande que par la Photographie. En supposant que le voyageur emportât avec lui un de ces volumineux théodolites, qui forment à eux seuls la charge d'un homme et dont la mise en station demande bien une heure, il ne pourra jamais espérer arriver à mesurer avec précision des monuments, parce que toutes ses mesures seront toujours affectées de l'erreur commise en mesurant une base avec les moyens forcément insuffisants dont on peut disposer en voyage. Perte de temps, erreurs de toutes sortes résultant de la mensuration de la base et des fautes de lecture et de calculs [1], tels sont les inconvénients des procédés classiques. Absence de perte de temps, erreurs de calculs impossibles, précision très suffisante pour les besoins de la pratique, tels sont les avantages des mensurations obtenues par la Photographie.

Je n'ai pas besoin de dire que je considère les mensurations

[1] La mesure de la hauteur d'un monument, qui est en théorie une opération géométrique extrêmement simple, paraît, en pratique, du moins par les méthodes classiques, chose assez difficile, à en juger par la divergence des chiffres que trouvent divers observateurs pour le même monument. Je ne connais pas deux monuments de l'Orient dont les mesures — en dehors du cas d'ailleurs fréquent où les auteurs se sont copiés — ne présentent pas les plus étonnantes divergences. Il n'y a pas d'ailleurs que les monuments de l'Orient qui soient dans ce cas. Pour ne parler que de monuments situés en Europe et parfaitement connus, je citerai la cathédrale de Strasbourg. Depuis le XVI[e] siècle, sa hauteur a été mesurée par plusieurs générations d'ingénieurs et d'architectes : or, les dimensions trouvées et publiées varient entre 138 et 180[m]. En pariant au hasard qu'une mesure de hauteur de monument donnée dans un livre est fausse, on a huit chances sur dix de gagner. Il m'est arrivé d'ailleurs plus d'une fois de rectifier, par la Photographie, des mesures inexactes données par le calcul.

comme une partie tout à fait accessoire de l'étude des monuments. N'ayant plus à s'occuper de ces dernières qui s'enregistrent d'elles-mêmes, l'opérateur pourra consacrer beaucoup plus de temps à la reproduction des détails et des intérieurs, reproductions généralement négligées d'une façon surprenante. Les photographes de profession ne s'occupent généralement que de prendre une vue d'ensemble d'un monument, laissant entièrement de côté les détails, et surtout les intérieurs. Sur près de 2000 photographies de l'Inde qui me sont passées par les mains, je n'en ai pas trouvé 30 donnant les détails d'architecture et l'intérieur des temples que je désirais connaître, et qu'il m'a bien fallu photographier moi-même, puisque personne n'avait songé à le faire.

Les règles contenues dans ce Chapitre sont, je crois, d'une simplicité extrême. Je vais essayer de les rendre plus simples encore, en résumant en quelques lignes tout ce qu'il est nécessaire de faire pour obtenir des photographies de monuments contenant les indications suffisantes pour permettre les mêmes études et mensurations que le monument lui-même :

1° Faire subir aux appareils ordinaires les trois modifications suivantes : couvrir la glace dépolie de lignes parallèles tracées soit au crayon, soit de préférence à l'acide fluorhydrique; faire adapter aux pieds habituels notre calotte sphérique à double écrou; faire placer sur la chambre noire, derrière la glace dépolie, un petit niveau sphérique.

2° Ne jamais incliner l'appareil photographique et le maintenir, avec la calotte sphérique et le niveau, parfaitement horizontal. Les parties de monuments qui seraient hors du champ de la chambre noire, y seront ramenées en faisant monter ou descendre la planchette porte-objectif.

3° Lorsqu'il s'agit de reproduire la façade ou le profil d'un édifice, se mettre toujours parallèlement à la surface *à reproduire, et placer verticalement un mètre dans un recoin quelconque du plan à reproduire.*

4° Lorsqu'on photographie un monument comprenant plusieurs plans (intérieurs, édifices vus de trois quarts, etc.), placer verticalement deux ou trois mètres dans les divers plans où se trouvent des objets de hauteurs différentes. Le plus souvent, un mètre au premier plan et un mètre au dernier suffisent.

5° Prendre d'abord une vue d'ensemble de l'extérieur du monument, puis une vue d'ensemble de son intérieur, puis le plus possible de vues de détails (colonnes, statues, bas-reliefs, etc.)

6° Avoir toujours des objectifs de foyers différents ($0^m,20$, $0^m,30$ et $0^m,50$, par exemple), afin de pouvoir photographier les objets à la grandeur que l'on désire, alors même qu'un obstacle empêche de s'en approcher suffisamment.

Si notre Ouvrage n'était destiné qu'aux photographes de profession, nous pourrions le terminer ici. Mais l'objectif photographique fournit pour le lever des plans et la Topographie bien d'autres ressources que les procédés simplifiés que nous venons de décrire. Il nous reste à les exposer.

CHAPITRE II.

EMPLOI DE LA CHAMBRE NOIRE PHOTOGRAPHIQUE POUR LA MESURE DES ANGLES ET POUR DIVERSES OPÉRATIONS DE TOPOGRAPHIE.

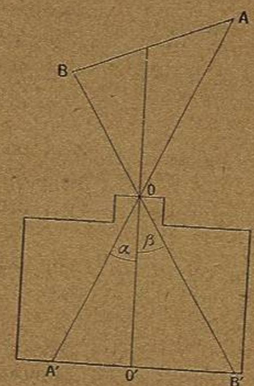
1. *Emploi de la chambre noire pour mesurer les distances angulaires.* — Théorie de la mesure des angles à la chambre noire. — Angles horizontaux et angles verticaux. — Lecture des angles au moyen de leurs tangentes sur une glace dépolie ou sur une photographie. — Transformation en degrés de la distance linéaire séparant deux objets sur une photographie. — Détermination graphique de la valeur des angles observés à la chambre noire. — 2. *Emploi de la chambre noire comme instrument de niveau.* — Théorie et pratique de l'opération. — 3. *Emploi de la chambre noire comme équerre d'arpenteur.* — Moyen de mener des perpendiculaires à la chambre noire.

Dans les calculs divers que contient cet Ouvrage, nous aurons fréquemment à mesurer des angles, mener des lignes de niveau, etc. Nous allons montrer dans ce Chapitre que la chambre noire photographique est le plus simple et le meilleur des instruments de Topographie bien qu'elle n'ait guère été employée à cet usage jusqu'ici.

1. — Emploi de la chambre noire pour mesurer des distances angulaires.

Théorie de la mesure des angles à la chambre noire. — Pour transformer un appareil photographique en un instrument de mesure des angles, tout aussi exact que ceux employés en Topographie, il suffit de graduer la glace dépolie, comme nous l'avons dit dans le précédent Chapitre. Les deux lignes en croix, divisées en millimètres, ayant leur point de jonction et leur zéro au centre de la glace, c'est de ce centre que part le zéro de graduation. Avec cette division, la mesure des angles qui séparent les objets figurant sur la glace dépolie est infiniment simple; et il est vraiment singulier que l'on

Fig. 2.



n'ait pas songé depuis longtemps au parti que l'on pouvait, à ce point de vue, tirer d'une chambre noire.

Ce qu'on lit sur la glace dépolie, on peut évidemment le lire également sur la photographie. Connaissant le foyer de l'objectif qui a servi à faire une photographie et la position du centre optique, on peut y mesurer avec un simple décimètre les angles compris entre les objets.

Pour éviter les erreurs d'application, il ne sera pas inutile de rappeler quelques indications théoriques. Il est bien évident, tout d'abord, que ce ne sont pas des arcs exprimés en degrés, mais bien les tangentes de ces arcs qui se liront sur la glace dépolie d'une chambre noire. Pour que cette lecture soit possible, il suffit de s'assujettir à cette condition, que

l'origine des mesures angulaires parte toujours de la projection du centre optique sur la glace dépolie, c'est-à-dire de son centre. Si nous supposons deux objets A, B (*fig.* 2) faisant leur image sur la glace dépolie aux points A', B', et que OO' soit l'axe optique de l'objectif, f la distance focale principale $= OO'$ de cet objectif, α et β les angles que font avec l'axe optique les rayons AA' et BB'. On a évidemment

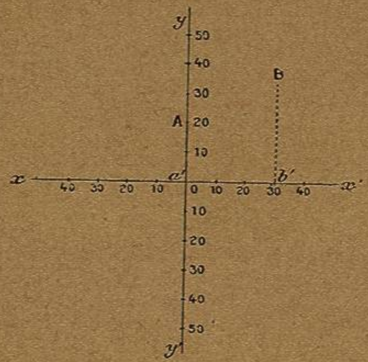
$$\text{angle}\, AOB = A'OB'$$
$$A'oOB' = \alpha + \beta,$$
$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{A'O'}{OO'},$$
$$\operatorname{tang}\beta = \frac{O'B'}{OO'}.$$

Il suffit donc, comme on le voit, pour connaître la valeur de l'angle AOB, de mesurer en millimètres sur la glace A'O' et O'B', de diviser ces nombres par la distance focale principale, chercher dans une Table de tangentes naturelles à quels angles correspondent ces deux quotients, et finalement d'additionner ces deux angles.

Ceci étant posé, supposons que nous voulions observer à la chambre noire la distance angulaire qui sépare deux objets, deux pointes de clochers, A, B, par exemple (*fig.* 3) que l'on voit sur la glace dépolie de la chambre noire. L'instrument ayant été mis bien horizontal, nous le tournons jusqu'à ce que l'un des clochers A ait été amené sur la ligne verticale passant par le zéro de la glace dépolie, et nous regardons ensuite, sur la ligne horizontale graduée passant par le centre de la glace dépolie, le nombre de millimètres $a'b'$ existant entre les deux lignes verticales passant par les deux objets, de façon à avoir, comme dans les appareils de Topographie ordinaire, l'angle réduit à l'horizon. C'est de ce nombre de millimètres que nous déduirons ensuite la distance angulaire.

Dans l'opération précédente, les objets n'étaient pas situés dans un même plan; mais cela n'a aucune importance, puisque, en opérant comme nous l'avons fait, les angles sont réduits à l'horizon. Les angles horizontaux ne se lisent, en effet, que sur la ligne horizontale xx' représentant la ligne d'horizon. Si leur image se trouve au-dessus ou au-dessous de cette ligne, ce sont les perpendiculaires Aa', Bb' allant de l'image de l'objet à la ligne horizontale graduée xx' qui mar-

Fig. 3.



quent sur cette dernière le nombre de millimètres à observer, c'est-à-dire le nombre de millimètres compris entre a' et b'. Ces perpendiculaires étant tracées d'avance sur la glace dépolie, de centimètre en centimètre, les lectures sont très faciles.

Les angles verticaux s'observent de la même façon, mais se lisent naturellement sur la ligne verticale qui divise en deux la glace dépolie. Si nous voulons connaître, par exemple, la hauteur angulaire du sommet d'un clocher A au-dessus de l'horizon, nous amenons son sommet sur la ligne yy' : la hauteur angulaire est alors représentée par la tangente Aa'.

Il ne faut faire usage de la chambre noire pour mesurer

les angles que lorsque les objets sont assez éloignés pour former leur image au foyer principal. Ce cas est d'ailleurs le seul qui se présente dans la pratique : on n'a jamais, en effet, à mesurer les distances angulaires d'objets situés à quelques mètres. Même, d'ailleurs, dans ce cas, la chambre noire pourrait servir à des mesures angulaires, à la condition de diviser le nombre de millimètres trouvé sur la glace dépolie par la longueur du foyer conjugué, au lieu de le diviser par celle du foyer principal.

Quant à la précision obtenue dans la mesure des angles à la chambre noire, elle est généralement égale, et le plus souvent supérieure à celle donnée par la plupart des instruments topographiques. La raison en est bien simple. Un objectif rectilinéaire ordinaire pour demi-plaque a de $0^m,25$ à $0^m,30$ de foyer, et correspond par conséquent à un cercle ayant le même rayon. Or, ce n'est que d'une façon tout à fait exceptionnelle que les instruments topographiques possèdent des cercles d'un aussi grand rayon. La précision peut atteindre celle obtenue avec un vernier, si l'opérateur sait diviser à vue, — comme savent le faire toutes les personnes habituées à se servir de la règle à calcul, — le millimètre en plusieurs parties et s'il a marqué une fois pour toutes d'un coup de lime sur la planchette placée sur la glace dépolie la position qu'occupe cette dernière lorsqu'elle se trouve exactement au foyer principal. Cette position est invariable pour tous les objets éloignés à condition de toujours mettre au point sans se servir de diaphragmes. L'emploi de ces derniers, peut, comme nous le verrons ailleurs, faire varier la profondeur apparente du foyer principal.

Traduction en degrés de la distance linéaire séparant deux objets sur une photographie. — Les explications théoriques qui précèdent montrent que si l'on désigne par n le nombre de millimètres représentant la distance horizontale comprise entre deux objets sur la glace dépolie, le zéro des divisions étant toujours pris pour origine des mesures, par f la longueur focale principale de l'objectif, par α la distance angulaire correspondant à la distance horizontale n, on a

$$\tang \alpha = \frac{n}{f}.$$

Connaissant la tangente de l'angle α, il suffit de chercher dans une Table de tangentes naturelles quel est l'angle correspondant à cette tangente. Supposons, pour fixer les idées, que la distance horizontale séparant deux objets sur la glace dépolie soit de $0^m,031$, avec un objectif de $0^m,28$ de foyer, et recherchons quel sera leur écartement angulaire α. Appliquant la formule précédente, nous avons

$$\tang \alpha = \frac{31}{280} = 0,111.$$

Une Table de tangentes naturelles montre immédiatement que l'angle correspondant à une tangente de 0,111 est 6°21'.

Il ne sera pas inutile de remarquer que la très simple formule qui précède n'est pas applicable à la chambre noire seulement, mais bien à tous les instruments munis de divisions permettant de mesurer les images formées à leur foyer. C'est ainsi, par exemple, qu'il suffit d'adapter à l'oculaire d'une longue-vue quelconque un micromètre en verre divisé en dixièmes de millimètre, dépense qui ne dépasse pas 5^{fr} à 6^{fr}, pour avoir un instrument propre à des mesures angulaires très précises.

Les angles ainsi mesurés avec une longue-vue ordinaire sont, en raison du grossissement de l'instrument, obtenus avec une grande précision; mais le champ de l'instrument étant très faible, il est impossible de mesurer l'écartement angulaire d'objets rapprochés. C'est même ce grave inconvénient qui nous a donné l'idée de notre *télestéréomètre* décrit dans la seconde Partie de notre Ouvrage, instrument dans lequel le champ est très grand.

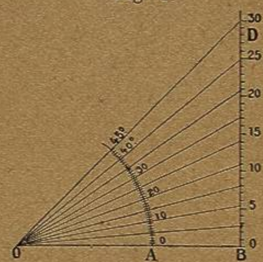
Avec tous les instruments d'optique, chambre noire, lunette à micromètre, télestéréomètre, etc., le calcul à effectuer pour déduire la distance angulaire existant entre les objets, de la distance linéaire apparente qui les sépare, se borne toujours à diviser cette distance par le foyer de l'instrument, ces deux grandeurs étant toujours exprimées en unités de même ordre. C'est ainsi, par exemple, qu'ayant observé avec mon télestéréomètre dont le foyer est de $0^m,026$, du haut de la terrasse de Bellevue, le dôme des Invalides et la tour du Trocadéro la plus rapprochée de l'observateur, j'ai trouvé que la distance comprise entre les deux édifices sur le micromètre divisé en dixièmes de millimètre, situé au foyer de l'oculaire, représentait 70^{div}. J'en ai immédiatement conclu pour la distance angulaire entre les deux objets

$$\tang \alpha = \frac{70}{260} = 0,269.$$

Ce nombre 0,269 cherché dans une Table de tangentes correspond à un angle de 15°4', on ne l'eût pas obtenue avec plus de précision avec un instrument topographique ordinaire.

Détermination par la méthode graphique des angles observés à la chambre noire. — En opérant comme il vient d'être dit dans le Paragraphe précédent, les mesures linéaires observées à la chambre noire sont traduites en degrés par une opération comportant une division et une recherche dans une Table. Ce petit travail peut s'éviter, lorsqu'on ne tient pas à calculer les angles avec une grande précision, par une construction graphique, permettant de traduire immédiatement en degrés les longueurs mesurées en millimètres sur la glace dépolie. Ce graphique se fait simplement en traçant sur du papier une longueur OB (*fig.* 4), exactement égale à la longueur du foyer principal de l'objectif et élevant à son extrémité une perpendiculaire de longueur quelconque BD qu'on divise en millimètres. Par un point quelconque A de la ligne OB on trace un arc de cercle ayant O pour centre, et, avec un rapporteur dont le centre est placé en O, on pointe sur cet arc de cercle les divisions en degrés et demi-degrés marquées sur l'instrument. On mène ensuite par chacune de ces divisions des lignes qu'on prolonge jusqu'à la perpendiculaire BD, et l'opération est terminée. Lorsqu'on veut savoir à quel degré correspond un nombre déterminé de millimètres compté sur la glace dépolie

Fig. 4.



à partir de son zéro, il faut chercher le nombre sur l'échelle BD, puis voir quelle est la ligne oblique passant par la division de BD correspondante et le point O. L'intersection de l'arc de cercle par cette ligne indique le nombre de degrés cherché. En raison de la petitesse du champ embrassé par un objectif, il est inutile de marquer sur l'arc de cercle plus de 45°.

Nous venons de voir comment, avec des mesures linéaires portées sur une glace dépolie, ou sur une photographie, on pouvait obtenir soit par le calcul, soit graphiquement, les angles exprimés en degrés. Ces calculs et ces constructions sont assurément très simples, mais on peut les éviter en construisant directement les angles sur le papier, uniquement avec les distances linéaires qui se lisent sur la glace

dépolie. Ces distances sont les tangentes des angles existant entre les objets, et chacun sait qu'une tangente, un sinus ou toute autre fonction trigonométrique quelconque exprime aussi bien la valeur d'un angle que la division du cercle en degrés. Si l'on est obligé souvent de se servir de Tables pour traduire en degrés les angles dont on ne connaît que la valeur trigonométrique, c'est uniquement pour faciliter certains calculs. Il serait très facile de construire des instruments donnant les angles, non pas en degrés, mais en tangentes exprimées en centièmes ou millièmes du rayon, et de ne faire figurer que ces chiffres dans toutes les opérations. Cette division, au moins pour des angles ne dépassant pas beaucoup 60°, serait certainement plus rationnelle que la vieille division du cercle en 360°.

La chambre noire représente précisément un des instruments auxquels je viens de faire allusion; et si l'on devait toujours faire usage du même objectif, rien ne serait plus facile que de diviser la glace dépolie en centièmes ou en millièmes de la longueur focale de l'objectif, et d'y lire directement les angles exprimés en centièmes ou millièmes du rayon.

Mais cette division est inutile, puisqu'elle ne conviendrait que si l'on ne changeait pas d'objectif. La division millimétrique est la plus simple, d'abord parce qu'elle permet de passer par un calcul très simple à la division en centièmes du rayon qui, au moyen de Tables de tangentes naturelles, permet de passer à la division en degrés, et ensuite parce qu'elle permet, comme nous allons le voir maintenant, de construire graphiquement sur le papier les angles, sans aucun calcul.

Soit, je suppose, à construire sur le papier l'angle existant entre deux objets, et représenté sur la glace dépolie par une distance horizontale de $0^m,035$, à partir du zéro de cette glace amené comme toujours sur l'un des objets dont on désire mesurer l'écartement angulaire. Le foyer principal de l'objectif est, je suppose, de $0^m,20$. Sur une ligne indéfinie AX (*fig.* 5), il suffira de marquer une longueur AB = $0^m,20$, c'est-à-dire la longueur focale principale, d'élever en B une perpendiculaire BC = $0^m,035$, et de joindre CA : α sera l'angle cherché.

Cette construction est fort simple, mais elle peut être simplifiée encore en se servant d'une équerre graduée ayant AB pour longueur et le côté BC gradué en millimètres. On fabrique soi-même en quelques secondes une semblable équerre avec une feuille de papier épais quadrillé au millimètre, qu'on trouve chez tous les papetiers. Une telle équerre,

Fig. 5.

qui est une véritable Table de tangentes, permet de construire immédiatement tous les angles possibles observés à la chambre noire.

Pour chaque objectif, on peut construire une équerre semblable, en ayant bien soin de donner toujours à l'un de ses côtés exactement la longueur focale principale de l'objectif.

Construction des angles sur une photographie. — Les angles peuvent se mesurer sur une photographie exactement comme sur la glace dépolie de la chambre noire, à la simple condition que l'on puisse y tracer la ligne d'horizon et la projection du centre optique, et que l'on connaisse le foyer de l'objectif qui a servi à prendre la photographie.

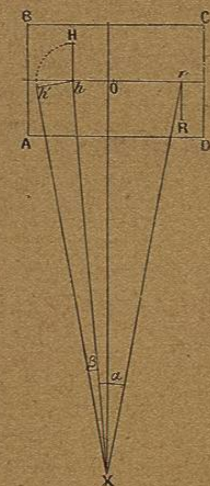
Ces angles, mesurés avec un simple décimètre sur la ligne d'horizon, peuvent être traduits en degrés, comme nous l'avons vu plus haut. Il peut être parfois utile de pouvoir les construire sur la photographie elle-même, préalablement collée sur un carton. Nous allons indiquer la façon d'opérer.

Soit, par exemple (*fig.* 6), une photographie ABCD, sur

laquelle nous voulons déterminer l'angle horizontal existant entre deux objets H, R, et l'angle vertical au-dessus de l'horizon, c'est-à-dire la hauteur angulaire de l'objet H.

La première opération sera de tracer, suivant les moyens indiqués dans un autre Chapitre, la ligne d'horizon et le centre optique O. Par le point O nous élèverons sur la ligne

Fig. 6.



d'horizon une perpendiculaire OX, exactement égale à la longueur focale principale de l'objectif. Il ne reste plus alors qu'à abaisser sur la ligne d'horizon, du pied des objets H et R, dont on veut connaître l'écartement angulaire, les perpendiculaires Hh, Rr, et joindre hX, rX : α est l'angle horizontal cherché.

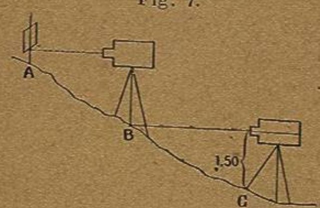
Pour avoir la hauteur angulaire du point H, représentant, je suppose, le sommet d'une maison; il n'y a qu'à rabattre cette hauteur angulaire sur le plan et pour cela il suffit de mener hX, d'élever en h, au moyen d'un arc de cercle et d'une équerre, une perpendiculaire $hh' = hH$. Si l'on joint alors h' à X, l'angle vertical cherché est représenté par β.

2. — Emploi de la chambre noire comme instrument de niveau.

La chambre noire qui, comme nous venons de le voir, constitue un graphomètre simple et exact, peut être utilisée également comme instrument de niveau. La précision du nivellement qu'on pourra ainsi obtenir, sera moins grande que celle obtenue dans la mesure des angles, mais suffisante encore pour les besoins de la pratique.

Les différences de niveau d'un terrain peuvent, comme on le sait, être obtenues par deux méthodes différentes : l'une impliquant la mesure d'angles verticaux et qui, par conséquent, rentre dans les cas décrits dans le Paragraphe précédent, l'autre, applicable surtout aux petites distances, et dans laquelle on opère exactement comme avec un niveau d'eau ordinaire. La théorie de cette dernière méthode peut s'expliquer en quelques lignes.

Fig. 7.



L'appareil étant horizontal et réglé de façon à ce que le centre optique corresponde au zéro de la glace dépolie, l'image d'une mire ordinaire, ou simplement de la portion du terrain quelconque qu'on voit au zéro de la glace dépolie,

sera exactement à une hauteur au-dessus du sol égale à celle de l'objectif. En examinant la figure ci-jointe, on voit que le point B est à $1^m,50$ au-dessus du point C. La hauteur du centre optique au-dessus du sol se mesure immédiatement avec une canne métrique. Au lieu de viser le terrain, il vaut mieux viser une mire facile à improviser avec un jalon quelconque et un morceau de papier, ou mieux encore l'équerre de la canne métrique dont il vient d'être question à l'instant. J'aurai du reste occasion de revenir dans un autre Chapitre sur d'autres moyens de mesurer les différences de niveau par la Photographie, mais en faisant intervenir certaines lois de la perspective.

La chambre noire donnant les distances angulaires par simple lecture sur la glace dépolie, et les distances horizontales par la réduction d'un objet de grandeur connue, les personnes au courant de la Topographie voient aisément, qu'avec un aide porte-mire, on exécuterait fort rapidement la planimétrie et le nivellement d'un terrain, sans même s'assujettir à en prendre des photographies.

3. — Emploi de la chambre noire comme équerre d'arpenteur.

L'appareil photographique que nous avons successivement employé comme graphomètre et niveau, peut remplacer encore l'équerre d'arpenteur pour élever une perpendiculaire. Soit une ligne marquée par deux jalons A, B, à l'extrémité A de laquelle on désire élever une perpendiculaire ; il n'y a qu'à placer l'appareil photographique dans une position telle que AB soit parallèle à l'une des lignes horizontales tracées sur la partie supérieure ou inférieure de la glace dépolie, et que la ligne verticale passant par le centre de cette dernière passe également par le point A. Elle coupera alors tous les objets représentés sur la glace suivant une ligne perpendiculaire à AB, et en faisant placer un jalon sur cette direction, on aura la perpendiculaire cherchée.

J'ai indiqué l'opération qui précède, parce qu'il y a des cas où elle peut être exécutée facilement et pour montrer combien sont variées les applications de la chambre noire; mais, dans la majorité des cas, on aura recours à des moyens plus rapides et plus simples dont nous parlerons ailleurs pour mener des perpendiculaires.

CHAPITRE III.

DÉTERMINATION DU FOYER DES OBJECTIFS PHOTOGRAPHIQUES. RÉDUCTIONS ET AGRANDISSEMENTS A UNE ÉCHELLE DONNÉE.

1. — *Calcul du foyer principal.* — Méthodes diverses pouvant être employées. — Détermination de la distance à partir de laquelle tous les objets sont au point pour un foyer donné et un diaphragme donné. — 2. *Calcul du foyer conjugué. Applications au grandissement et à la réduction d'objets à une échelle donnée.* — Détermination de la distance à laquelle il faut placer la chambre noire pour réduire ou agrandir à une échelle déterminée es objets copiés à grandeur égale. — Calcul du tirage de la chambre noire pour les agrandissements.

1. — Calcul du foyer principal d'un objectif.

La connaissance du foyer des objectifs employés en Photographie est d'une importance fondamentale. La plupart des calculs donnés dans cet Ouvrage impliquent cette connaissance préalable. Les traités de Physique et de Photographie étant d'une insuffisance extrême sur cette question, constructeurs et opérateurs se contentent des approximations les plus grossières. Sur plusieurs douzaines d'objectifs doubles que ai eu occasion d'examiner, je n'en ai pas encore rencontré un seul dont le foyer fût conforme aux indications du prospectus. Ce dernier indiquait le plus souvent et généralement assez mal le foyer principal à partir de la lentille postérieure, ce qui est absolument dépourvu d'intérêt et ne permet aucun calcul. Ce qu'il importe de connaître, c'est la longueur focale à partir du centre optique, lequel est situé au centre de la lentille dans les objectifs simples, entre les deux lentilles, à peu près à la place du diaphragme, pour les objectifs doubles.

Chacun sait qu'à partir d'une certaine distance de l'objectif, tous les objets situés au delà de cette distance forment sensiblement leur image sur un même plan, et que la distance de ce plan au centre optique, c'est-à-dire la longueur focale principale, est invariable pour chaque objectif. On sait également que, lorsque l'objet se rapproche de l'objectif, il forme son image à des distances variables, et par conséquent que la longueur du foyer dit conjugué varie constamment. On peut donc dire d'une façon générale que, pour un objectif donné, la longueur du foyer est une grandeur invariable lorsque l'objectif sert à reproduire des objets situés au delà d'une certaine distance, que cette longueur de foyer est, au contraire, une grandeur constamment variable quand les objets à reproduire sont en deçà de cette distance.

La connaissance du foyer conjugué ne présente d'intérêt, en Photographie, que pour connaître, en cas de grandissement, le tirage à donner à la chambre noire et la distance à laquelle il faut l'éloigner de l'objet. Nous nous occuperons des moyens de le déterminer dans un autre Paragraphe, et ne recherchons dans celui-ci que les moyens pratiques de déterminer la longueur du foyer principal.

La détermination du foyer principal des lentilles simples est facile, puisqu'il suffit, lorsqu'on a mis au point un objet situé à quelques centaines de mètres de la lentille, de mesurer la distance comprise entre cette dernière et la glace dépolie, puis d'ajouter au chiffre ainsi obtenu la moitié de l'épaisseur de la lentille; mais la détermination du foyer des objectifs doubles, les plus employés aujourd'hui en Photographie, exige une opération fort différente.

Plusieurs méthodes permettent de déterminer le foyer principal d'un objectif double. Nous en indiquerons un certain

nombre afin que le lecteur puisse au besoin les vérifier l'une par l'autre. Nous nous bornerons à les exposer sans développements théoriques.

1° Mettre au point sur la glace dépolie un objet quelconque, une gravure, une feuille de papier quadrillé, etc., en se rapprochant suffisamment pour que l'image de l'objet sur la glace dépolie ait exactement les mêmes dimensions que l'objet. Le quart de la distance comprise entre l'objet et la glace dépolie représente la longueur focale principale.

Cette méthode, la seule qui soit indiquée dans le *Traité de Photographie* de Monckhoven et les divers Ouvrages classiques, se trouve précisément être la plus mauvaise de toutes et justement celle dont il est à peu près impossible de faire usage.

En premier lieu, il faut beaucoup de temps pour arriver à placer convenablement la chambre noire; en second lieu, et cet inconvénient est tout à fait irrémédiable, aucune des chambres photographiques de voyage n'a un tirage suffisant pour que l'on puisse reproduire un objet à grandeur égale. Avec un objectif de $0^m,30$ de foyer, par exemple, longueur dont s'écartent peu les instruments employés pour demi-plaques, le tirage doit être de $0^m,60$, alors que le tirage des chambres noires dépasse rarement $0^m,40$ à $0^m,50$. Cette méthode doit donc être rejetée entièrement.

2° Mettre au point, sur la glace dépolie, un objet de grandeur connue, un mètre ou une carte de géographie, par exemple, et se reculer à une distance telle que l'objet soit réduit dans une proportion quelconque, mais pas trop considérable, de 4 à 10 fois par exemple. Pour connaître le foyer, il suffit alors de mesurer la distance horizontale qui sépare l'objet reproduit du centre optique de l'objectif, c'est-à-dire de la place où se trouve le diaphragme, et diviser ce nombre par le chiffre exprimant la réduction plus 1. Si donc on appelle f le foyer cherché, D la distance de l'objet au centre optique, n le coefficient de réduction, on a $f = \frac{D}{n+1}$.

Supposons, par exemple, qu'on ait réduit à $0^m,25$, c'est-à-dire de 4 fois une carte ayant 1^m de côté, et qu'on trouve pour distance entre la carte et la place où est le diaphragme $1^m,40$, on aura alors pour le foyer f

$$f = \frac{1^m,40}{4+1} = 0,28.$$

L'opération que nous venons d'indiquer est, comme on le voit, très facile, puisqu'elle se borne à placer la chambre noire à une distance quelconque, pourvu qu'elle ne soit ni trop grande ni trop petite, d'un objet de grandeur connue et mesurer 1° la distance de l'objectif à l'objet, 2° la hauteur de ce dernier sur la glace dépolie. Le coefficient de réduction ne sera pas le plus souvent un nombre entier, mais cela ne complique pas le calcul. Supposons que l'objet ait 1^m de hauteur et son image $0^m,097$. Le coefficient de réduction sera évidemment $\frac{1000}{97} = 10,30$. Ajoutant l'unité à ce nombre, d'après les indications de la formule, nous aurons $11,30$. Il n'y aura plus qu'à diviser par ce chiffre la distance à l'objet pour avoir le foyer.

Le moyen que nous venons d'indiquer pour mesurer le foyer principal d'un objectif est le plus simple de tous ceux indiqués dans ce Chapitre et par conséquent celui que nous conseillons d'employer.

3° Lorsqu'on a devant soi, à une distance suffisante pour que les objets forment leur image au foyer principal, un édifice de dimension connue, clocher, maison, etc., situé à une distance également connue, rien n'est plus facile que de déterminer le foyer de l'objectif. Si l'on appelle f le foyer cherché, H la hauteur de l'édifice, h sa hauteur sur la glace dépolie, D la distance du centre optique de l'objectif à l'édifice, on a

$$f = \frac{D}{H} \times h.$$

Malheureusement on ne connait jamais bien exactement la hauteur d'un monument, alors qu'il est très facile de mesurer sa largeur avec une roulette métrique de 25^m, qu'on trouve partout pour $2^{fr},50$. Il est donc bien préférable d'introduire dans la formule précédente, à la place de H, la largeur du monument. C'est précisément cette méthode que j'emploie souvent pour mesurer le foyer de mes objectifs. J'utilise comme objet de dimension connue un intervalle de 12^m, qui se trouve entre deux maisons situées en face de l'une de mes fenêtres. L'erreur commise sur la mesure du foyer ne dépasse jamais $0^m,001$. La seule précaution à observer, précaution tout à fait indispensable d'ailleurs, est de rendre, par le moyen indiqué dans un autre Chapitre, la glace dépolie parallèle au monument. L'opération est fort simple avec une glace dépolie divisée. Si l'on n'en a pas à sa disposition, on peut à la rigueur s'en passer en faisant tourner la chambre sur son axe sans toucher au pied, jusqu'à ce que l'image du monument ait le maximum de largeur. On fait aisément varier cette largeur de plusieurs millimètres par une très faible rotation de l'appareil.

Le moyen qui précède sera toujours le plus rapide de ceux que l'on pourra employer, lorsqu'on se trouvera dans les conditions que je viens d'indiquer, c'est-à-dire en présence d'un édifice de dimensions connues, situé à une distance connue. L'édifice doit être, bien entendu, à une distance suffisante pour que son image se forme au foyer principal de l'objectif. On devra le mettre au point sans se servir de diaphragme. On n'ajoutera ce dernier qu'après la mise au point pour assurer la netteté des bords de l'image.

4° Lorsqu'on possède un objectif simple de foyer connu, foyer très facile à trouver et qui est généralement du reste indiqué assez exactement sur la tranche de la lentille, cet objectif peut, par la comparaison des images qu'il fournit avec celles que donne un objectif double quelconque, faire connaître le foyer de ce dernier. Soit f le foyer connu d'un objectif et A la grandeur de l'image formée sur la glace dépolie par un objet de dimension quelconque, f' le foyer inconnu d'un autre objectif, et A' la grandeur de l'image formée à la même distance par le même objet; on a

$$\frac{f}{A} = \frac{f'}{A'}, \qquad \text{d'où} \qquad f' = \frac{fA'}{A}.$$

Supposons, par exemple, qu'avec un objectif simple de $0^m,10$ de foyer, un objet de dimension quelconque inconnu placé à une distance quelconque également inconnue donne sur la glace dépolie une image de $0^m,15$ de hauteur, on demande quel est le foyer d'un objectif double qui, placé à la même distance de l'objet, donne une image de $0^m,20$. Appliquant la formule précédente, nous avons

$$f' = \frac{10 \times 20}{15} = 0^m,133.$$

5° On peut encore déterminer le foyer principal par la méthode suivante, que nous n'indiquons que pour mémoire, parce qu'elle est bien moins pratique que les précédentes, et n'est utilement applicable que si l'on possède une chambre noire munie d'une glace dépolie graduée et d'un niveau permettant de la mettre bien horizontalement.

Sur la ligne d'horizon et à partir de la projection de l'axe optique sur la glace dépolie, déterminé comme il est dit dans une autre Partie de cet Ouvrage, on mesure en millimètres la distance linéaire comprise entre le bord d'un objet, une maison, par exemple, amené sur le zéro des graduations de la glace et l'extrémité de cet objet. Cette distance linéaire correspond à un angle α qu'il est facile de mesurer directement. Si l'on

appelle f le foyer cherché et n la longueur mesurée, α l'angle de visée correspondant à cette longueur, on a, d'après des relations trigonométriques connues,

$$f = n \times \cot\alpha.$$

Détermination de la distance à partir de laquelle tous les objets forment leur image au foyer principal d'un objectif. — Chacun sait qu'à mesure qu'on se rapproche d'un objet à reproduire, le foyer conjugué de l'objectif se forme de plus en plus loin du centre optique et par conséquent que le tirage de la chambre noire doit être de plus en plus considérable. A mesure qu'on s'éloigne de l'objet à reproduire, il faut, au contraire, raccourcir le tirage, et bientôt il arrive un moment où tous les objets, quelle que soit leur distance, forment leur image sur le même plan. Il n'y a plus alors à modifier le tirage de la chambre noire. Arrivé à cette limite, le foyer conjugué s'est sensiblement confondu avec le foyer principal. En pratique, la distance à laquelle tous les objets se trouvent au point pour un objectif donné, est donc celle où les différences de longueur entre le foyer conjugué et le foyer principal sont trop faibles pour être perceptibles.

Cette distance, à partir de laquelle les objets forment tous leur image au foyer principal, dépend d'une part du foyer de l'objectif, et de l'autre du diamètre du diaphragme employé. En se basant sur ce que, au-dessous d'un certain diamètre, les cercles de diffusion n'ont plus de dimensions appréciables à l'œil nu, Dallmeyer a calculé les distances à partir desquelles tous les objets sont au point pour un foyer et un diaphragme donnés. Le Tableau suivant, dans lequel les diaphragmes sont exprimés en fonctions du foyer, montre que cette distance varie beaucoup pour un même objectif avec l'ouverture de ce diaphragme. Il fait comprendre aussi pourquoi nous avons recommandé de ne jamais employer de diaphragme lorsqu'on veut déterminer le foyer d'un objectif.

OUVERTURE DES DIAPHRAGMES EN FONCTION DU FOYER f.	DISTANCE FOCALE PRINCIPALE DES LENTILLES EXPRIMÉE EN CENTIMÈTRES				
	10c	15c	20c	25c	30c
	Distance approximative exprimée en mètres au delà de laquelle les objets sont tous au point.				
$\frac{f}{5}$	9m	18m	32m	50m	72m
$\frac{f}{10}$	4	9	16	25	36
$\frac{f}{20}$	2	5	8	13	18
$\frac{f}{40}$	1	3	4	7	9

Nous avons exprimé les distances en mètres, négligeant les décimales. Les nombres que nous donnons suffisent pour montrer que les distances à partir desquelles les objets sont tous au point croissent proportionnellement au carré de la longueur focale de la lentille. La Table précédente montre également que, par le seul fait qu'on ajoute un diaphragme à l'objectif, on peut rapprocher beaucoup la chambre noire de l'objet sans que ce dernier cesse d'être au point.

2. — Calcul du foyer conjugué. Applications à l'agrandissement et à la réduction d'objets à une échelle déterminée.

Détermination de la distance à laquelle il faut placer la chambre noire pour réduire ou agrandir à une échelle déterminée des objets rapprochés. — Nous donnons dans une autre Partie de cet Ouvrage une formule qui permet de déterminer la dimension des images en fonction de leur distance à l'objectif et du foyer principal de ce dernier; mais nous avons supposé, ce qui est d'ailleurs le cas général, qu'on se trouvait à une distance suffisante des objets à reproduire pour que les images se forment toujours au foyer principal. La longueur du foyer entre alors dans la formule pour une valeur constante, quelle que soit la distance. Dans le cas de réduction ou d'agrandissement d'objets rapprochés, les images ne se formant plus au foyer principal, la longueur du foyer conjugué varie suivant la distance, et la formule doit tenir compte de cette variation du foyer dont on n'a pas à s'occuper quand les objets sont suffisamment éloignés.

Lorsqu'on veut reproduire à une échelle déterminée un objet rapproché : bas-relief, inscription, carte géographique, etc., trois cas peuvent se présenter : 1° on veut réduire l'objet dans une proportion déterminée; 2° on veut le reproduire à dimensions égales; 3° on veut l'agrandir.

Nous allons examiner successivement ces trois cas. Leur solution n'implique que des calculs d'une simplicité extrême. Ils éviteront aux photographes qui voudront les appliquer des tâtonnements fort longs.

1° *Réduction des objets.* — Notre formule simplifiée des lentilles photographiques exposée plus loin, $\frac{H}{h} = \frac{D}{d}$, d'où l'on tire $D = \frac{H}{h} \times d$, nous permettra de calculer la distance à laquelle l'objectif doit se trouver d'un objet qu'on veut réduire à une échelle déterminée, à condition que nous y introduirons la valeur variable du foyer d. d ne représente plus maintenant en effet le foyer principal, valeur invariable, mais bien le foyer conjugué, valeur variable.

Si l'on appelle n le coefficient de réduction d'une image, c'est-à-dire le nombre de fois qu'elle est réduite, d le foyer principal, f' le foyer conjugué, l'équation générale des lentilles montre aisément qu'on a pour le foyer conjugué $f' = d + \frac{d}{n}$.

Mais, dans la relation donnée plus haut, le rapport $\frac{H}{h}$ représente précisément ce coefficient de réduction n de l'image : on voit donc aisément que l'équation $D = \frac{H}{h} d$ devient, en y substituant les valeurs de $\frac{H}{h}$ et de d, $D = n\left(d + \frac{d}{n}\right)$ qu'on peut écrire $D = (n+1)\,d$.

Traduisant en langage ordinaire la formule qui précède, nous voyons que :

Pour connaître la distance devant exister entre le centre optique d'un objectif (1) *et un objet, pour que cet objet soit réduit à une échelle déterminée, il n'y a qu'à ajouter l'unité au nombre de fois qu'on veut réduire, et multiplier le chiffre ainsi obtenu par la longueur focale principale.*

Cette formule est très facile à retenir, puisqu'elle revient à dire que pour réduire 3 fois, 4 fois, 5 fois, ..., n fois une objet, il faut se placer à 4 fois, 5 fois, 6 fois, ..., $(n+1)$ *la distance focale principale.*

Soit, comme application de ce qui précède, à réduire une inscription exactement au quart avec un objectif de $0^m,28$ de foyer. Appliquant la formule précédente, on aura pour la distance D, à laquelle le centre optique de l'objectif doit se trouver de l'inscription,

$$D = (4+1) \times 0,28 = 1^m,40.$$

Si le coefficient de réduction, au lieu d'être un nombre entier, comprenait une partie fractionnaire, le calcul serait, bien entendu, exactement le même. C'est naturellement à la

(1) Je rappelle que dans les objectifs doubles ce centre optique doit être compté à partir de l'endroit où se placent les diaphragmes.

partie entière du nombre qu'on ajouterait l'unité. Soit, je suppose, une carte de 1^m de côté que nous voulons réduire à $0^m,097$, avec un foyer de $0^m,28$. Le coefficient de réduction est $\frac{1000}{97} = 10,30$. Recherchant avec la formule précédente la distance à laquelle nous devons nous placer, nous aurons $D = (10,30 + 1) \times 0,28 = 3^m,16$.

2° *Reproduction des objets à grandeur égale.* — Les formules précédentes montrent aisément que pour reproduire un objet à grandeur égale, il faut que le centre optique soit à une distance de l'objet égale au double de la longueur focale principale. Le tirage de la chambre noire aura exactement la même longueur.

Soit donc à reproduire à grandeur égale un fragment de carte avec un objectif de $0^m,30$ de foyer. Le centre optique de l'objectif devra être à $0^m,30 \times 2 = 0^m,60$ de la carte, et le tirage de la chambre noire devra être également $0^m,60$.

3° *Agrandissement des objets à une échelle déterminée. Calcul de la distance et du tirage de la chambre noire.* — L'agrandissement d'une photographie, d'une carte, d'un objet quelconque peut s'exécuter très facilement à la chambre noire, sans aucun des appareils compliqués qu'on trouve encore dans le commerce. La seule difficulté est que ces agrandissements nécessitent des chambres assez volumineuses, si l'on veut reproduire l'ensemble de la photographie (1). Si, comme cela est plus fréquent, on veut simplement agrandir une portion de photographie, pour rendre

(1) Dans ce cas d'agrandissement de toute une photographie, il serait préférable d'employer des appareils à projection éclairés par une lampe au pétrole, tels que ceux que construit M. Molteni. Je leur fais cependant le grave reproche de ne pouvoir recevoir que les petits clichés quart de plaque, alors que les voyageurs font le plus souvent usage de glaces ayant $0^m,13 \times 0^m,18$ ou $0^m,15 \times 0^m,21$ de dimension.

visible un détail d'architecture ou une inscription, une chambre noire ordinaire suffit parfaitement. Elle possède assez de tirage, à condition de faire usage d'objectifs de foyer très court. Les résultats qu'on obtient en agrandissant ainsi directement par transparence à la chambre noire une portion de cliché sont excellents. J'ai eu souvent à appliquer cette méthode pour les planches de mes Ouvrages. C'est ainsi, par exemple, que le joli vitrail arabe avec inscriptions, qui figure sur la première page de mon *Histoire de la Civilisation des Arabes*, est le résultat de l'agrandissement d'une portion de cliché que j'avais pris à Damas, dans l'intérieur d'un harem, où je n'avais pu séjourner que quelques minutes. La grande inscription arabe qui se trouve sur la planche en couleur de la mosquée d'Omar, à Jérusalem, dans le même Ouvrage, a été obtenue par le même procédé. C'est une méthode extrêmement féconde, d'un emploi très facile et trop peu pratiquée.

Il est bien évident que les agrandissements constituent des opérations de laboratoire, qui doivent être exécutées au retour d'un voyage, alors que l'opérateur a le temps nécessaire devant lui.

Quand on veut agrandir à une échelle quelconque une photographie ou une portion de photographie, on doit rechercher non seulement à quelle distance l'objectif devra être placé de l'objet, mais en outre quelle devra être la longueur du foyer conjugué, c'est-à-dire le tirage de la chambre noire, afin de savoir d'avance si la chambre que l'on possède a un tirage suffisant. S'il résulte du calcul que le tirage n'est pas suffisant pour un agrandissement et un objectif donnés, on sait aussitôt, sans tâtonnements, qu'il faudra employer un objectif de foyer plus court.

Voici maintenant quelles sont les formules à employer pour déterminer d'abord la longueur du foyer conjugué, c'est-à-dire le tirage de la chambre noire, puis l'éloignement de l'objectif de l'objet à grandir. Si l'on appelle f' le foyer conjugué, d le

foyer principal, n le nombre de fois qu'on veut agrandir, on a pour la longueur du foyer conjugué et par conséquent pour le tirage que devra avoir la chambre noire,

$$f' = (n+1)\,d.$$

Si l'on appelle D la distance à laquelle l'objectif doit se trouver de l'objet à reproduire, f' la longueur focale conjuguée déterminée par la formule précédente, n le nombre de fois qu'on veut agrandir, on a

$$D = \frac{f'}{n}.$$

Supposons, pour fixer les idées, que nous voulions agrandir 4 fois une photographie avec un objectif de $0^m,10$ de foyer, nous aurons d'abord pour la longueur du foyer conjugué, et par conséquent pour le tirage de la chambre noire,

$$f' = (4+1) \times 0^m,10 = 0^m,50.$$

La distance D, entre l'objet à reproduire et le centre optique, sera

$$D = \frac{0^m,50}{4} = 0^m,125.$$

Si nous avions voulu faire le même agrandissement avec un objectif de $0^m,30$ de foyer, il aurait fallu donner à la chambre noire $1^m,40$ de tirage. On voit donc que prendre un objectif de foyer plus court pour les agrandissements revient à réduire le tirage de la chambre noire.

Comme résumé de ce qui précède, nous pouvons dire que *pour agrandir un objet à une échelle déterminée, il faut donner à la chambre noire un tirage égal à la longueur du foyer principal de l'objectif multipliée par le nombre de fois plus 1 qu'on veut agrandir.*

Pour connaître la distance de l'objet à agrandir au centre optique de l'objectif, il n'y a qu'à diviser la longueur obtenue dans l'opération précédente par le nombre de fois qu'on veut agrandir.

CHAPITRE IV.

DÉTERMINATION DE LA GRANDEUR DES OBJETS D'APRÈS LEURS DIMENSIONS APPARENTES SUR LA GLACE DÉPOLIE.

1. *Établissement des formules.* — Détermination de la hauteur d'un monu-
ment sur lequel on a appliqué une mesure. — Calcul de l'échelle de réduction.
— Formules générales permettant de déduire la hauteur des objets et leur
distance de leurs dimensions apparentes. — 2. *Application pratique des for-*
mules précédentes. — Exemples numériques. — Déterminer l'échelle de réduc-
tion des divers plans d'une photographie. — Calcul de la distance à laquelle
il faut se placer pour réduire un monument à une dimension déterminée.
Détermination de la hauteur d'un monument inaccessible, ou placé sur un
terrain qui n'est pas horizontal. — Détermination de la largeur et de la hau-
teur d'un monument sans aucune mesure. — Déterminer de l'extérieur d'un
monument dans lequel on ne peut pénétrer les dimensions intérieures de ce
monument. — Déterminer sur la carte de quel point une photographie a été
prise. — Mesure de grandes distances par la Photographie, et détermination
de la position occupée par l'opérateur. — Généralités des formules employées
dans ce Chapitre ; leur application à tous les instruments d'Optique.

1. — Établissement des formules.

Les cas pouvant se présenter dans la pratique étant très variés, nous avons recours dans cet Ouvrage à trois méthodes fort différentes au premier abord, — très parentes en réalité, — pour déduire les dimensions réelles des objets de leurs dimensions apparentes. La première, fondée sur des relations géométriques élémentaires, fait connaître les rapports existant entre les dimensions apparentes des objets sur la glace dépolie de la chambre noire et leurs dimensions réelles. La seconde, fondée sur les lois de la perspective

permet de déduire les formes réelles des objets de leurs formes photographiques. La troisième, basée sur les relations trigonométriques existant entre les angles et les côtés des triangles rectangles, est destinée à être appliquée seulement pour les objets ne valant pas la peine d'être photographiés, ou dont on ne veut photographier qu'une partie. C'est à la première de ces trois méthodes que va être consacré ce Chapitre.

Les diverses formules dont nous ferons usage pour les problèmes que l'on peut résoudre avec la chambre noire sont, pour la plupart, à la portée de toute personne sachant faire une multiplication et une division. Elles dérivent des formules générales des lentilles, mais sont beaucoup plus simples, parce que, au lieu d'y introduire la longueur focale conjuguée, valeur variable qu'il faut exprimer en fonction de la distance, nous ne faisons usage que de la longueur focale principale, valeur constante pour chaque objectif, et la seule qu'il soit nécessaire de faire intervenir dans le cas de reproduction d'objets éloignés, c'est-à-dire précisément dans les cas de photographie de monuments auxquels sont destinées nos formules. Les photographes qui voudront bien s'habituer à en faire usage arriveront rapidement à ne pouvoir s'en passer.

La première de ces formules est celle nécessaire pour déterminer les dimensions d'un monument sur lequel on a appliqué un mètre ou mesuré une grandeur quelconque. C'est celle dont le photographe aura à faire le plus souvent usage. Elle est de beaucoup la plus simple, puisqu'elle ne nécessite même pas la connaissance du foyer de l'objectif, et en même temps la plus sûre, puisque l'appareil photographique ayant enregistré la mesure qui sert de base au calcul, la vérification de ce calcul est toujours possible.

Soit H (*fig.* 8) la hauteur totale d'un monument, H' une hauteur quelconque prise sur ce monument ou appliquée sur lui, h et h' les hauteurs réciproques de H et H' sur la glace dépolie de la chambre noire. En vertu des propriétés bien connues des triangles semblables, on a

$$\frac{H}{H'} = \frac{h}{h'},$$

d'où

$$(1) \qquad H = H' \times \frac{h}{h'}.$$

Connaissant la hauteur H, on a tout ce qu'il faut pour déterminer les dimensions des diverses parties de l'édifice dans

Fig. 8.

le plan duquel la mesure avait été placée, et notamment sa largeur, si l'on a eu soin de se placer parallèlement à la surface à mesurer en employant les moyens indiqués ailleurs.

Si la mesure H′ appliquée sur le monument est exactement un mètre, l'opération précédente se réduit à diviser h par h' pour avoir la dimension du monument H exprimée en mètres.

L'examen de la formule précédente montre que le rapport entre la grandeur de l'objet de dimension connue H′ et son image h' donne l'échelle de réduction. Appelant E cette échelle, nous avons

$$E = \frac{h'}{H'}.$$

L'application d'un mètre ou d'une mesure quelconque sur un monument est le moyen que nous recommandons de préférence parmi tous ceux qui sont indiqués dans cet Ouvrage pour mesurer les monuments. Il a cet avantage immense de rendre toute erreur impossible. La photographie porte sur

elle son échelle. Sans doute, comme nous le verrons ailleurs, les grandeurs à mesurer peuvent être calculées autrement; mais si l'on n'est pas parfaitement familiarisé avec la théorie des lentilles et les lois de la perspective photographique, on peut s'exposer à de grosses erreurs.

Pour montrer immédiatement les erreurs qu'on peut commettre, il suffira de dire, — ce que je démontrerai dans le Chapitre V consacré à la perspective photographique, — que si, étant devant un monument AB, on veut appliquer les

Fig. 9.

formules qui vont suivre, à déterminer soit la hauteur d'un monument, connaissant sa distance à l'objectif, soit la distance de l'objectif au monument, connaissant la hauteur de ce dernier, on ne réussira que si la glace dépolie aa' est parfaitement parallèle à AB. Dans ces conditions, la hauteur du monument sur la glace dépolie, hauteur prise indistinctement en face de A ou de B, permettra de calculer AO; mais si la glace n'est pas parallèle à AB, on aura, au lieu de la longueur AO, une distance quelconque comprise entre AO et BO suivant l'angle que fera l'axe optique de l'appareil avec AB.

Si c'est la hauteur inconnue du monument qu'on veut déduire de la distance connue OA, on aura encore des chiffres très variables si l'appareil, au lieu d'être parallèle au monument, a simplement tourné sur son axe, alors même qu'il n'aurait ni avancé ni reculé. Le pied d'un appareil étant invariablement fixé, il suffit pour faire varier la hauteur d'une image de près d'un dixième avec un objectif de $0^m,20$ de foyer placé à une trentaine de mètres, de faire tourner la chambre noire de quelques degrés sur son axe. Avec un objectif de $0^m,28$ de foyer, un monument de $19^m,30$ placé à une trentaine de mètres peut avoir, simplement en faisant légèrement tourner la chambre sur son axe, des hauteurs comprises entre $0^m,183$ et $0^m,198$ sur la glace dépolie. Si l'on cherchait à déduire la distance au monument de ces chiffres, on obtiendrait $29^m,53$ avec le premier nombre, et $27^m,30$ avec le second. Si c'était, au contraire, la hauteur qu'on eût voulu déduire de la distance connue, on eût obtenu, avec les chiffres précédents, $18^m,79$ et $20^m,33$, au lieu de $19^m,30$ hauteur réelle.

Le lecteur, familier avec les explications données dans notre Chapitre sur la perspective, et qui aura appris, suivant la méthode que nous avons indiquée, à bien mettre son appareil parallèle à la façade d'un monument, ne sera pas exposé à commettre de telles erreurs. Il était nécessaire de les signaler dès maintenant, pour bien montrer la nécessité d'approfondir les principes exposés dans d'autres Chapitres de cet Ouvrage. Avec la méthode du mètre appliqué verticalement contre le monument, aucune des erreurs que je viens d'indiquer n'est possible, quelle que soit la maladresse ou l'ignorance de l'opérateur. Elle est à la portée du photographe le plus inexpérimenté, et le met à l'abri de toute distraction et de toute erreur. C'est pourquoi, je le répète, elle doit toujours être préférée.

Il peut arriver cependant qu'on ne puisse ou qu'on ne veuille appliquer aucune mesure sur un monument. La Photographie fournit de telles ressources qu'on peut, à la rigueur, se passer de ce précieux moyen de contrôle. Les formules

qui vont suivre permettent non seulement de calculer les dimensions d'un monument sans appliquer à sa surface aucune mesure, mais encore de savoir à quelle distance il faut se placer de lui pour qu'il soit compris dans les limites de la glace dépolie ou réduit à une échelle déterminée.

Désignons par d la distance focale principale d'un objectif, — la seule à considérer, quand il s'agit de la reproduction d'objets éloignés, tels que les monuments, — par D la distance de l'objectif à l'objet à reproduire, par H la hauteur de cet objet et par h sa hauteur sur la glace dépolie, les propriétés bien connues des triangles permettent d'établir la relation suivante :

$$\frac{D}{d} = \frac{H}{h}. \tag{2}$$

De cette relation fondamentale on tire

$$H = D \times \frac{h}{d}, \tag{3}$$

$$h = d \times \frac{H}{D}, \tag{4}$$

$$d = h \times \frac{D}{H}, \tag{5}$$

$$D = H \times \frac{d}{h}. \tag{6}$$

La formule (3) permet de calculer la hauteur d'un édifice, connaissant sa distance à l'objectif, la hauteur de son image sur la glace dépolie et le foyer de l'objectif.

La formule (4) nous donne immédiatement la hauteur qu'occupera sur la glace dépolie, pour un foyer donné, un objet de hauteur connue placé à une distance connue.

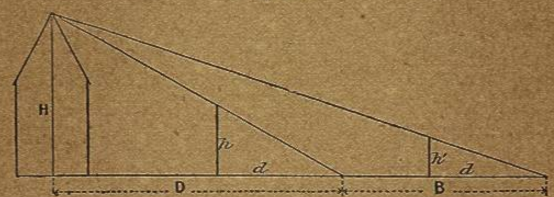
La formule (5) nous permet de déduire le foyer principal d'un objectif de sa distance à un objet de hauteur connue placé à une distance connue.

La formule (6) nous permet de calculer la distance à laquelle on se trouve d'objets de hauteur connue, connaissant la hauteur de leur image sur la glace dépolie et le foyer de l'objectif. Elle nous dit aussi à quelle distance il faut nous placer d'un monument pour qu'il occupe sur la glace dépolie une dimension déterminée.

La formule (3), qui donne la hauteur d'un monument, est celle dont l'usage est le plus fréquent. Grâce à elle, il suffit de savoir à quelle distance on s'est mis d'un objet pour le photographier, et quel était le foyer de l'objectif employé pour connaître ses dimensions.

Toutes les formules précédentes supposent que le monument qu'on veut mesurer est accessible; mais une rivière, un

Fig. 10.



fossé, une barrière peuvent nous en séparer. L'appareil photographique pourra encore, dans ce cas, servir à déterminer la grandeur du monument, à la simple condition qu'on puisse s'avancer ou se reculer assez pour voir la hauteur qu'il occupe sur la glace dépolie en deux stations différentes. Soit D la distance inconnue à laquelle on se trouve d'abord du monument H, h la hauteur du monument sur la glace dépolie, d la longueur focale principale de l'objectif — longueur identique dans les deux stations, — B la distance connue dont on s'est reculé, h' la hauteur de l'image sur la glace dépolie à l'extrémité de la seconde station. Si l'on examine la *fig.* 10, dont j'ai simplifié la construction pour rendre la démonstration plus facile, on voit clairement qu'on a, en considérant succes-

sivement les deux triangles ayant pour côté commun H, et pour bases, le premier D et le second D + B, les relations suivantes :

$$\frac{D}{H} = \frac{d}{h} \quad \text{et} \quad \frac{D+B}{H} = \frac{d}{h'}.$$

En divisant la seconde équation par la première pour éliminer H et d, et résolvant par rapport à D, on a

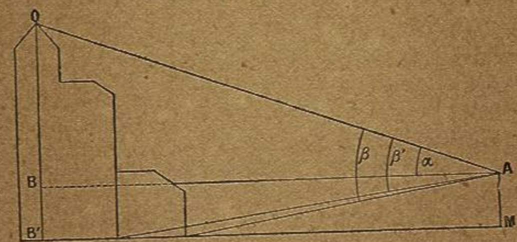
$$(7) \qquad D = B \times \frac{h'}{h - h'}.$$

La distance inconnue D, à laquelle on se trouvait du monument à la première station, étant connue, la hauteur H est déterminée par l'emploi de la formule (3), c'est-à-dire $H = D\,\frac{h}{d}$.

La formule (7) est également celle qu'il faudrait employer dans le cas d'édifices dont le sommet à mesurer est situé dans un plan dont la base est inaccessible, par exemple une pyramide, une tour à toit conique entourée de murs, etc.

Dans tous les cas analogues aux derniers que je viens de citer, c'est-à-dire quand la base du plan à mesurer est invi-

Fig. 11.



sible, l'appareil doit être mis parfaitement horizontal avec son niveau. L'angle mesuré est alors l'angle que fait avec l'horizontale la ligne de visée allant au sommet de l'objet considéré. Il faut ajouter ensuite à la hauteur trouvée par le calcul la hauteur du centre de l'appareil photographique au-dessus du sol.

La *fig.* 11 fait immédiatement comprendre l'explication qui précède. L'appareil étant placé en A, à une certaine hauteur au-dessus du sol, on voit aisément que l'angle α est indépendant des constructions du premier plan, si l'on a soin de viser au-dessus d'une ligne horizontale, alors que, si l'on vise la base des premiers plans, on obtiendrait des angles β, β' variables suivant l'avancement de ces plans et desquels on ne peut nullement déduire OB. La même figure montre également pourquoi, l'opération terminée, il faut ajouter au chiffre la hauteur $AM = BB'$ de l'appareil au-dessus du sol pour avoir OB' hauteur cherchée.

2. — Applications pratiques des formules précédentes.

Pour montrer combien est facile l'application des formules exposées dans le Paragraphe précédent, nous allons donner quelques exemples d'applications numériques aux cas qui peuvent se présenter le plus fréquemment.

Déterminer les dimensions d'un monument dont on a mesuré une partie. — Nous trouvant en face d'un monument, sur lequel nous ne trouvons pas une place convenable pour appliquer un mètre, nous mesurons exactement avec un ruban métrique la longueur d'une portion de sa base comprise entre deux points faciles à reconnaître, par exemple la distance du bord droit de la porte d'entrée au bord gauche de la dernière fenêtre du rez-de-chaussée, distance que nous trouvons égale, je suppose, à $12^{m},04$. Plaçant l'appareil photographique à une distance quelconque, en nous assujettissant seulement à le rendre bien parallèle au monument, en suivant les règles que nous avons indiquées, nous trouvons que la partie mesurée occupe $0^{m},020$ sur la glace dépolie, alors que la hauteur totale de cette façade y occupe $0^{m},039$, on

demande la hauteur vraie de la façade. Appliquant la formule

$$H = H' \times \frac{h}{h'},$$

nous avons

$$H = 12^{m},04 \times \frac{39}{20} = 20^{m},48.$$

Déterminer l'échelle de réduction des divers plans d'une photographie. — Les divers plans d'une photographie subissent, conformément aux lois de la perspective, des réductions fort différentes sur la glace dépolie. Quand il s'agit d'une surface plane, telle qu'une carte, une façade rectangulaire par exemple, nous pouvons bien dire que cette surface est réduite à une échelle déterminée, au centième par exemple, parce que toutes les parties parallèles à la glace dépolie sont réduites dans le même rapport; mais, quand il s'agit d'un monument dont plusieurs plans sont visibles sur la photographie, on ne peut dire évidemment que le monument est réduit à une échelle déterminée, puisque cette échelle varie avec chaque plan : il faut donc indiquer l'échelle de chacun de ces plans. Nous avons vu comment l'échelle d'un premier plan, supposé une surface plane, se détermine par l'application d'un mètre ou d'une mesure quelconque sur cette surface; nous verrons dans le Chapitre consacré à la perspective comment la valeur de ce mètre en divers plans se détermine par des constructions géométriques opérées sur les fuyantes. Ces constructions sont inutiles si l'on a pu appliquer plusieurs mètres dans les différents plans, où se trouvent les objets intéressants, colonnes, statues, etc., à mesurer.

Connaissant aussi la valeur du mètre dans un plan quelconque, l'échelle E de réduction de ce plan est immédiatement déterminée par la formule donnée plus haut

$$E = \frac{h'}{H}.$$

Supposons, par exemple, qu'on sache que la corniche d'une fenêtre d'un monument, située dans un plan quelconque, est à $3^m,30$ au-dessus du sol, et que cette même corniche soit sur la photographie à une hauteur de $0^m,033$. Appliquant la formule précédente, en ayant soin d'exprimer toutes les grandeurs dans la même unité, c'est-à-dire en millimètres, nous aurons

$$E = \frac{33^{mm}}{3300^{mm}} = 0^m,01;$$

l'échelle de réduction de cette portion de la photographie est donc de $0^m,01$ pour 1^m.

Déterminer la hauteur d'un monument, connaissant la distance qui le sépare de l'objectif. — Nous trouvant à 25^m de la façade d'un monument, nous voyons qu'elle occupe sur la glace dépolie une hauteur de $0^m,140$. Le foyer de l'objectif est $0^m,280$. On demande la hauteur du monument. Appliquant la formule (3)

$$H = D \times \frac{h}{d},$$

nous avons

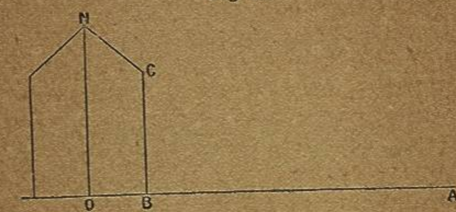
$$H = 25 \times \frac{140}{280} = 12^m,50.$$

Cette formule étant très usuelle, on peut la retenir facilement. Il suffit de se rappeler qu'on trouve la hauteur d'un monument, en divisant sa hauteur apparente sur la glace dépolie par son foyer, et multipliant le produit par la distance à laquelle on est du monument.

Cette formule ne s'applique évidemment qu'au premier plan d'un édifice. Elle n'est applicable à ses divers plans que si l'on connaît la distance à chacun de ces plans. Il est visible en effet que de la distance AB (*fig.* 12) nous ne pourrons déduire que BC, et non ON. Si, au lieu de déterminer BC, nous voulons déterminer ON, il faut mesurer OA, c'est-à-dire

ajouter OB à BA. BA est facile à mesurer, mais OB n'étant pas accessible, est moins facilement mesurable. On trouve presque toujours cependant une partie latérale de l'édifice qui permet, en mesurant l'espace compris entre deux lignes parallèles passant approximativement par O et B, de déterminer la longueur de OB. Le cas de monuments à centre complètement inaccessible et invisible est d'ailleurs traité plus loin.

Fig. 12.



Déterminer la hauteur qu'occupera sur la glace dépolie un monument de dimension connue dont on est placé à une distance connue. — Quelle sera, avec un objectif de $0^m,28$ de foyer, la hauteur, sur la glace dépolie, d'un monument de $21^m,40$ de hauteur dont on se trouve placé à 25^m.

La formule (4) $h = d \times \frac{H}{D}$ donne

$$h = 280 \times \frac{21^m,40}{25} = 0^m,239.$$

Calculer la distance à laquelle il faut se placer d'un monument, pour qu'il occupe sur la glace dépolie une dimension donnée. — A quelle distance faut-il nous reculer d'un monument de 40^m de hauteur, pour que son image ait exactement $0^m,18$ de hauteur sur le cliché, avec un objectif de $0^m,28$ de foyer.

La formule (6) $D = \frac{d}{h} + H$ donne

$$D = \frac{28}{18} \times 40 = 62^m.$$

Cette formule est d'un usage fréquent, et éviterait aux photographes les longs tâtonnements nécessaires pour savoir la place à laquelle ils doivent se placer pour qu'un monument occupe une dimension convenable sur le cliché. Elle est facile à retenir puisqu'il n'y a qu'à diviser le foyer par la hauteur qu'on veut donner à l'image, et multiplier le chiffre obtenu par la hauteur réelle du monument.

Pour les objets très rapprochés, cartes, dessins à réduire, la valeur représentant le foyer n'est plus une constante, mais une variable (foyer conjugué); et il faut alors faire usage des formules précédemment données pour ces cas spéciaux.

Déterminer la distance à laquelle on se trouve d'un édifice dont la hauteur est connue. — A quelle distance se trouve-t-on d'une maison de 24^m de hauteur, qui occupe sur la glace dépolie une hauteur de 39^{mm}, le foyer principal de l'objectif étant 280^{mm}.

Appliquant la formule $D = H \times \frac{d}{h}$, on a

$$D = \frac{280}{39} \times 24^m = 172^m,30.$$

Déterminer la hauteur d'un édifice inaccessible. — Étant placé à une distance inconnue d'un monument inaccessible, on voit qu'il occupe 80^{mm} sur la glace dépolie. On se recule de 25^m de la première station, et l'on trouve qu'il n'occupe plus que 60^{mm} sur la glace dépolie. On demande : 1° la distance à laquelle on était d'abord du monument inaccessible; 2° sa hauteur.

Appliquant la formule (7), $D = B \times \frac{h'}{h - h'}$, nous avons d'abord pour la distance D, à laquelle nous nous trouvons du monument,

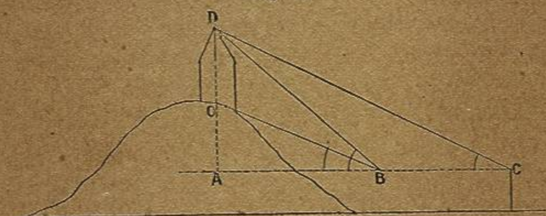
$$D = 25 \times \frac{60}{80 - 60} = 75^m.$$

La hauteur du monument se calculera maintenant avec la formule $H = D \times \frac{h}{d}$. Le foyer de l'objectif étant 280^{mm}, nous aurons

$$H = 75 \times \frac{89}{280} = 21^m,43.$$

Déterminer la hauteur d'un monument inaccessible placé sur un terrain plus élevé que celui où se trouve l'opérateur. — Dans le calcul précédent, nous avons supposé que le terrain où se trouvait l'observateur et la base du monument étaient sensiblement sur le même plan horizontal.

Fig. 13.

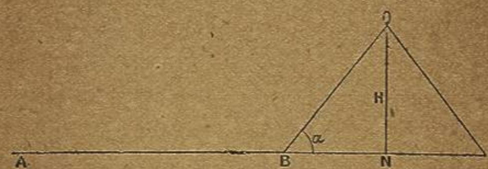


Il peut arriver que le monument soit sur une éminence beaucoup plus élevée que l'observateur. Dans ce cas, on détermine la distance AB, en observant à la chambre noire, comme il a été dit (p. 59), la hauteur D de AD au-dessus de l'horizontale AC de deux stations B et C. Connaissant AB, on se trouve dans le cas de monuments accessibles, et il n'y a plus qu'à déterminer par deux visées de B les hauteurs AD et

AO; retranchant alors le second nombre du premier, nous avons alors la hauteur DO.

Déterminer photographiquement le diamètre d'une pyramide, sa hauteur et l'inclinaison de ses faces. — Soit la pyramide, dont la section est représentée *fig.* 14; on demande son demi-diamètre BN, sa hauteur H et l'angle d'inclinaison α de la face BO. Nous avons vu, dans le précédent problème, comment deux visées sur le point O sont nécessaires pour pouvoir déterminer successivement la distance inaccessible

Fig. 14.



et invisible AN, puis la hauteur H de la pyramide. Connaissant AN par l'opération précédente, il n'y a qu'à mesurer directement AB pour avoir par simple différence le demi-diamètre de la pyramide. On a évidemment en effet

$$BN = AN - AB.$$

Reste à déterminer l'angle α. Rien n'est plus simple puisque nous connaissons BN, et la hauteur H. Des relations trigonométriques bien connues nous donnent en effet

$$\operatorname{tang}\alpha = \frac{H}{BN}.$$

J'ai donné le problème précédent pour montrer encore une fois combien sont variées les ressources fournies par la Photographie, mais ma solution est un peu compliquée et je ne la recommande pas.

Déterminer sans mesures la largeur et la hauteur d'un monument placé obliquement relativement à l'opérateur, et entièrement inaccessible. — Dans les deux opérations précédentes, il a fallu mesurer une base et déplacer l'appareil. Dans la plupart des cas, nous pouvons éviter cette double opération. Soit, par exemple, AB la projection horizontale d'un monument inaccessible dont on demande la hauteur H et la largeur AB. La solution de ce problème assez compliquée par

Fig. 15.

les méthodes trigonométriques ordinaires, est donnée immédiatement par l'appareil photographique si le terrain sur lequel on opère est bien horizontal. Que nous soyons en C ou en D, rien n'est plus simple, en opérant exactement comme il a été dit précédemment, que de mettre la glace dépolie parallèlement à AB, en faisant tourner la chambre noire sur son axe jusqu'à ce qu'une des lignes horizontales supérieures du monument, d'abord oblique, devienne parallèle aux lignes horizontales tracées sur la glace dépolie. On photographie alors le monument dans cette position, ou, si l'on ne veut pas le photographier, on note la hauteur et la largeur qu'il occupe en millimètres sur la glace dépolie.

Il faut rechercher maintenant la valeur métrique de chacun de ces millimètres, c'est-à-dire trouver à quelle échelle la façade a été réduite. L'appareil que nous supposons muni de notre niveau sphérique, ayant été mis bien horizontal, on note quelle partie du monument tombe exactement au centre de la glace dépolie, après avoir fait correspondre ce dernier, comme nous l'expliquons ailleurs, avec la projection du centre optique. Si le terrain est horizontal, cette hauteur est exactement égale à celle du centre de l'objectif au-dessus du sol. Si donc cette hauteur du centre de l'objectif est, je suppose, de $1^m,50$, la hauteur de la partie du monument qui correspond au centre de la glace dépolie est exactement à $1^m,50$ au-dessus de sa base. C'est donc comme si l'on était allé placer sur le monument une mesure ayant $1^m,50$ de hauteur. Connaissant les dimensions de l'une des parties de l'édifice, les autres s'en déduisent immédiatement comme il a été précédemment expliqué.

Ce procédé est très simple, mais il manque de précision parce qu'on n'est jamais certain de se trouver sur un terrain horizontal. On rendrait cette méthode plus exacte, mais aussi plus compliquée, en mesurant avec la roulette métrique une base de 25^m à 50^m et un angle aux extrémités de cette base, ainsi que nous l'expliquons dans un autre Chapitre. On aurait ainsi la distance à laquelle on se trouve d'une arête verticale du monument. Connaissant cette distance D et la hauteur *h* de l'image de l'arête sur la glace dépolie, ainsi que la distance focale de l'objectif, on aurait sa hauteur réelle H avec notre formule $H = D \times \frac{h}{d}$.

Connaissant la hauteur d'une portion du monument, on a l'échelle de réduction de sa façade, et par conséquent sa largeur.

Déterminer de l'entrée d'un monument, dans lequel il est interdit de pénétrer, les dimensions de toutes ses parties intérieures et des divers objets visibles qu'il renferme. — Le problème que je viens de poser n'est nullement inventé à plaisir. Il se présente journellement dans les mosquées musulmanes et les pagodes de l'Inde.

Sa solution semble au premier abord assez embarrassante. Bien qu'elle soit fort simple, j'avoue que je l'ai longtemps cherchée. La porte est généralement assez étroite, placée, au moins pour les sanctuaires de certaines pagodes, au sommet d'un escalier. Ne pouvant mesurer aucune base, et la grandeur des objets que contient le temple étant totalement inconnue, nous ne possédons aucun des éléments sur lesquels on s'appuie généralement pour la solution d'un tel problème. Cette solution est pourtant facile; c'est celle employée dans le problème précédent pour trouver la hauteur d'un monument inaccessible. L'appareil étant placé à l'entrée de la porte, il n'y a qu'à mesurer la hauteur du centre de l'objectif au-dessus du sol, et noter l'objet situé à l'intérieur du monument projeté sur le centre de la glace dépolie de la chambre noire supposée, bien entendu, horizontale. La hauteur de cet objet est précisément égale à la hauteur de l'appareil au-dessus du sol, et remplace la mesure que l'on applique sur les monuments pour en déduire leurs dimensions. La même opération, répétée sur des objets de divers plans, nous donnera toutes les dimensions dont nous pourrons avoir besoin pour trouver, sur la photographie prise de l'entrée du temple, toutes les dimensions des objets divers, colonnes, statues, etc., qu'il renferme.

Certains monuments de l'Orient, tels que la mosquée d'Omar à Jérusalem, par exemple, et la plupart des pagodes de l'Inde, sont tellement obscurs à l'intérieur qu'il serait fort pénible de rechercher sur la glace dépolie l'image d'objets de petites dimensions correspondant à son centre. Il est beaucoup plus simple, pendant que l'appareil photographique prend l'image, opération qui, vu l'obscurité, exige plusieurs minutes, de relever plusieurs repères à l'intérieur du monument. Il suffit pour cela d'avoir entre les mains un des nombreux instruments connus — un de ceux décrits dans cet Ouvrage notamment — permettant de mener une ligne horizontale. S'appuyant sur les parois de la porte, on place l'instrument à la hauteur convenable pour être de niveau avec le sommet d'un piédestal, d'une balustrade, ou de tout objet saillant quelconque facile à reconnaître. On mesure alors la hauteur à laquelle a été élevé l'instrument au-dessus du sol, et l'on marque ces indications sur un carnet. Si l'on possède la canne métrique dont j'ai parlé, on l'appliquera sur une des parois latérales de la porte et l'on fera la visée en posant l'instrument à niveau dont on fera usage sur le bord de l'équerre qui la surmonte. Comme on peut lire immédiatement sur la canne à quelle distance l'équerre se trouve du sol, on peut aisément prendre en quelques minutes cinq à six mesures qui, plus tard, permettront de retrouver sur la photographie toutes les dimensions nécessaires, surtout si l'on a pris soin d'indiquer sur le carnet quelle était la hauteur d'un objet placé sur le même plan horizontal que le centre de l'objectif.

Déterminer sur la carte de quel point d'un paysage une photographie a été prise. — La solution de ce problème exige que, dans les objets photographiés figurant sur le paysage, il y en ait trois dont la position relative soit connue. Les angles qui existent entre ces objets pouvant se lire sur la photographie et se reporter sur une feuille de papier transparent, on voit que le problème se trouve ainsi ramené à celui connu en Topographie sous le nom de *problème de la carte*. On peut le résoudre, comme on sait, au moyen d'angles capables, ou plus simplement en promenant un papier calque, où ont été reportés les angles, sur la feuille qui porte les trois points, ou sur la carte elle-même si elle est à une assez grande échelle, jusqu'à ce que les trois côtés des angles passent par les trois points visés. Le sommet de l'angle, qu'on marque au crayon à travers le papier calque, indique sur

la carte la position qu'occupait l'appareil photographique, et par conséquent la distance à l'échelle de la carte séparant l'appareil photographique des trois points connus.

Au lieu de trois points, on peut se contenter d'en connaître deux seulement, si l'on a pu viser ces deux points à la boussole de la station dont on veut connaître la position. La ligne Nord-Sud — corrigée de la déclinaison — et les angles faits avec elle étant reportés sur du papier à calquer, il n'y a qu'à promener le calque sur la carte jusqu'à ce que les côtés de l'angle tracé passent par les deux points connus, et que la ligne Nord-Sud soit parallèle à un des méridiens verticaux de la carte.

La méthode qui va suivre donne une solution un peu plus compliquée mais aussi plus exacte du problème précédent.

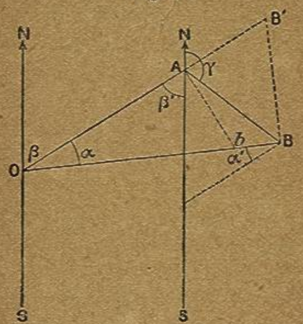
Mesure de grandes distances par la Photographie et détermination de la position occupée par l'opérateur. — La Photographie permet, sans autre opération supplémentaire qu'une simple visée avec la boussole dont est muni l'appareil, ou avec une boussole quelconque divisée en degrés, de mesurer des longueurs de plusieurs kilomètres en employant une base d'orientation connue.

L'opération est théoriquement la même que celle que nous avons employée pour trouver la distance à un monument de hauteur connue, au moyen de la formule $D = \frac{d}{h} \times H$; mais, dans cette opération, H était toujours représentée par une ligne verticale, perpendiculaire par conséquent à la ligne de visée, c'est-à-dire à l'axe optique, tandis que si nous avons recours à une base horizontale AB (*fig.* 16), cette base ne sera pas le plus souvent perpendiculaire à la ligne de visée OA. Pour que la formule soit applicable, il est indispensable de savoir ce que vaut AB ramené à être perpendiculaire à OA, c'est-à-dire la longueur A*b*. Connaissant A*b*, la formule précédente donnera OA.

Pour calculer OA, il faut d'abord mesurer une base AB et son orientation magnétique. Lorsqu'ensuite on est arrivé au point quelconque O, dont on veut prendre la photographie, on vise à la boussole le point A. Cette visée donne l'angle β fait par OA avec le méridien. Connaissant β, on connaît β' qui lui est égal, et la direction de OA relativement à AB dont l'orientation γ est également connue. L'angle α se déduit, comme nous l'avons vu ailleurs, de la distance millimétrique horizontale comprise, sur la glace dépolie ou sur la photographie, entre les représentations des points A et B. (Si l'on appelle n le nombre de millimètres compris sur la glace entre A et B, d le foyer de l'objectif, on a $\tang \alpha = \frac{n}{d}\Big)$.

Avec les données précédentes, nous avons tous les éléments

Fig. 16



nécessaires pour résoudre le problème. Par le point B menons une parallèle à OA, et construisons en B un angle $\alpha' = \alpha$, et menons BO. Il suffira alors d'élever au point A sur OA une perpendiculaire Ab jusqu'à la rencontre de OB pour avoir la valeur de AB ramenée à être perpendiculaire à OA. Cette valeur étant mesurée au décimètre, donne la véritable longueur de AB à introduire à la place de H dans la formule donnée à la page précédente.

Si, après avoir calculé OA, on voulait calculer OB, il faudrait élever une perpendiculaire BB' à OB jusqu'à la rencontre de OA prolongée, pour avoir la valeur de AB ramené à être perpendiculaire à OB. La formule $D = \frac{d}{h} \times H$ donnerait alors, en remplaçant H par BB', la valeur de OB.

En pratique, il n'est pas nécessaire de construire sur le papier le triangle figuré plus haut, ce qui serait d'ailleurs peu commode, parce que ses côtés pourraient être beaucoup trop longs. Je vais montrer du reste que sa construction est entièrement inutile; en donnant un exemple dans lequel avec une simple visée à la boussole sur le point A, et une photographie, j'ai pu déterminer du haut de la terrasse de Bellevue des distances de 6^{km} et 7^{km}. La base choisie (ligne allant de la première tour du Trocadéro aux Invalides) avait 2000^{m}. Elle aurait pu être assurément moins grande, et, en pratique, elle le sera toujours beaucoup moins. Je ne l'ai choisie que parce que ses extrémités étaient bien visibles, et que j'ai employé le même exemple dans une autre Partie de cet Ouvrage à propos de la triangulation photographique.

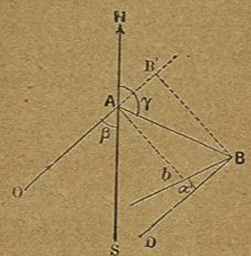
La seule opération, en dehors de la Photographie, a été de déterminer avec la boussole la direction de OA avec le méridien magnétique, c'est-à-dire $\beta = 44°$. D'autre part, on connaissait, comme je viens de le dire, la longueur de la base $AB = 2000^{m}$, et son orientation avec le méridien magnétique, c'est-à-dire l'angle $\gamma = 113°$ (¹). On connaissait le foyer de l'objectif $= 280^{mm}$. Mesurant avec un décimètre sur la photographie la distance horizontale entre la tour du Trocadéro et le dôme des Invalides, on a trouvé $75^{mm},4$, on en a déduit immédiate-

(¹) Pour que le lecteur puisse au besoin faire la vérification sur la carte au $\frac{1}{20\,000}$, les angles ont été corrigés de la déclinaison magnétique. Ce sont donc les directions avec le Nord vrai qui sont indiquées ici.

ment $\tang \alpha = \frac{75.4}{280} = 0,869$, ce qui, au moyen d'une Table de tangentes, donne $\alpha = 15° 4'$.

Voici maintenant comment, avec ces éléments, on a calculé les côtés marqués OA et OB (*fig.* 16), c'est-à-dire les distances de la terrasse de Bellevue au Trocadéro et aux Invalides. L'échelle choisie étant le $\frac{1}{20\,000}$, c'est-à-dire 1^{mm} pour 20^{m}, on a tracé sur le papier (*fig.* 17) une ligne AB de 100^{mm} de longueur,

Fig. 17.



représentant par conséquent 2000^{m}, et faisant avec une ligne verticale représentant la ligne Nord-Sud un angle $\gamma = 113°$, puis une ligne de longueur quelconque OA faisant avec la ligne Nord-Sud un angle β de $44°$. Par le point B on a mené ensuite une parallèle BD à AO, et l'on a construit en B un angle α' (1) $= 15° 4$ (l'erreur commise sur la lecture des minutes dans cette dernière opération est insignifiante). Élevant ensuite par le point A à la ligne OA une perpendiculaire Ab jusqu'à la rencontre de Bb, on a obtenu une ligne Ab qui représente AB ramenée à être perpendiculaire à la ligne de visée OA. Mesurant cette longueur au décimètre, on trouve

(1) Cet angle α' pourrait être construit avec sa tangente, comme il a été dit dans un autre Chapitre, ce qui rendrait inutile l'emploi d'une Table pour déduire l'angle α de sa tangente.

qu'elle est de $0^{m},084$, ce qui, à l'échelle de $\frac{1}{25\,000}$, représente 1680^{m}. Appliquant alors notre formule $D = H \times \frac{d}{h}$, nous avons pour la distance D de la terrasse de Bellevue à la tour du Trocadéro

$$D = 1680 \times \frac{280}{75,4} = 6239^{m}.$$

Pour connaître la distance du même point aux Invalides, il faut répéter sur la ligne bB l'opération précédente. Par le point B on élève à bB la perpendiculaire BB′ jusqu'à la rencontre de OA prolongée. Cette longueur, mesurée au millimètre, donne la longueur de AB ramenée à être perpendiculaire à la ligne allant de O à B. Sa longueur étant 98^{mm}, soit 1960^{m} à l'échelle de $\frac{1}{20\,000}$, on a pour la distance D cherchée

$$D = 1960 \times \frac{280}{75,4} = 7278^{m}.$$

Si l'on voulait connaître la position du point d'où a été prise la photographie, il n'y aurait qu'à opérer exactement comme je l'ai dit plus haut, ou mieux comme je l'indique dans un autre Chapitre de cet Ouvrage, au Paragraphe concernant la triangulation photographique, dans lequel l'exemple précédent se trouve répété.

Les opérations précédentes sont beaucoup plus longues à décrire qu'à exécuter. Elles se bornent, en pratique, à viser à la boussole un des points de repère choisis comme extrémités de la base, reproduits par la photographie.

La solution du problème que je viens d'énoncer, et que je crois nouvelle, peut trouver plus d'une application. Elle permettrait dans bien des cas de faire servir de simples photographies pittoresques à compléter utilement une carte. Si un observateur avait pris une série de photographies de divers points d'où il apercevrait seulement deux objets de positions connues (deux pics de montagnes ou deux clochers, par exemple), il suffirait qu'il eût en même temps visé un de ces points à la boussole en faisant sa photographie pour qu'il puisse déterminer exactement, sans mesures de base, toutes les positions successives qu'il a occupées pendant qu'il prenait ses photographies. Des photographies prises dans un but artistique pourraient ainsi fournir des documents précieux pour compléter une carte. J'aurai d'ailleurs à revenir sur cette question dans un autre Chapitre.

Généralité des formules employées dans ce Chapitre; leur application à tous les instruments d'optique. — Il ne sera pas sans intérêt de faire remarquer, en terminant, que toutes les formules établies dans ce Chapitre ne sont pas applicables aux appareils photographiques seulement, mais bien à tout instrument d'optique permettant de mesurer la grandeur apparente d'une image. C'est ainsi qu'en plaçant dans l'oculaire d'une longue-vue quelconque, un micromètre sur verre divisé en dixièmes de millimètre [1], on peut s'en servir pour effectuer tous les calculs que nous avons indiqués. Au lieu de mesurer la hauteur de l'image sur une glace dépolie, on mesure la hauteur qu'elle occupe sur le micromètre. La seule opération à effectuer une fois pour toutes est la mesure du foyer de l'objectif. Elle se fait en mesurant la hauteur apparente, sur le micromètre, d'un objet de hauteur

---

[1] Le prix d'un pareil micromètre est d'environ 5^{fr} à 6^{fr}. Sa position exacte est sur le premier diaphragme de l'oculaire. Aux longues-vues on substituera avec avantage les jumelles longues-vues, instruments très perfectionnés par les constructeurs depuis quelques années. J'en ai vu chez plusieurs opticiens et notamment chez Boucart, quai de l'Horloge, dont les dimensions dépassent à peine celles d'une bonne jumelle de campagne. Je n'en ai pas vu munie d'un micromètre et je n'ai pas réussi encore à trouver un constructeur à qui j'aie pu faire comprendre son utilité. Un micromètre dans un des deux tubes suffit. Il ne doit occuper qu'un tiers de l'ouverture du premier diaphragme, soit 4^{mm} environ.

connue situé à une distance connue. Il suffit alors d'appliquer la formule $d = \frac{D}{H} \times h$ pour avoir le foyer cherché. On évite toute erreur de calcul en se souvenant que toutes les mesures doivent être exprimées en unités de même ordre, par conséquent en dixièmes de millimètre, puisque le micromètre est divisé en dixièmes de millimètre.

Le seul inconvénient des longues-vues à micromètre, c'est qu'elles ne permettent que la mesure d'objets très éloignés. Elles n'embrassent en effet qu'un champ de 1° environ, alors que pour mesurer à de faibles distances un monument même très petit, il leur faudrait un champ vingt fois plus grand. Il serait pourtant fort utile, avant de déballer son instrument photographique, de savoir la distance à laquelle on doit se placer pour avoir une image d'une grandeur déterminée, ou encore calculer, sans manœuvrer son appareil, les dimensions de monuments qu'on ne veut pas photographier. Ce sont ces considérations qui nous ont conduit à imaginer notre télestéréomètre, instrument décrit dans la seconde Partie de cet Ouvrage, et dont le champ très grand, puisqu'il dépasse 25°, permet d'embrasser les dimensions d'objets très rapprochés. Il permet la solution de tous les problèmes posés dans cet Ouvrage, y compris la mesure précise des angles, et cela sans provoquer nullement l'attention, puisque les dimensions de l'instrument ne sont pas supérieures à celles du doigt, et que pour s'en servir on le dirige vers la terre au lieu de le diriger sur les objets qu'on veut regarder.

CHAPITRE V.

LA PERSPECTIVE PHOTOGRAPHIQUE, SON APPLICATION A LA DÉTERMINATION DES FORMES RÉELLES ET DES DIMENSIONS DES MONUMENTS.

Le colonel Laussedat a démontré, il y a environ trente ans, qu'avec plusieurs photographies prises des extrémités d'une base mesurée avec soin, on pouvait reconstituer un plan géométrique. Sa méthode, fort précieuse pour les levers de terrains, est sans intérêt pour les levers de monuments. La nouvelle méthode que je vais exposer maintenant a pour but d'obtenir, sans mesure de base, sans travail supplémentaire sur le terrain et avec une seule photographie, la reconstitu-

tion du plan géométrique de la partie visible d'un monument. Elle permet en effet d'exécuter sur une photographie, malgré les déformations produites par la perspective, les mêmes mesures que sur le monument lui-même.

La méthode qui va suivre étant l'application des lois générales de la perspective, je rappellerai tout d'abord sommairement quelques-unes de ces dernières.

1. — Principes généraux de la perspective photographique.

Les lois de la perspective photographique sont celles de la perspective ordinaire, mais les buts qu'on se propose en étudiant les premières et les secondes sont bien différents. Dans l'étude habituelle de la perspective, on a pour but de déterminer d'avance les modifications que doivent subir pour l'œil, dans des conditions déterminées, des objets de formes et de dimensions connues. Dans l'étude de la perspective photographique, ces déformations sont connues, puisqu'elles sont fournies par l'image photographique, et ce que l'on se propose alors est de déduire de ces déformations connues les formes géométriques et les dimensions inconnues des objets.

Les vues qui se projettent sur le fond de l'œil ou sur une glace dépolie, sont, comme on le sait, des perspectives coniques sur des tableaux plans. Dans les images photographiques, le point de vue est représenté par le centre optique de l'objectif; la distance du tableau au point de vue, par la distance focale principale; la ligne d'horizon, par la ligne que tracerait sur la glace dépolie le plan horizontal passant par le centre optique de l'objectif. Le tableau est la surface sécante formée par la glace dépolie ou par le cliché où s'est fixée l'image. Quelques explications suffiront à rendre tout à fait clair ce qui précède.

La *ligne d'horizon* est, comme nous venons de le dire, la ligne que tracerait sur la glace dépolie le plan horizontapassant par le centre optique de l'objectif. Si, opérant comme nous l'indiquerons plus loin, nous faisons correspondre le centre de l'objectif avec le centre de la glace dépolie, après avoir mis l'appareil bien horizontal, la ligne d'horizon sera la ligne horizontale passant par le centre de la glace dépolie.

Toutes les lignes verticales et horizontales des monuments parallèles à la glace dépolie restent sur la photographie verticales et horizontales; elles ne font que diminuer de grandeur. Nous voyons donc immédiatement, en regardant une photographie, si la glace dépolie était parallèle ou non au monument représenté.

Toutes les lignes horizontales et parallèles des monuments placés obliquement relativement au plan du tableau, c'est-à-dire à la glace dépolie, deviennent obliques sur l'image. Si on les prolonge, on voit qu'elles convergent toutes vers un même point situé sur la ligne d'horizon. Ce point est nommé *point de fuite*. En prolongeant au crayon sur une photographie les lignes obliques d'un monument, on vérifiera aisément qu'elles convergent toutes vers un point de fuite. Dans certaines conditions, par exemple, quand la photographie embrasse deux façades du monument, on voit qu'elle possède plusieurs points de fuite : ces points sont également situés sur la ligne d'horizon [1]. L'intersection de l'axe optique avec la glace dépolie correspond alors à ce que, dans la perspective ordinaire, on appelle le point de fuite principal, c'est-à-dire celui qui se trouve en face de l'œil du spectateur.

---

[1] Au moins pour les vues de face, c'est-à-dire pour les vues dans lesquelles un côté de l'objet reproduit reste parallèle au plan du tableau, c'est-à-dire à la glace dépolie. Ce sont les seules dont je puisse m'occuper d'une façon générale ici, la transformation des vues obliques en plans géométriques entraine parfois à des constructions trop compliquées pour que je puisse les étudier longuement dans cet Ouvrage. En cas de monuments dont aucun côté n'est parallèle au plan du tableau, les fuyantes, au lieu de converger vers le point de fuite principal, se dirigent vers les points dits *accidentels* dans les Traités de Perspective.

Les changements de position du point de fuite principal, et par suite de la ligne d'horizon sur laquelle ce point est toujours situé, déterminent des changements considérables dans l'aspect d'une photographie. Ce point principal se trouve toujours à l'extrémité de la prolongation de l'axe optique, et se déplace constamment avec lui. Si l'on se trouve devant un corps solide, un monument de forme cubique, par exemple, le déplacement de l'objectif, et par conséquent de l'axe optique, détermine des variations considérables dans la forme apparente du cube. Si, par exemple, on se trouve en face du centre d'une face de ce cube, son image sera un simple carré. Si l'axe optique est porté à droite ou à gauche, la photographie reproduira deux faces du cube. Si, en même temps qu'on a déplacé l'objectif à droite ou à gauche, on l'a élevé, l'image contiendra trois faces du cube : plus l'objectif s'élèvera, plus on verra de la face supérieure du cube. Ce qui précède montre qu'avec un peu d'expérience on voit bien vite, en examinant une photographie, quelle était approximativement la position occupée par l'objectif lorsqu'elle a été obtenue.

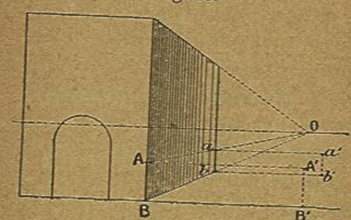
La connaissance de la ligne d'horizon et du point de fuite permet de déterminer immédiatement dans une photographie l'échelle d'un plan quelconque, connaissant l'échelle d'un autre plan. Soit, je suppose, un mètre placé en AB ou en *ab* (*fig.* 18), si nous joignons ses extrémités au point de fuite O, nous aurons la valeur du mètre dans tous les plans compris entre B et O, et par conséquent la hauteur réelle des objets existant dans chacun de ces plans.

On voit immédiatement, par la même figure, que la grandeur du mètre est partout la même dans les diverses parties du même plan. Il est évident, en effet, que $AB = A'B'$, $ab = a'b'$. C'est ce que l'on peut exprimer en disant que les objets placés sur une ligne oblique à l'axe optique subissent des réductions égales à celles que subissent leurs projections sur cet axe. Nous aurons à revenir plus loin sur ce principe fondamental.

La ligne d'horizon rencontrant le monument en des points qui sont tous à la même hauteur au-dessus du sol, il en résulte que si nous connaissons la hauteur de la ligne d'horizon, c'est-à-dire la hauteur du centre optique de l'objectif au-dessus du sol, cette dernière hauteur pourra servir d'échelle pour déterminer les dimensions diverses du monument, de la même façon que si nous avions placé un mètre sur ce monument avant de le photographier. Nous pouvons donc entrevoir dès à présent qu'avec une seule photographie nous avons tous les éléments nécessaires pour reconstituer les dimensions d'un monument.

La figure ci-dessous montre comment, quand on a sous la

Fig. 18.



main une photographie dans laquelle se trouve une grandeur quelconque de hauteur approximativement connue, un homme debout, par exemple, on peut en déduire à peu près la dimension d'un édifice situé dans un plan quelconque. Supposons, par exemple, qu'un individu occupe dans un paysage (*fig.* 18) une hauteur $a'b'$, si l'on mène par la tête et les pieds du personnage les lignes aa' bb', parallèles à BB', la grandeur de l'individu sera reportée en ab contre la maison et pourra, par les fuyantes OA et OB, donner l'échelle des divers plans de la maison et de tous les édifices parallèles à la maison.

En reportant sur la ligne d'horizon, de chaque côté du point de fuite principal, la distance qui sépare le centre optique de l'objectif de la glace dépolie, c'est-à-dire la longueur focale principale, on a ce qu'on appelle en perspective ordinaire

les *points de distance*. Leur connaissance est utile, comme nous le verrons plus loin, pour déduire de la profondeur apparente d'un corps solide sur une photographie, sa profondeur réelle.

On appelle *plan géométral* la figure géométrique déterminée par les lignes verticales abaissées de tous les points d'un objet sur le plan horizontal du terrain ; c'est le plan tel que le donnent les architectes.

Pour toutes les applications que nous allons faire de la perspective photographique, pour déduire les dimensions exactes des corps de leurs dimensions apparentes sur photographie, il est indispensable d'avoir bien présentes à l'esprit les indications qui précèdent et quelques notions fondamentales déjà exposées dans cet Ouvrage. Nous résumerons les unes et les autres dans les propositions suivantes :

1° *Tout objet vertical placé dans la direction de l'axe optique donne, sur la glace dépolie, une image dont la hauteur est proportionnelle à la distance focale de l'objectif et en raison inverse de la distance de l'objet à l'objectif.*

2° *Tous les objets situés dans un même plan parallèle à la glace dépolie sont, quelle que soit leur distance à l'objectif, réduits dans les mêmes rapports sur la glace dépolie.*

3° *Tous les objets situés en dehors du plan parallèle à la glace dépolie subissent, sur cette dernière, la même réduction que celle de leur projection sur le plan vertical passant par l'axe optique.*

4° *Connaissant l'azimut d'une ligne verticale et la réduction de cette ligne sur la glace dépolie, il est toujours possible de déterminer sa position relativement au plan vertical passant par l'axe optique.*

5° *Les angles horizontaux et verticaux sont exprimés sur la glace dépolie de la chambre noire par leurs tangentes et peuvent par conséquent se lire facilement.*

6° *Connaissant la ligne d'horizon et la hauteur du centre* *optique de l'objectif au-dessus du sol, on a immédiatement les éléments nécessaires pour calculer les dimensions des diverses parties du monument figurant sur la photographie.*

7° *Toutes les lignes verticales et horizontales d'un monument parallèle à la glace dépolie restent sur la photographie verticales et horizontales.*

8° *Toutes les lignes horizontales et parallèles d'un monument placées obliquement relativement à la glace dépolie convergent toutes vers un ou plusieurs points de fuite situés sur la ligne d'horizon. Toutes les lignes verticales du monument restent verticales.*

9° *La hauteur comprise entre les fuyantes passant par les extrémités d'une ligne verticale de grandeur connue placée dans un plan quelconque permet de déterminer l'échelle de tous les autres plans.*

Parmi les propositions qui précèdent, il en est deux fondamentales (nos 2 et 3) sur lesquelles je dois insister, parce que c'est principalement sur elles que repose la méthode exposée dans ce Chapitre.

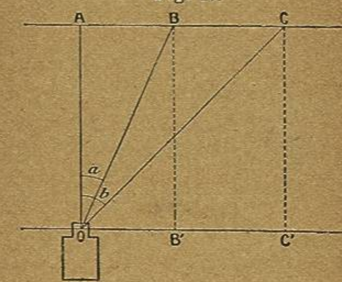
Supposons notre chambre noire placée en O (*fig.* 19), et sa glace dépolie parallèle à AC. Soit OA l'axe optique. Plaçons verticalement un mètre aux points A, B, C, et, sans changer la chambre noire de position, photographions ces trois mètres. En vertu de la deuxième proposition que nous avons énoncée, et bien que les distances OA, OB et OC soient fort différentes, les trois mètres auront exactement la même grandeur sur la glace dépolie de la chambre noire; ils pourront donc permettre de calculer les distances AO, BB′, CC′ égales entre elles, mais nullement OB ni OC. Ces deux dernières distances ne seraient déterminées que si l'on connaissait en même temps les angles *a* et *b* (proposition n° 4).

Une démonstration géométrique fort simple suffirait à prouver ce qui vient d'être énoncé, mais cette démonstration

est inutile, car il n'est pas un photographe qui ne sache expérimentalement qu'en plaçant la glace dépolie de sa chambre noire parallèlement à une carte qu'il veut réduire, les divers carreaux de la carte sont réduits dans la même proportion, bien que la distance de l'objectif à chacun de ces carreaux soit évidemment fort différente.

Comme première conséquence de ce qui précède, nous

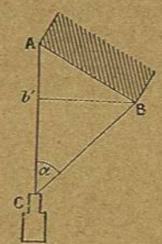
Fig. 19.



voyons que lorsque la glace dépolie d'une chambre noire reste parallèle à une façade plane d'un monument, l'appareil photographique peut être placé à une hauteur quelconque sans que les dimensions de la photographie varient. Soit, par exemple, à reproduire de l'intérieur d'une maison la façade plane d'un édifice situé de l'autre côté d'une rue. Toutes les photographies de la façade que nous prendrons, soit du rez-de-chaussée, soit du sixième étage, soit d'une fenêtre quelconque de droite, de gauche ou du milieu, auront exactement les mêmes dimensions, à la simple condition que la glace dépolie sera parallèle à la surface à reproduire. S'il y avait une personne à chaque étage, l'image de chacune de ces personnes aurait la même dimension sur toutes les photographies, alors même que l'édifice photographié aurait la hauteur de la Tour de Babel.

Comme seconde conséquence des mêmes principes, nous voyons immédiatement que si, plaçant un mètre en A et en B (*fig.* 20), nous dirigeons l'axe optique de l'appareil photographique vers A, la réduction des mètres A et B sera fort inégale. La réduction du mètre A permettra bien de calculer CA, mais la photographie du mètre B permettra de calculer, non pas CB, mais C*b'*. Avec la connaissance de C*b*, il faudra, comme

Fig. 20.



cela a été dit plus haut, mesurer l'angle α pour avoir les éléments nécessaires à la détermination de AB.

L'application des mêmes principes nous explique aisément la cause de certaines déformations que subissent les corps solides vus en perspective, et comment on peut, par la Photographie, éviter ces déformations ou, au contraire, les produire.

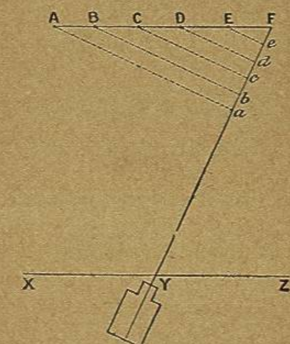
Soit (*fig.* 21) une série de colonnes A, B, C, D, etc., de hauteur égale et également espacées. Plaçons, parallèlement à ces colonnes, sur un point quelconque de la ligne XZ, un appareil photographique. Si nous observons l'image de ces colonnes sur la glace dépolie, en déplaçant l'appareil parallèlement à AF, de façon qu'il occupe successivement les positions X, Y, Z, nous constatons que, malgré le déplacement énorme de l'appareil, toutes les colonnes conservent la même hauteur et le même intervalle sur la glace dépolie.

Répétons maintenant la même expérience en plaçant l'ap-

pareil dans une des positions précédentes, en Y, par exemple, mais en le faisant tourner de quelques degrés autour de son axe, comme cela est indiqué sur la figure, de façon qu'il ne soit plus parallèle aux colonnes, et immédiatement nous voyons que cette simple rotation de quelques centimètres a suffi pour donner à chaque colonne une hauteur différente sur la glace dépolie.

L'explication de ce phénomène est facile à comprendre si l'on

Fig. 21.



se reporte à notre troisième proposition. Une seule colonne, celle en F étant sur un plan parallèle à la glace dépolie, toutes les autres subiront la même réduction que si elles étaient projetées sur l'axe optique YF en *e*, *d*, *c*, *b*, *a*. Chaque colonne étant ainsi plus rapprochée de l'appareil que celle placée devant elle, paraîtra nécessairement plus grande. Les colonnes, bien qu'égales entre elles, seront donc toutes inégales sur la glace dépolie.

C'est sur ces principes fondamentaux que repose la règle que nous avons donnée ailleurs pour rendre l'appareil photographique parallèle à un monument. Il suffit, comme nous l'avons vu, quand on se trouve devant le monument, et vis-à-vis d'une partie quelconque de ce monument, de faire tourner l'appareil sur son axe jusqu'à ce que les lignes horizontales supérieures ou inférieures de l'édifice soient parallèles aux lignes horizontales tracées sur la glace dépolie. Aussitôt que les lignes du monument deviennent un peu obliques, on est certain que la glace dépolie n'est plus parallèle au monument.

2. — Détermination de la ligne d'horizon et de la projection du centre optique sur la glace dépolie ou sur une photographie.

Avant d'appliquer les lois de la perspective précédemment énoncées à la solution de divers problèmes, nous devons rechercher tout d'abord les moyens de déterminer sur la glace dépolie ou sur une photographie la ligne d'horizon et la projection du centre optique. Tous les problèmes que nous aurons à étudier impliquent cette détermination.

La ligne d'horizon est, comme nous l'avons dit, la trace du plan horizontal passant par l'axe optique. La connaissance de cette ligne a une importance capitale pour la transformation des images perspectives en images géométriques. C'est sur elle que se trouve la projection de l'axe optique et que viennent concourir les fuyantes. C'est sur elle que doivent être reportées toutes les grandeurs à mesurer.

Il existe plusieurs moyens de déterminer la ligne d'horizon; nous les indiquerons successivement afin qu'on puisse les utiliser suivant les circonstances qui pourraient se présenter.

1° *Détermination de la ligne d'horizon par la mesure de la hauteur de l'appareil au-dessus du sol.* — Le moyen que je vais indiquer ici n'est pas d'une bien grande précision, mais comme il est très simple et n'implique aucun

calcul, je le décrirai tout d'abord. Il ne peut être utilisé qu'en terrain bien horizontal, tel qu'on en rencontre par exemple dans l'intérieur d'un édifice.

Ce moyen consiste simplement à mesurer la hauteur au-dessus du sol du centre de l'objectif de la chambre noire, supposée, bien entendu, parfaitement horizontale. Si, sur le monument photographié, nous avons placé un mètre ou une mesure quelconque permettant de déterminer son échelle de réduction, nous posséderons tous les éléments nécessaires pour déterminer sur la photographie le passage de la ligne d'horizon. Cette ligne coupe, en effet, tous les objets à une hauteur précisément égale à celle du centre optique de l'objectif au-dessus du sol [1]. Or, nous connaissons cette hauteur. Supposons qu'elle soit de $1^m,60$. Grâce au mètre appliqué sur le monument, nous pouvons aisément tracer sur la photographie une hauteur de $1^m,60$ au-dessus du sol. La ligne horizontale menée par cette hauteur est la ligne d'horizon. Elle s'élèvera, comme nous l'avons vu, à mesure que l'opérateur s'élèvera. Si l'on opérait d'un troisième ou d'un quatrième étage, au lieu d'être à $1^m,60$ au-dessus du sol, elle en serait à 10^m ou 15^m. Sa position variera extrêmement, par conséquent, suivant la position de l'appareil.

Le photographe qui a opéré comme il précède doit noter soigneusement au crayon sur le cliché photographique la hauteur du centre de l'objectif au-dessus du sol. S'il n'a pas

(1) Le meilleur moyen pratique à employer pour mesurer la hauteur du centre de l'objectif au-dessus du sol, consiste à se servir de ces cannes métriques rentrantes qu'on emploie pour mesurer la hauteur des chevaux et dont j'ai eu déjà occasion de parler. Elles ont l'aspect d'une canne ordinaire, et, en raison de la tige mobile formant équerre qui les surmonte, quand elles sont ouvertes, on peut, comme je l'ai dit déjà, les utiliser en voyage pour une foule de mesures. Pour mesurer la hauteur du centre optique, on amène l'équerre au niveau du centre de l'objectif, et on lit immédiatement sur la canne la hauteur cherchée.

fait subir à son objectif de déplacements latéraux, la projection du centre optique sera au centre de cette ligne.

2° *Détermination générale de la position occupée sur la glace dépolie par la ligne d'horizon et l'axe optique pour un appareil déterminé.* — L'opération qui précède nécessite pour chaque station la recherche de la position de la ligne d'horizon. Les opérations qui vont suivre sont plus compliquées que la précédente, mais elles n'ont besoin d'être exécutées qu'une seule fois pour un appareil déterminé.

Dans les anciennes chambres noires carrées, où l'objectif était adapté au centre d'une planchette fixée invariablement à la chambre noire, la détermination de la projection de l'axe optique et de la ligne d'horizon était très facile. L'axe optique se trouvait, en effet, au centre même de la glace dépolie, et, en faisant passer par ce centre une ligne horizontale divisant en deux parties égales la glace dépolie, on avait la ligne d'horizon cherchée. On ne saurait opérer de même avec les nouveaux appareils, dans lesquels l'objectif est fixé sur une planchette susceptible de se mouvoir en hauteur et en largeur. Alors même que l'objectif serait au centre de la paroi antérieure de la chambre, son axe optique ne passe plus au centre de la glace dépolie, ou du moins n'y passe que lorsque la glace dépolie occupe une certaine position. La glace dépolie étant beaucoup plus longue que large, lorsqu'on la retourne pour photographier un monument, en largeur, l'axe optique se trouve beaucoup plus bas que le centre de la glace. Il est donc indispensable de déterminer expérimentalement une fois pour toutes dans quelle position de la planchette porte-objectif l'axe optique passe par le centre de la glace dépolie.

La première condition pour y arriver est de tracer sur la planchette fixe de la partie antérieure de la chambre noire une graduation millimétrique à zéro arbitraire. Dans notre

chambre, la graduation est faite sur deux bandes de cuivre, l'une en hauteur, l'autre en largeur. Mais ces bandes de cuivre peuvent être remplacées par des bandes de papier quadrillé qu'on colle sur le bois, et qu'on chiffre à la main de centimètre en centimètre. Un petit index fixé sur la planchette porte-objectif, dans le prolongement d'une ligne horizontale et d'une ligne verticale passant par le centre de la monture métallique de l'objectif, indique en millimètres par son déplacement le déplacement du centre de ce dernier.

L'appareil étant ainsi modifié, on le met parfaitement horizontal au moyen du niveau sphérique fixé sur la planchette, puis avec un instrument quelconque (niveau Burel, niveau Lyre, quart de cercle à niveau de l'auteur, etc.), placé à la hauteur du centre de l'objectif, on vise de la fenêtre où l'on est placé un objet remarquable, corniche, lames d'un volet, etc., placé devant soi dans le prolongement de la ligne de visée de l'instrument. On met alors cet objet au point sur la glace dépolie, d'abord placée dans le sens de sa hauteur, et l'on remonte ou descend la planchette porte-objectif jusqu'à ce que l'objet qui avait été visé avec l'instrument à niveau passe par le centre de la glace dépolie. On note alors à quelle division de la planchette correspond l'index. On répète la même opération en plaçant en largeur la glace dépolie, et l'on note le nouveau chiffre observé. On connaît ainsi à quelle hauteur on doit placer la planchette porte-objectif pour que la ligne d'horizon passe par le milieu de la glace dépolie pour les deux positions fondamentales de la chambre noire.

Il peut arriver, et cela arrivera fréquemment pour les monuments élevés, que pour les faire entrer dans le champ de l'instrument toujours maintenu horizontal, il faudra hausser considérablement la planchette porte-objectif. Dans ce cas, on devra noter, au moyen des divisions de la planchette, de combien on a élevé l'index correspondant au centre de l'objectif au-dessus du point correspondant au centre de la glace dépolie. Le nombre de millimètres observé indique de combien de millimètres au-dessous du centre de la glace dépolie est abaissée la ligne d'horizon. On opérera d'une façon analogue en cas de déplacements latéraux. Il est du reste facile d'éviter ces derniers.

Lorsque, par les opérations précédentes, on a mis le centre de l'objectif vis-à-vis le centre de la glace dépolie, la projection du centre optique se trouve exactement au milieu de la ligne d'horizon.

3° *Détermination de la ligne d'horizon et du centre optique par l'étude des fuyantes sur une photographie.* — Il est très facile, dans beaucoup de cas, de déterminer sur une photographie, sans aucune mesure préalable, la position de la ligne d'horizon et du centre optique. En examinant la photographie d'un monument dont les parties latérales sont visibles, on voit que les lignes obliques du monument prolongées vont concourir toutes vers un seul point. Ce point de fuite principal représente généralement la projection du centre optique, et une horizontale menée par ce point représente la ligne d'horizon.

Si le monument présente plusieurs faces, les fuyantes vont converger en deux points différents ; en réunissant ces deux points par une ligne, on a la ligne d'horizon ; mais la détermination de la position du centre optique sur cette ligne conduit à des constructions assez compliquées, et souvent même cette position reste indéterminée.

On peut le plus souvent, sans prendre la peine de prolonger les fuyantes, et avec une simple règle et une équerre, savoir où se trouve sur une photographie de monument la ligne d'horizon, et, par conséquent, à quelle hauteur au-dessus du sol se trouvait l'objectif de l'opérateur. Ce cas se présente lorsque l'image comprend des lignes fuyantes entre lesquelles se trouvent des parties, portes, fenêtres, par exemple, devant avoir par construction la même hauteur. En descendant

parallèlement à elle-même, de haut en bas sur la photographie, une équerre, on voit que les objets de même hauteur se trouvent d'abord coupés très obliquement par l'équerre. A mesure que cette dernière descend, l'obliquité diminue, et il arrive un moment où toutes les parties situées au même niveau, par exemple le rebord des fenêtres d'un étage, se trouvent coupées à la même hauteur par l'équerre : cette dernière est alors sur la ligne d'horizon. Si l'on continue à la descendre, les lignes passant par les objets de même hauteur commencent à redevenir obliques, et l'obliquité croît à mesure que l'équerre descend.

On peut résumer ce qui précède en disant que sur une photographie contenant des lignes fuyantes, la ligne d'horizon est celle qui coupe à la même hauteur les objets placés sur le monument au même niveau. Une seule ligne — la ligne d'horizon — jouit de cette propriété.

Les indications qui précèdent ne sont guère applicables qu'à des photographies de monuments ; elles ne le sont qu'exceptionnellement à des photographies de paysages. Généralement les personnages ne peuvent servir parce que le photographe, pour embrasser plus d'espace, a soin de se placer sur un point élevé. Lorsque l'élévation de son appareil au-dessus du sol ne dépasse pas la hauteur d'un homme ordinaire, on voit, en opérant, comme il a été dit précédemment, avec une équerre, que certaines parties des personnages situées dans les différents plans, l'œil ou l'épaule par exemple, se trouvent à la même hauteur. La ligne passant par ces points de même hauteur serait approximativement la ligne d'horizon.

4° *Détermination de la ligne d'horizon par le calcul trigonométrique.* — Si nous mesurons avec un instrument quelconque, par exemple avec notre quart de cercle placé sur le pied de l'appareil à la hauteur de l'objectif, un angle vertical α sous lequel un point A est vu au-dessus de l'horizontale de la station, on aura pour la longueur AB sur la photographie

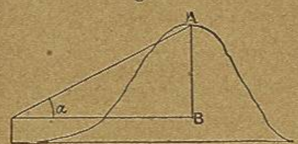
$$AB = \tang \alpha \times f,$$

f étant la longueur focale principale de l'objectif.

Il suffira donc de porter sur la photographie la longueur verticale AB ainsi trouvée et faire passer par B une ligne perpendiculaire : cette dernière sera la ligne d'horizon cherchée.

Ce moyen serait suffisamment exact pour les objets situés dans le voisinage du plan vertical passant par l'axe optique,

Fig. 22.



c'est-à-dire passant près du centre de la photographie; il ne le serait plus pour un objet éloigné de ce centre. Si l'objet en était très éloigné, il faudrait mesurer en dehors de l'angle vertical α l'angle horizontal β fait avec l'axe optique de l'objectif par la direction dans laquelle est vu cet objet. La formule précédente deviendrait alors

$$AB = \tang \alpha \times \frac{f}{\cos \beta}.$$

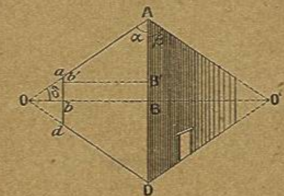
On pourrait encore déterminer la projection du centre optique sur une photographie, en mesurant les distances angulaires respectivement comprises entre trois points figurant sur la photographie, et dont la position serait connue. On obtiendrait le centre optique et la ligne d'horizon par la construction d'angles capables. On opérerait absolument comme dans le problème dit *de la carte*.

Je n'ai pas eu occasion d'expérimenter ces deux dernières méthodes que j'ai déduites de considérations géométriques. Elles sont théoriquement excellentes, mais pratiquement je

les crois compliquées et ne pouvant conduire à des résultats bien précis.

5° *Détermination des points de fuite inaccessibles et de la ligne d'horizon invisible sur une photographie.* — Soit (*fig.* 23) un monument photographié obliquement, et dont les points de fuite OO′ sont — contrairement à la forme que nous avons dû donner à notre figure pour la facilité de la démon-

Fig. 23.



stration — situés très en dehors de la photographie. Cherchons à déterminer la position des points de fuite en supposant successivement la ligne d'horizon connue, puis inconnue.

Si nous supposons d'abord la ligne d'horizon connue — et nous avons vu qu'on la détermine facilement lorsque le monument comprend plusieurs parties régulières, — il nous suffira pour déterminer OB, de mesurer avec un rapporteur sur la photographie l'angle α et de mesurer AB. Nous aurons alors

$$OB = AB \times \tang \alpha.$$

On opérerait de même pour trouver BO′ avec l'angle β.

Supposons maintenant la ligne d'horizon inconnue. La position du point B étant inconnue, nous ne pouvons mesurer que AD, *ad*, $b'B' = bB$ (écartement des deux verticales *ad*, AD) et l'angle α; il s'agit, avec ces éléments, de rechercher *ob* et AB.

Cherchons d'abord *ob* :

Les propriétés des triangles semblables nous donnent

$$\frac{AD}{ad} = \frac{ob + bB}{ob},$$

d'où l'on tire

$$ob = \frac{bB \times ad}{AD - ad}.$$

Connaissant ob et bB, nous avons

$$OB = ob + bB.$$

Connaissant OB et $\delta = (90° - \alpha)$, la longueur AB, qui détermine la position de la ligne d'horizon, est

$$AB = OB \times \text{tang}\,\delta.$$

Pour montrer combien ce calcul est simple, je prends dans mes notes une solution effectuée de ce problème.

Les mesures prises sur la photographie donnaient

$$AD = 159^{mm},$$
$$ad = 72^{mm},5,$$
$$bB = 88^{mm},$$
$$\alpha = 66°.$$

Appliquant les formules trouvées plus haut, on a

$$ob = \frac{88 \times 72,5}{159 - 72,5} = 73^{mm},7,$$
$$OB = ob + bB = 73^{mm},7 + 88^{mm} = 161^{mm},7,$$
$$AB = \text{tang}(90° - 66°) \times OB = 445 \times 1617 = 72^{mm}.$$

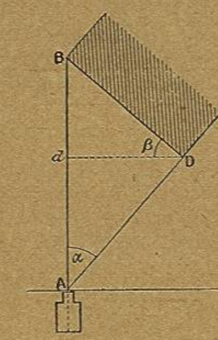
Menant par le point B une ligne horizontale à 72^{mm} du point A, nous avons la ligne d'horizon de la photographie.

3. — Application des règles de la perspective photographique à la solution de divers problèmes.

Les divers problèmes dont nous allons donner la solution sont l'application des règles précédemment exposées.

Déterminer avec une seule photographie la largeur d'un monument placé obliquement relativement à l'axe optique de l'appareil photographique. — Nous indiquerons dans ce Chapitre une autre solution plus simple du même problème. Celle que nous allons exposer exige qu'on applique en B et en

Fig. 24.



D un objet H de grandeur connue, un mètre, par exemple, ou qu'on mesure en ces deux points une hauteur déterminée. L'axe optique de l'appareil étant dirigé suivant AB, la réduction h sur la glace dépolie du mètre placé en B donnera par la formule $D = \frac{d}{h} \times H$, dans laquelle d représente la distance focale principale, la distance $D = AB$. La réduction du mètre placé en D donnera, non pas AD, mais Ad (projection de D sur l'axe optique AB). On connaît d'autre part l'angle α, qui se lit sur la glace dépolie. Avec ces trois éléments AB, Ad et α, on a tout ce qu'il faut pour construire sur le papier, en élevant en d une perpendiculaire dD jusqu'à sa rencontre en D avec la droite AD inclinée sur AB de l'angle α, le triangle BAD, et mesurer par conséquent BD [1].

Déterminer avec une seule photographie la hauteur d'un monument dont le centre est inaccessible. — Soit, par exemple, à déterminer avec une photographie (*fig.* 25) la hauteur du clocher A d'une église entourée d'un mur. Si la base du clocher situé en A était accessible, il suffirait d'appliquer un mètre à sa surface pendant qu'on le photographie, pour avoir sa hauteur. Ne pouvant placer ce mètre sur le monument, il suffira, l'appareil étant en O et l'axe optique de l'objectif dirigé vers A, de placer un mètre en un point quelconque de la ligne DC, perpendiculaire à AO, pour que ce mètre subisse

---

[1] Ce côté BD est très aisément déterminé par le calcul. On aurait en effet

$$Bd = AB - Ad,$$
$$dD = dA \tang \alpha$$
$$\tang \beta = \frac{Bd}{dD}.$$

Connaissant la tangente de l'angle β, cet angle et son cosinus se trouvent dans les Tables. On a alors

$$BD = \frac{dD}{\cos\beta}.$$

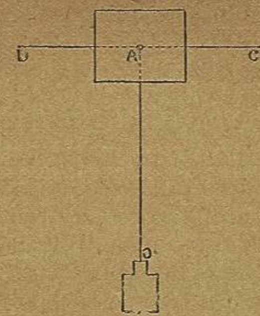
On pourrait évidemment déduire BD de la relation bien connue

$$BD^2 = Bd^2 + dD^2,$$

mais le calcul impliquerait l'extraction d'une racine carrée et serait par conséquent plus compliqué.

exactement la même réduction que s'il était placé en A. Il

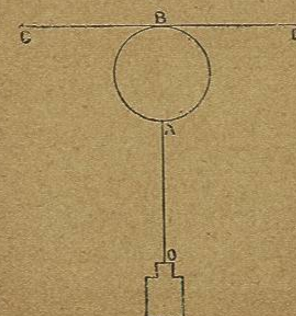
Fig. 25.



donnera par conséquent l'échelle de réduction de la photographie dans le plan vertical passant par A.

Déterminer la hauteur et le diamètre d'une tour avec une photographie. — Soit AB (*fig.* 26) la section de la tour.

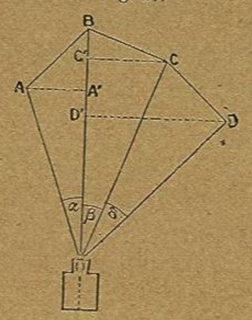
Fig. 26.



Un mètre, placé en A donnera, avec les formules précédemment exposées, la hauteur de la tour et la distance OA. Si la tour était transparente, il n'y aurait qu'à placer un mètre en B pour avoir OB, et par une simple soustraction (OB — OA), on aurait le diamètre cherché. La tour n'est pas transparente, mais il suffit de placer le mètre en un point quelconque de CD, perpendiculaire à OB, pour qu'il subisse la même réduction sur la glace dépolie que s'il était placé en B. On pourra donc calculer le diamètre AB exactement comme si, la tour étant transparente, on eût placé un mètre en B.

Construire avec une seule photographie le plan de l'intérieur d'une salle. — Soit ABCD la projection de l'intérieur

Fig. 27.



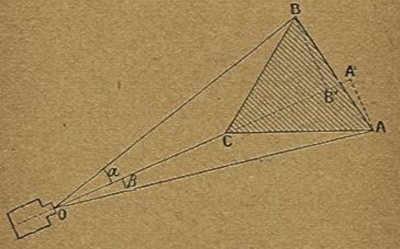
d'un édifice polygonal. Nous supposerons, toujours pour la facilité de la démonstration, car en pratique ils sont inutiles, des mètres placés en A, B, C, D. L'axe optique est dirigé sur un point quelconque B, je suppose. Le mètre en A donne la distance OA'; le mètre en B, la distance OB; le mètre en C, la distance OC'; le mètre en D, la distance OD'. Nous pouvons, d'autre part, lire sur la glace dépolie les angles α, β, δ, etc. Il suffit donc d'élever en D', A', C' des perpendiculaires sur l'axe optique OB jusqu'à leur rencontre avec les côtés

prolongés des angles α, β, δ, pour avoir la position des points A, B, C, D. Reliant ces points par un trait, on aura le plan cherché.

La lecture des angles α, β, δ est, en pratique, totalement inutile. Il suffit d'élever sur la ligne d'horizon, au point B, situé dans la prolongation de l'axe optique, une perpendiculaire ayant pour longueur celle du foyer principal de l'objectif. Sur cette même ligne d'horizon on abaisse et l'on élève de chacun des points de la photographie dont on veut déterminer la position géométrique, des perpendiculaires. Reliant, comme il a été expliqué ailleurs, le pied de ces perpendiculaires à l'extrémité inférieure de la perpendiculaire représentant la longueur du foyer principal, les angles se trouvent tracés.

Déterminer avec une seule photographie le plan d'un monument oblique. — Le problème est exactement le même que le précédent. Soit BCA la section du monument non rec-

Fig. 28.

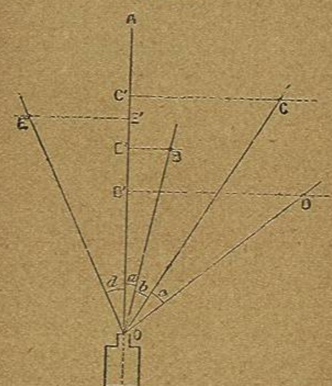


tangulaire. Nous supposons toujours, pour la facilité de la démonstration, trois mètres placés en B, C, A. L'axe optique étant dirigé sur OC; le mètre en B donne OB', le mètre en C donne OC, le mètre en A donne OA'. Les angles α et β étant lus sur la glace dépolie, il suffit d'élever en B' et A' des perpendiculaires sur le prolongement de l'axe optique OC pour avoir, par intersections, la position des points B, C, A. Reliant ces points par une ligne, on a le plan du monument.

Déterminer avec une seule photographie le plan d'un terrain horizontal. — Ne nous occupant principalement dans cet Ouvrage que des levers de monuments, nous ne donnons l'application qui va suivre que comme exemple des ressources qu'on peut dans certains cas tirer d'une photographie, et en même temps pour montrer de nouveaux exemples de l'application des principes qui précèdent.

Soit donc (*fig.* 29) un terrain horizontal sur lequel se trouvent une série de points A, B, C, D, E, dont nous voulons déterminer

Fig. 29.

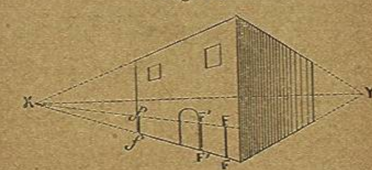


les positions respectives. Par les procédés classiques, il nous faudrait mesurer une base. Avec la Photographie, la chose est inutile. Il nous suffira de placer aux points A, B, C, etc., des mires de hauteurs connues, ou, s'il s'y trouve des arbres ou des constructions, de tracer sur les uns ou sur les autres une marque à une hauteur connue. Si nous dirigeons l'axe optique

de l'appareil sur OA, la distance OA sera connue par la réduction de la mire placée en A; les mires en C, B, D donneront les longueurs OD', OB', OC' sur l'axe optique. Avec ces longueurs et les angles *a*, *b*, *c*, *d*, mesurés sur la glace dépolie, on a évidemment tout ce qu'il faut pour obtenir par intersections la position réelle des points A, B, C, D, etc., c'est-à-dire le plan du terrain qu'il s'agissait de déterminer.

Reconstituer avec une seule photographie, et sans l'application d'aucune mesure sur un monument, les diverses dimensions de ce monument. — Le problème que nous venons d'énoncer d'une façon générale comprend la solution de divers cas particuliers que nous avons résolus plus haut, et

Fig. 30.

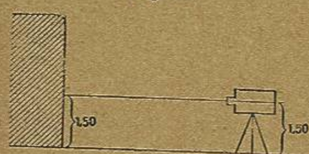


sur lesquels il serait inutile de revenir. Dans ces cas divers, nous avons toujours supposé, pour faciliter les démonstrations, qu'on prenait la peine de placer des mètres en diverses parties du monument. Ce que nous voulons montrer dans ce Paragraphe, c'est que, le plus souvent, un mètre suffit parfaitement pour donner l'échelle de tous les plans, et que l'on peut même, à la rigueur, s'en passer complètement.

Soit (*fig.* 30) un monument vu en perspective, et supposons un mètre placé verticalement en un plan quelconque FF. Le long de ce monument peuvent se trouver des portes et des fenêtres de hauteurs différentes, pour lesquelles le mètre placé en FF ne peut évidemment servir d'échelle; mais si nous relions les extrémités du mètre FF au point de fuite X, le triangle FFX donne es hauteurs F'F', ff, etc., du mètre dans les différents plans, et par conséquent l'échelle de chacun de ces plans. En traçant ce triangle FFX, nous obtenons exactement le même résultat que si nous avions placé plusieurs centaines de mètres à côté les uns des autres dans les différents plans, afin d'avoir sur la photographie des échelles permettant de mesurer la hauteur verticale des divers objets situés dans chacun de ces plans.

Mais nous pouvons, ainsi que je le disais plus haut, supprimer toute application de mètres ou de mesures sur le monument. Il est évident, en effet, que l'appareil étant placé bien horizontalement, tous les objets qui, sur la glace dépolie, se trouveront sur la ligne d'horizon, c'est-à-dire sur la ligne passant par le zéro des graduations de la glace dépolie, seront au-dessus du sol à une hauteur précisément égale à celle du centre de la glace dépolie. Si cette hauteur est de $1^m,50$ (*fig.* 31),

Fig. 31.



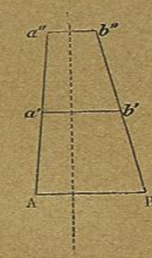
nous savons immédiatement que les parties du monument, coupées sur la glace dépolie par la ligne d'horizon, sont à $1^m,50$ au-dessus du sol. C'est donc exactement comme si nous placions sur le monument une série indéfinie de mesures ayant $1^m,50$ de hauteur.

Le procédé est exact lorsque le terrain est horizontal, et l'on pourra l'utiliser pour la mensuration de monuments qu'on peut bien photographier, mais dont on ne peut approcher parce qu'un fossé, une grille ou un obstacle quelconque en sépare. Le procédé, je le répète, est suffisamment exact, mais je ne le recommande pas par la raison qu'il est

toujours bien préférable de photographier, avec le monument, une ou plusieurs mesures qui constituent une sorte d'enregistrement automatique des dimensions, absolument à l'abri de toute erreur de calcul.

Déterminer de l'entrée d'une rue la longueur de cette rue, avec une seule photographie. — Nous supposerons, ce qui est d'ailleurs le cas général, les maisons parallèles. En perspective, la projection de ces maisons sur le sol présentera à peu près sur la glace dépolie l'aspect de la *fig.* 32. Puisque

Fig. 32.



nous admettons que l'appareil photographique peut stationner à l'entrée de la rue, nous pouvons mesurer sa largeur AB. Plaçant l'appareil photographique à peu près dans l'axe de la rue, il n'y a qu'à mesurer sur la glace dépolie l'intervalle compris entre les fuyantes $a''b''$ de la base des maisons, à l'extrémité de la rue, pour avoir par la formule $D = H \times \frac{h}{d}$ la longueur cherchée. Dans cette formule, d représente la distance focale de l'objectif, H la largeur réelle AB de la rue, h la largeur apparente $a''b''$ sur la glace dépolie.

Par le même procédé nous déterminerions évidemment la distance à un plan quelconque, $a'\,b'$ par exemple, et, par différence, la largeur d'une maison inaccessible située dans la rue.

Si, au lieu d'une rue, il s'agissait d'une route, on déterminerait de la même façon la distance de l'appareil à un point quelconque de la route. Je donnerai plus loin une autre solution uniquement fondée sur les lois de la perspective du même problème.

Déterminer les différences de niveau d'un terrain par l'étude des fuyantes sur une photographie. — L'étude des fuyantes permet dans certains cas de dire si le terrain sur lequel se trouve un monument, ou une série de monuments, est parfaitement horizontal, et, s'il ne l'est pas, la différence de niveau qui existe entre ses différentes parties.

Pour comprendre ce qui va suivre, nous devons rappeler que lorsque le terrain sur lequel des maisons sont construites est descendant en face du spectateur, les fuyantes du sommet du monument ont leur point de fuite au-dessus du point de fuite des fuyantes de sa base, base qui suit naturellement la pente du terrain. Si le terrain est montant en face du spectateur, on observe le contraire, c'est-à-dire que le point de fuite des fuyantes du sommet du monument est au-dessous des points de fuite des fuyantes de sa base. La différence verticale entre les deux points de fuite permet de calculer la différence du niveau du terrain. Si l'on veut exprimer la tangente de la pente du terrain en centièmes, on trouve qu'elle est égale au rapport entre l'écart exprimé en millimètres des deux points de fuite, et la distance focale de l'objectif exprimée dans la même unité. En multipliant ce rapport par la distance du monument à l'appareil, on a la différence de niveau entre les deux points.

Soit n le nombre de millimètres représentant la différence verticale entre les fuyantes du sommet du monument et celles du terrain, F le foyer de l'objectif, P la pente en centièmes, on a

$$P = \frac{n}{F}$$

et si D est la distance horizontale de l'appareil photographique au plan du monument considéré, la différence X de niveau entre le sol sur lequel repose le premier plan du monument et le sol sur lequel se trouve son dernier plan sera

$$X = \frac{n}{F} \times D.$$

Je cite cette application, parce qu'elle m'a permis de retrouver l'origine d'une erreur que j'avais commise, en effectuant de ma fenêtre des calculs pour déterminer la longueur d'une grande rue placée devant moi. Me guidant sur l'œil, j'avais considéré le terrain placé devant moi comme horizontal. Plus fidèle que l'œil, la Photographie m'a indiqué une différence de niveau qui avait été l'origine de mon erreur. De ma fenêtre aux maisons situées à l'extrémité de la rue, il y a une longueur horizontale de 172^m. Les fuyantes de la base des maisons et celles de leur sommet se joignaient en deux points différents, présentant un écart vertical de $2^{mm},5$. Le foyer de l'objectif était de $0^m,28$. Effectuant les calculs précédents, j'ai trouvé pour la différence X de niveau entre le sol de la rue, au pied de ma maison, et le sol de la rue, au pied de la dernière maison, à 172^m en face de ma fenêtre,

$$X = \frac{2^{mm},5}{280} \times 172 = 1^m,54.$$

Ce n'est du reste qu'en cas de terrain et de monuments très réguliers qu'on pourra espérer une précision suffisante.

Déterminer avec une seule photographie prise du haut d'une fenêtre les dimensions diverses des monuments photographiés, connaissant uniquement la hauteur au-dessus du sol de la fenêtre de laquelle on a opéré. — Il arrive fréquemment qu'on prend d'une fenêtre la photographie de monuments placés devant soi. Si l'on connait la hauteur de la fenêtre, hauteur qui s'obtient aisément en laissant dérouler jusqu'au sol un ruban gradué à roulette, il est facile de déterminer toutes les dimensions des monuments placés devant soi.

Ce problème, que nous apprendrons à résoudre par d'autres méthodes, dans une autre Partie de cet Ouvrage, impliquant la solution de cas déjà étudiés, nous ne ferons qu'indiquer succinctement la marche à suivre. Connaissant la hauteur de l'appareil au-dessus du sol, une visée horizontale avec la chambre noire employée comme niveau donne une hauteur égale sur un des monuments placés devant l'appareil. C'est cette hauteur qui remplacera le mètre qu'on n'avait pu aller poser sur le monument. Au moyen des fuyantes, on aura la valeur de cette grandeur dans un plan quelconque, et par conséquent l'échelle de tous ces plans.

La profondeur des divers édifices placés devant l'appareil sera déterminée par une des méthodes indiquées dans ce Chapitre.

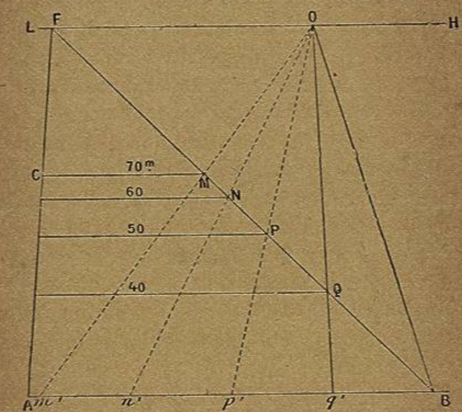
La différence de niveau pouvant exister entre la base de la maison d'où l'on opère, et la base d'un autre édifice quelconque sera obtenue comme il est dit dans le Paragraphe précédent.

Déterminer graphiquement, avec une seule photographie, la hauteur et la largeur de toutes les maisons d'une rue au moyen des fuyantes et de la distance focale. — En ce qui concerne la hauteur des diverses maisons, j'ai déjà dit plus haut, comment avec un mètre placé à l'entrée de la rue et le tracé d'une fuyante allant du sommet de ce mètre au point de fuite, on pouvait connaître la valeur du mètre dans tous les plans possibles, et par conséquent la hauteur verticale des divers monuments de la rue. La profondeur de chaque édifice se détermine par diverses méthodes. L'une d'elles a déjà été décrite page 105. Celle que je vais exposer est fondée sur d'autres principes.

Soit (*fig.* 33) ABMC la perspective d'une rue à maisons parallèles, telle que nous l'avons calquée sur une photographie. Prolongeant les fuyantes AC, BM, nous avons le point de fuite F.

Une parallèle à AB passant par ce point donne la ligne d'horizon FH. Sur cette ligne on portera à partir du point F une longueur FO égale à la longueur focale principale de l'objectif, $0^m,28$, je suppose. On divisera ensuite AB en parties égales Bq', $q'p'$, etc., représentant chacune une grandeur quel-

Fig. 33.



conque, 10^m par exemple. Il n'y aura plus alors qu'à joindre m', n', p', q', au point O, et mener par les points d'intersection M, N, P, Q des lignes obliques ainsi obtenues avec la fuyante BF, des parallèles à AB, pour obtenir sur la photographie des lignes, inégalement espacées par suite des lois de la perspective, mais qui interceptent des espaces égaux. Si $p'q'$ représente 10^m, une maison dont la base vue en perspective irait de P en Q aura 10^m de largeur. Naturellement on ne trace de parallèles qu'entre les points dont on a besoin de connaître l'écartement. Si MN est la base d'une maison, il n'y a qu'à mesurer $m'\,n'$ pour avoir la profondeur de cette maison.

La seule opération sur le terrain est, comme on le voit, de mesurer directement, ou indirectement par application d'un mètre, la largeur AB. Si elle vaut 10^m, par exemple, en la divisant en 10 parties sur la photographie, chaque division vaudra 1^m. On prolongera cette échelle à droite et à gauche suivant les besoins.

La méthode précédente nécessite une assez grande feuille de papier. Nous avons supposé un foyer de longueur telle que le point O se trouve à $0^m,28$ de F, mais on peut, pour simplifier la construction, prendre une fraction quelconque de cette distance, le quart, par exemple, soit $0^m,07$; mais alors il faudra multiplier par 4 toutes les distances lues sur la ligne AB. Si $0^m,01$ représentait 1^m, il représentera 4^m maintenant.

La dernière opération que je viens d'indiquer est la conséquence de ce principe bien connu en perspective, que si l'on réduit dans la même proportion une distance prise sur la ligne d'horizon LH et une grandeur prise sur la base d'un objet AB, on ne change pas la profondeur perspective de cet objet.

Construire sur une photographie le plan géométrique du monument dont la photographie donne la perspective. — Si le principe des réductions que subissent les objets situés en dehors de l'axe optique a été bien mis en évidence par les nombreux exemples contenus dans ce Chapitre, le lecteur comprendra à première vue la construction graphique représentée *fig.* 34.

Nous supposerons la photographie collée sur un carton. On demande de déterminer la hauteur du monument représenté, sa profondeur et le plan géométrique passant par la ligne d'horizon LH (¹). Je ne parle pas de son élévation qu'on

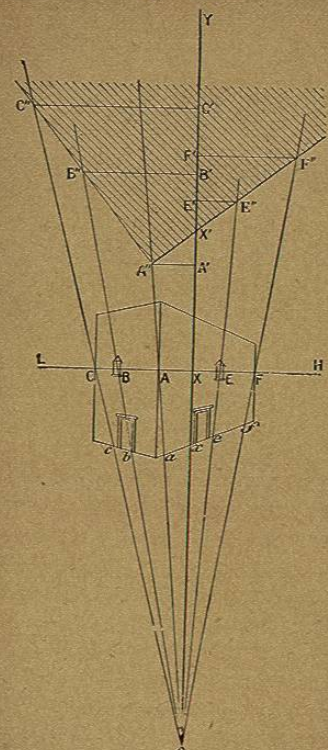
(¹) J'ai supposé que le plan géométrique devait passer par la ligne d'horizon LH pour simplifier le dessin. En pratique, le plan demandé sera généralement celui passant par la base du monument. Dans ce cas on tracerait les angles en joignant le point O aux perpendiculaires menées jusqu'à la ligne d'horizon de chacun des points dont on veut avoir le plan, exactement comme il est indiqué page 35.

obtient immédiatement par une photographie prise de face.

La première opération est de déterminer, par une des méthodes que nous avons indiquées, la ligne d'horizon et le point X où aboutit le centre optique. On connaît le foyer de l'objectif, et, par application d'un mètre sur le monument, ou par une simple visée horizontale, on connaît également la hauteur d'une ligne verticale quelconque, Xx par exemple.

Sur la photographie nous tracerons une ligne indéfinie OY passant par la projection X du centre optique, et sur cette ligne nous prendrons une longueur OX égale en longueur vraie à la longueur focale. Par les points C, B, A, X, etc., dont on veut connaître le plan, menons les lignes indéfinies OCC″, OBB″, OAA″, etc., etc. On obtient ainsi les angles que fait l'axe optique OY avec chacune des diverses parties du plan considéré du monument. Il s'agit maintenant d'élever sur cet axe optique OY, en des points convenables, des perpendiculaires dont les intersections avec les lignes précédentes donneront la position géométrique des points que la photographie ne donne qu'en perspective. Or, nous avons montré que si, connaissant une hauteur sur un monument, nous voulons déterminer par la formule $D = H\frac{d}{h}$ la distance à l'appareil photographique d'une portion de ce monument placée en dehors de l'axe optique, nous obtenons, non pas la distance de l'objet à l'appareil, mais celle de sa projection sur l'axe optique. Dans la formule précédente, H (grandeur quelconque prise sur le monument) est connu, d foyer de l'objectif, est également connu; quant à h, réduction de H, c'est la hauteur sur la photographie des lignes verticales Bb, Aa, Ff, etc., etc. Effectuant les calculs pour chacune des valeurs de D qu'on désire connaître, on obtient des longueurs, OA′, OX′, OE′, OB′, etc., que nous reportons toutes à l'échelle choisie pour le plan sur l'axe optique OY, et qui représentent les projections

Fig. 34.



des points A, X, E, etc., sur cet axe optique. Élevant par chacun de ces points des perpendiculaires A′A″, E′E″, F′F″, etc., elles déterminent par leur intersection avec les côtés des angles tracés, comme il a été dit plus haut, la position géo-

métrique des points A, B, C, E, etc. Reliant ces points par une ligne continue, comme cela est fait sur un dessin, on a le plan cherché.

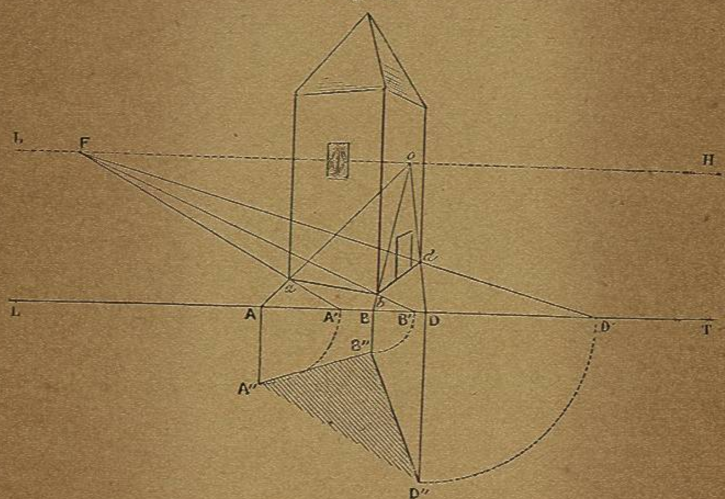
La longueur focale doit être tracée sur le papier en vraie grandeur, à moins qu'on ne préfère calculer les angles par leurs tangentes; mais la distance vraie des diverses parties du monument à l'objectif doit subir une réduction qui représente l'échelle du plan. Si, par exemple, la distance calculée de l'appareil au point X′ est de 25^m, et que nous la représentions sur le dessin par une longueur de $0^m,25$, le plan sera à l'échelle de $0^m,01$ pour 1^m, et chaque longueur portée sur l'axe OY devra subir une réduction identique.

Construction graphique du plan géométrique d'un monument photographié, connaissant seulement le foyer de l'objectif, le centre optique et la ligne d'horizon. — La construction indiquée dans le Paragraphe précédent est assez longue et implique plusieurs calculs. Je ne l'ai donnée que parce qu'elle constituait une nouvelle application de la méthode générale consistant à ramener toutes les opérations à des mesures sur l'axe optique. La méthode que je vais décrire maintenant est beaucoup plus simple, n'exige aucun calcul et est applicable à la majorité des cas. Il n'est nullement nécessaire pour l'employer que la chambre noire soit parallèle à une des faces du monument photographié.

Soit (*fig.* 35), *a*, *b*, *d*, la photographie du monument dont il s'agit de trouver le plan géométrique. Cette photographie étant collée sur un carton, traçons la ligne d'horizon LH, la projection du centre optique *o* (ce dernier point représente le point de fuite principal). Menons à une distance quelconque de LH la ligne LT (ligne de terre) parallèle à LH. Si nous connaissons le foyer de l'objectif employé, nous avons tout ce qui est nécessaire pour la reconstitution du plan.

Portons sur LH, à partir du point O, une longueur OF égale à la distance focale principale de l'objectif. Par les points *a*, *b*, *d* de la portion du monument dont on veut restituer le plan, menons les fuyantes principales O*a*, O*b*, O*d* jusqu'à leur rencontre en A, B, D avec la ligne de terre LT. Menons ensuite par les mêmes points les obliques, ou lignes

Fig. 35.



de distance, F*a*, F*b*, F*d* prolongées jusqu'à leur intersection en A′, B′, D′ avec la même ligne de terre LT. Par les points A, B, D élevons des perpendiculaires ayant respectivement pour longueurs AA′, BB′, DD′. Il ne reste plus qu'à joindre par un trait continu les extrémités A″, B″, D″ de ces perpendiculaires pour avoir le plan cherché. On répétera les mêmes opérations pour toutes les parties, portes, etc., dont on voudra connaître la position.

Deux faces seulement du monument étant visibles sur la photographie, le plan ne pourra naturellement représenter que ces deux faces.

Pour avoir l'échelle du plan, on n'aura qu'à mesurer par un des moyens déjà indiqués, notamment par application d'un mètre, une grandeur quelconque sur le monument.

La position de la ligne de terre LT est, comme je l'ai dit, arbitraire. Selon qu'elle sera plus ou moins loin de la ligne d'horizon LH, le plan géométrique sera plus ou moins grand, mais les figures obtenues seront toutes semblables. Le déplacement de la ligne d'horizon LH, et par conséquent du centre optique O, entraînerait au contraire la déformation du cône perspectif, et par suite celle de sa section par le géométral.

Les objectifs dont on fait généralement usage ayant $0^{m},25$ à $0^{m},30$ de foyer, il faudrait pour exécuter l'opération précédente faire usage d'une feuille de papier assez grande. Si l'on veut éviter cet inconvénient, on peut opérer, comme nous l'avons vu ailleurs, en réduisant la longueur *o*F. On peut en prendre la moitié, le tiers ou le quart, à la simple condition que les longueurs AA′ BB′, DD′ soient multipliées par 2, 3 ou 4. Dans ces conditions, la longueur des perpendiculaires AA″, BB″, DD″ ne sera pas modifiée.

CHAPITRE VI.

LEVERS PHOTO-TOPOGRAPHIQUES. TRIANGULATION PHOTOGRAPHIQUE AVEC UNE SEULE PHOTOGRAPHIE MESURE DE GRANDES BASES.

1. *Levers topographiques par intersections photographiques.* — Analogie de cette méthode avec le lever ordinaire à la planchette. — Cas auxquels elle est applicable. — Planimétrie et altimétrie déterminées au moyen de deux images. — 2. *Triangulation photographique.* — Construction d'un canevas trigonométrique pour le lever des cartes d'une grande étendue. — Emploi combiné de la Photographie et des signaux lumineux pour la mesure de grandes bases et la construction des cartes en voyage.

1. — Levers topographiques par intersections photographiques.

Bien que cet Ouvrage soit surtout consacré à l'étude des monuments et au parti qu'on peut tirer d'une seule photographie sans aucune mesure de base, nous consacrerons quelques pages à une intéressante application de la Photographie à la Topographie, qui peut rendre des services quand on désire lever avec précision le terrain environnant un monument.

La méthode que nous allons exposer a été imaginée, il y a plus de trente ans, par le savant colonel Laussedat, aujourd'hui directeur du Conservatoire des Arts et Métiers. Par les plans de pays montagneux avec courbes de niveau, exposés dans les salles publiques du Conservatoire, chacun peut

juger de la précision des résultats obtenus par M. Laussedat et ses collaborateurs. Sa méthode est parfaitement décrite dans deux Mémoires publiés par le *Mémorial de l'officier du génie*, et l'on a peine à s'expliquer, quand on les a lus, que des auteurs allemands, tels que MM. Meydenbauer et Stolze, aient pu concevoir l'idée de s'en emparer, sans mentionner son inventeur et sans même essayer d'y apporter le plus léger changement [1]. Elle est enseignée aujourd'hui en Allemagne sous le nom de Photogrammétrie, exactement telle que l'a exposée M. Laussedat, et avec des appareils parfaitement identiques à ceux qu'il a décrits.

Cette méthode est théoriquement très simple. Si, des deux extrémités d'une base de longueur connue, on prend des photographies d'un paysage, on peut, lorsqu'on a mesuré en chaque station l'angle que fait la base avec l'axe optique de l'objectif, reconstituer par des intersections graphiques un plan géométrique avec les images perspectives obtenues. On opère exactement, dans ce cas, comme on le fait dans le lever à la planchette, et l'appareil photographique sert simplement à enregistrer automatiquement les éléments du lever à la planchette que le topographe est obligé d'inscrire à la main.

Pour les personnes qui font habituellement de la Topographie et de la Photographie, cette méthode est tout à fait excellente, parce que, outre le lever géométrique du terrain, elle en donne, par la photographie, l'aspect véritable que ne remplacera jamais un plan, quelque détaillé qu'il soit. Le plan ne donne, en effet, que la projection horizontale du terrain, et ce n'est qu'à l'aide de conventions ingénieuses, mais qui exigent un véritable effort de l'esprit et ne satisfont jamais l'œil, que l'on parvient à en exprimer le relief.

Excellente pour les levers topographiques, cette méthode est absolument inutile pour les levers des monuments. Elle

(1) Voir à ce sujet l'article que nous avons publié dans la *Revue scientifique* du 19 février 1887.

ferait perdre, sans intérêt, un temps considérable pendant l'opération, et surtout au retour. En moins d'une minute, en effet, on peut, par la Photographie, obtenir, réduite à une échelle quelconque, l'élévation d'une façade, alors que par le dessin, au moyen d'intersections prises sur des photographies, il faudrait plusieurs jours. Quelques photographies, sans aucune mesure de bases, suffisent dans la plupart des cas pour donner toutes les dimensions des monuments dont on peut avoir besoin. Dans les cas les plus compliqués, un petit nombre de mesures complémentaires, prises avec des instruments très simples, fournissent toutes les indications nécessaires pour connaître les diverses mensurations dont on peut avoir besoin.

La méthode des intersections photographiques du colonel Laussedat ne doit donc être employée, je le répète, que pour des levers de terrain, surtout de terrains accidentés qu'on peut photographier d'un point élevé. Voici, dans ce cas, la façon d'opérer :

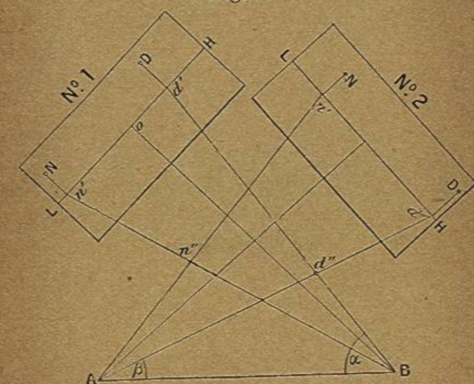
Supposons que des extrémités d'une base AB (*fig.* 36) préalablement mesurée sur le terrain, nous déterminions les angles α et β que fait cette base avec un objet quelconque d'' faisant partie du terrain dont il s'agit de faire le lever topographique, puis que de chacune des extrémités de cette même base nous prenions une photographie. Nous aurons entre les mains tous les éléments nécessaires pour reconstruire le plan du terrain reproduit sur les deux photographies.

Pour construire ce plan, nous commencerons par tracer sur le papier la base mesurée, réduite dans une proportion qui sera précisément l'échelle du plan. Si la base a 120^m, par exemple, et que nous lui donnions $0^m,12$, nous aurons un plan au centième.

Reportant aux extrémités de cette base les angles α et β mesurés, et prolongeant les côtés de ces angles, nous aurons par intersection la position du point d''. La position de ce point va nous servir à placer convenablement les photographies

destinées à être transformées en plan géométrique. Supposons la ligne d'horizon LH et la projection o du centre optique tracées sur les photographies, par les moyens indiqués dans d'autres Chapitres. De tous les points du paysage N, D, etc., dont nous voulons connaître la position géométrique, nous abaisserons sur cette ligne LH des perpendiculaires Nn', Dd', etc.

Fig. 36.



Les photographies étant ainsi préparées, supposons que nous voulions orienter la photographie marquée n° 1; nous élèverons sur la ligne d'horizon, et par la projection o du centre optique, une perpendiculaire oB ayant exactement la longueur focale de l'objectif. Si nous joignons d' à B, l'angle oBd' représente l'angle que fait le point d', choisi comme point de repère, avec l'axe optique oB. Pour que la photographie soit orientée, il faut que le sommet B de oB coïncide avec l'extrémité correspondante de la base AB et que la ligne Bd' fasse avec cette base AB un angle α précisément égal à celui mesuré sur le terrain. On y arrivera en faisant, au moyen d'une règle et d'une équerre, tourner oB autour du point B jusqu'à ce que Bd' passe par d''. La photographie sera alors orientée. Une opération identique sur la seconde photographie marquée n° 2 donnera également son orientation.

Les deux photographies ainsi orientées relativement à la base et collées sur du papier bristol, il suffira, pour déterminer la position géométrique d'un point quelconque, figurant à la fois sur les deux photographies, n' par exemple, de le relier aux extrémités de la base AB pour avoir immédiatement par intersection sa projection n''.

Il est évident que si l'on avait un objectif dont le champ permît d'embrasser à la fois, à chaque station, une extrémité de la base et un objet quelconque du paysage, aucune mesure angulaire autre que celles déduites de la photographie elle-même ne serait nécessaire pour la reconstruction du plan. Avec des objectifs grands angulaires, dont le champ atteint 90°, ce cas serait le plus général.

Les constructions qui précèdent donnent la planimétrie d'un terrain. L'altimétrie, c'est-à-dire la mesure des hauteurs verticales de chaque point, nécessaire pour déterminer les cotes des courbes de niveau, se déduira également des mêmes photographies. Soit à déterminer, par exemple, la hauteur du point N au-dessus de la ligne d'horizon prise comme ligne de comparaison. En mesurant la longueur de la perpendiculaire Nn' abaissée de ce point sur la ligne d'horizon LH, nous aurons évidemment la tangente de l'angle de visée dans un cercle qui aurait Bn' pour rayon. Appelons D la distance Bn'' obtenue par intersection sur le plan, comme nous l'avons expliqué plus haut, h la hauteur Nn', δ l'angle vertical de visée, et H la hauteur cherchée de N au-dessus du plan d'horizon évaluée à l'échelle du plan on a évidemment

$$H = D \times \tang \delta,$$

mais, comme

$$\tang \delta = \frac{h}{Bn'},$$

on a finalement

$$H = D \times \frac{h}{Bn'}.$$

En multipliant le chiffre ainsi obtenu par l'inverse de l'échelle du plan, on aura la grandeur de H sur le terrain. Si, par exemple, l'échelle est au $\frac{1}{1000}$, on multipliera H par 1000.

2. — Triangulation photographique.

Construction d'un canevas trigonométrique pour le lever des cartes d'une grande étendue. — La triangulation d'un terrain destinée à former le canevas d'une carte repose, comme on le sait, sur la mesure d'une base et de deux angles à l'extrémité de cette base. La mesure des angles peut se faire soit avec un appareil quelconque destiné à mesurer les angles, comme le font tous les topographes, soit en enregistrant ces angles par la Photographie, suivant la méthode de Laussedat. Cette dernière méthode ne diffère, comme nous l'avons vu, du lever ordinaire à la planchette, qu'en ce que l'opérateur enregistre automatiquement les angles que le topographe est obligé de marquer au crayon sur sa planchette ou de lire sur son graphomètre.

Le but constant de cet Ouvrage étant de n'avoir recours dans les opérations qu'à une seule photographie, nous avons cherché à obtenir avec une seule image les éléments de construction de triangles pouvant servir à établir un canevas trigonométrique. Nous allons voir maintenant qu'on peut, sans autre opération supplémentaire qu'une visée à la boussole sur une extrémité d'une base, lire sur une photographie pittoresque ordinaire les éléments d'une triangulation permettant de construire une carte ou de la compléter.

Avec la méthode nouvelle que je vais exposer, au lieu de prendre des photographies de chacune des extrémités de la base d'un triangle, on n'en prend qu'une du sommet de ce triangle. Elle suffit à fixer à la fois la position de l'opérateur et les distances auxquelles il se trouve de divers points. Toute autre photographie contenant un côté quelconque du triangle ainsi déterminé permettra, sans la connaissance d'aucun élément nouveau, la construction de nouveaux triangles. Par une série de photographies successives, on arriverait ainsi à établir de proche en proche le canevas trigonométrique d'une grande étendue de terrain. Il aurait sur le canevas trigonométrique ordinaire l'avantage de donner, outre le plan géométrique de la contrée, son aspect véritable tel que l'œil le perçoit.

La méthode n'implique, comme je viens de le dire, qu'une photographie et une visée à la boussole sur un des points formant l'extrémité de la base qui doit figurer sur la photographie. Pour montrer sa simplicité, je vais donner l'exemple d'une triangulation que j'ai exécutée, dans laquelle un des côtés avait plus de 7 kilomètres de longueur. Elle a été obtenue avec une seule photographie prise de la terrasse de Bellevue, et qui comprenait dans les objets représentés deux points : une des tours du Trocadéro et le dôme des Invalides dont l'orientation et la distance étaient connues. La seule opération, en dehors de la Photographie, a été une visée à la boussole sur un des deux points précédents en même temps qu'on prenait la photographie.

Représentons par B (*fig.* 37) la tour du Trocadéro, par A les Invalides et par C la position, supposée inconnue, d'où a été prise la photographie. Il s'agit de déterminer les longueurs CB, CA et la position C.

Les données du problème sont les suivantes :

BA = 2000^m,

Orientation β de BA = 67° Ouest (¹),

Angle δ mesuré à la boussole = 44°,

Angle en C mesuré sur la photographie = 15°,4′.

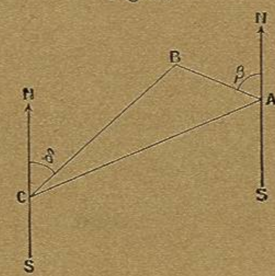
(Pour avoir l'angle en C, on divise simplement, comme nous

(¹) J'ai corrigé les angles de la déclinaison pour qu'on puisse refaire les opérations avec la Carte au $\frac{1}{20000}$ des environs de Paris.

l'avons vu, le nombre de millimètres compris sur la photographie entre la représentation des points A et B — le premier ou le second ayant été amené au centre de la glace dépolie — par la longueur focale de l'objectif, et l'on recherche dans une Table de tangentes naturelles l'angle correspondant à la tangente ainsi obtenue.)

Pour calculer CB et CA, il faut connaître les angles en B

Fig. 37.



et en A. On les déduit très aisément des données précédentes. On a, en effet

$$B = \delta + \beta = 111° \text{ (¹)}$$
$$A = 180 - (B + C) = 53° 56'.$$

Nous sommes alors ramené au cas élémentaire de la résolution d'un triangle dont on connaît un côté et les angles adjacents. Nous aurons donc

$$CA = \frac{BA \sin B}{\sin C} = 7183^m,$$
$$CB = \frac{BA \sin A}{\sin C} = 6219^m.$$

(¹) Les personnes qui ne verraient pas immédiatement que $B = \delta + \beta$ n'ont qu'à diviser l'angle en B par une ligne parallèle à la ligne NS, l'angle en B se trouvant ainsi divisé en deux angles dont l'un est évidemment égal à δ, l'autre à β. L'angle en B représente donc bien la somme de ces deux angles.

Les distances respectives de l'opérateur à l'une des tours du Trocadéro était donc de 6219^m, et au dôme des Invalides de 7183^m. L'erreur commise est d'environ 20^m, quantité insignifiante sur de pareilles distances.

Je n'ai pas besoin d'ajouter qu'avec le triangle précédent on a tout ce qu'il faut pour déterminer sur la carte la position du point C où se trouvait l'opérateur. Il est évident, en effet, que sa position sera déterminée par l'intersection de deux arcs de cercle tracés de B et A avec les longueurs BC et AC réduites à l'échelle de la carte sur laquelle on opère, ou encore simplement en traçant de B ou de A sur la carte une ligne ayant pour longueur CB ou CA, et faisant avec la ligne BA l'angle B ou l'angle A trouvés dans l'opération précédente.

J'ajouterai, pour les personnes qui désireraient faire uniquement la carte d'une contrée, que l'appareil photographique peut être remplacé simplement par notre télestéréomètre décrit dans la seconde Partie de cet Ouvrage ; grâce à son champ et à sa précision, il permet de mesurer les angles avec plus d'exactitude que le meilleur graphomètre monté sur pied, et avec une rapidité incomparablement plus grande.

Lorsque la base a été bien mesurée, l'opération précédemment décrite est fort précise. Quand on se trouve devant une ville ou une place forte, il n'est généralement pas difficile de découvrir deux points de repère dont la distance et l'orientation sont connues. Dans ces conditions, la carte de toute la région entourant la place forte pourrait être levée très rapidement et sans provoquer l'attention, puisque l'appareil peut rester toujours caché dans la main.

Le lecteur qui a suivi les calculs précédents pourrait se demander pourquoi on ne mesure pas à la boussole l'angle en C comme on l'a fait pour l'angle δ. La raison en est simplement que l'angle en C étant généralement assez petit a besoin d'être mesuré avec précision, ce qui est impossible avec une boussole ordinaire et facile, au contraire, soit avec la Photographie, soit avec le télestéréomètre.

Emploi combiné de la Photographie et des signaux lumineux et bruyants pour la mesure de grandes bases et la construction des cartes en voyage. — La méthode de triangulation au moyen d'une seule photographie, exposée dans le Paragraphe précédent, constituerait le moyen le plus sûr et le plus rapide de lever la carte d'une contrée s'il n'exigeait la mesure d'une grande base, opération à peu près impossible en voyage, à moins d'un matériel encombrant et d'une perte de temps énorme. La méthode, telle que je l'ai exposée, ne pourrait donc être appliquée que pour compléter la carte de régions connues. Elle serait inapplicable dans les régions inconnues que peut avoir à parcourir un explorateur.

Pour que notre méthode fût applicable partout, il faudrait pouvoir trouver le moyen de mesurer en quelques minutes, et sans difficulté, des bases de plusieurs kilomètres. J'ai entrepris quelques recherches pour arriver à résoudre ce problème. Elles ne sont pas encore terminées parce qu'elles impliquent la solution de plusieurs questions accessoires, mais elles suffisent à prouver la possibilité de la solution pratique du problème. Je les mentionne ici pour attirer l'attention des personnes, telles que les officiers d'artillerie, qui peuvent très aisément faire des expériences variées sur ce sujet.

La méthode de mesure des grandes bases dont je veux parler, est celle qui repose sur la mesure de la vitesse du son. Indiquée partout, elle n'a jamais été sérieusement appliquée nulle part, par suite de l'imperfection des signaux et de la complication des moyens employés pour mesurer avec exactitude de petites fractions de temps. En remédiant à ces deux inconvénients, la méthode peut fournir des résultats excellents, et aucune autre ne pourrait lui être comparée comme commodité et rapidité.

Supposons en effet qu'un signal à la fois lumineux et bruyant se montre à quelques kilomètres d'un observateur, et que ce dernier possède le moyen de mesurer très exactement le temps écoulé entre le moment où apparaît le signal lumineux et celui où l'on entend l'explosion qui l'a accompagné. Il est évident que l'intervalle qui s'écoulera entre les deux phénomènes donnera la distance qui sépare l'observateur du signal, puisque la vitesse de propagation du son est connue et que celle de la lumière est à peu près instantanée. Toute la valeur de la méthode dépendra uniquement de la netteté des signaux et de la valeur des instruments employés pour mesurer le temps.

La difficulté d'avoir des signaux assez lumineux et assez bruyants pour être perçus à grande distance, et en même temps très portatifs, est plus grande qu'elle ne le paraît. Dans l'état actuel des choses, la pyrotechnie possède des pièces d'un faible volume dont l'explosion peut être vue et entendue à 8 kilomètres, ainsi que je l'ai constaté par l'expérience. Grâce à l'emploi des nouvelles poudres au magnésium, si utilisées aujourd'hui pour la Photographie instantanée, je suis persuadé qu'on pourra rendre les signaux plus visibles encore. J'ai prié la maison Ruggieri de faire des essais dans cette voie, mais ils ne sont pas terminés.

Pour l'évaluation des distances, il serait nécessaire, lorsqu'on veut obtenir une grande précision, que l'instrument d'horlogerie marquât exactement les centièmes de seconde. En supposant alors $\frac{2}{100}$ ou $\frac{3}{100}$ de seconde d'erreur dans le pointage, ce qui serait un maximum, parce que le retard du premier pointage dû à l'équation personnelle de l'observateur est annulé par le retard du second pointage, l'erreur ne serait que d'une dizaine de mètres pour 10^{km}.

Le nouvel appareil décrit dans le Chapitre de cet Ouvrage consacré à la Photographie instantanée, permettrait très facilement cette mesure, puisqu'il permet de mesurer les millièmes de seconde. Il est aisé à chacun, avec les indications que j'ai données, de le faire construire ; mais comme cet instrument n'est pas dans le commerce, il serait inutile d'insister sur son emploi. Les seuls appareils pratiques existant actuelle-

ment qu'on puisse recommander pour la mesure de fractions de seconde, sont les chronographes enregistreurs employés pour les courses [1]. Chacun sait qu'il suffit — sans regarder l'instrument — d'appuyer sur un bouton pour le mettre en marche et d'appuyer sur un autre bouton pour l'arrêter. On lit alors en secondes et en cinquièmes de seconde le temps écoulé entre les deux opérations. Cet instrument est très portatif et très pratique, et son prix est très minime. Malheureusement il ne peut donner que les cinquièmes de seconde, ce qui ne constitue pas une précision bien grande. La précision sera cependant supérieure à celle qu'on pourrait obtenir en voyage par la plupart des autres méthodes, à la simple condition que la base à mesurer soit assez longue. L'erreur sera de 80^m à 100^m sur une longueur de 8^{km}, soit de $\frac{1}{100}$ environ.

Cette erreur étant surtout une erreur instrumentale, est indépendante évidemment de la longueur de la base. Elle serait identique pour une base de 100^m et pour une de 10000^m. On a donc tout intérêt à choisir une base très longue, puisque l'erreur relative deviendra d'autant plus faible que la base sera plus grande. C'est le contraire de ce qui s'observe dans toutes les méthodes de mesure de bases, où les erreurs deviennent d'autant plus grandes que la base mesurée devient plus longue.

Quant à la façon d'opérer, elle est fort simple. L'observateur doit s'astreindre d'abord à cette condition, qu'à chaque extrémité de la base se trouve un objet facile à reconnaître, arbre isolé, maison, etc. Se tenant alors le chronographe à la

---

[1] J'ai vu de ces chronographes avec rappel au zéro chez plusieurs horlogers, notamment chez Hector Lévy, 139, boulevard Sébastopol, pour 25^{fr}. Pour 80^{fr} environ on peut se procurer une excellente montre marquant, outre les cinquièmes de seconde, comme dans le compteur précédent, les heures et les minutes. Une telle montre constitue un instrument fort utile aux voyageurs.

main à l'une des extrémités de la base, on envoie à l'autre extrémité l'aide chargé d'allumer le signal explosif. Aussitôt qu'on voit la flamme, on appuie sur le bouton qui met les aiguilles en marche, et, dès que le bruit de l'explosion se fait entendre, on presse le bouton qui arrête les aiguilles. Il ne reste plus alors qu'à lire sur le cadran le temps qui s'est écoulé entre les deux phénomènes et faire une multiplication pour avoir la distance cherchée. Supposons que l'opération ait été faite à la température de 0, et que le temps écoulé entre l'apparition du signal lumineux et le bruit de l'explosion soit de $24^s,5$. La propagation de la lumière pouvant être considérée comme instantanée pour de faibles distances, alors que la vitesse de propagation du son est de 331^m par seconde à la température de 0, on voit que la distance entre les deux stations est $331 \times 24^s5 = 8110^m$.

Pour les observations faites aux températures au-dessus de 0, la vitesse de propagation du son étant plus grande, il faut tenir compte de la différence. L'accroissement de la vitesse de la propagation du son est à peu près de $0^m,67$ par degré de température, à 25° elle est donc de 348^m par seconde au lieu de 331^m (1).

---

(1) Le moyen classique de corriger l'influence de la température est de multiplier la vitesse du son à 0, c'est-à-dire 331^m par $\sqrt{1+at}$, a étant le coefficient de dilatation de l'air $= 0,00367$ et t la température de l'air au moment de l'observation. Le calcul est assez long et ne donne pas une précision sensiblement supérieure à celle qu'on obtient en opérant comme nous l'avons indiqué, c'est-à-dire en ajoutant $0^m,67$ par degré à la vitesse du son à 0.

Quant à l'influence de la vitesse du vent, elle peut être négligée entièrement parce que cette vitesse est très faible vis-à-vis de celle de la transmission du son. Le seul inconvénient sérieux du vent, c'est qu'il peut atténuer notablement l'intensité du son. Il serait à désirer d'ailleurs que la vitesse de propagation du son et les causes qui peuvent l'influencer fussent étudiées de nouveau avec des méthodes plus précises que celles employées dans les vieilles expériences exécutées il y a longtemps, et qui sont encore les seules qui figurent actuellement dans les Traités de Physique.

La mesure d'une base effectuée comme il vient d'être dit est fort rapide. La base étant mesurée, il suffit de connaître son orientation avec une visée à la boussole pour qu'on puisse en déduire au moyen d'une seule photographie les éléments nécessaires à une trangulation, en opérant exactement comme il a été dit dans le Paragraphe précédent.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE III.

Détermination du foyer des objectifs photographiques. — Réductions et agrandissements à une échelle donnée.

CHAPITRE IV.

Détermination de la grandeur des objets d'après leurs dimensions apparentes sur la glace dépolie.

CHAPITRE V.

La perspective photographique. Son application à la détermination des formes réelles et des dimensions des monuments.

CHAPITRE VI

**Levers photo-topographiques
Triangulation photographique avec une seule photographie. Mesure de grandes bases.**

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES DE LA PREMIÈRE PARTIE.

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

LES

LEVERS PHOTOGRAPHIQUES

ET LA

PHOTOGRAPHIE EN VOYAGE.

DERNIÈRES PUBLICATIONS DU Dr GUSTAVE LE BON.

Recherches anatomiques et mathématiques sur les lois des variations du volume du crâne (Mémoire couronné par l'*Académie des Sciences* et par la *Société d'Anthropologie* de Paris). In-8.

La méthode graphique et les appareils enregistreurs, contenant la description de nouveaux instruments. 1 vol. in-8, avec 63 figures dessinées au laboratoire de l'auteur.

De Moscou aux monts Tatras. Étude sur la transformation d'une race, avec une carte et un panorama dressés par l'auteur (publié par la *Société géographique de Paris*).

Voyage au Népal, avec nombreuses illustrations, d'après les photographies et dessins de l'auteur (publié par le *Tour du Monde*).

La civilisation des Arabes, grand in-4° illustré de 366 gravures, 4 cartes et 11 planches en couleur, d'après les photographies et aquarelles de l'auteur.

Les civilisations de l'Inde, grand in-4° illustré de 350 photogravures, 2 cartes et 7 planches en couleur, d'après les photographies, dessins et aquarelles de l'auteur.

Les premières civilisations de l'Orient (Égypte, Assyrie, Judée, etc.). Grand in-4° illustré de 430 gravures, 2 cartes et 9 photographies.

LES

LEVERS PHOTOGRAPHIQUES

ET LA

PHOTOGRAPHIE EN VOYAGE.

SECONDE PARTIE

OPÉRATIONS COMPLÉMENTAIRES DES LEVERS PHOTOGRAPHIQUES.

DESCRIPTION DE NOUVEAUX INSTRUMENTS. — MÉTHODES SIMPLIFIÉES DE LEVERS DE MONUMENTS.
CONSTRUCTION DE LA CARTE DES RÉGIONS ENTOURANT LES MONUMENTS.
LEVERS D'ITINÉRAIRES. — TOPOGRAPHIE PRATIQUE.
TECHNIQUE PHOTOGRAPHIQUE. — PHOTOGRAPHIE INSTANTANÉE.

Par le Dr GUSTAVE LE BON,

Chargé par le ministère de l'Instruction publique d'une mission archéologique dans l'Inde,
Officier de la Légion d'honneur, etc.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES
ÉDITEURS DE LA BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE
Quai des Grands-Augustins, 55.

1889

LES

LEVERS PHOTOGRAPHIQUES

ET LA

PHOTOGRAPHIE EN VOYAGE.

SECONDE PARTIE.

OPÉRATIONS COMPLÉMENTAIRES DES LEVERS PHOTOGRAPHIQUES.

INTRODUCTION.

Nous avons posé comme principe, dans la première Partie de cet Ouvrage, que la Photographie ne devait servir comme élément de mensuration que lorsqu'en même temps elle donnait des images intéressantes à un autre point de vue, et qu'une photographie, dont on ne pourrait déduire autre chose que des mesures, pourrait être remplacée avantageusement par des opérations plus simples. Si, par exemple, on se trouve en face d'un temple dont la façade seule présente un caractère architectural intéressant, alors que sa façade latérale est constituée par un mur dépourvu de toute ornementation, il n'y a évidemment aucun intérêt à photographier autre chose que la façade. Au lieu de perdre son temps et ses plaques à photographier les parties latérales, on se bornera à opérer sur ces dernières quelques mesures. Le voyageur a donc tout intérêt à compléter par des moyens convenables les indications fournies par la

Photographie, et à réserver cette dernière aux choses indispensables. Il y a d'autant plus d'intérêt que les mêmes méthodes lui permettront, ce qui peut être fort utile, de dresser le plan du terrain environnant le monument à reproduire, de tracer un itinéraire reliant une région connue à une région inconnue, etc. En ce qui concerne ce dernier point, j'ai eu plusieurs fois dans l'Inde à reconnaître combien de tels itinéraires m'auraient été utiles pour trouver le chemin menant à telles ou telles ruines décrites dans divers Mémoires et dont les cartes n'indiquaient que très insuffisamment la position.

Le lecteur voit dès à présent le but de la seconde Partie de cet Ouvrage. Il y trouvera l'indication de nouveaux instruments fort simples, et de méthodes également très simples pour la solution des divers cas qui peuvent se présenter. Les instruments sont peu nombreux, et surtout peu volumineux, puisque leur collection complète ne dépasse guère le volume d'un livre in-8. Chacun répond à un but différent, suivant les cas qui peuvent se présenter. La situation d'un voyageur gêné par le temps, ou encore opérant à la hâte au milieu d'une foule et obligé de cacher ses opérations, est tout à fait différente de celle de l'observateur qui peut lever un plan à son aise. A ces cas différents, qui peuvent se présenter dans le même voyage, répondent nécessairement des instruments et des méthodes différentes.

Bien que n'ayant nullement eu l'intention d'écrire un Ouvrage de Photographie proprement dite, j'ai cru utile de terminer cette seconde Partie par des Chapitres aussi pratiques que possible sur la Photographie instantanée, fort utile aux voyageurs, et sur la Technique photographique.

CHAPITRE I.

DESCRIPTION DES INSTRUMENTS NÉCESSAIRES POUR LES OPÉRATIONS COMPLÉMENTAIRES DE LA PHOTOGRAPHIE.

Description des instruments. — Quart de cercle à niveau. — Boussole éclimètre à prisme. — Boussole-breloque. — Télestéréomètre. — Niveau de poche boussole. — Roulette métrique et canne métrique.

Quart de cercle à niveau. — Cet instrument (*fig.* 38), construit sur mes dessins par M. Molteni [1], est un quart de cercle ayant $0^m,15$ de rayon. Il se monte sur les parois de la boîte qui le contient et qui peut être fixée elle-même soit horizontalement, soit verticalement, sur le pied de l'appareil photographique [2], au moyen de la vis qui surmonte ce pied.

Les divisions du quart de cercle sont en quarts de degré. Il porte, intimement soudé le long de la branche supérieure, un niveau à bulle d'air presque invisible sur le dessin.

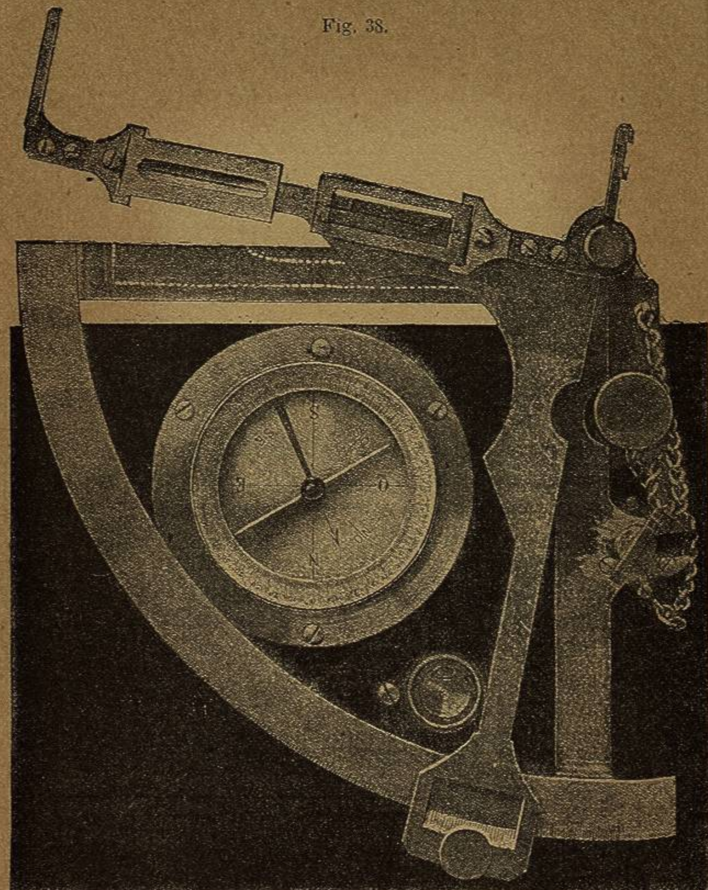
L'instrument est fixé sur la boîte dans laquelle il est ordinairement enfermé, par deux écrous. L'un d'eux sert, au moyen du niveau à bulle d'air que je viens de mentionner, à mettre parfaitement horizontal l'un des côtés du quart de cercle.

---

[1] M. Labre en a construit également un du même modèle sur la demande d'un ingénieur de ses clients.

[2] Les personnes qui voudraient utiliser cet instrument pour la Topographie sans faire de la Photographie, trouveront chez Molteni des pieds à peine plus lourds qu'une canne et cependant très stables au prix de 7^{fr}.

Fig. 38.



Quart de cercle à double niveau du Dr Gustave Le Bon.

Lorsque l'appareil est employé à mesurer des angles horizontaux, on le monte à plat sur la vis du pied. Son horizon-

talité est alors obtenue au moyen d'un niveau sphérique placé sur la boîte, moyen moins précis que le précédent, mais plus que suffisant pour cet ordre d'observations.

Le quart de cercle porte une alidade (1) à double emploi munie de deux pinnules fixes servant à la mesure des angles verticaux et de deux pinnules mobiles susceptibles de se rabattre sur la règle de l'alidade et destinées à la mesure des angles horizontaux. Les deux premières sont munies, l'une d'un œilleton, l'autre d'une croisée de fils. Elles peuvent servir, l'instrument étant réglé et le vernier amené au zéro, à mener une ligne horizontale, comme on le ferait avec un niveau d'eau, à mesurer des pentes, etc. La boussole incrustée sur la boîte peut, lorsque l'instrument est horizontal, donner l'azimut magnétique d'un objet visé.

Boussole éclimètre à prisme. — L'instrument que je vais actuellement décrire a été construit par M. Labre. Il est moins volumineux encore que le précédent, puisqu'il peut se placer dans une poche de gilet. Il est destiné aux mesures rapides et à tous les cas où il faut éviter d'attirer l'attention.

L'instrument consiste en une boussole de construction particulière, permettant la solution de tous les problèmes

(1) Le système des alidades employé dans tous les graphomètres, pantomètres, ainsi que dans mon quart de cercle, est fort suffisant pour les opérations auxquelles sont destinés ces instruments, mais conduit à des erreurs de pointé d'environ 5 minutes, et par conséquent la précision n'est plus suffisante pour les observations à grande distance ou pour des relèvements astronomiques. Quand j'ai construit mon quart de cercle, je n'avais pas encore trouvé le principe de mon télestéréomètre, c'est-à-dire d'une lunette ayant un champ considérable. En remplaçant les alidades du quart de cercle par la lunette du télestéréomètre (sans son prisme), on aurait, sans augmentation de poids ni de volume, un instrument permettant des pointés d'une extrême précision, qui pourrait servir également, par conséquent, à mesurer la hauteur du Soleil, déterminer la latitude, viser des signaux à grande distance, etc.

que le lever de plans et le nivellement comportent, notamment les suivants :

Mesurer des angles horizontaux et verticaux ;

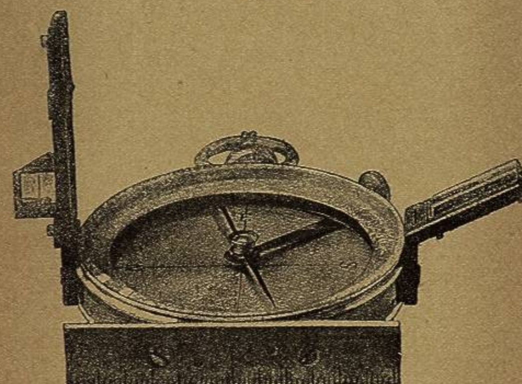
Mener une ligne perpendiculaire à une autre ;

Mener une ligne de niveau ;

Déterminer la pente d'un mur, d'une route, d'une colonne, etc.

Cet instrument n'a que $0^m,07$ de diamètre. Il possède deux faces représentées sur les deux dessins ci-joints (*fig.* 39 et 40). Une des deux faces est munie d'une aiguille aimantée ordinaire. Sur sa circonférence on voit deux pinnules pouvant

Fig. 39.



Face supérieure de la boussole.

se rabattre sur la boîte ; l'une est à jour et traversée par un fil, l'autre porte une glace étamée sur toute sa surface, sauf le long d'une ligne verticale passant par son centre, de façon qu'on puisse viser à travers. Quand la boussole, au lieu d'être tenue à la main, est montée sur le pied de l'appareil photographique, on vise à travers la glace non étamée comme on le ferait à travers une alidade ordinaire. Quand

la boussole est simplement tenue à la main, il est préférable de viser les objets par réflexion en rabattant en arrière la pinnule portant la glace comme elle l'est sur le dessin. On n'a pas ainsi à approcher l'œil de l'instrument, comme dans les boussoles ordinaires, mouvement qui expose à de grosses

Fig. 40.

Dos de la boussole.

erreurs, parce qu'au moment où l'on fixe l'aiguille, il est impossible de voir si elle est horizontale et si elle a pris sa position définitive. Avec la disposition adoptée, il suffit de se placer successivement devant chacun des points dont on veut mesurer l'écartement angulaire. La boussole tenue à la main et disposée comme dans la *fig.* 39, est tournée de manière que l'image de l'objet dans le miroir soit coupée par le fil de l'alidade. Il n'y a plus alors qu'à lire l'angle cherché. Cette dernière opération n'est pas d'ailleurs indispensable, car l'instrument permet de reporter automatiquement les angles sur le papier, et par conséquent d'effectuer immédiatement les constructions graphiques nécessaires pour rapporter un plan, tracer la direction d'une route, d'un itinéraire, etc. Il suffit de fixer l'aiguille dans sa position, en tournant un bouton spécial placé sur un côté de la boîte et de poser la boussole sur une feuille de papier réglé, de façon que l'aiguille, fixée dans la position où elle est arrêtée, soit parallèle aux lignes verticales du papier. Un coup de crayon sur la réglette métallique fixée parallèlement à l'alidade à la base de l'instrument donne immédiatement l'angle que fait la ligne de visée sur l'objet considéré avec le méridien magnétique représenté par la ligne verticale du papier. On recommence cette opération à chaque station, et la direction du chemin parcouru se trouve ainsi tracée.

Pour mener avec cet instrument une ligne perpendiculaire à une autre, on se sert d'un petit prisme rectangle isocèle, appliqué verticalement sur une des pinnules, ainsi qu'on le voit sur les figures précédentes. Lorsqu'on vise un point quelconque, en rapprochant l'instrument de l'œil et regardant ce point à travers la partie non étamée de l'alidade à miroir, les objets réfléchis sur le prisme et coupés par le fil qui le traverse, sont situés sur une ligne perpendiculaire à la ligne joignant l'œil de l'observateur à l'objet visé.

Pour utiliser l'instrument comme niveau, on le tient par la suspension à la Gardan, qui remplace l'anneau ordinaire des boussoles, et l'on se sert du miroir fixé sur une des alidades, absolument comme de la glace des niveaux Burel.

Pour mesurer les angles verticaux, on tient verticalement la boussole et l'on vise l'objet à travers les pinnules. Un pendule fixé sur la partie postérieure de la boîte (*fig.* 40) et qui, par un mécanisme très simple, peut être arrêté dans toutes ses positions, donne immédiatement l'angle cherché et sa tangente.

L'angle de pente d'un mur, d'une colonne, du sol, etc., se lit immédiatement en posant la réglette horizontale sur la surface dont on veut connaître la pente et appuyant momentanément sur le bouton dont j'ai parlé. L'angle d'inclinaison est indiqué par l'éclimètre et la pente par mètre par une graduation en tangentes qui se trouve à côté de la graduation en degrés.

L'instrument est fixé à un cordon, comme une montre, et se porte habituellement dans la poche. En mesurant les distances au pas — avec de l'habitude, les chances d'erreur ne dépassent guère $\frac{1}{100}$ — on peut calculer la hauteur et la largeur d'un monument en quelques minutes, sans attirer l'attention ni provoquer des attroupements, comme cela arrive généralement quand on a recours à un instrument fixé sur pied.

Pour toutes les opérations de la Topographie courante — planimétrie et nivellement, — ce petit appareil rend de précieux services.

Les deux instruments qui précèdent permettent la solution de la plupart des problèmes indiqués plus loin. Ces solutions impliquant souvent la nécessité de mener une ligne perpendiculaire à une autre, il n'est pas inutile de rappeler que le quart de cercle, bien que n'étant pas muni d'un prisme, comme la boussole, permet aisément cette opération. L'instrument ayant été disposé de façon que le zéro des divisions coïncide avec la ligne de visée allant au point observé, il suffit, en effet, de tourner l'alidade de 90° pour mener une ligne perpendiculaire à la précédente. L'emploi du quart de cercle est bien préférable d'ailleurs à celui de la boussole toutes les fois qu'on peut en faire usage.

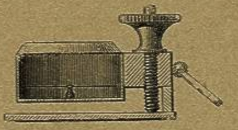
Boussole-breloque nivelante. — La boussole qui précède, bien que d'un maniement très simple, ne peut donner toute la précision dont elle est susceptible que si l'on emploie un certain temps pour faire la visée, ou si on la met sur un pied. Lorsqu'on veut tracer rapidement un itinéraire et un plan sommaire d'une localité où se trouvent des ruines, elle ne permet pas d'opérer assez vite. Le temps étant le plus précieux trésor du voyageur, j'ai songé à remplacer cette boussole, pour les cas qui viennent d'être indiqués, par un instrument destiné à être toujours porté à la chaîne de montre comme breloque, et permettant au voyageur d'exécuter en marchant les opérations dont je viens de parler.

J'ai d'abord employé pour cet usage une de ces petites boussoles grandes comme une pièce d'un franc, et ne coûtant pas davantage, dont on fait usage à l'École d'Application de l'artillerie et du génie pour les levers expédiés. Elle se fixe dans un coin du carton ou du cahier relié sur lequel on trace son itinéraire, avec une pince particulière imaginée par le colonel Goulier. L'opérateur, faisant face à l'objet à viser et restant immobile, tourne son carton jusqu'à ce que l'aiguille de la boussole soit parallèle à la ligne du papier choisie comme devant marquer la direction Nord-Sud. Un décimètre, ou simplement un morceau de papier quadrillé, sert à viser la route ou le point dont on veut tracer la direction relativement au méridien magnétique. Sachant ce qu'un nombre donné de pas représente de millimètres, l'opérateur trace, en marchant, une ligne polygonale dont la longueur et la direction se modifient suivant le chemin parcouru et la direction de chaque visée.

Malgré l'autorité considérable du colonel Goulier qui assure, dans une de ses publications, qu'on obtient avec cette petite boussole autant de précision qu'avec de grandes boussoles, lorsqu'on est forcé de tenir ces dernières à la main, je n'avais pas d'abord grande confiance dans cet instrument, que je considérais comme devant fournir des indications par trop sommaires ; mais après avoir fait aux environs de Paris, dans des régions accidentées et boisées, une quinzaine d'itinéraires au $\frac{1}{20000}$ que j'ai ensuite comparés à la Carte de l'état-major, j'ai constaté que, sans perdre de temps et

presque en marchant, on pouvait tracer des itinéraires très suffisamment exacts, à l'échelle de $\frac{1}{20000}$, et fermer convenablement des polygones de plus de 20^{km}. Les itinéraires ainsi obtenus ne se superposaient pas toujours, dans toutes leurs parties, à la Carte de l'état-major, mais ils ne s'en écartaient pas considérablement, et s'y superposaient souvent. Dans tous les cas, avec un plan ainsi tracé, un voyageur n'aurait eu aucune difficulté à repasser par le même chemin, à reconnaître les localités, calculer les distances, etc. Le plan

Fig. 41.



ainsi dressé contenait, par conséquent, précisément les choses utiles aux voyageurs. Il était donc excellent.

Le seul défaut de la boussole-breloque de l'École d'Application est que sa pince est volumineuse, manque de solidité, tombe et s'égare facilement. Elle est d'ailleurs munie de pointes qui déchirent aisément le papier et les poches. J'ai donc été amené à remplacer cet instrument par un nouveau.

La boussole représentée *fig.* 41 de grandeur naturelle a été construite sur mes indications par M. Labre. Elle peut être fixée aussi solidement qu'on le désire sur un carton ou sur un cahier. Un anneau circulaire appliqué contre la boussole, quand elle ne fonctionne pas, peut s'en écarter d'un centimètre environ au moyen d'une vis-molette quand on desserre cette dernière. On introduit le carton ou le portefeuille sur lequel on veut faire le plan entre la boussole et l'anneau. On serre alors le bouton, et l'instrument se trouve solidement fixé. On la porte à la chaîne de la montre lorsqu'on ne s'en sert pas.

Pour permettre à la boussole de donner une ligne de niveau, j'avais remplacé dans un premier modèle le fond métallique de l'instrument par une glace étamée seulement sur la moitié d'un de ses diamètres. Lorsqu'on tient verticalement la boussole par la suspension à la Cardan de l'anneau et qu'on regarde un objet quelconque placé devant soi, à travers le secteur non étamé du miroir, la portion de l'objet située au niveau de la pupille se trouve dans un plan horizontal passant par l'œil, et par conséquent à une hauteur du sol exactement égale à la hauteur de l'œil de l'observateur. C'est là, du reste, le principe de tous les niveaux à miroir, et ce principe est trop connu dans sa théorie et ses applications pour qu'il soit utile d'y insister ici. J'ai cependant renoncé à cette disposition parce qu'elle triplait le prix de la boussole.

Les trois instruments précédents ont, comme on le voit, trois buts différents. Le premier — le quart de cercle — est un instrument de précision dont on ne peut faire usage qu'en le fixant sur le pied de l'appareil de photographie. Le deuxième — la boussole-éclimètre à prisme — peut servir, soit fixée sur le pied, soit tenue simplement à la main. Les résultats sont beaucoup plus précis dans le premier cas que dans le second, mais, dans les deux cas, l'instrument est notoirement inférieur au quart de cercle. Le troisième — la boussole-breloque — est un instrument tout à fait sommaire que l'on doit porter constamment avec soi, et qui ne doit être employé qu'à lever des itinéraires et plans à grande échelle. Il demande un peu d'habitude, mais le voyageur qui aura appris à s'en servir finira sûrement par ne plus vouloir en employer d'autres. Nous aurons occasion de montrer dans un autre Chapitre combien sont nombreuses ses applications.

Télestéréomètre. — Les formules et calculs nécessaires pour connaître les dimensions d'un monument, calculer la distance à laquelle on doit placer l'appareil photographique

pour obtenir une image d'une dimension déterminée, mesurer une distance angulaire, etc., exigent que l'appareil photographique soit mis en station, c'est-à-dire déballé et installé. S'il n'a pas été convenablement placé une première fois, il faut le déplacer jusqu'à ce qu'on ait trouvé une position convenable. Or rien n'est plus fastidieux et ne fait perdre plus de temps que cette série d'opérations. Je l'ai constaté bien des fois dans mon dernier voyage, et c'est pourquoi, dès mon retour, j'ai songé à construire un instrument assez portatif pour qu'on pût toujours l'avoir sur soi, dans la poche du gilet, et qui, tenu à la main, permît d'exécuter comme avec l'appareil photographique, et avec la même précision, les mesures de grandeurs d'images et de distances angulaires qui servent de base à tous les calculs.

Théoriquement, l'appareil me paraissait fort simple, mais l'exécution fut beaucoup plus difficile que je ne le pensais, et me conduisit à reprendre des questions accessoires assez compliquées, notamment l'agrandissement considérable du champ d'une lunette, la transformation des oculaires, etc.

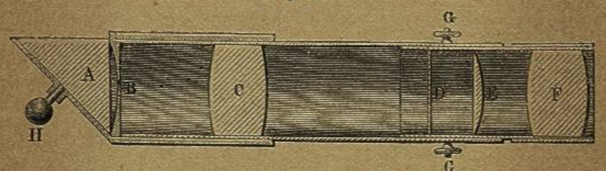
L'instrument que je vais décrire, et pour lequel j'ai créé le mot de *Télestéréomètre* (mesure de loin des corps solides), a été construit sur mes dessins par M. Molteni. J'ai effectué moi-même tous les calculs relatifs aux foyers des objectifs, à la forme de l'oculaire, à la position du prisme et du diaphragme, etc.

Bien que très simple, l'appareil ne sera utilement manié que par les personnes ayant l'habitude des instruments d'optique, impliquant la double mise au point d'un micromètre et d'une image, et capables d'effectuer quelques calculs. Malgré son volume fort restreint, puisqu'il ne dépasse pas la grosseur et la longueur du doigt, il permet, étant tenu à la main, de mesurer les angles avec la précision d'un graphomètre volumineux muni d'un vernier, et sera fort précieux, en dehors des applications indiquées dans cet Ouvrage, à toute personne qui voudra lever le plan exact d'un monument, d'une place forte ou d'un terrain, sans provoquer aucunement l'attention.

La théorie du télestéréomètre est celle d'une lunette astronomique à micromètre. Il en diffère par le redressement de l'image, et surtout parce que son champ est environ 25 fois plus grand, ce qui permet à l'instrument d'embrasser les monuments très rapprochés.

L'objectif est une lentille à foyer très court, et dont la

Fig. 42.



Télestéréomètre du D[r] Gustave Le Bon.

Grandeur nature.

A, prisme à 45. — B, diaphragme. — C, objectif. — D, micromètre. — EF, oculaire. — GG, anneau avec suspension à la cardan. H, vis de réglage servant à déplacer le centre de l'instrument.

forme rappelle celle des lentilles dites de Coddington. Elle donne au foyer d'un oculaire grossissant et sur un micromètre une image renversée des objets. Ce micromètre est divisé en dixièmes de millimètre, et gradué en chiffres exactement comme les glaces dépolies de nos chambres noires. C'est de la dimension ou de la position des objets vus à travers le micromètre que se déduisent exactement, comme on le fait à la chambre noire, les dimensions réelles des objets et la distance angulaire qui les sépare.

Ainsi construit, l'instrument donnerait des images renversées comme celles de la chambre noire ; mais comme les images gagnent beaucoup en netteté par le seul fait de leur redressement, je les ai redressées par l'addition d'un prisme devant l'objectif. Par suite de cette disposition, au lieu d'avoir à diriger la lunette vers l'objet à examiner, on la

dirige à terre comme si l'on voulait regarder un objet situé à ses pieds. Pour les levers de monuments dans les pays orientaux, ainsi que dans les villes où l'on ne veut pas provoquer l'attention, l'opération ainsi pratiquée a l'avantage de passer totalement inaperçue. Je ne connais aucun autre instrument avec lequel on puisse arriver au même résultat.

L'instrument étant tenu verticalement au lieu de l'être horizontalement comme les lunettes ordinaires, le bras n'éprouve aucune fatigue, les images restent très facilement immobiles, et les mesures micrométriques deviennent faciles.

La seule manœuvre à effectuer pour se servir du télestéréomètre est de l'adapter à la vue de l'observateur. On commence par mettre au point le micromètre en manœuvrant le premier tube sur le second. Quand les divisions chiffrées sont bien nettes, on s'occupe de la mise au point des objets, exactement comme avec une lunette ordinaire.

L'instrument possède un champ de 25 degrés, c'est-à-dire 25 fois plus grand environ que celui des lunettes de voyage. Dans ces conditions, les oculaires ordinaires ne pourraient être employés. La forme que nous avons adoptée, et qui est représentée dans la coupe de l'instrument, donne beaucoup de champ. La nécessité de corriger l'aberration par un diaphragme sans réduire le champ a été une grosse difficulté. Au lieu de placer le diaphragme derrière l'objectif, comme on l'avait fait jusqu'ici dans tous les modèles de lunette, je l'ai placé devant ce dernier. En combinant cette disposition avec l'emploi d'une lentille supplémentaire en avant de l'oculaire, le champ est exactement le même que sans diaphragme, et l'aberration suffisamment corrigée ([1]).

Lorsqu'on veut mesurer la hauteur angulaire d'un objet

([1]) Voici, pour les constructeurs qui voudraient établir une lunette semblable, les constantes instrumentales. Longueur focale de l'objectif 26^{mm} (déduite de la grandeur, sur le micromètre, d'une ligne au-dessus de l'horizon, on tient l'instrument par la suspension à la Gardan qui l'entoure. On a eu soin de le régler préalablement, de façon à ce que la ligne horizontale passant par le zéro du micromètre soit dans un plan bien horizontal.

Pour mener une perpendiculaire avec cet instrument, mesurer avec précision l'angle séparant deux objets, la hauteur d'un monument, la distance à un objet déterminé, etc., on opère exactement comme si le micromètre était la glace dépolie graduée de notre chambre noire.

La seule valeur constante à déterminer pour faire usage de l'instrument est le foyer de l'objectif. Pour le calculer une fois pour toutes, il suffit de se placer devant un objet de hauteur connue, un double mètre, par exemple, à une distance bien exactement mesurée, 10 mètres, je suppose, et regarder dans l'instrument le nombre des divisions occupées sur le micromètre par l'objet de hauteur connue. Si l'on appelle H la hauteur réelle de l'objet, h sa hauteur apparente dans l'instrument, D sa distance à l'opérateur, d le foyer cherché, on a $d = h \times \frac{D}{H}$. On évitera les erreurs de calcul en exprimant cette distance focale en dixièmes de millimètre.

Le télestéréomètre n'a pas été construit pour servir de télémètre, c'est-à-dire d'instrument pour mesurer les distances, mais il peut être employé dans ce but pour les distances ne dépassant pas un kilomètre. Il suffit de mesurer avec l'instrument lui-même, exactement comme nous avons enseigné à le faire avec la chambre noire, la hauteur d'un objet quelconque,

---

de hauteur connue). Distance de l'objectif au diaphragme 12^{mm}. Prisme à 45° placé en contact du diaphragme. Oculaire composé d'une lentille ayant 21^{mm} de distance focale et d'un verre de champ, plan convexe (sans ce dernier verre, le champ serait très réduit par le diaphragme). Le micromètre est gradué en dixièmes de millimètre : il a été obtenu photographiquement par la réduction d'un grand dessin que j'avais tracé sur un carton. Le cliché, dont l'exécution présentait plus d'une difficulté, a été fait par M. Lachenal.

peuplier, clocher d'église, etc., ayant 20 à 30^{m}. Avec la formule $D = H \times \frac{d}{h}$ on aura ensuite la distance à laquelle on s'en trouve d'après le nombre de divisions qu'occupe l'objet sur le micromètre. Soit à déterminer, par exemple, avec un télestéréomètre dont l'objectif a 260 dixièmes de millimètre de foyer, la distance à laquelle nous sommes d'un objet de 30^{m} de hauteur, sachant qu'il occupe 8 divisions (8 dixièmes de millimètre) sur le micromètre; nous avons, d'après la formule précédente, $D = 30 \times \frac{260}{8} = 975^{m}$.

La précision sera naturellement beaucoup plus grande pour des objets situés moins loin, parce que le nombre de divisions embrassé sur le micromètre sera plus élevé.

L'instrument permet aisément de déterminer les angles compris entre les objets, en opérant exactement comme il a été indiqué pour la mesure des angles sur la glace dépolie [1] de la chambre noire. Il fournit ainsi tous les éléments nécessaires pour les levers de terrain, d'une façon très suffisamment précise, à la simple condition qu'on ait quelque habitude des opérations topographiques.

Niveau de poche boussole. — On sait que le niveau Burel consiste dans un fragment de glace fixé verticalement dans une monture métallique à la partie inférieure d'un pendule dont la partie supérieure est fixée à deux vis qui lui permettent d'osciller librement. Si, en se plaçant à $0^{m},40$ ou $0^{m},50$ de la glace, on regarde l'image de la pupille de l'œil dans le miroir, l'œil et son image se trouvant symétriques

---

[1] Si l'on appelle α l'angle cherché, f la distance focale de l'objectif, n le nombre de divisions micrométriques compris entre deux objets dont on désire connaître l'écartement angulaire, on a

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{n}{f}.$$

par rapport au plan du miroir, déterminent une ligne horizontale, et tous les objets que l'on verra dans la direction de cette ligne, c'est-à-dire à la hauteur de l'image de l'œil, seront au même niveau. L'instrument fait fonction de niveau d'eau et le remplace avantageusement depuis longtemps.

Nous avons fait construire par M. Labre un petit niveau très portatif, qui tient dans la poche du gilet et qui ne diffère du niveau Burel ordinaire que par son petit volume et l'addition d'une boussole montée à baïonnette sur le couvercle. Comme dans le niveau Burel ordinaire, le miroir est susceptible de rectification, et l'opération se vérifie par retournement. Un bouchon métallique rentrant à frottement empêche les oscillations du pendule quand on le transporte.

L'addition de la boussole montée à baïonnette a pour but d'en faire un appareil complet permettant, dans les levers d'itinéraire, la planimétrie et le nivellement.

Cette boussole peut se fixer sur le carton à itinéraire : à cet effet, on passe dans la fente de sa monture un de ces bracelets en caoutchouc qui font aujourd'hui partie de toutes les fournitures de bureau. Par ce moyen, la boussole n'est pas aussi bien ajustée que la boussole-breloque décrite précédemment ; elle l'est cependant suffisamment pour des opérations peu prolongées.

Dans les levers d'itinéraires, on pourrait se servir de l'instrument en le tenant à la main, mais il ne devient un instrument de précision que lorsqu'il a été posé sur un pied. On peut alors en faire usage à défaut de quart de cercle non seulement pour le nivellement, mais encore pour déterminer le centre optique des objectifs, la projection de la ligne d'horizon sur la glace dépolie, etc., suivant les méthodes indiquées précédemment.

Roulette et canne métrique. — Au matériel peu compliqué qui vient d'être décrit, le voyageur fera bien d'ajouter une

roulette métrique et une canne métrique. Les roulettes métriques sont indispensables pour mesurer des bases de 25^m à 100^m ou des portions d'édifice ne dépassant pas ces dimensions. On trouve des roulettes métriques de 25^m et 50^m enfermées dans des boîtes en cuir avec manivelle, pour 5 à 6^{fr}, chez tous les marchands d'instruments de Topographie, notamment chez Molteni. La roulette de 25^m dont je me sers est enfermée dans une boîte ayant 15^{mm} d'épaisseur et $0^m,09$ de diamètre. Son poids n'est que de 125^{gr}.

La canne métrique est également fort utile, malheureusement elle est assez coûteuse. On en trouve au prix de 25^{fr} chez tous les selliers ou marchands d'articles pour l'équitation. Son seul usage jusqu'ici a été de mesurer la taille des chevaux, mais elle constitue un des instruments les plus commodes que puisse employer les voyageurs, non seulement pour la mesure de détails d'architecture, mais pour une foule d'autres usages, le nivellement par exemple, sans parler d'usages étrangers au but de cet Ouvrage, la mesure de la taille notamment.

Ce qui rend très supérieure la canne métrique à la roulette pour certaines mesures, c'est que quand elle est déployée elle est terminée par une équerre qui permet d'atteindre les objets que l'axe de la canne ne peut toucher. On voit aisément, par exemple, que le diamètre d'une sphère ne pourrait être mesuré directement avec un ruban métrique, alors qu'il le serait sans difficulté avec une canne métrique. L'équerre de la canne métrique se replie contre ses parois et sa tige en cuivre rentre dans la canne comme la lame d'une canne à épée. L'instrument replié a l'aspect d'une canne ordinaire ; déployé, il peut mesurer jusqu'à 2^m.

CHAPITRE II.

LEVERS DES PARTIES DE MONUMENTS INUTILES A REPRODUIRE PAR LA PHOTOGRAPHIE SIMPLIFICATION DES MÉTHODES CLASSIQUES.

1. *Levers des parties de monuments inutiles à reproduire par la Photographie.* — Simplification de la méthode trigonométrique. — 2. *Application des principes précédents à la solution de divers problèmes.* — Détermination des dimensions de monuments accessibles et inaccessibles.

1. — Levers des parties de monuments inutiles à reproduire par la Photographie.

Les méthodes photographiques que nous avons décrites donnent tous les éléments nécessaires aux mensurations dans les divers cas qui peuvent se présenter, à condition de prendre un nombre suffisant de photographies; mais lorsque quelques-unes des photographies qui seraient nécessaires sont dépourvues d'intérêt artistique ou scientifique, il est préférable de les remplacer par d'autres procédés, de manière à réserver la provision de plaques pour les choses essentielles.

Tous les procédés de mensuration applicables à la détermination de lignes ou d'angles plus ou moins inaccessibles se ramènent, comme on le sait, à des calculs de triangles.

Deux méthodes bien connues, la méthode graphique et la méthode trigonométrique, permettent, lorsqu'on connaît trois éléments d'un triangle, dont un côté, d'en déduire les trois

autres. Dans le cas d'un triangle rectangle, la connaissance d'un angle autre que l'angle droit et celle d'un côté suffisent.

La méthode graphique n'a qu'une simplicité apparente, elle est journellement usitée par les architectes et les arpenteurs de profession; mais elle exige un attirail de grandes feuilles de papier, de tables, de règles, qu'un voyageur ne saurait songer à emporter avec lui. Effectuer ces opérations à son retour serait s'exposer alors à des erreurs inévitables dans la lecture de notes rédigées à la hâte, et qui ne comportent aucun des moyens de vérification qu'on possède sur place. Il faut donc absolument calculer sur les lieux les dimensions fondamentales qui doivent ensuite servir de bases à des opérations ultérieures.

Simplification de la méthode trigonométrique. — La méthode trigonométrique est donc la seule que nous puissions employer. Elle exige malheureusement l'emploi d'une Table de logarithmes, source fréquente d'erreurs, et des calculs fastidieux auxquels un voyageur ne saurait se livrer sans perdre un temps précieux. Une méthode permettant de trouver immédiatement, sans aucun calcul ou par un calcul aussi simple qu'une division ou une multiplication par 2 ou 4, le résultat cherché est la seule qu'on puisse raisonnablement proposer.

La méthode que je vais indiquer réalise cette condition fondamentale. Elle est fondée sur la substitution des lignes trigonométriques naturelles à leurs valeurs logarithmiques, et sur des considérations géométriques très simples, permettant de ramener à une seule formule qui n'exige aucun calcul tous les triangles qu'un observateur voulant mesurer des monuments peut avoir à résoudre.

Si l'on considère, d'une part, que la hauteur ou la largeur d'un monument est toujours représentée par une ligne verticale ou horizontale, et, d'autre part, qu'il existe de nombreux instruments permettant d'élever facilement une perpendiculaire à l'extrémité d'une ligne donnée, on voit aisément que tous les cas pouvant se présenter se ramènent à des triangles rectangles, et que la formule

$$x = \mathrm{B} \tan\alpha,$$

dans laquelle B est la base mesurée, α l'angle observé, et x la dimension cherchée, permet de calculer tous les éléments dont nous pouvons avoir besoin.

Si simple cependant que soit cette formule, elle exige encore des calculs. Pour supprimer ces calculs, il suffit de faire usage d'une base de grandeur constante ou fraction d'une grandeur constante, et de substituer aux tangentes logarithmiques les tangentes naturelles.

Ces conditions étant réalisées, nous pouvons résoudre sans calculs, ou, dans les cas les plus compliqués, par des calculs d'une simplicité extrême, tous les problèmes que le lever des monuments comporte, et notamment obtenir la hauteur et la longueur d'un édifice ou de ses diverses parties. Les Tables de tangentes naturelles nous donnant le second côté de l'angle droit d'un triangle rectangle, dont l'autre côté pris pour base a 1^m, il suffira, par exemple, de déplacer la virgule de deux rangs pour avoir le second côté d'un triangle rectangle dont la base est de 100^m, ou de diviser ensuite par 2 le nombre de la Table si la base choisie est de 50^m. M'étant éloigné, je suppose, de 100^m du minaret d'une mosquée, je trouve 22° pour l'inclinaison du rayon visuel aboutissant à son sommet. La Table m'indiquant que la tangente de 22° est 0,4040, j'en conclus immédiatement, par le simple déplacement de la virgule, que la hauteur du monument est de $40^m,40$. Rien n'est évidemment plus simple.

En pratique, une base de 100^m est trop longue, il vaut mieux prendre une base de 50^m. La hauteur correspondant à un angle observé est alors moitié de ce qu'indique la Table, plus, bien entendu, la hauteur de l'instrument au-dessus du sol, hauteur qu'on peut rendre constante et ajouter d'avance au chiffre de la Table, divisé dans ce cas par 2. J'ai ainsi construit pour mon usage sur une petite feuille de papier, une Table qui me donne immédiatement en face de chaque angle, et sans aucun calcul, la grandeur cherchée pour une base de 25^m. La mesure de cette base est faite simplement avec une roulette métrique de 25^m.

Afin de démontrer à quel point l'emploi à peu près exclusif de la formule précédente et l'usage d'une Table de tangentes naturelles rendent faciles les problèmes qui peuvent se présenter journellement en voyage, nous allons en indiquer quelques-uns avec leur solution. Pour simplifier la démonstration, j'ai supposé l'emploi d'une base de 100^m. Si l'on employait une base de 200^m, 300^m, etc., il suffirait de doubler, tripler, etc., le chiffre obtenu. Si, comme cela arrive le plus souvent, la base n'était que de 50 ou même de 25^m, il n'y aurait qu'à diviser par 2 ou par 4 ce même chiffre. J'ai indiqué plus haut comment, dans le cas d'une base constante de 25^m, ce calcul, pourtant bien simple, d'une multiplication ou d'une division par des nombres tels que 2, 4, etc., pouvait être évité entièrement.

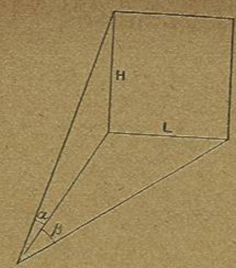
2. — Application des principes précédents à la solution de divers problèmes.

Hauteur et largeur d'un monument accessible seulement par une de ses extrémités (*fig.* 43). — On s'éloigne du monument d'une distance B. Si H est la hauteur cherchée, α l'angle de visée vertical, on a

$$\mathrm{H} = \tan\alpha \times \mathrm{B}.$$

Si en s'éloignant du monument on a eu soin de marcher perpendiculairement à la façade, ce qui se fait très facilement avec un des instruments destinés à élever des perpendiculaires dont nous avons parlé, on a sa largeur L simplement en mesurant l'angle horizontal β, sous lequel est vue

Fig. 43.

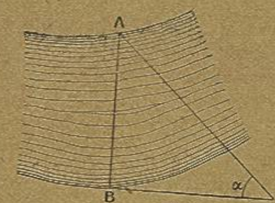


la largeur du monument,

$$L = \text{tang}\,\beta \times B.$$

Distance à laquelle on se trouve d'un monument inaccessible. — Soit A (*fig.* 44) la position du monument, et B celle

Fig. 44.



de l'observateur. On s'éloigne perpendiculairement à AB d'une distance D, et l'on mesure l'angle α. On a alors comme précédemment

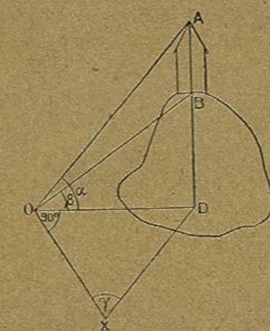
$$AB = \text{tang}\,\alpha \times D\ (^1).$$

(1) Je ferai remarquer en passant que cette méthode permet de connaître immédiatement la largeur d'un cours d'eau sans recourir

Si l'on a pris en B une photographie du monument inaccessible situé en A, la simple connaissance de AB permet de calculer toutes les dimensions du monument, comme il a été dit dans un autre Chapitre.

Hauteur d'un monument inaccessible ou placé sur une montagne (*fig.* 45). — L'instrument étant placé bien horizontalement, on mesure les angles verticaux α et β au-dessus

Fig. 45.



de la ligne horizontale donnée par l'instrument, puis on s'éloigne perpendiculairement à OD d'une distance OX et l'on mesure l'angle γ. Soit h la hauteur totale du monument et de la montagne au-dessus du niveau du point O, et h' la hauteur AB du monument, on a alors

$$OD = \text{tang}\,\gamma \times OX,$$
$$h = \text{tang}\,\alpha \times OD,$$
$$h' = h - (\text{tang}\,\beta \times OD).$$

aux opérations compliquées, telles que la construction, sur le terrain, d'un triangle égal ou semblable recommandé aux voyageurs, notamment dans le Manuel de Kaltbrunner.

Largeur d'un monument entièrement inaccessible. — Cette détermination se ramène au problème bien connu en Trigonométrie de la recherche de la distance qui sépare deux points inaccessibles. Les formules classiques conduisent à des calculs longs et compliqués que nous proscrivons absolument, en raison de la perte de temps et des erreurs qu'ils entraînent.

La glace dépolie de l'appareil photographique fournit immédiatement, sans aucun calcul, comme nous l'avons vu, la solution du problème. Ce sera donc bien exceptionnellement — par exemple, dans le cas de ruines n'offrant aucune ligne horizontale — qu'on pourra se trouver dans la nécessité d'avoir recours à la méthode que je vais indiquer. Les calculs sont un peu plus compliqués que tous ceux que j'ai énumérés jusqu'ici, mais infiniment plus simples, cependant, que ceux nécessités par les méthodes trigonométriques ordinaires.

Soit AB (*fig.* 46) la face oblique du monument dont l'on est séparé par un obstacle quelconque, et dont il s'agit de déterminer la largeur.

Sur une base quelconque xy prise arbitrairement, on mène les deux perpendiculaires aA, bB et l'on mesure α et β; on a alors entre les mains tout ce qu'il faut pour calculer AB. En effet, nous avons successivement :

$$\begin{aligned}
\mathrm{A}a &= ab \times \operatorname{tang}\beta,\\
\mathrm{B}b &= ab \times \operatorname{tang}\alpha,\\
\mathrm{CB} &= ab,\\
\mathrm{AC} &= \mathrm{A}a - \mathrm{B}b = ab(\operatorname{tang}\beta - \operatorname{tang}\alpha).
\end{aligned}$$

Connaissant AC et CB dans le triangle ACB, il est facile de déterminer AB en calculant d'abord l'angle γ, or cet angle se déduit facilement de sa tangente. On a en effet

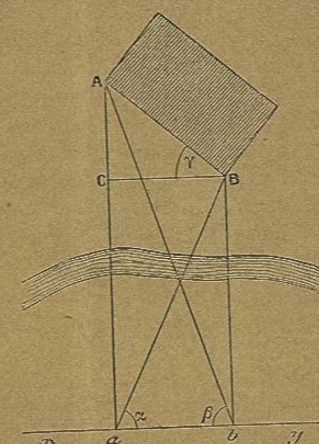
$$\operatorname{tang}\gamma = \frac{\mathrm{AC}}{\mathrm{CB}}$$

ou plus simplement

$$\operatorname{tang}\gamma = \operatorname{tang}\beta - \operatorname{tang}\alpha.$$

Recherchant dans une Table de tangentes naturelles le

Fig. 46.

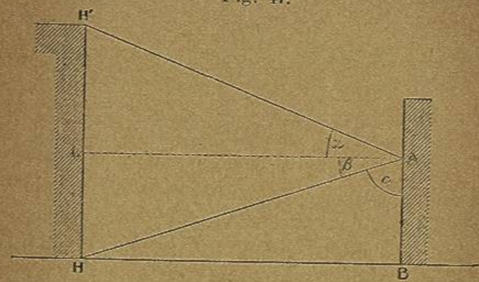


nombre ainsi obtenu, nous trouvons en degrés l'angle γ, et dans une autre colonne le sinus de cet angle. Connaissant le sinus de γ, nous avons AB par la formule $\mathrm{AB} = \dfrac{\mathrm{AC}}{\sin\gamma}$.

Déterminer du haut d'une fenêtre les dimensions de monuments inaccessibles visibles de cette fenêtre et la distance à laquelle on s'en trouve (¹). — Nous avons déjà

(¹) J'ai été conduit à la méthode très simple exposée dans ce Paragraphe, en voulant déterminer trigonométriquement de ma fenêtre, rue Tronchet, la distance qui me séparait des maisons se trouvant en face de moi, à l'extrémité de la rue Castellane. Une première donné la solution photographique de ce problème, qui se présente journellement dans la pratique. C'est même d'une fenêtre qu'on se trouvera le plus à son aise pour prendre des mesures, sans être gêné par personne. La solution trigo-

Fig. 47.



nométrique est d'une simplicité extrême, à la seule condition que l'instrument employé puisse, comme tous les théodolites ou notre quart de cercle, donner les angles au-dessus ou au-dessous d'une ligne horizontale.

---

mesure au pas m'avait donné des chiffres tellement différents de ceux indiqués dans un plan au $\frac{1}{16000}$, que je soupçonnai aussitôt de grosses erreurs dans ce dernier. Mes mesures trigonométriques me donnèrent un chiffre qui me parut trop s'écarter des mesures données au pas, pour être exact, et me firent soupçonner une nouvelle cause d'erreur. Cette dernière ne me fut pas révélée par les calculs trigonométriques, mais bien par la Photographie. L'étude des fuyantes me prouva qu'il y avait entre le pied de ma maison et le pied des maisons situées à 172^m de ma fenêtre une différence de niveau de $1^m,50$ invisible à l'œil nu, et qu'aucun instrument, en dehors de l'appareil photographique, ne pouvait permettre de reconnaître du haut d'une fenêtre. C'était une nouvelle preuve des ressources que peut fournir la Photographie.

La hauteur visée de ma fenêtre ayant subi la rectification nécessitée par la dénivellation du terrain, les calculs se trouvèrent conformes aux distances données par un plan au $\frac{1}{5000}$ et par la photographie.

Soit A (*fig.* 47) la position de l'observateur, et HH' le monument dont il s'agit de déterminer la hauteur. Les seules opérations consisteront à mesurer les angles α et β, puis la hauteur AB, en laissant de la fenêtre se dérouler jusqu'au sol la roulette métrique dont il a été parlé plus haut. On a alors

$$
\begin{aligned}
HB &= AB \times \operatorname{tang} c,\\
OA &= HB,\\
OH' &= OA \times \operatorname{tang} \alpha,\\
OH &= OA \times \operatorname{tang} \beta,\\
HH' &= OH + OH'.
\end{aligned}
$$

Si AB a une dizaine de mètres de hauteur, c'est-à-dire si l'on se trouve à peu près au niveau d'un troisième étage, on peut mesurer la distance et la hauteur avec une précision suffisante jusqu'à environ 100^m. Si, en plus de la hauteur du monument, on désire déterminer celle de ses différentes parties, on la déduit, en opérant exactement comme il vient d'être dit, des angles de visée dirigés sur les points à mesurer.

Si, comme cela est le cas le plus fréquent, on se trouve parallèlement au monument à reproduire, on détermine sa largeur exactement de la même façon que sa hauteur, en mesurant des angles horizontaux au lieu d'angles verticaux.

Si le monument placé devant la fenêtre où se trouve l'observateur avait sa façade placée obliquement, sa hauteur se mesurerait comme nous venons de le voir, mais il faudrait opérer un peu différemment pour obtenir sa largeur. Soit AB (*fig.* 48) cette façade et O la position de l'opérateur. Nous avons vu plus haut comment on peut déterminer OA. Il est évident que OB peut se déterminer de la même façon. Nous pouvons, d'autre part, mesurer l'angle α. Connaissant OA, OB et l'angle α, nous avons tout ce qu'il faut pour construire sur le papier, à une échelle quelconque, le triangle OAB, et par conséquent déterminer AB. Nous n'indiquons, dans ce cas, que la méthode graphique, parce que les calculs trigonométriques seraient trop longs.

Si le monument que l'on a devant soi avait plusieurs plans, s'il s'agissait, par exemple, d'une construction carrée au premier plan, derrière laquelle se trouverait une tour à toit conique, et si l'on demandait de déterminer de la fenêtre où l'on se trouve la hauteur des monuments situés dans ces différents plans, le problème serait très facile, à la simple con-

Fig. 48.

dition de pouvoir viser la base des constructions de chaque plan. On opérerait pour chacun d'eux exactement comme nous l'avons fait pour déterminer la hauteur d'un seul plan. Le problème serait beaucoup moins facile, au contraire, si la base de chaque plan était entourée de constructions la rendant invisible et ne permettant pas, par conséquent, de la viser. Il faudrait, dans ce cas exceptionnel, renoncer à déterminer des hauteurs par ce moyen. La chose ne serait pas impossible cependant, si le sommet dont la base est cachée pouvait être visé de deux parties de l'édifice où l'on se trouve, le rez-de-chaussée et le dernier étage, par exemple. La distance entre ces deux points formerait la base d'un triangle qu'on construirait sur le papier avec les deux angles observés.

Déterminer, de l'entrée d'un monument dans lequel on ne peut pénétrer, toutes les dimensions intérieures de ce monument. — J'ai déjà donné la solution photographique de ce problème et dit qu'il se présentait fréquemment dans les monuments de l'Orient. On voit aisément que sa solution trigonométrique est exactement celle donnée plus haut (dimensions d'un monument inaccessible vu d'une fenêtre), avec cette seule différence que ce n'est plus la hauteur de la fenêtre mais celle de l'instrument viseur au-dessus du sol qui sert de base. Si la profondeur du monument, ou la hauteur à mesurer, ne dépasse pas une vingtaine de fois la hauteur de l'instrument viseur au-dessus du sol, hauteur qui est généralement de 1^{m},50, la précision est suffisante.

CHAPITRE III.

CONSTRUCTION DE LA CARTE DES RÉGIONS QUI ENTOURENT UN MONUMENT. LEVERS D'ITINÉRAIRES.

1. *Mesure des distances.* — Étalonnage du pas. — Influence des divers facteurs qui font varier sa longueur. — Construction d'un graphique donnant l'échelle du pas. — 2. *Levers d'itinéraires.* — Emploi de la boussole-breloque. — Rapidité et degré de précision de l'opération. — Emploi de la boussole-breloque pour retrouver sans peine la direction qui relie deux points séparés par un obstacle. — Correction de la déclinaison de la boussole. — 3. *Nivellement.* — Détermination rapide de la différence de niveau entre deux points. — Tracé des courbes de niveau. — 4. *Graphiques et formules topographiques.* — Construction d'un graphique des tangentes, sinus et cosinus permettant d'exécuter sans calcul toutes les opérations d'un lever. — Emploi du papier quadrillé pour la mesure des angles. — Formules générales de la Topographie.

J'ai déjà dit plus haut quelques mots de l'utilité qu'il pouvait y avoir pour le voyageur à compléter ses levers de monuments par le plan du terrain environnant ; et — pour les ruines situées dans des régions dont on n'a pas une carte détaillée, — par un petit itinéraire partant d'un point connu et indiquant la route à suivre pour arriver aux endroits représentés par la photographie. Des méthodes simples et rapides permettent d'exécuter facilement ces levers et surtout ces itinéraires. C'est à la description des méthodes à employer que va être consacré ce Chapitre. J'étudierai successivement ce qui concerne la planimétrie et le nivellement.

La planimétrie comprend deux opérations fondamentales : 1° la mesure des distances ; 2° la mesure des directions.

1. — Mesure des distances.

Étalonnage du pas. — Les distances inférieures à 100^m, c'est-à-dire toutes les longueurs prises sur les monuments, peuvent se mesurer avec les roulettes métriques de 25 ou 50^m dont j'ai parlé, mais pour des longueurs supérieures le pas est le seul moyen de mesure dont on puisse faire pratiquement usage.

Les distances mesurées au pas peuvent s'évaluer soit directement en comptant les pas, ce qui est le moyen le plus exact, soit en enregistrant les pas au moyen d'un podomètre [1], soit encore, moyen plus incertain que les deux précédents, en évaluant le chemin parcouru par le temps employé pour le parcourir. Quelle que soit celle de ces méthodes employée, la précision de l'opération dépendra uniquement du soin avec lequel l'opérateur aura évalué la valeur de son pas.

La première opération à faire est donc d'étalonner son pas, c'est-à-dire de rechercher combien de pas correspondent à 100^m. L'opération paraît fort simple, et, sur la foi des livres, j'ai d'abord cru qu'il en était ainsi, mais, en réalité, elle l'est beaucoup moins qu'on le suppose. L'opérateur qui étalonne son pas entre deux bornes hectométriques prend inconsciemment une allure particulière due à sa préoccupation de faire des pas bien réguliers, qu'il perd aussitôt que

---

(1) Le podomètre, quand il a été bien réglé pour le pas de l'observateur, c'est-à-dire quand, au moyen de la vis de réglage, on l'a amené par une série de tâtonnements à marquer 1000^m quand on a parcouru 1000^m, peut rendre des services ; mais, comme l'instrument s'arrête facilement, on fera toujours mieux de compter ses pas et de ne se servir du podomètre que comme moyen de contrôle pour vérifier des portions d'itinéraires, ou lorsqu'une raison quelconque, telle que la nécessité de parler à quelqu'un pendant toute la durée du trajet, empêche de compter les pas.

cette préoccupation a disparu. Des expériences, dont je parlerai plus loin, m'ont d'ailleurs prouvé que chaque opérateur a trois allures fort différentes : 1° l'allure du pas rapide, 2° l'allure du pas lent, ou allure du pas de route, 3° l'allure du pas fatigué. En confondant ces trois allures, c'est-à-dire en comptant toujours le même nombre de pas pour une distance donnée, on commettrait des erreurs pouvant dépasser 10 pour 100. Ces trois allures fondamentales se modifient elles-mêmes, suivant qu'on est sur un terrain horizontal, montant ou descendant.

En dehors des facteurs que je viens d'énumérer, qui modifient la longueur du pas, et dont j'étudierai plus loin l'influence, il en est un que je me bornerai à mentionner, parce qu'il peut être évité très facilement. Je veux parler de l'influence inconsciente qu'exercent sur l'allure du pas les personnes qui marchent avec nous. On ne peut se soustraire à cette influence qu'en se tenant à distance des personnes avec lesquelles on se trouve. Lorsqu'il m'est arrivé de faire en compagnie des levers que je désirais exacts, j'ai toujours eu soin de me tenir à 50^m ou 60^m de mon compagnon.

Ce qui précède a pour but de mettre en garde l'observateur contre l'étalonnage sommaire du pas, tel qu'il est indiqué dans les livres, et qui fausserait pour toujours et d'une façon très irrégulière les mesures. L'étalonnage du pas est une opération fondamentale, parce que c'est sur lui que repose l'exactitude de toutes les mesures qu'on sera appelé à prendre. Il doit donc être fait avec le plus grand soin, et ce ne sera pas trop que d'y consacrer plusieurs jours avant de partir en voyage et même de vérifier cet étalonnage chaque fois qu'on pourra le faire, l'entraînement progressif, les fatigues prolongées pouvant modifier l'allure du pas.

L'étalonnage du pas se fait sur une grande route horizontale entre deux bornes kilométriques. On peut, à la rigueur, se servir des bornes hectométriques, mais non sans avoir

vérifié avec le ruban métrique si la distance entre elles est bien de 100^m. Néanmoins on sera toujours plus sûr d'avoir un chiffre exact en comptant le nombre de pas pendant un kilomètre, et divisant le résultat par 10.

Chaque étalonnage doit être répété cinq ou six fois au moins, pendant plusieurs jours, et l'on prendra la moyenne des observations si elles ne s'écartent pas trop entre elles. On étalonnera son pas pour les trois allures que j'ai indiquées : pas rapide, pas lent, pas fatigué. La troisième allure se prend d'elle-même quand l'opérateur a parcouru un certain nombre de kilomètres, variable naturellement suivant la vigueur de sa constitution.

On peut se dispenser, en pratique, d'évaluer l'influence de la pente sur la longueur du pas, d'abord, parce que les pentes assez fortes pour influencer la longueur du pas ne se rencontrent guère que dans les pays de montagnes, et ensuite parce que l'étalonnage, dans ces conditions, demande des soins particuliers un peu au-dessus de la patience de la plupart des observateurs.

L'influence de la pente du chemin parcouru est beaucoup moindre d'ailleurs qu'on ne pourrait le supposer. Elle est de l'ordre des grandeurs négligeables pour des pentes inférieures à 5 degrés : les pentes supérieures ne se rencontrent guère que dans les pays très montagneux.

Je donne du reste ici le résultat de mes expériences sur les variations que peut subir le pas sous l'influence des divers facteurs que j'ai énumérés plus haut. Ce sont des chiffres personnels, n'ayant de valeur que pour l'observateur lui-même, et que je n'indique que pour servir de types aux personnes qui voudraient répéter ces expériences.

Influence des divers facteurs pouvant faire varier la longueur du pas.

1° *Influence de la rapidité de la marche :*

Marche lente sur une route horizontale...	136 pas pour 100^m
Marche rapide sur une route horizontale...	126 » » 100

La rapidité du pas augmente donc sa longueur d'environ 8 pour 100.

2° *Influence de la fatigue :*

Pas lent sur une route horizontale..........	142 pas pour 100^m.

Le pas lent de l'expérimentateur étant de 136 pas pour 100^m, on voit que la fatigue raccourcit la longueur du pas d'environ 5 pour 100.

Si donc, à la fin d'une journée de marche, l'opérateur prenait comme échelle du pas, celle du pas rapide (126 pas pour 100^m) les longueurs qu'il marquerait sur sa carte seraient de 13 pour 100 trop courtes. Alors qu'il croirait avoir parcouru 4000^m, il n'en aurait parcouru en réalité que 3500 environ.

3° *Influence de la pente :*

Jusqu'à 5° environ (pente de $0^m,09$ par mètre) la longueur du pas ne varie pas d'une façon sensible. L'échelle du pas est celle du pas lent, soit 136 pas pour 100^m.

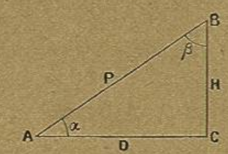
Pour des pentes de 8° à 10° (pentes de $0^m,14$ à $0^m,17$ par mètre), fort rares sur les routes, il faut compter 148 pas pour 100^m : le pas est donc raccourci par la pente d'environ 10 pour 100.

Pour des pentes de 15° à 20° ($0^m,26$ à $0^m,36$ par mètre), pentes extrêmement raides, qu'on ne rencontre que dans des sentiers de montagnes, et qu'on ne peut parcourir bien long-

temps, il faut compter 180 pas pour 100^m en montant, soit un raccourcissement de la longueur du pas de 32 pour 100, c'est-à-dire de près d'un tiers, et 195 pas en descendant, soit un raccourcissement de 43 pour 100.

Pour terminer ce qui concerne la transformation en mètres du nombre de pas parcourus, je dois dire quelques mots de la réduction qu'il faut faire subir aux longueurs parcourues dans les régions en pente pour les transformer en projections horizontales. Chacun sait que, lorsqu'une route AB (*fig.* 49)

Fig. 49.



est en pente, la carte ne donne pas sa longueur réelle AB, mais bien sa projection AC. Il faut donc faire subir une réduction à la longueur AB déterminée expérimentalement pour avoir la longueur AC à porter sur l'itinéraire; mais en pratique, lorsque α ne dépasse pas 5°, c'est-à-dire dans la grande majorité des cas, AB se confond avec AC. Si α est de 10°, il faut réduire de 2 pour 100 la longueur obtenue, c'est-à-dire marquer 98^m sur la carte quand on a trouvé 100^m. De 15° à 20°, il faut réduire de 5 pour 100 le chiffre trouvé. Une Table de cosinus donne immédiatement, comme on le sait, la projection AC pour une valeur quelconque de α. Pour les levers sommaires dont il est question ici, son usage est inutile.

Si nous cherchons à résumer d'une façon pratique ce qui précède, nous voyons que le voyageur qui désire opérer avec quelque précision doit avoir trois échelles de pas, une pour le pas rapide, une pour le pas lent, une pour le pas fatigué.

La première lui servira surtout pour la mesure des petites distances, la largeur d'une route, par exemple. Il fera usage de la seconde dans les itinéraires de la première moitié de la journée, et de la troisième dans la seconde moitié de la journée ou dès qu'il se sentira fatigué.

Construction d'un graphique donnant l'échelle du pas. — Pour la mesure des grandes distances, la construction d'une échelle de pas est totalement inutile. Dès que l'opérateur sait par expérience le nombre de pas correspondant à 100^{m}, une simple division, qui lui demande une minute, lui dit ce que vaut en pas un millimètre du papier quadrillé au millimètre qu'il emploie pour tracer son itinéraire. Supposons qu'il fasse un itinéraire au $\frac{1}{20\,000}$ et que 135 pas valent 100^{m}. Puisque 135 pas $= 100^{m}$, et qu'à l'échelle de $\frac{1}{20\,000}$ $100^{m} = 0^{m},005$, 1 millimètre vaudra $\frac{135}{5} = 27$ pas. Avec cette donnée, il écrit sur une feuille de papier la valeur de 1^{mm}, 2^{mm}, 3^{mm}, 4^{mm} et 5^{mm} à l'échelle de sa carte. Dans l'exemple que je viens de choisir, il aura :

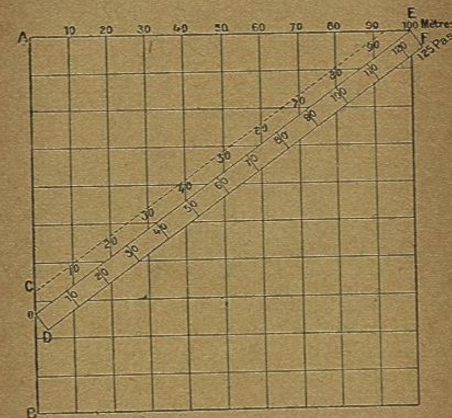
$1^{mm} = 27$ pas.
$2 \quad = 54$ »
$3 \quad = 81$ »
$4 \quad = 108$ »
$5 \quad = 135$ pas $= 100^{m}$.

Inutile d'aller plus loin que 5^{mm}, car, pour éviter les erreurs, il est toujours préférable de marquer un point sur son itinéraire lorsqu'on a fait 100^{m}. Il est inutile également de chercher les valeurs correspondant à des distances inférieures à 1^{mm}.

Lorsqu'on se sert du pas pour mesurer une courte distance, largeur d'une route, d'une maison, etc., on fait usage d'une échelle beaucoup plus grande que celle d'un itinéraire; et alors des différences de 3 à 4 pas, insignifiantes dans un itinéraire, ont beaucoup d'importance et ne peuvent être

négligées. Il faut donc connaître la valeur exacte du nombre de pas parcourus. Construire une Table indiquant la distance correspondant à tous les pas compris entre 1 et 125, pour un opérateur dont 125 pas valent 100^{m}, serait une opération fort longue. Avec une feuille de papier quadrillé, elle se fait graphiquement en deux minutes, d'une façon beaucoup plus simple que par les méthodes classiques.

Fig. 50.



Échelle graphique pour la conversion des pas en mètres.

Ce graphique se construit avec un morceau de papier quadrillé au millimètre, tel que celui qui est représenté à demi grandeur et sans les divisions millimétriques (*fig.* 50). Le mètre étant représenté par 1^{mm}, c'est-à-dire par une des divisions du papier, 100^{mm} représentent 100^{m}. On écrira ces divisions sur le papier comme nous l'avons fait sur notre dessin entre A et E. Cette première opération terminée, et elle ne demande pas une minute, on inscrira sur une bande de papier quadrillé de $0^{m},01$ de largeur, en se servant toujours des divisions millimétriques du papier, le nombre de pas correspondant à 100^m, 125 pas dans l'exemple précédent. La bande aura donc 125^{mm} de longueur, puisque nous avons supposé que 125 pas de l'opérateur valent 100^m. Après avoir découpé cette bande, on portera son extrémité marquée 125 sur le point correspondant au point 100 de l'échelle des mètres, comme cela est indiqué sur le dessin. Fixant ces deux extrémités l'une sur l'autre avec une épingle, on fera pivoter ensuite l'extrémité inférieure de la bande marquée 0 jusqu'à ce que ce zéro soit sur la ligne AB. On fixera alors la bande sur la feuille quadrillée dans cette position avec de la colle, puis, pour faciliter la lecture, on recopiera entre C et E les chiffres compris entre A et E, et le graphique sera terminé. Il suffit alors de connaître le nombre de pas parcourus pour lire immédiatement au-dessus le nombre de mètres correspondant.

La plus grande partie de la feuille quadrillée étant inutile, on la coupe, quand le graphique est terminé, sous forme d'une bande ayant 15^{mm} environ de hauteur, en suivant avec un canif CE, FD.

Ce graphique étant mis dans un portefeuille servira ensuite sur le terrain, non seulement pour connaître le nombre de mètres correspondant à un nombre de pas donné, mais encore pour remplacer — les divisions étant millimétriques — le décimètre en bois, qui sert habituellement à tracer sur l'itinéraire le nombre de mètres correspondant au chemin parcouru.

2. — Levers d'itinéraires.

Emploi de la boussole-breloque. Rapidité et degré de précision de l'opération. — La longueur du chemin parcouru dans un itinéraire se trace sur place avec un décimètre et un crayon sur le cahier d'itinéraire; les longueurs se mesurent au pas, et on les trace généralement à l'échelle de $\frac{1}{20\,000}$, soit 1^{mm} pour 20^m. L'angle que fait le chemin avec le méridien magnétique s'obtient en faisant usage de la

boussole-breloque fixée dans un coin du cahier, en opérant exactement comme je l'ai dit en décrivant cet instrument. J'indiquerai plus loin pourquoi cette boussole, théoriquement si imparfaite, fournit en pratique des résultats aussi précis que ceux obtenus avec les instruments les plus compliqués tenus à la main.

L'opération ainsi conduite n'exige donc que la petite boussole que le voyageur doit toujours avoir sur lui, un morceau de crayon, un décimètre ou une bande de papier quadrillé et un cahier. Rien, comme on le voit, n'est plus simple que cette opération, et je ne saurais trop la recommander, non seulement aux voyageurs, mais encore aux personnes qui tiennent à faire une promenade au hasard dans une forêt, sans avoir à demander sans cesse leur chemin, et avec la parfaite certitude de ne pas se perdre. Il m'est arrivé bien souvent de tracer ainsi en forêt un bout d'itinéraire sur un coin de journal, simplement pour savoir exactement où j'allais, et comment je reviendrais [1].

La précision de ces levers dépend uniquement de l'expé-

[1] Cette opération très simple devrait être enseignée à tous les sous-officiers de l'armée, sans exception, afin de leur en donner l'habitude. Elle leur apprendrait d'ailleurs, mieux qu'aucune autre, à faire convenablement usage des cartes. Avec elle, une troupe envoyée en reconnaissance ne peut pas s'égarer. Le jour de la bataille de Buzenval, des colonnes entières s'égarèrent aux portes de Paris à cause du brouillard : s'il se fût trouvé dans ces colonnes une seule personne capable de tracer un itinéraire, les erreurs de route eussent été impossibles. Les méthodes des Ouvrages de Topographie classique sont assurément excellentes, mais elles exigent trop de matériel pour être jamais appliquées en campagne. Les planchettes portatives, les boussoles à prisme et tout le matériel des levers de reconnaissances sont également excellents, mais on ne les a jamais sous la main quand on en a besoin. Si l'on a pris l'habitude d'avoir attachée à la chaîne de sa montre la boussole-breloque dont j'ai parlé, et un crayon dans son portefeuille, on est certain d'avoir toujours sous la main ce qu'il faut pour tracer un itinéraire.

rience des observateurs. Les erreurs sont beaucoup moins importantes quand la direction change fréquemment que lorsqu'elle reste en ligne droite, parce que les erreurs de visée arrivent à se compenser. C'est ainsi qu'il est beaucoup plus facile de fermer correctement un polygone, c'est-à-dire de revenir à son point de départ après un itinéraire, que de suivre une ligne droite. Avec quelque habitude dans les visées, et en les répétant toujours deux fois — une visée en avant, l'autre en arrière comme moyen de contrôle, — les erreurs de fermeture dans un polygone de 15^{km} à 20^{km} de périmètre, à l'échelle du $\frac{1}{20\,000}$, ne dépasseront pas 200^{m} à 300^{m}. Des opérateurs très exercés arriveront même à une précision beaucoup plus grande. Avec une simple boussole, M. Ch. de Foucauld a tracé au Maroc un polygone de plus de cinq cents lieues de périmètre en pays inconnu, et a obtenu les mêmes résultats que ceux donnés par le canevas astronomique déterminé d'une façon indépendante, puisque le calcul des positions n'a été fait qu'au retour. Il faut, bien entendu, une habileté tout à fait exceptionnelle pour arriver à de pareils résultats. Mais, si peu habile que soit l'observateur, il le sera toujours assez cependant pour tracer le plan de régions entourant un monument, et l'itinéraire qu'il faut suivre pour s'y rendre.

Quant à la rapidité de l'opération, elle dépend du nombre de visées de direction qu'on est obligé de faire. Dans les itinéraires les plus détaillés, tels que ceux parcourus au milieu de forêts coupées de sentiers, je ne suis jamais arrivé à une rapidité inférieure à 2^{km} à l'heure. Quand les changements de direction sont rares, on va presque aussi vite qu'un marcheur ordinaire.

Dans les itinéraires tracés tels que nous venons de le dire, la planimétrie du terrain seule est figurée. Il est nécessaire cependant d'indiquer les pentes des routes suivies ou des montagnes qui les bordent, afin qu'on puisse avoir au moins une idée générale de la forme du terrain, et par conséquent des moyens de transport à employer. La seule manière d'opérer

rapidement et avec une exactitude suffisante — au moins pour les grandes pentes — est de faire usage du graphique viseur indiqué plus loin, et qui peut se construire en quelques instants avec un morceau de papier quadrillé. Il donne les pentes et les différences de niveau entre deux points, et même la hauteur des objets importants que l'on peut rencontrer.

Les pentes notées pendant l'itinéraire peuvent se marquer soit en degrés avec une note de renvoi, soit par quelques amorces de courbes de niveau tracées comme il sera dit plus loin.

Le lecteur voit, par ce qui précède, qu'avec une simple boussole-breloque, un crayon et un morceau de papier, il a entre les mains tout ce qu'il faut pour les levers d'itinéraires. Aucune des diverses méthodes recommandées pour les voyages ne saurait donner aussi facilement, et avec une pareille simplification d'instruments, des résultats aussi sûrs.

Les renseignements précédents comprennent toutes les opérations nécessaires pour les levers d'itinéraires. Les Paragraphes qui vont suivre contiennent des renseignements complémentaires, soit pour discuter la précision de la méthode, soit pour en montrer des applications, soit pour permettre dans certains cas particuliers d'employer des moyens plus précis que ceux que nous avons indiqués.

Expériences sur les erreurs commises dans les levers d'itinéraires au pas et à la boussole. — Le degré de précision des résultats que l'on peut obtenir dans les levers à la boussole et au pas étant très important à connaître, et les Ouvrages de Topographie les plus complets étant parfaitement muets sur ce point, j'ai dû, pour résoudre la question, exécuter un certain nombre d'expériences.

Ces expériences ont porté sur une quarantaine d'itinéraires de 10^{km} à 20^{km} chacun, effectués dans les bois qui entourent Paris. Une moitié de ces itinéraires a été faite par moi, l'autre par une personne à laquelle j'avais enseigné cette méthode, et qui du reste était arrivée, après trois leçons d'une heure chacune, à opérer avec beaucoup plus d'habileté que je ne réussissais à le faire. Les itinéraires étaient tracés au $\frac{1}{20000}$ sur du papier quadrillé transparent. En les superposant ensuite sur la carte des environs de Paris au $\frac{1}{20000}$, on voyait immédiatement apparaître les moindres erreurs de longueur et de direction commises.

Pour bien comprendre comment, avec une méthode théoriquement très inexacte, on peut obtenir en pratique des résultats suffisamment exacts, il est nécessaire d'examiner la nature des erreurs que l'on peut commettre. Nous les diviserons en deux catégories : 1° erreurs de visée ; 2° erreurs de longueur. Ces deux natures d'erreurs conduisent à une erreur finale, erreur de fermeture du polygone qu'on a tracé pour aller et revenir, ou simplement erreur d'arrivée si l'on s'est borné à aller d'un point à un autre sans revenir sur ses pas.

Les erreurs de visée semblent théoriquement devoir être les plus graves. Quand on considère, d'une part, la faible longueur (12^{mm}) de l'aiguille de la boussole-breloque dont on fait usage, et d'autre part la façon défectueuse dont se fait la visée, on arrive à la conclusion que les mesures d'angles ainsi obtenues doivent être fort grossières, et qu'on ne peut obtenir absolument aucun résultat utile d'un tel instrument. On voit, en effet, qu'une simple erreur de visée de 4°, qui est à peu près celle qu'on commettra généralement, produira sur une longueur de 10^{km} en ligne droite une erreur de direction d'environ 700^{m} au point d'arrivée. On se trouverait donc, en marchant seulement dans la direction indiquée au départ par la boussole, à 700^{m} à droite ou à gauche du point auquel on devait parvenir, ce qui impliquerait une grande incertitude sur la position de ce point.

Il en serait réellement ainsi si, ayant tracé avec la boussole au départ une ligne dans l'espace, on la suivait fidèlement ; mais en pratique la chose se passe tout autrement, la route suivie étant généralement un polygone ayant un nombre

plus ou moins considérable de côtés, les grosses erreurs dans un sens sont compensées par de grosses erreurs dans un sens contraire, et l'on s'aperçoit bientôt que l'erreur finale sera d'autant plus faible que la route suivie sera plus compliquée, au point de vue des changements de direction. Les changements de direction fréquents rendent évidemment les segments du cheminement très courts. Le plus difficile serait précisément de suivre rigoureusement une ligne droite, et l'on n'y arriverait à peu près qu'en répétant les visées de direction tous les 100^{m} environ et prenant pour direction vraie la ligne coupant à peu près en deux parties égales la ligne sinueuse ainsi obtenue. J'ai du reste toujours observé qu'il était plus difficile d'arriver sans erreur d'un point à un autre que de fermer correctement un polygone.

Si maintenant on désire savoir exactement les erreurs de direction que l'on est exposé à commettre, voici les résultats de quinze expériences faites à la suite les unes des autres dans la même journée, en mesurant l'orientation d'une route dont la direction était parfaitement connue.

Suivant que les directions vraies sont à droite ou à gauche des directions observées, l'erreur est affectée du signe + ou du signe —. Les erreurs commises sont, comme on le verra, considérables pour chaque visée, puisqu'elles sont généralement de plus de 4°. Mais si l'on prend la somme algébrique de toutes les erreurs et qu'on la divise par le nombre des observations pour obtenir l'erreur finale, ce qui est à peu près l'opération qu'on effectue inconsciemment pendant un itinéraire, on voit que les grosses erreurs dans un sens ont été compensées par de grosses erreurs dans le sens opposé et que l'erreur finale est inférieure à 1°.

SÉRIE D'EXPÉRIENCES SUR LES ERREURS DE VISÉE COMMISES SUR DES ANGLES OBSERVÉS A LA BOUSSOLE-BRELOQUE.

+ 3°	»
»	— 5°
»	— 1°
+ 4°	»
»	— 5°
+ 4°	»
»	— 10°
+ 2°	»
+ 5°	»
»	— 8°
+ 3°	»
»	— 5°
+ 7°	»
»	— 1°
»	— 7°

Erreur finale.... 0°56′

Le lecteur doit comprendre aisément maintenant pourquoi j'ai préféré l'emploi d'une vulgaire boussole-breloque de 0fr,50 (1) à toute autre pour les levers de reconnaissances. Naturellement, au début, j'ai commencé par expérimenter divers modèles de boussoles de précision, mais tous ces instruments, y compris ma boussole éclimètre, très exacts quand on les met sur un pied, perdent toute précision aussitôt qu'on les tient à la main, ainsi qu'on est obligé de le faire dans un itinéraire. Avec les précautions les plus grandes et en y consacrant un temps fort long, la meilleure boussole tenue à la main ne mesurera jamais les angles avec une exactitude de ± 2° (2). C'est une précision au moins double de celle

(1) Le prix d'achat de ces boussoles n'est en effet que de 0fr,50. Ce qui porte à 5fr celle que j'ai fait construire par M. Labre, c'est l'adjonction de l'anneau à ressort et du bouton qui permettent de la fixer invariablement sur un cahier quelconque.

(2) Je ne parle, bien entendu, que des boussoles, fort rares d'ailleurs,

de la boussole-breloque; mais la lenteur extrême de l'opération rend cet avantage tout à fait illusoire. En effet, il arrivera ceci : ou bien l'observateur se fatiguera vite du temps énorme qu'il perd à attendre que l'aiguille ait exécuté une vingtaine d'oscillations avant de revenir au repos, et il n'observera bientôt plus que par à peu près — ce qui l'exposera à des erreurs supérieures à celles obtenues avec la boussole-breloque, — ou bien il aura toute la patience nécessaire, et consacrera à chaque observation le temps exigé par elle; mais alors il s'apercevra rapidement que son itinéraire devient d'une longueur interminable; et, comme le temps n'est pas un facteur dont le voyageur puisse disposer à volonté, il rendra ses visées de plus en plus rares. La simple erreur de 2° qu'il commettra alors sur de grandes longueurs l'entraînera à des erreurs finales plus considérables que celles provenant de visées répétées à la boussole-breloque avec laquelle, comme je l'ai montré plus haut, les erreurs se compensent en grande partie. J'ai fait d'ailleurs des itinéraires comparatifs avec la plupart des systèmes de boussoles connus, et j'ai toujours constaté que leur précision, lorsqu'on était obligé de les tenir à la main, n'était jamais supérieure à celle obtenue avec la boussole-breloque. Ce n'est donc qu'après une étude approfondie que j'en suis arrivé à conseiller exclusivement l'emploi de cette dernière. Cet instrument très simple, très peu coûteux, et que le voyageur a toujours avec lui, s'il a pris l'habitude de le fixer à sa chaîne de montre, lui rendra les mêmes services tout en lui économisant beaucoup de temps, que des instruments fragiles et vingt fois plus chers. Sans doute le voyageur doit toujours posséder une boussole de précision, mais n'en faire usage que lorsqu'il dispose d'un pied et veut lever avec soin le plan du terrain entourant un monument.

L'exactitude des résultats donnés par la boussole-breloque

qu'il ne faut pas approcher de l'œil pour viser. Avec ces dernières, les plus en usage cependant, la précision n'atteint pas plus de 4 ou 5°.

dans les levers d'itinéraires étant suffisamment démontrée, il ne nous reste plus qu'à examiner le degré de précision obtenu par la mesure au pas des distances. Les erreurs commises dans ce mode d'opérer sont les plus difficiles à éviter si l'on n'a pas réglé convenablement son pas, comme je l'ai dit précédemment. Si l'erreur commise était toujours affectée du même signe, elle n'influerait en rien sur la fermeture d'un polygone, puisque tous ses côtés se trouveraient toujours réduits ou augmentés dans la même proportion. Mais, malheureusement, l'allure du pas se modifiant suivant divers facteurs, les erreurs commises seront très irrégulières et n'auront aucune tendance à se compenser. L'opérateur qui n'aurait qu'une échelle de pas, celle du pas rapide par exemple, commencera son itinéraire avec une échelle convenable; mais bientôt au pas rapide succédera le pas lent, et les longueurs marquées sur la carte seront trop grandes. A mesure qu'il avancera, le pas lent deviendra le pas de fatigue, et les longueurs marquées seront plus grandes encore. A la fin de la journée, les erreurs de longueurs pourront atteindre, comme je l'ai dit plus haut, 14 pour 100.

Pour l'opérateur exercé, de telles erreurs ne sont jamais à craindre, et lorsqu'il aura étalonné convenablement son pas, il est certain que son erreur finale de longueur ne dépassera pas notablement 1 pour 100.

Telle est la théorie de la méthode qui permet d'obtenir, avec des moyens très imparfaits, des résultats d'une exactitude très suffisante pour les besoins de la pratique.

Emploi de la boussole-breloque pour retrouver sans peine la ligne droite idéale qui relie deux points séparés par des obstacles. — La méthode de levers d'itinéraires, décrite précédemment, permet non seulement de tracer l'itinéraire reliant une position connue à des positions inconnues, mais encore de se servir des cartes d'une façon beaucoup plus simple et beaucoup plus pratique que celle

généralement en usage. Les cartes les plus détaillées dont on dispose, celles de l'état-major au $\frac{1}{80\,000}$, par exemple, ne donnent jamais que les routes principales. Aussitôt que l'on veut se guider avec elles dans des régions un peu difficiles, bois et forêts, par exemple, on se trouve en présence de sentiers divers dont une partie seulement se trouve indiquée sur la carte, et qu'il est par conséquent impossible d'identifier avec ceux représentés sur cette dernière. Après avoir déplié cinq ou six fois sa carte, on renonce généralement à s'en servir, et l'on tâche de trouver son chemin en s'adressant au premier paysan que l'on rencontre, ou en faisant de longs détours pour ne pas s'écarter des routes importantes.

J'ai été plus d'une fois frappé de la difficulté de se servir des cartes dans les régions un peu accidentées, lorsque je cherchais à déterminer par des expériences comparatives les meilleures boussoles à employer pour les levers d'itinéraires. Je constatai bientôt que consulter à chaque instant sa carte entraînait une perte de temps aussi considérable qu'inutile, et qu'une simple ligne tracée au départ sur une feuille de papier, et reliant à vol d'oiseau la direction à suivre avec quelques points de repère intermédiaires, constitue un guide infaillible qui remet toujours dans la bonne voie.

La méthode que je vais indiquer est simple et pratique, et peut être employée aussi utilement par la personne qui veut faire un itinéraire que par celle qui veut simplement se rendre d'un point à un autre sans dresser aucun itinéraire.

Pour bien faire comprendre le principe et l'application de la méthode, je vais donner un exemple choisi dans mes notes. Il s'agissait de se rendre à travers bois, en se rapprochant le plus possible de la ligne droite, du village de Marnes à la station de La Celle-Bougival. Cette région, entièrement couverte de bois, est très montagneuse, et les sentiers sous bois trop nombreux pour que la carte au $\frac{1}{80\,000}$ pût les indiquer.

Le travail exécuté au départ a été bien simple. La carte

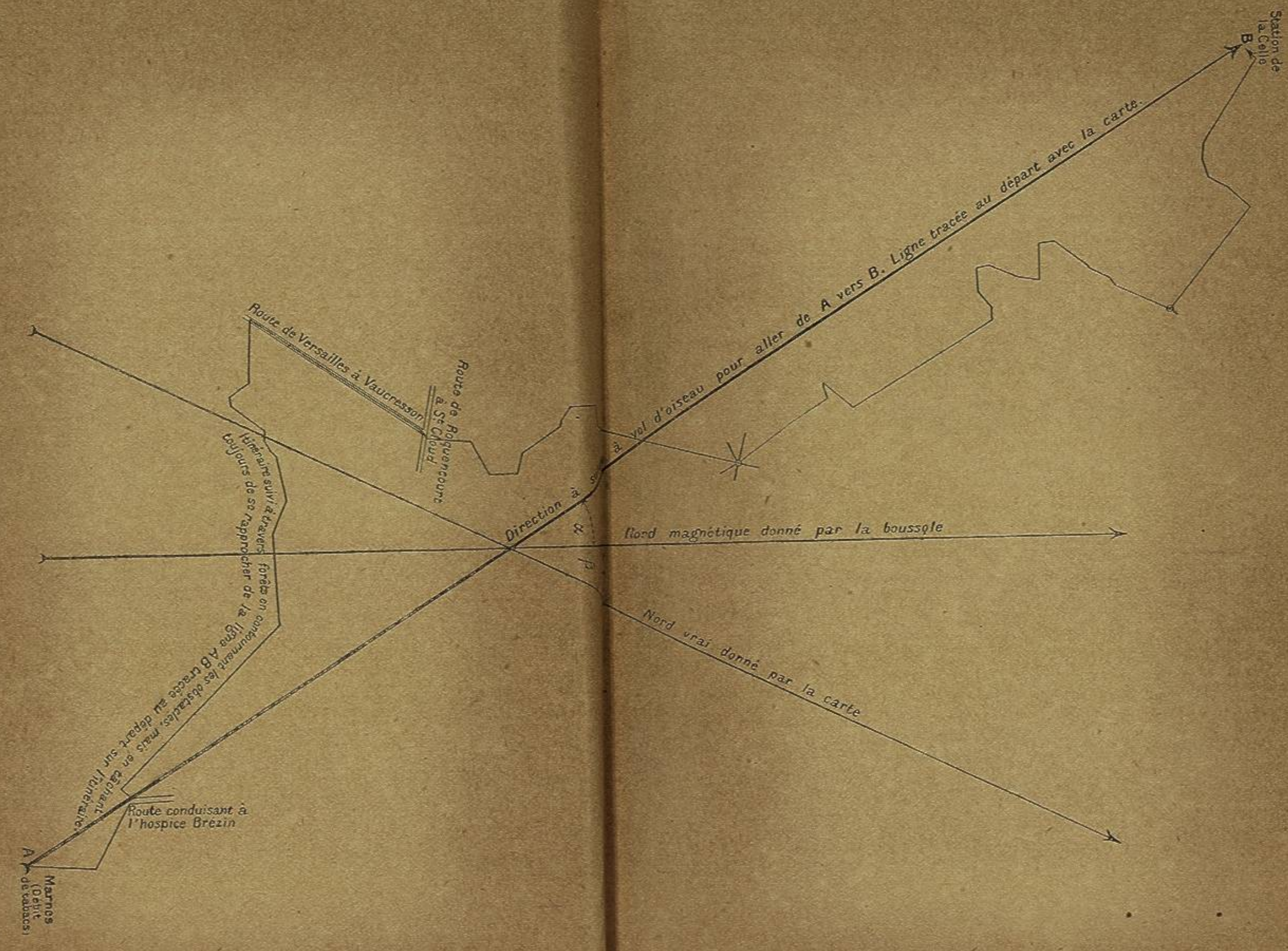


Fig. 51. — Itinéraire tracé avec la boussole-breloque pour se rendre sans carte d'un point à un autre. La direction et la distance à vol d'oiseau sont représentées par une simple ligne tracée au départ, mais la route à suivre est inconnue. Les seules données sont donc l'angle α et la longueur A B.

d'état-major a permis de l'exécuter en moins de dix minutes. Avec un rapporteur, une règle et un crayon, on a d'abord tracé sur cette carte la direction du méridien magnétique, 16° aux environs de Paris, puis on a relié d'un coup de crayon le point de départ et le point d'arrivée; on a ensuite mesuré la longueur de cette ligne, l'angle qu'elle faisait avec le méridien magnétique, et l'opération s'est trouvée à peu près terminée. Il a suffi ensuite de reporter sur la feuille de papier destinée à tracer l'itinéraire (*fig.* 51) l'angle α que doit faire la direction de la ligne AB tracée à vol d'oiseau avec la ligne Nord-Sud, qui pendant le trajet doit toujours rester parallèle à l'aiguille de la boussole, et de donner à cette ligne, destinée à marquer la route idéale reliant le point de départ au point d'arrivée, exactement la même longueur que celle de la ligne tracée au crayon sur la carte, ou une longueur double, triple, quadruple, etc., si l'on se propose de faire l'itinéraire à une échelle double, triple, quadruple, etc., de celle de la carte. Mon itinéraire ayant été fait au $\frac{1}{20\,000}$, et la carte étant au $\frac{1}{80\,000}$, la longueur AB de la ligne tracée sur l'itinéraire a été quatre fois plus grande que sur la carte.

Comme points de repère destinés à rectifier les erreurs en cours de trajet, et en même temps pour savoir comment on tournera les obstacles : propriétés closes de murs, rivières, etc., qu'on pourra rencontrer, on complète le travail en marquant sur la ligne directrice ou dans son voisinage, les routes et les points notables que l'on rencontrera.

L'opération terminée, la carte peut être laissée de côté; cette simple ligne, avec ses quelques points de repère qui ont demandé dix minutes de travail, — c'est-à-dire beaucoup moins de temps qu'il n'en aurait fallu pour déplier et replier la carte vingt fois, pendant la route, — sera désormais le seul guide.

C'est autour de la ligne ainsi tracée que serpentera, suivant les obstacles du terrain — mais en s'en éloignant le moins possible, et toujours ramené par la boussole dans la bonne

direction — le voyageur (¹). Il opérera donc en réalité, absolument comme le ferait un marin qui chercherait à se maintenir sur le même parallèle, tout en serpentant à travers les îles et les récifs qu'il pourrait rencontrer. La *fig.* 51 montre quelles sont les déviations que le voyageur peut être forcé de faire par les obstacles, et comment il est toujours ramené par la boussole dans la direction à suivre.

Dans l'exemple précédent, après avoir parcouru une longue route en pleine forêt, changé plus de trente fois de direction, monté et descendu des pentes assez escarpées, on est tombé à moins de 50ᵐ du point où l'on devait toucher. Alors même, d'ailleurs, qu'on fût tombé à 200ᵐ ou 300ᵐ, on était sûr en arrivant de ne pas en être bien loin, et en tâtonnant un peu, c'est-à-dire en rayonnant dans divers sens, on serait toujours arrivé au but.

Il faut cependant éviter les conséquences des erreurs de visée ou d'estimation des longueurs parcourues, et c'est pourquoi j'ai recommandé de tracer au départ quelques points de repère : routes, villages, clochers, etc., se trouvant dans le voisinage de la direction à suivre. Toutes les fois qu'on arrive aux environs de l'un de ces points de repère, on rectifie aisément les erreurs commises, puisqu'on a sous les yeux un point de position certaine. On opère, en réalité, comme on l'a fait pour la Carte de France de l'état-major, dont le canevas principal était formé par la détermination astronomique de points fondamentaux, et le détail par des levers à la boussole s'appuyant sur ces points, et permettant par conséquent de rectifier de temps en temps les erreurs de détail que l'on pouvait commettre. Dans l'itinéraire que j'ai donné (*fig.* 51),

(¹) Si le voyageur se borne à suivre l'itinéraire sans le tracer, il n'aura qu'à prendre de temps en temps quelques visées à sa boussole pour connaître à peu près sa direction, et à consulter son podomètre pour connaître le chemin parcouru, il saura toujours alors à peu près où il se trouve, et les points de repère le ramèneront chaque fois dans la bonne direction dont il aurait pu s'écarter.

et qui a été exécuté par une personne étrangère à la Topographie, à laquelle j'avais enseigné cette méthode, on n'a eu à opérer aucune rectification au cours du trajet.

J'ai un peu insisté sur la méthode qui précède, parce que je la crois fertile en applications. L'observateur qui l'aura pratiquée plusieurs fois n'aura aucune difficulté à tracer un plan ou un itinéraire quelconque, à rattacher la position d'un monument à un point connu, à ne jamais se perdre dans une forêt, quelque compliqué que soit le chemin parcouru, et quelque insuffisantes que soient dans leurs détails les cartes dont il dispose.

Correction de la déclinaison de la boussole. — Il n'est pas inutile de rappeler ici que la déclinaison de la boussole, c'est-à-dire l'angle que fait le plan vertical passant par l'aiguille aimantée avec le méridien astronomique, varie considérablement sur les divers points du globe. A Paris, l'aiguille aimantée se dirige vers un point qui est de 16° à gauche du Nord, mais ce chiffre est loin d'être le même pour les diverses régions de la France. Lorsqu'on veut se servir d'une carte, il ne faut donc jamais oublier que le Nord magnétique indiqué par la boussole n'est nullement le Nord vrai indiqué par la carte et l'on devra marquer sur cette dernière la déclinaison comme nous l'avons fait dans l'exemple représenté *fig.* 51. Il en est de même lorsqu'on veut indiquer sur une carte la position de points déterminés par des levers à la boussole. Dans ces divers cas comme dans beaucoup d'autres, la connaissance de la déclinaison de la boussole est indispensable.

On connaît aujourd'hui parfaitement la déclinaison de l'aiguille aimantée pour les principales régions de l'Europe : on la trouvera notamment dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes*. Mais il existe encore de nombreuses régions dont la déclinaison est inconnue. Il est donc nécessaire de pouvoir la déterminer soi-même.

Les trois méthodes que je vais indiquer donnent la valeur

de la déclinaison avec une précision plus que suffisante pour les besoins des voyageurs.

La première méthode consiste à tracer la méridienne au moyen de l'ombre d'une tige verticale observée soir et matin à des hauteurs correspondantes. Cette méthode étant décrite dans tous les Traités élémentaires de Cosmographie, je ne fais que la mentionner ici. Elle est très simple, mais fait perdre une journée. Ce n'est donc qu'exceptionnellement qu'on y aura recours en voyage.

La deuxième méthode est celle dont depuis quelques années les marins font journellement usage pour corriger les variations de leurs boussoles. Elle ne demande que quelques minutes, mais elle exige la connaissance de l'heure du lieu, de la latitude, de la déclinaison du Soleil et l'emploi de Tables spéciales (Tables de Labrosse). Quand on possède ces éléments, tout le travail se borne à diriger l'alidade de la boussole vers le Soleil et regarder ensuite le nombre de degrés que marque l'aiguille aimantée. Aucune méthode n'est aussi simple quand on a pu calculer ou qu'on connaît — ce qui serait toujours le cas dans des pays civilisés — les éléments que j'ai indiqués.

Malheureusement, ces éléments, on ne les connaît pas toujours. Il faut alors avoir recours à une troisième méthode applicable dans tous les lieux où l'étoile polaire est visible, et qui ne demande absolument aucun calcul. Elle peut servir avec toutes les boussoles de précision à pinnules telles que la nôtre, par exemple. L'erreur qu'on commettra, et qu'il est facile, comme je l'indiquerai plus bas, d'éviter entièrement, n'atteindra jamais 2 degrés dans les circonstances les plus défavorables, chiffre d'ailleurs bien faible si on le compare aux très grosses erreurs qu'on pourrait commettre en se servant de la boussole sans connaître sa déclinaison.

Cette troisième méthode consiste simplement à poser la boussole sur un pied et à la tourner sur elle-même jusqu'à ce qu'on puisse apercevoir la Polaire à travers l'alidade. La ligne Nord-Sud de l'instrument se trouve alors dans la direction du Nord astronomique, et il n'y a plus qu'à regarder le nombre de degrés marqué par l'aiguille aimantée à droite ou à gauche de cette ligne pour connaître sa déclinaison.

Cette méthode est très exacte quand l'observation se fait au moment de l'un des passages de l'étoile à son méridien. Si l'on n'a pas sous la main de Tables indiquant l'heure de ces passages et qu'on fasse l'observation à un moment quelconque, on pourra, comme je le disais plus haut, être exposé à une erreur qui, dans le cas le plus défavorable, atteindra presque 2 degrés. On peut d'ailleurs reconnaître sans Table quels sont les moments les plus favorables ou les plus défavorables pour l'observation de la Polaire à l'effet de corriger la boussole. Il suffit de se rappeler que le pôle est toujours sur la ligne idéale joignant la Polaire à ε de la Grande Ourse (la troisième étoile à partir de l'extrémité de la queue). Quand cette ligne paraît horizontale, la Polaire est pour l'observateur à son maximum d'éloignement du Nord. Quand, au contraire, cette ligne est verticale, la Polaire est exactement dans la direction du Nord.

3. — Nivellement.

Détermination rapide de la différence de niveau entre deux points. — Avec le temps dont le voyageur dispose, les opérations de nivellement ne pourront être jamais que fort sommaires, et par conséquent peu exactes. J'ai dit plus haut comment, dans les itinéraires, les pentes pouvaient être approximativement indiquées. Il peut arriver cependant que, pour des levers peu étendus, tels que ceux de terrains entourant les ruines d'un monument, on désire opérer avec plus d'exactitude. Nous allons indiquer des moyens rapides, bien que suffisamment approximatifs, permettant d'obtenir de bons résultats.

Le problème fondamental du nivellement se ramène, comme

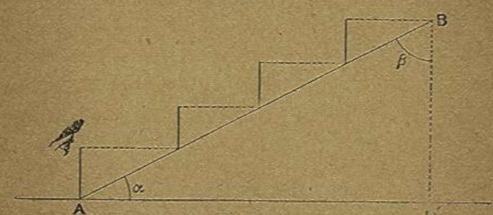
on le sait, à déterminer la différence de niveau entre deux points. Il est simple à résoudre quand on dispose d'instruments qu'on peut fixer sur un pied, comme notre quart de cercle, le théodolite ordinaire, la règle-éclimètre du colonel Goulier, ou tout autre appareil analogue ; il l'est beaucoup moins quand il faut faire usage d'instruments tenus à la main.

Voici quels sont les moyens qui nous ont paru les plus pratiques pour la mesure des différences de niveau dans les divers cas qui peuvent se présenter.

Supposons, tout d'abord, que nous voulions connaître la différence de niveau entre le point où l'on se trouve et le sommet d'un mamelon. On peut opérer très simplement par la méthode suivante. Le seul instrument dont nous aurons besoin sera soit le niveau à miroir qui fait partie de notre grande boussole, soit notre niveau Burel modifié, instrument de la longueur et du volume du doigt. Tous deux, — le second, mieux encore que le premier — donnent une ligne de visée parfaitement horizontale.

Supposons l'observateur placé en A (*fig.* 52) et cherchons,

Fig. 52.



avec un des instruments que je viens d'indiquer, à déterminer la différence de niveau entre A et B, c'est-à-dire BB'. Dans un lever régulier, il faudrait aller placer des jalons gradués tout le long de l'éminence dont on veut déterminer la hauteur. Ces jalons gradués, nous les remplaçons simplement par la hauteur de l'œil de l'observateur au-dessus du sol, hauteur qu'on a mesurée une fois pour toutes avec la canne métrique dont j'ai parlé. Si l'on a cette canne métrique sous la main, on obtient une précision beaucoup plus grande et qui peut presque égaler celle des levers réguliers. Après avoir développé l'instrument jusqu'à une hauteur quelconque — qu'on lit sur ses divisions, — on applique le niveau viseur sur l'équerre de la canne ou, si l'on n'a pas de canne métrique, on le tient à la main, à la hauteur de l'œil, et l'on cherche devant soi un objet quelconque, pierre, pied d'un aide, etc., où la ligne de visée rencontre la pente. On y porte de nouveau l'instrument, et l'on continue l'opération jusqu'à ce qu'on ait atteint le sommet B. Si l'œil est à $1^m,70$ au-dessus du sol et qu'il ait fallu se déplacer dix fois, c'est-à-dire faire dix visées pour atteindre le sommet B, la différence de niveau entre A et B, c'est-à-dire BB', sera évidemment égale à dix fois $1^m,70$, soit 17^m.

Connaissant BB' par l'opération qui précède, il faut, pour connaître l'angle de pente α, sans l'emploi d'autre instrument, mesurer AB. L'opération se fait soit en comptant les pas (procédé peu exact dans les pentes), soit avec un ruban métrique de 50^m. Avec BB' et AB on a entre les mains tous les éléments nécessaires pour construire graphiquement le triangle rectangle ABB', par conséquent connaître l'angle de pente α et représenter le profil du mamelon.

On voit aisément d'ailleurs que tous les éléments du triangle peuvent se déterminer par le calcul, ce qui est généralement plus exact que la méthode graphique. On a, en effet,

$$\sin\alpha = \frac{BB'}{AB}.$$

Sin α étant connu, on a immédiatement l'angle α par simple lecture dans une Table. Connaissant α, on a par soustraction son complément β, et pour le côté AB'

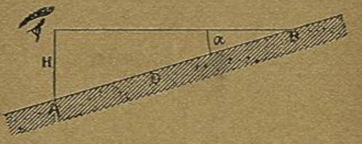
$$AB' = BB' \operatorname{tang} \beta.$$

L'opération a exigé, comme on le voit, la mesure de AB et de BB', mais aucune mesure d'angle. Si l'on avait sous la main un instrument permettant de mesurer α, cette mesure remplacerait la mesure de AB; on aurait, en effet,

$$AB = \frac{BB'}{\sin\alpha}.$$

La méthode précédente peut servir, à la rigueur, à déterminer des pentes de routes; mais comme ces pentes sont généralement assez faibles, il faudrait opérer avec beaucoup de soin pour obtenir des résultats suffisamment approximatifs, c'est-à-dire appuyer l'instrument viseur sur l'équerre de la canne

Fig. 53.



métrique, et mesurer avec soin la distance qui sépare l'observateur du point où son œil rencontre le sol. La pente sera d'autant plus faible, et la mesure d'autant plus inexacte que la ligne de visée rencontrera plus loin la pente de la route. Si l'on appelle H la hauteur de l'œil au-dessus du sol, D la distance, mesurée au pas, qui sépare l'observateur placé en A du point où son œil rencontre le sol en B (*fig.* 53), l'angle de pente α se trouve par une simple division. On a, en effet,

$$\frac{H}{D} = \sin\alpha.$$

La pente est trop faible généralement, et D trop grand relativement à H, pour que le triangle puisse se construire graphiquement. Il est d'ailleurs infiniment plus court de faire la division indiquée plus haut et de chercher l'angle α dans une Table.

Les opérations précédentes, quoique très simples, sont encore trop longues pour des levers d'itinéraires. On se bornera alors à apprécier les pentes un peu importantes par une simple visée, faite avec l'éclimètre graphique, indiqué plus loin. La visée devant être parallèle à la pente, sera faite sur un objet à la hauteur de l'œil, tronc d'arbre, tête d'un guide, etc.

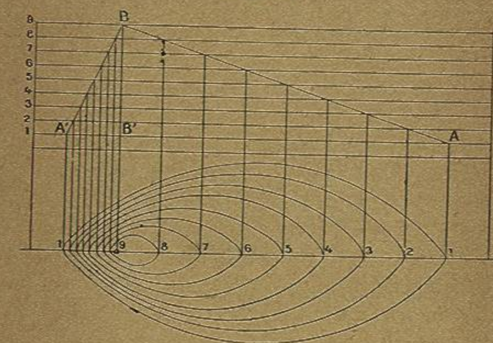
Tracé des courbes de niveau. — Toutes les personnes au courant de la Topographie savent que le seul moyen de représenter exactement sur une carte les saillies du sol consiste dans l'emploi de courbes de niveau. Je dois donc supposer leur théorie parfaitement connue, et me bornerai à rappeler le moyen de les tracer approximativement. Ce n'est qu'exceptionnellement d'ailleurs que le voyageur aura le temps nécessaire pour réunir les éléments de ce mode de représentation. Il est cependant toujours facile à une personne un peu exercée de tracer quelques amorces de courbes sur un itinéraire. Elles constituent le moyen le plus simple de rendre évidentes à l'œil les pentes de la route parcourue.

La représentation complète du terrain par des courbes de niveau implique la connaissance des divers profils du terrain dans plusieurs directions, c'est-à-dire le profil de plusieurs arêtes. Après avoir mesuré un nombre suffisant d'angles horizontaux, α, β, γ, δ, etc., compris entre diverses arêtes, il faut connaître par un des moyens indiqués précédemment l'angle vertical que font les arêtes au-dessus de l'horizon. Si l'on relie ensuite par des courbes continues les points de même hauteur, les courbes de niveau se trouvent tracées. On les trace généralement de 10^m en 10^m sur les cartes au $\frac{1}{200000}$, mais on peut choisir évidemment une équidistance autre. Le plus souvent, comme je l'ai dit plus haut, on se borne dans les itinéraires à tracer des amorces de courbes sur la ligne suivie. On a ainsi la pente de la route, et, suivant que les courbes sont plus ou moins rapprochées, on voit évidemment que la pente est plus ou moins grande.

Le moyen le plus simple de déterminer sans calcul le passage des courbes de niveau sur la projection horizontale d'une pente est le suivant :

Construire (*fig.* 54) un triangle rectangle ayant pour base la distance horizontale qui sépare la station A ou A′ du point

Fig. 54.



visé B, et pour hauteur la différence de niveau de ces deux points.

Diviser BB′ à l'échelle adoptée pour le plan, 1^{mm} par mètre par exemple s'il est au millième, et, par les points correspondants aux courbes que l'on veut coter de mètre en mètre par exemple, mener des parallèles jusqu'à la rencontre de l'hypoténuse du triangle puis des perpendiculaires aux points de rencontre de ces parallèles avec l'hypoténuse : les pieds de ces perpendiculaires marquent les points de passage de la courbe.

4. — Graphiques et formules topographiques.

Construction d'un graphique donnant immédiatement les tangentes, sinus et cosinus et permettant d'exécuter sans calcul toutes les opérations d'un lever. — Nous avons eu souvent occasion dans cet Ouvrage de faire usage d'expressions trigonométriques, mais le lecteur a pu remarquer : 1° que les seuls triangles que nous ayons eu à résoudre étaient généralement des triangles rectangles; 2° que nous avons eu exclusivement recours aux lignes trigonométriques naturelles, au lieu de nous servir de leurs logarithmes, comme on le fait habituellement. Dans ces conditions, les erreurs sont à peu près impossibles, et les opérations les plus compliquées se bornent à une division ou à une multiplication.

On trouve, dans beaucoup d'Ouvrages, des Tables des valeurs des lignes trigonométriques naturelles; mais, comme on peut ne pas avoir toujours ces Tables sous la main, nous allons montrer que rien n'est plus simple que de les reconstituer avec un graphique construit en quelques minutes. Sa précision, inférieure évidemment à celle des Tables, est cependant suffisante pour toutes les opérations des levers rapides. Il donne non seulement les tangentes, sinus et cosinus de 0 à 45°, mais encore permet d'effectuer sans calcul plusieurs opérations, telles que la mesure des hauteurs, la détermination de la différence de niveau entre deux points, etc.

Ce graphique (*fig.* 55) consiste simplement en une feuille de papier quadrillé au millimètre, de $0^m,10$ de côté, dans l'angle inférieur gauche de laquelle on fixe un fil au moyen d'une épingle enfoncée dans l'épaisseur du carton sur lequel cette feuille est collée. On chiffre sur le côté droit du graphique et sur sa partie inférieure les divisions de 10 en 10 millimètres, puis avec un compas on trace un arc de cercle ayant $0^m,10$ de rayon et on le divise en degrés avec un rapporteur. Cette dernière opération pourrait même être évitée si l'on n'avait besoin, ce qui est le cas le plus fréquent, que des tangentes pour les calculs de hauteurs. Le graphique se réduirait exactement alors à une feuille de papier quadrillé.

Le graphique ainsi construit donne les tangentes, sinus et cosinus pour tous les degrés de 0 à 45. Pour obtenir les mêmes nombres que dans la Table des lignes trigonométriques naturelles, il suffit d'observer que les millimètres du

TRANSFORMATION D'UNE FEUILLE DE PAPIER QUADRILLÉ
EN TABLE DE TANGENTES SINUS ET COSINUS DE 0° A 45°

donnant immédiatement: 1° la hauteur d'un point, connaissant la distance à laquelle on s'en trouve, 2° la différence de niveau entre deux points, 3° la projection d'une pente, etc.

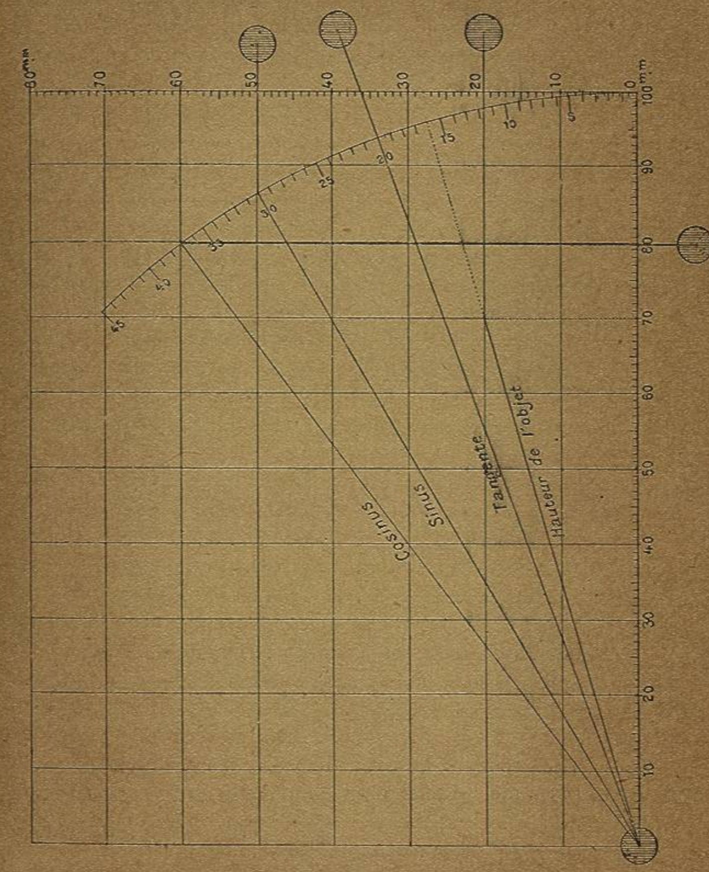


Fig. 55.

graphique représentent des centièmes. Les exemples suivants, représentés *fig.* 55, montreront comment il faut opérer. Pour bien faire comprendre la direction parfois brisée que doit suivre le fil dans les différents cas, son extrémité mobile a été terminée par un disque ombré.

A. — *Quelle est la tangente d'un angle de* 20°. — Le fil étant fixé par sa partie inférieure au 0, on amène son extrémité supérieure sur la ligne verticale graduée, en l'obligeant à passer d'abord par le chiffre représentant 20 degrés. Sur la ligne verticale on lit 36^{mm},5. Nous rappelant que les millimètres représentent des centièmes, nous voyons que la tangente de 20° est 0,365. (Le chiffre donné par la Table est 0,364.)

B. — *La pente d'une route est de* 0^{m},365 *par mètre. A quel chiffre en degrés correspond cette pente?* — C'est là exactement le problème inverse du précédent. En mettant l'extrémité supérieure du fil sur le chiffre 36^{mm},5 représentant la tangente de la pente, on lit 20 degrés sur la division du cercle.

C. — *Quel est le sinus d'un angle de* 30°? — Après avoir d'abord amené le fil sur le cercle gradué à la division marquée 30, on l'y retient avec la pointe d'un crayon, puis on dirige horizontalement son extrémité libre sur l'échelle verticale. Cette extrémité tombe sur le chiffre indiquant 50^{mm}. Les millimètres correspondant sur le graphique à des centièmes, le sinus de 30° est donc 0,50. Il suffit de se rappeler la définition d'un sinus pour comprendre la raison de l'opération précédente.

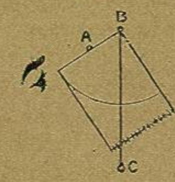
D. — *Quel est le cosinus d'un angle de* 37°? — Nous amenons l'extrémité mobile du fil sur le chiffre 37°, et la définition même des cosinus nous montre, qu'après l'y avoir arrêté avec la pointe du crayon, nous devons l'abaisser verticalement jusqu'à la rencontre de la ligne horizontale graduée qui ter-

mine inférieurement le graphique. Le fil touche sur la graduation 80^{mm}, ce qui donne, après la transformation des millimètres en centièmes, 0,80 pour le cosinus cherché.

E. — *Usage du graphique des tangentes, etc., pour les levers expédiés.* — Nous pouvons tirer du graphique qui précède de nombreuses applications topographiques. Collé sur la première page intérieure de la couverture en carton de notre cahier d'itinéraire, il rend possible la mesure des angles verticaux, alors que la boussole fixée sur le même carnet permet de mesurer des angles horizontaux. Il la complète ainsi et facilite les diverses opérations de Topographie, qui se ramènent toutes en définitive à des mesures d'angles horizontaux et verticaux.

Pour en faire usage sous cette forme, nous n'avons qu'à fixer à l'extrémité du fil un corps lourd quelconque un peu

Fig. 56.



plat, un sou percé par exemple, afin que son épaisseur n'empêche pas de fermer le cahier; puis, à 0^{m},10 environ de l'épingle B fixant le fil sur le carton (*fig.* 56), on enfonce une seconde épingle A dans l'épaisseur du même carton en ne laissant sortir que sa tête. Ces deux épingles forment une ligne de visée. On opère comme il est indiqué sur la *fig.* 56. Lorsque le poids qui est au bout du fil a cessé ses oscillations, on le fixe avec le doigt, et retournant le carton on lit, indiqué par le fil, l'angle vertical observé. Si l'observation est faite avec soin, on voit, en la répétant plusieurs fois, que la précision obtenue est d'environ $\frac{1}{2}$ degré, chiffre qu'il est bien difficile d'atteindre avec les éclimètres fixés aux divers systèmes de boussoles. Ils appartiennent, en effet, à un cercle dont le rayon est au moins trois fois plus petit que celui de notre graphique (¹).

Les plus fréquentes applications de ce graphique dans les levers expédiés seront de déterminer la hauteur d'une maison, d'un arbre, d'une colline, connaissant la distance horizontale à laquelle on s'en trouve. Les exemples suivants montrent la façon d'opérer.

F. — *Se trouvant à* 70^m *d'un clocher, on voit que l'angle de visée vertical est de* 16°, *on demande la hauteur du clocher?* — Amenons (*fig.* 55) l'extrémité mobile du fil sur le chiffre 16°, posons la pointe d'un crayon sous ce fil au niveau de la ligne verticale correspondant au chiffre 70, lu sur l'échelle inférieure du graphique, puis dirigeons-le vers l'extrémité de la ligne horizontale sur laquelle est posé le crayon, on voit qu'il tombe au milieu de la séparation entre le 20^e et le 21^e millimètre de la graduation verticale; on en conclut immédiatement que la hauteur du clocher est $20^m,50$, plus la hauteur de l'œil de l'observateur au-dessus du sol. Dans cet exemple, les millimètres des deux échelles sont, comme on le voit, comptés comme des mètres. On opérerait exactement de la même façon pour trouver la différence de niveau existant entre deux points dont on connaîtrait la distance horizontale.

G. — *Déterminer l'inclinaison d'une route et sa projection horizontale.* — La mesure d'une pente s'établit exactement comme la hauteur d'une route; mais, comme l'œil de l'observateur est à une certaine hauteur, il faut viser un objet placé devant soi à la même hauteur, la tête d'un guide par exemple, marchant à 20^m ou 30^m, ou un tronc d'arbre sur lequel on aura marqué un point à hauteur de l'œil.

(¹) La première idée de ce graphique viseur m'a été donnée par le petit dessin d'éclimètre portatif sur carton donnant les tangentes des pentes qui figure dans le deuxième Volume du *Cours de Topographie de l'École d'application d'Artillerie* par M. Lehagre (Gauthier-Villars et fils). En essayant de le tracer, je reconnus bientôt qu'une feuille de papier quadrillé était préférable, et qu'elle constituait une excellente Table de tangentes, sinus et cosinus, permettant la solution de nombreux problèmes.

Connaissant la pente d'une route et la distance entre deux points, déterminée par le nombre de pas, il faut connaître la projection horizontale de cette route, puisque c'est seulement cette dernière qu'on doit inscrire sur les cartes, le graphique la donne immédiatement. Supposons que nous ayons parcouru en pays de montagnes 80^m sur un sentier incliné de 30°, quelle est la longueur horizontale à marquer sur la carte?

Avec un décimètre ou un morceau de papier quadrillé dont une extrémité passe par le zéro où est fixé le fil, et l'autre par la graduation 30°, mesurons 80^{mm} sur la ligne oblique allant de 0° à 30°, et à l'extrémité de cette longueur marquons au crayon un point sur le graphique. La ligne verticale descendue de ce point indique, sur le bas du graphique, la projection horizontale cherchée, soit 69^m environ.

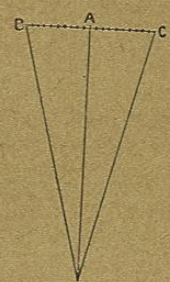
Si l'on avait opéré sur 100^m, l'opération eût été plus simple encore, puisque l'on n'aurait eu qu'à chercher, exactement comme on l'a vu précédemment, le cosinus de 30° : pour une longueur de 100^m, on eût trouvé 86^m.

Emploi du papier quadrillé pour la mesure des angles.

Une Table de tangentes, construite, comme il vient d'être dit, avec un morceau de papier quadrillé, remplace très avantageusement un rapporteur pour la mesure des angles; mais on peut opérer plus simplement encore lorsque les angles à mesurer ou à construire ne dépassent pas 20°. En quelques secondes on peut faire, en effet, un rapporteur fort exact avec un morceau de papier quadrillé. Un cercle tracé avec un rayon de $57^{mm},3$ a une circonférence égale à 360^{mm}, et par conséquent chaque millimètre de cette circonférence vaudra 1°. En se bornant à tracer un arc de cette circonférence ayant 20^{mm} environ de longueur, les divisions millimétriques du papier quadrillé le divisent exactement en degrés. La différence entre la longueur de l'arc de 20° et celle de sa corde ne dépasse pas en effet $\frac{1}{10}$ de millimètre.

Le compas est d'ailleurs totalement inutile pour tracer l'arc

Fig. 57.



précédent. Il suffit (*fig.* 57) de prendre avec les divisions millimétriques du papier une longueur $OA = 57^{mm},3$, puis compter 10^{mm} de A en B, 10^{mm} encore de A en C, et mener BO et CO; chaque division millimétrique du papier quadrillé entre B et C représente 1°. En coupant le secteur OBC, on a un rapporteur qui peut se mettre dans un portefeuille.

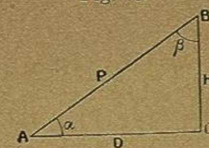
Formules générales de la Topographie.

Pour terminer ce qui concerne le lever des plans, je donne ici les formules de triangles rectangles dont il a été fait un usage à peu près exclusif dans cet Ouvrage. Avec une Table de lignes trigonométriques naturelles, ou notre graphique, elles

permettent la solution de tous les problèmes qui peuvent se présenter dans la Topographie.

Soit H (*fig.* 58) la hauteur au-dessus de l'horizontale AC

Fig. 58.



d'une ligne CB, ou la différence de niveau entre deux points A et B, soit D la distance horizontale entre les deux points A et C, c'est-à-dire la projection de la ligne AB, et P la ligne en pente allant de A en B.

Soient, d'un autre côté, α l'angle de visée du point B au-dessus de l'horizontale de la station, β l'angle complémentaire de α;

Ces diverses grandeurs sont reliées entre elles, comme on le sait, par les rapports suivants :

$$H = D \times \tan\alpha\,(^1) = P \times \sin\alpha,$$

$$D = \frac{H}{\tan\alpha} = P\cos\alpha = H\cot\alpha,$$

$$P = \frac{H}{\sin\alpha} = \frac{D}{\cos\alpha} = \frac{H}{\cos\beta},$$

$$\tan\alpha = \frac{H}{D},$$

$$\sin\alpha = \frac{H}{P},$$

$$\beta = 90 - \alpha.$$

---

(1) C'est ce qu'on exprime habituellement en disant que la différence de niveau entre deux points A et B est égale à leur distance horizontale D multipliée par la tangente de l'angle de visée α. Le rapport $\frac{H}{D}$ de la hauteur H à la distance D, c'est-à-dire la tangente de l'angle α représente la pente par mètre de la route P.

CHAPITRE IV.

TECHNIQUE PHOTOGRAPHIQUE.

1. *Choix des objectifs, détermination de leur qualité et de l'angle qu'ils embrassent.* — Moyen de déterminer la qualité d'un objectif. — Raisons de la supériorité de certains objectifs. — Détermination de l'angle embrassé par un objectif. — 2. *Emballage des glaces. Leur durée. Inconvénients des pellicules.* — Emballage des glaces. — Durée des glaces. — Inconvénients de substituer aux glaces des pellicules et du papier. — Mesure de la rapidité des glaces. — 3. *Opérations photographiques.* — Eclairage. Lumière artificielle. — Variations du temps de pose en fonction du diamètre du diaphragme et de la longueur du foyer. — Examen critique des idées relatives à la nécessité de mesurer exactement la durée des temps de pose. Développement du cliché.

1. — Choix des objectifs, détermination de leur qualité et de l'angle qu'ils embrassent.

Il n'y a que deux sortes d'objectifs que puissent utiliser avantageusement les personnes qui ne font pas du portrait le but spécial de leurs occupations : l'objectif simple et les objectifs symétriques dits *rectilinéaires*. L'objectif simple ne peut être employé pour la reproduction des monuments, parce qu'il déforme un peu les lignes; mais, pour les paysages et les instantanées en plein soleil, il est certainement préférable à toute autre espèce d'objectif. Il a ensuite l'avantage d'être extrêmement économique, et d'une construction si facile qu'il est réussi aisément par tous les opticiens. On peut, de plus, mettre des lentilles de foyers très différents dans la même monture (1).

(1) J'insiste sur ce dernier point, qui paraît parfaitement ignoré de la généralité des opticiens. Deux objectifs simples, l'un de 0m,10 de foyer, l'autre de 0m,30, peuvent être amenés à avoir exactement le même diamètre, sans perdre leur qualité, pour des raisons d'optique trop longues à développer ici. J'en ai fait construire au prix de 5fr la pièce, prix maximum payé par les meilleurs opticiens aux ouvriers qui les fabriquent, de 0m,12 à 0m,30 de foyer, entrant dans la même monture. L'ignorance singulière du public en ces matières peut seule expliquer les différences de prix énormes, qui figurent dans les catalogues des opticiens, entre des objectifs simples de foyers différents. Un objectif simple pour plaque entière ne vaut pas un centime de plus qu'un objectif simple pour quart de plaque.

Il y a pour le photographe un avantage énorme à posséder plusieurs objectifs de divers foyers entrant à baïonnette dans la même monture. On peut alors, sans avoir à se rapprocher des objets, faire varier à volonté leurs dimensions sur la glace dépolie. Quand on peut placer successivement sur une chambre noire quatre objectifs de 0m,10, 0m,20, 0m,30 et 0m,40 de foyer, c'est absolument comme si, avec le même objectif, on allait se placer dans quatre positions différentes dont la dernière serait quatre fois plus rapprochée que la première. Posséder des objectifs de foyers différents, c'est donc avoir le pouvoir de rapprocher de soi à volonté, sans bouger de place, l'objet à photographier.

Qu'il s'agisse d'un objectif simple ou d'un objectif double, la profondeur de son foyer est d'autant plus grande que ce foyer est plus court. Quand donc on doit faire des instantanées nécessitant la reproduction d'objets situés dans des plans très différents, dont le premier doit être très rapproché de l'objectif, il faut choisir des objectifs ayant le plus court foyer possible.

Théoriquement, la même chose est vraie pour un portrait : plus le foyer sera long, plus l'image sera mauvaise, parce que les diverses parties de la tête à reproduire, l'oreille et le nez, par exemple, formant leur image dans des plans correspondant à des foyers conjugués de longueurs différentes, au lieu de la former au foyer principal, subissent des réductions inégales. Un portrait obtenu avec un objectif à long foyer peut être comparé à une carte géographique dont chaque partie serait à une échelle différente. Mais comme un objectif à court foyer ne peut donner une image assez grande, il faut bien, pour les grands portraits, employer de longs foyers. Si les agrandissements étaient pratiquement faciles, on aurait un portrait beaucoup plus exact en produisant d'abord une petite image avec un objectif à court foyer, puis l'agrandissant ensuite au lieu d'obtenir directement une grande image avec un objectif à long foyer.

Excellents pour les paysages, les objectifs simples ne peuvent pas malheureusement être utilisés pour les monuments, à cause de la légère déformation qu'ils produisent. Il faut alors avoir recours aux objectifs dits *rectilinéaires*, formés de deux lentilles symétriques. Ce sont du reste à peu près les seuls en usage aujourd'hui. En voyage, ils servent indifféremment pour le monument, le paysage ou le portrait.

Moyen de déterminer la qualité d'un objectif. — En raison de certaines difficultés de construction, il y a un écart énorme de qualité d'un objectif rectilinéaire à l'autre.

L'appréciation de la valeur d'un objectif, fondée sur l'étude de la photographie qu'il fournit, est chose très vague, parce que trop de facteurs étrangers à l'objectif interviennent; mais il existe un moyen fort simple de comparer deux objectifs entre eux.

Le meilleur objectif est celui qui, muni du plus grand diaphragme possible, exprimé en fonction du foyer, couvre avec netteté la plus grande surface de la glace dépolie. On exprime le diamètre du diaphragme en fonction du foyer, afin de pouvoir comparer des objectifs de foyers fort différents.

Soit, pour fixer les idées, à comparer deux objectifs de foyers

inégaux. On commencera par chercher pour l'un d'eux quel est le plus grand diaphragme avec lequel l'image est nette jusqu'à un point déterminé de la glace dépolie. Supposons que le diamètre de ce diaphragme soit égal au dixième de la longueur du foyer; si le second objectif n'exige qu'un diaphragme ayant un neuvième de son foyer, pour donner une image aussi nette, il est supérieur au premier. Il lui est inférieur, au contraire, s'il faut employer un diaphragme dont le diamètre doit être plus petit que le dixième de la longueur focale.

Raisons de la supériorité de certains objectifs. — Il y a, comme je le disais plus haut, une très grande différence entre les objectifs de divers fabricants; et si cette différence n'apparait pas immédiatement à l'acheteur peu expérimenté, c'est que l'opticien corrige les défauts de l'instrument au moyen d'un diaphragme fixe dissimulé dans la monture, moyen de correction qui accroît beaucoup la pose, et est détestable à tous les points de vue.

On pourrait se demander pourquoi tous les opticiens ne peuvent livrer les mêmes objectifs, puisque, étant donné un objectif parfait, rien n'est théoriquement plus simple que de l'imiter. Prendre au sphéromètre les courbures des lentilles et les copier est chose facile; analyser chimiquement le verre entrant dans la composition des lentilles est facile encore. Malheureusement, en pratique, cette imitation est impossible, parce qu'il existe plusieurs facteurs indépendants de ceux qui précèdent (déformations pendant le polissage, imperfection de ce même polissage, défaut de centrage, etc.), qui échappent aux prévisions de l'opticien. En fait, le même opticien, se servant du même verre et des mêmes courbures, obtient finalement des objectifs de valeurs inégales, et ce n'est que par des essais répétés qu'il arrive, par voie d'éliminations successives, à obtenir un objectif conforme à un type déterminé. Les opticiens qui se sont acquis une grande réputation sont ceux qui éliminent impitoyablement les objectifs imparfaits. C'est exactement de cette façon empirique qu'opère le fabricant d'objectifs pour microscopes. Il faut souvent dépenser un temps considérable pour combiner des séries de lentilles, en apparence identiques, avant de trouver une combinaison qui donne le résultat cherché. C'est pour cette raison que les trois lentilles d'un objectif microscopique, qui représentent à peu près une valeur de 5fr à 6fr, sont vendues une centaine de francs et davantage.

On comprend par ce qui précède que le prix très élevé de certains objectifs anglais ou allemands est justifié. C'est très légitimement, à mon sens, que l'acheteur paye une marque avec laquelle il est sûr d'avoir un objectif parfait. Acheté à un opticien médiocre, le même objectif coûtera trois fois moins cher, mais on aura neuf chances sur dix d'avoir un instrument sans valeur. Si nos opticiens français voulaient se décider à mettre au rebut leurs instruments défectueux, au lieu de chercher à les écouler à des clients peu éclairés, leur réputation arriverait certainement au niveau de celle de leurs confrères étrangers.

Les objectifs rectilinéaires ordinaires suffisent pour tous les cas, sauf celui où, faute de place, on ne peut se reculer suffisamment d'un monument. Il faut alors avoir recours aux objectifs dits *grands angulaires*, en raison du grand angle, 90° généralement, qu'ils embrassent. Ces instruments étant munis de diaphragmes très fins, il est souvent fort difficile de mettre au point les objets; en outre, si la chambre n'est pas parfaitement horizontale, les lignes du monument sont entièrement déformées. C'est surtout avec des objectifs semblables que le pied et le niveau que nous avons décrits sont indispensables.

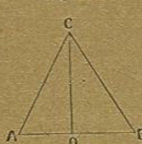
Détermination de l'angle embrassé par un objectif. — Les objectifs qu'on trouve dans le commerce embrassent généralement un angle de 30° à 45°; ceux qui embrassent un

angle supérieur sont les grands angulaires dont je viens de parler.

L'angle qu'embrasse utilement un objectif se lit très facilement sur la glace dépolie, puisque cette dernière représente, comme nous l'avons dit, une Table de tangentes. Si F est la distance focale de l'objectif, n le nombre de millimètres, à partir du centre de la glace, nettement couverts par l'objectif, $\frac{n}{F}$ représente la tangente de la moitié de l'angle embrassé par l'objectif, et il n'y a qu'à chercher l'angle correspondant dans une Table ou sur le graphique que nous avons précédemment donné. En doublant le chiffre trouvé, on aura l'angle embrassé par l'objectif.

Si l'on n'a pas de Table de tangentes ni de papier quadrillé sous la main, on peut, par une construction fort simple, déterminer l'angle embrassé par un objectif. Connaissant la distance focale principale de cet objectif, longueur que l'on déterminerait au besoin d'une façon suffisamment approximative, pour ce cas, en mettant au point un objet éloigné et me-

Fig. 59.



surant la distance comprise entre le diaphragme et la glace dépolie, il n'y a qu'à porter (*fig.* 59), sur une feuille de papier une longueur AB égale au plus grand côté de l'image photographique, élever au milieu de AB une perpendiculaire OC égale à la longueur focale, et à joindre AC et CB. En mesurant l'angle ACB avec un rapporteur, on a l'angle embrassé par l'objectif.

2. — Emballage des glaces. Leur durée. Inconvénients des pellicules.

Emballage des glaces. — Pour le photographe voyageur, l'emballage des glaces est une des opérations les plus importantes, puisque, faute d'un emballage convenable, tout le fruit d'un voyage peut être perdu par accident. Je me souviens toujours de ma première expérience de Photographie en voyage, il y a une quinzaine d'années. J'avais chargé un photographe de profession de m'emballer 50 glaces. Elles furent soigneusement empaquetées dans de jolies boites à rainures. Lorsqu'elles arrivèrent à Lausanne par le chemin de fer, 45 sur 50 étaient brisées. Je dus apprendre le métier d'emballeur, et, dans mon dernier voyage, après 4000 lieues de parcours dans l'Inde, dans des régions privées de routes, après avoir subi des chocs tels que toutes les caisses de bois qui les contenaient furent plus où moins fracturées, une seule glace était légèrement fendue dans un angle, au retour.

On peut, par un emballage convenable, donner aux glaces la solidité de la pierre. Le principe sur lequel s'appuie cet emballage est fort simple et consiste en ceci : qu'un bloc de verre très épais présente une énorme résistance au choc. Transformez vos glaces en bloc épais, elles seront incassables. On y arrive en séparant simplement les glaces par des feuilles de papier de soie, ce qui permet d'en mettre 16 ou 18 dans la boîte où on les vend, et qui en contenait primitivement 12. Il faut en ajouter dans la boîte jusqu'à ce qu'elle ne ferme plus qu'avec difficulté, et remplir les angles avec du coton. Les boîtes, réunies par 6, sont placées de champ dans une boîte en fer-blanc soudée, dont les angles ont été également bourrés avec du varech ou de la ouate, de façon qu'elles ne puissent remuer. Quatre boîtes semblables en fer-blanc sont réunies, toujours de façon à n'avoir aucun jeu, dans une solide caisse en bois, capitonnée à l'intérieur. Il ne faut pas dépasser 400 glaces 13×18 par caisse, au maximum, pour ne pas rendre celle-ci trop lourde.

Lorsque les glaces ont été exposées et qu'on ne peut les développer qu'au retour du voyage, on les remet dans les mêmes boîtes en les emballant de la même façon, mais après avoir eu soin d'écrire au crayon, dans un coin de la couche sensible, le nom du monument ou du site qu'elles représentent. Le trait ne s'efface pas pendant les diverses opérations du développement. Si l'on néglige cette précaution fondamentale, on s'expose à commettre des confusions de toute sorte au retour.

Durée des glaces. — D'après mes expériences personnelles, les glaces de bonnes marques — mais ces bonnes marques sont très rares en France — peuvent se conserver au moins quatre ans; on peut laisser écouler un an entre la pose et le développement.

Inconvénients de substituer aux glaces des pellicules et du papier. — Le jour où l'on aura réussi à substituer du papier ou des pellicules au verre, le problème de la Photographie en voyage aura subi une simplification considérable. Il y a longtemps qu'on y travaille, mais le problème est loin d'être résolu.

Les personnes faisant de la Photographie en Europe peuvent se servir sans trop d'inconvénient des papiers ou pellicules qu'on trouve dans le commerce, et qui, sans valoir le verre, donnent parfois d'assez bons clichés; mais, pour les voyages lointains et sérieux, il faut se garder soigneusement d'emporter avec soi autre chose que des glaces, par la bonne raison que tous ces papiers, pellicules, etc., s'altèrent avec une extrême rapidité. Dans mon voyage aux Indes, j'avais emporté, en dehors de mes glaces, une provision fort coûteuse de pellicules, au sujet desquelles plusieurs journaux scientifiques contiennent encore aujourd'hui des réclames variées. Essayées à Paris, elles m'avaient donné d'assez bons résultats. Après quelques semaines de séjour aux Indes, malgré un emballage très soigné (boîtes de zinc soudées), les pellicules étaient complètement hors d'usage. Au développement, des parties entières se couvraient d'énormes taches grises. Je rapportai cependant une trentaine de clichés obtenus avec ces pellicules, en priant un photographe, qui s'était fait leur propagateur, de les développer lui-même. Deux clichés seulement sur trente donnèrent une image à peu près supportable, mais couverte d'un grain qui rendait l'utilisation du cliché impossible. Des expériences analogues faites en Australie et ailleurs avec les mêmes papiers et pellicules ont donné d'aussi mauvais résultats.

Le papier et les pellicules ne se conservent pas, probablement en raison des réactions qui se font entre le gélatino-bromure et son support. Les glaces, au contraire, se conservent parfaitement, comme je l'ai dit plus haut, au moins quatre ans. Je base cette dernière assertion sur ce fait, que des glaces Monckhoven, achetées avant mon départ pour l'Inde, rapportées avec moi, et exposées après quatre ans d'achat, ont donné les mêmes résultats que le premier jour.

Je ne veux donner ici aucune indication sur le choix des glaces. La qualité de celles fabriquées en France étant très inégale, il faut s'adresser uniquement aux deux ou trois marques les plus connues. On évitera autant que possible de les acheter l'été. Si, par économie, on s'adresse à un fabricant de second ordre en vue d'une grande provision pour un voyage, on évitera soigneusement de lui dire qu'il s'agit d'un voyage lointain. Dans ce dernier cas, en effet, on serait sûr de recevoir tous les vieux fonds de magasin hors d'usage, qu'on n'oserait pas livrer aux clients habituels. Le seul moyen de ne pas avoir de trop gros déboires, si l'on veut se contenter de marques de second ordre, est d'essayer par voie d'épreuve quelques glaces prises au hasard dans différentes boîtes, avant de les emballer définitivement.

Mesure de la rapidité des glaces. — On a toujours intérêt, sauf pour les paysages, à choisir les glaces les plus rapides possible. Cet intérêt apparaît surtout pour la reproduction d'objets en mouvement et pour la reproduction d'intérieurs obscurs. La rapidité des diverses glaces du commerce variant au moins du simple au triple, on conçoit que si l'intérieur d'un monument demande un quart d'heure pour être reproduit avec une glace rapide, il faudra trois quarts d'heure avec une glace lente. On arrive ainsi à perdre un temps considérable et prolonger inutilement son séjour dans une localité.

Il importe donc de savoir apprécier le degré de rapidité des glaces fournies par un fabricant. Les règles données dans les Ouvrages de Photographie pour mesurer cette rapidité reposent sur l'emploi de poses instantanées évaluées en centièmes de seconde. Elles sont aussi peu pratiques que possible et exposent l'opérateur aux plus grossières erreurs.

Il existe cependant un moyen très simple de comparer la rapidité relative de plusieurs glaces. Il n'y a qu'à opérer d'une façon exactement contraire à celle indiquée dans les livres. Au lieu d'opérer en plein soleil ou par une lumière vive, il faut opérer avec un éclairage très faible. Au lieu d'avoir alors à évaluer des centièmes de seconde, chiffres difficiles à apprécier, on aura à évaluer des minutes, quantités faciles à mesurer. Supposons que l'on veuille évaluer la sensibilité relative de glaces de divers fabricants : on exposera l'une d'elles à la chambre noire devant un objet assez peu éclairé pour que la pose exige plusieurs minutes. Deux ou trois essais indiqueront la pose minimum nécessaire, 5 minutes, je suppose, pour obtenir un cliché avec une glace d'une marque donnée. Toutes les glaces qui exigeront moins de 5 minutes seront plus rapides. Celles qui exigeront davantage seront, au contraire, moins rapides. Une différence du simple au double se traduira par 5 minutes de différence dans l'exposition, alors qu'au soleil elle se fût traduite par un ou deux centièmes de seconde seulement. En opérant comme il vient d'être dit, on arriverait à classer rapidement sans erreur la rapidité relative de toute une série de glaces de divers fabricants.

3. — Opérations photographiques.

Éclairage. Lumière artificielle. — Je ne dirai ici que quelques mots de l'éclairage, du choix du sujet, et de la façon de le faire valoir. Ce serait toucher le côté artistique, tout à fait en dehors des limites de cet Ouvrage, et qui ne peut d'ailleurs être traité utilement dans aucun Ouvrage, car il fait partie de choses qui ne s'enseignent guère. La technique de la Photographie peut être apprise sans l'ombre de difficulté par tout le monde. La partie artistique implique des dispositions spéciales, ou au moins une longue éducation antérieure. Il suffit d'examiner des photographies du même monument ou de la même statue obtenues par des opérateurs différents, pour comprendre immédiatement à quel point l'éclairage, le choix du point de vue, la disposition des premiers plans, etc., modifient entièrement les résultats. Mettez-vous devant une glace, et priez un aide de faire tourner une bougie autour de votre tête, en la plaçant à des hauteurs différentes, et, par les changements de physionomie ainsi obtenus, vous verrez aisément combien on peut, par l'éclairage, modifier l'aspect des choses. Je possède un album comprenant douze portraits de la même personne, dont j'ai changé entièrement la physionomie, par des artifices d'éclairage et de pose, au point que les individus non prévenus croient qu'il s'agit de sujets différents.

En ce qui concerne les monuments, la seule règle générale à observer est qu'ils soient éclairés latéralement et jamais de face. Le soleil doit donc être à leur droite ou à leur gauche. On n'obtient que rarement de bons résultats lorsqu'on ne les photographie pas en plein soleil.

Lorsqu'il s'agit de reproduire des objets placés dans des endroits trop obscurs, il faut faire usage d'un éclairage artificiel. Le meilleur est celui obtenu avec le magnésium, à condition de ne pas chercher à éclairer de trop grandes surfaces. Un fil de magnésium brûlant dans un temple souterrain éclaire bien, pour l'œil, tout l'intérieur du temple, mais il ne l'éclaire pas suffisamment pour l'appareil photographique : il faut donc se borner à reproduire les objets, statues, bas-reliefs placés très près de la source lumineuse.

L'emploi de lampes pour brûler le magnésium est totalement inutile; il suffit de tendre de chaque côté de l'objet à reproduire un fil de fer ou de cuivre le long duquel on pend quelques fils de magnésium qu'on allume successivement avec une allumette. On s'arrange de façon à ce qu'un des côtés de l'objet soit plus éclairé que l'autre. Avec un objectif de $0^{m},25$ environ de foyer non diaphragmé, une minute de pose est très largement suffisante pour reproduire une statue.

Variations du temps de pose en fonction du diamètre du diaphragme et de la longueur du foyer. — Personne n'ignore que les temps de pose, en Photographie, sont proportionnels aux carrés des longueurs focales des objectifs et inversement proportionnels aux carrés du diamètre de l'ouverture de l'objectif, c'est-à-dire du diaphragme. Si F est le foyer d'un objectif, D le diamètre du diaphragme, les variations de $\frac{F^2}{D^2}$ représenteront les variations de l'intensité lumineuse sur le fond de la chambre noire, et par conséquent les variations de la pose.

La formule précédente peut être traduite simplement en disant que la rapidité d'un objectif varie en raison inverse du carré du diaphragme exprimé en fonction de la longueur du foyer.

En exprimant ainsi le diaphragme en fonction de foyer, on peut arriver à comparer des objectifs de foyers quelconques, et égaliser absolument leur intensité lumineuse. On peut donc dire d'une façon générale que tous les objectifs, munis de diaphragmes dont le diamètre est exprimé par la même fraction de la longueur focale, ont exactement la même rapidité. Un objectif ayant par exemple $0^m,10$ de foyer, et muni d'un diaphragme ayant pour diamètre le dixième de cette longueur, soit $0^m,01$, a la même rapidité qu'un objectif ayant $0^m,50$ de foyer et muni d'un diaphragme ayant également pour diamètre le dixième de cette longueur, soit $0^m,05$.

Au point de vue pratique, ce que le photographe a intérêt à connaître, c'est dans quelles proportions les diaphragmes de son objectif feront varier la pose. Or, les variations qu'ils produisent sont considérables. Soit, par exemple, un objectif de $0^m,10$ de foyer muni de diaphragmes dont les ouvertures respectives sont 25^{mm}, 10^{mm} et 5^{mm}, et recherchons quelle est la rapidité relative de chacun d'eux.

Si nous exprimons l'ouverture de ces divers diaphragmes en fonction du foyer, nous obtiendrons les nombres suivants :

$$\frac{100}{25} = 4, \qquad \frac{100}{10} = 10, \qquad \frac{100}{5} = 20.$$

Les temps de pose étant en raison inverse du carré des ouvertures des diaphragmes, nous n'avons qu'à élever au carré ces nombres 4, 10, 20, pour avoir la durée relative de pose. Ces durées seront donc 16, 100, 400.

Le plus petit de ces nombres, 16, représentant la durée de la pose avec l'objectif ayant le plus grand diaphragme, nous le prendrons pour unité, et en divisant par ce chiffre les autres nombres 100 et 400, nous aurons la durée des poses relatives. Nous obtiendrons ainsi les chiffres 1, 6 et 25. Si donc nous posons, avec notre diaphragme de 25^{mm}, un temps quelconque, une seconde, par exemple, nous devrons poser 6 fois plus, avec celui de 10^{mm}, et 25 fois plus avec celui de 5^{mm}.

Voici, du reste, pour un objectif rectilinéaire de foyer quelconque, les variations de pose qu'on peut obtenir en se servant de trois des diaphragmes qui y sont annexés, le plus grand, le moyen et l'avant-dernier. Pratiquement, le plus

grand des diaphragmes dont on puisse se servir avec un rectilinéaire a pour diamètre $\frac{1}{8}$ du foyer (soit pour un objectif de $0^m,28$ de foyer $\frac{28^c}{8} = 3^c$), et le plus petit $\frac{1}{32}$ du foyer (soit pour le même objectif $\frac{280^{mm}}{32^{mm}} = 9^{mm}$ environ). On aura alors, en prenant pour unité le temps de pose avec le plus grand diaphragme,

		Durée de la pose.
Avec le grand diaphragme.......	$= \frac{F}{8}$	1
Avec le diaphragme moyen......	$= \frac{F}{16}$	4 fois plus.
Avec l'avant-dernier diaphragme.	$= \frac{F}{32}$	16 fois plus.

Comme conclusion, nous pouvons dire qu'avec les rectilinéaires actuellement en usage, — les objectifs doubles pour portraits et les grands angulaires étant laissés de côté, — la pose pour le même objet sera, avec l'avant-dernier diaphragme, seize fois plus longue qu'avec le plus grand.

Si l'on ne devait jamais opérer qu'en plein soleil, les calculs précédents seraient sans intérêt pratique, parce que, même en employant les plus petits diaphragmes, la pose est toujours suffisante; mais quand on opère à l'ombre, et surtout dans des intérieurs, il en est tout à fait autrement, et l'on pourrait s'exposer dès lors à des erreurs grossières d'évaluation et par conséquent à ne pas assez poser. Supposons, par exemple, un intérieur assez peu éclairé — et ils ne sont pas rares — pour exiger une exposition de 2 minutes avec le plus grand des diaphragmes mentionnés dans le tableau précédent, avec le plus petit la pose devra être de 32 minutes. Il faut donc, quand on opère dans des intérieurs obscurs, employer des glaces très rapides, renoncer aux trop petits diaphragmes et, par conséquent, sacrifier un peu de la netteté pour ne pas être obligé d'avoir des poses d'une longueur excessive, et perdre ainsi un temps précieux.

Examen critique des idées relatives à la nécessité de mesurer exactement la durée des temps de pose. — Un principe de Photographie, que nous voyons reproduit dans les Ouvrages les plus récents et jusque sur les prospectus qui accompagnent certaines boîtes de plaques au gélatino-bromure, est que la durée du temps de pose a une importance fondamentale. Pose insuffisante, cliché perdu; pose trop considérable, cliché voilé et également perdu : voilà ce qui se répète partout. Pour tous les photographes de profession, l'appréciation de la durée du temps de la pose est le point capital essentiel de toute reproduction photographique. « C'est par là qu'on pèche quatre-vingt-dix-neuf fois sur cent, » écrit un photographe distingué, M. Vidal, dans un Ouvrage tout récent.

Bien que particulièrement défiant à l'égard de ce qui s'imprime dans les livres de Photographie, je confesse avoir cru pendant assez longtemps qu'il était tout à fait nécessaire d'apprécier exactement la durée de la pose, et je me demandais par quel étonnant mystère physiologique une chose aussi difficilement appréciable à l'œil que de faibles variations d'intensité lumineuse pouvait être si aisément appréciée par les photographes. J'enviais beaucoup les gens doués de cette admirable faculté que je me sentais tout à fait impuissant à acquérir. J'ai perdu autrefois considérablement de plaques en cherchant à poser juste le temps nécessaire, et je présume que la valeur des plaques qu'on a perdues dans le monde en tâchant d'obtenir une pose exacte doit se chiffrer aujourd'hui par millions.

Mon éducation photographique, au point de vue de la durée de la pose, a été faite le jour où j'ai constaté que tout ce qui se lisait dans les Ouvrages photographiques à ce sujet était tout à fait dépourvu de fondement, et que, dans l'immense majorité des cas, l'appréciation de la durée de l'exposition de la glace était tout ce qu'il y a de plus facile, puisque des erreurs de pose de vingt fois, de trente fois, ou même bien

davantage, étaient parfaitement insignifiantes lorsqu'on faisait usage d'un développement convenable. Le seul point important est de ne pas rester en dessous du minimum de pose nécessaire, car rien ne peut corriger au développement l'insuffisance de pose. Mais comme — en dehors des reproductions d'intérieur — ce minimum est toujours facile à dépasser, le photographe est toujours sûr que son cliché aura une pose convenable.

La marge laissée à l'opérateur est très grande en cas de monuments, portraits ou paysages : une pose de 2, de 20 ou de 30 secondes, donnera une image à peu près identique, si l'on traite le cliché comme nous l'indiquerons plus loin.

Il n'y a qu'un seul cas, celui des intérieurs obscurs à reproduire, où il y aurait intérêt évident, afin de ne pas gaspiller son temps, à connaître exactement la durée de l'exposition nécessaire. Supposons que pour reproduire un intérieur obscur il faille cinq minutes, il n'y aura pas d'inconvénient, au point de vue de l'image, à poser une heure ou une heure et demie, mais dans ce dernier cas on perdra un temps énorme. Malheureusement, ce cas unique, où une indication serait utile, est précisément le seul où aucune règle puisse être donnée. On peut, mais ceci est une indication très approximativement grossière, se baser sur l'éloignement de la source lumineuse pour en déduire la durée de la pose. L'intensité lumineuse variant en raison inverse du carré des distances, si 10 secondes suffisent pour un objet situé près d'une fenêtre, à 10^{m} la pose devra être 100 fois plus forte, soit 1000 secondes, c'est-à-dire 16 minutes environ. Malheureusement, je le répète, cette indication est fort grossière; il faudrait faire intervenir dans le calcul la dimension de l'ouverture éclairante, la surface des objets éclairés, l'incidence des rayons lumineux, etc.

D'après ce qui précède, il n'y a aucun intérêt à donner des Tables de temps de pose suivant la nature des objets, puisqu'il n'y a pas de règle pour les objets très mal éclairés, et que, pour les objets bien éclairés, une pose quelconque, pourvu qu'elle ne soit pas trop faible, suffit. Il peut être intéressant cependant, pour un débutant, de savoir à peu près la pose à donner dans certains cas déterminés. La Table qui va suivre indique, pour un objectif quelconque muni d'un diaphragme déterminé, les poses minimum qu'on peut adopter pour des plaques au gélatinobromure de rapidité moyenne.

A. — *Natures mortes photographiées avec un objectif diaphragmé au $\frac{1}{30}$ du foyer :*

Grandes vues d'ensemble, en plein soleil, 3 secondes;

Régions ombragées, dessous de bois, détails de monuments, 10 secondes.

Quintupler ces chiffres par un temps gris et sombre. Quand on opère le matin ou le soir, il faut poser le double qu'au milieu de la journée.

B. — *Objets animés photographiés avec un objectif rectilinéaire non diaphragmé :*

Portraits à l'ombre et en plein air, 5 secondes;

Portraits dans une chambre tout près d'une fenêtre, 10 secondes.

Développement du cliché. — Les formules de développement ne manquent pas dans les livres; elles sont toutes excellentes pour les clichés qu'on sait, par expérience, avoir posé un temps suffisant, par exemple des portraits faits dans un atelier; mais elles sont toutes insuffisantes en ce qui concerne les sujets pour lesquels on ignore si la pose a été exacte. *Il ne peut exister de formule générale de développement, parce que chaque cas différent nécessite une formule différente.*

Deux principes très simples, qu'on chercherait vainement dans les Ouvrages de Photographie, doivent régler le développement. Leur application permet une réussite constante.

1° Poser, comme nous l'avons dit, un temps toujours supérieur au temps jugé suffisant, une pose trop forte n'ayant aucun inconvénient quand le développement est bien conduit;

2° N'ajouter la partie active du développement, ammoniaque ou carbonate de soude, que graduellement suivant la venue de l'image.

Ceci posé, voici le mode de développement le plus simple. Il n'exige, comme on le verra, ni balance, ni vase gradué. On prépare d'avance — la conservation de ces liquides étant indéfinie — trois flacons, l'un contenant une solution de bromure de potassium dans l'eau à 10 pour 100 environ, l'autre une solution d'acide pyrogallique dans l'alcool, à 10 pour 100 également, le troisième de l'ammoniaque, tel qu'on le vend chez les marchands de produits chimiques.

La glace étant placée dans la cuvette, on met dans un verre la quantité d'eau nécessaire pour la recouvrir, et l'on y ajoute ensuite une demi-cuillerée à café de la solution de bromure, et autant de la solution d'acide pyrogallique, puis avec un compte-gouttes (¹) deux gouttes seulement d'ammoniaque. On verse le liquide sur la glace et l'on attend environ une minute.

Si l'image apparaissait de suite, c'est que la pose aurait été énormément trop longue, et il faudrait ajouter quelques centimètres cubes de bromure au liquide. Si, ce qui est le cas le plus fréquent, l'image ne vient pas, on renverse le liquide dans le verre et l'on y ajoute encore deux gouttes d'ammoniaque. On recommence cette addition successive d'ammoniaque jusqu'à ce que l'image soit arrivée au point voulu. L'ammoniaque fait apparaître les détails. Si l'on trouve que l'image manque d'intensité, on ajoute un peu d'acide pyrogallique. Un excès d'acide pyrogallique est sans inconvénient,

(¹) Les plus simples sont les compte-gouttes à poires en caoutchouc, tels que les compte-gouttes Limousin, qu'on trouve chez tous les fabricants de produits chimiques.

un excès de bromure retarde simplement le développement, un excès d'ammoniaque perd sans rémission le cliché. Le point essentiel est donc d'ajouter l'ammoniaque goutte à goutte, afin de ne pas dépasser la dose nécessaire [1].

Dans les cas de portraits faits dans un atelier qu'on connaît, avec un objectif également connu, et où l'on sait par expérience la pose nécessaire, on va plus vite en préparant son bain d'avance (2cc de la solution d'acide pyrogallique, 1cc de bromure, 5 gouttes d'ammoniaque, pour 100gr d'eau).

M. Londe opère d'une façon encore plus simple. Il met dans un verre une pincée d'acide pyrogallique, la quantité d'eau nécessaire, et un peu d'ammoniaque. C'est ainsi qu'il a développé à la Salpétrière quatre cent vingt clichés de notre collection de photographies prises dans l'Inde et que, faute de place et d'un nombre de cuvettes suffisant, nous n'aurions pu développer dans notre laboratoire, sans une perte de temps considérable. Son procédé est très bon pour les personnes expérimentées, mais expose celles qui ne le sont pas à perdre inutilement beaucoup d'acide pyrogallique, produit fort coûteux.

Les lavages, fixages, séchages, etc., se pratiquent comme cela est indiqué dans tous les livres. J'indiquerai seulement ici qu'on peut, dans les pays où l'eau est rare, l'économiser

[1] C'est de cette façon que j'ai pu développer, sans en perdre un seul, trente clichés faits en Algérie par M. M. Firmin-Didot, qui avait simplement, avant son départ, appris à mettre une chambre noire au point, et à qui j'avais intentionnellement indiqué des temps de pose beaucoup trop forts. Cette surexposition excellente avec la méthode exposée plus haut, n'aurait rien valu pour les procédés de développement ordinaires, et en opérant avec les formules habituelles tous les clichés eussent été perdus. C'est ce qui arriva précisément pour quelques-uns de ceux que je viens de mentionner. Dix clichés de la collection précédente avaient d'abord été confiés à un très habile photographe d'Alger, qui leur appliqua le développement convenant aux glaces ayant suffisamment posé : tous furent voilés et perdus par suite de l'excès de pose.

aisément en plaçant tous les clichés sortis de l'hyposulfite dans une cuvette à rainures verticales pouvant contenir 12 clichés. Quand les clichés sont terminés, on renouvelle l'eau ; on la renouvelle encore au bout d'une demi-heure, et une troisième fois au bout d'une heure. Avec 6 litres d'eau on lavera ainsi parfaitement 12 clichés 13×18, ce qui serait totalement impossible avec les méthodes ordinaires.

Le lavage des glaces, après qu'elles sont sorties de la solution développatrice, est entièrement inutile ; mais pour que le bain d'hyposulfite ne jaunisse pas trop vite, on peut les passer rapidement dans une cuvette plate pleine d'eau qui suffit pour en laver une douzaine.

Le développement à l'ammoniaque ayant l'inconvénient de salir les mains et de jaunir les clichés quand la solution d'hyposulfite n'est pas renouvelée assez fréquemment, beaucoup de personnes préfèrent remplacer l'ammoniaque par du carbonate de soude additionné d'un peu de sulfite de soude. On opère exactement comme dans le cas précédent. Voici, du reste, les détails de l'opération.

On prépare une solution d'acide pyrogallique et de bromure à 10 pour 100, comme précédemment, une solution saturée de carbonate de soude ordinaire (cristaux de soude des épiciers) et une solution également saturée de sulfite de soude.

Dans la quantité d'eau nécessaire pour couvrir la glace (environ 100cc par cliché 13×18), on met une cuillerée à café environ de la solution d'acide pyrogallique, autant de celle de sulfite, et moitié environ de celle de bromure. Lorsque la glace a été immergée un instant, on ajoute le carbonate de soude, comme nous l'avons indiqué pour l'ammoniaque, mais en procédant par centimètres cubes à la fois, au lieu de procéder par gouttes. De même que nous l'avons vu pour le développement à l'ammoniaque, c'est par des additions successives de carbonate de soude et au besoin d'acide pyrogallique qu'on amène le cliché au ton voulu. Le carbonate de soude donne les détails, l'acide pyrogallique, la vigueur. Le sulfite empêche l'image de jaunir; sa proportion peut être augmentée sans inconvénient.

Pour les instantanés, où il n'y a jamais à craindre d'excès de pose, on procède un peu autrement. On ajoute dans le verre contenant la quantité d'eau nécessaire deux cuillerées à café de la solution de carbonate de soude, et une cuillerée de celle de sulfite (sans bromure ni acide pyrogallique) ; on verse sur la glace, puis au bout d'une minute on remet le liquide dans le verre et l'on ajoute une cuillerée à café de la solution d'acide pyrogallique. Si l'image n'est pas suffisamment venue, on la fait monter par additions successives d'acide pyrogallique et de carbonate de soude.

Pour les personnes développant leurs clichés en voyage, le carbonate de soude doit être préféré à l'ammoniaque, parce qu'il permet de n'emporter avec soi que des substances solides.

On a proposé récemment de remplacer l'acide pyrogallique par l'hydroquinone. Ce mode de développement ne donne pas des résultats supérieurs à ceux obtenus par les méthodes précédentes. Il coûte fort cher et fait perdre un temps considérable, l'image venant avec une extrême lenteur. Voici cependant, pour les personnes qui voudraient en faire usage, la meilleure formule à employer :

Dans un flacon de la capacité d'un litre, mettre :

Sulfite de soude	200gr
Hydroquinone	30

Ajouter ensuite la quantité d'eau nécessaire pour remplir le litre.

On chauffe à 70° environ pour hâter la solution.

Pour développer, on met la glace dans une quantité suffisante du bain précédent, puis on ajoute par petites portions, comme il a été dit plus haut, de la solution de carbonate de soude. En cas d'excès de pose, on ralentirait la venue de l'image en ajoutant quelques centimètres cubes de la solution de bromure à 10 pour 100.

CHAPITRE V.

PHOTOGRAPHIE INSTANTANÉE.

1. *Considérations mathématiques sur les images dites instantanées.* — Nécessité de soumettre au calcul les facteurs qui font varier la vitesse de déplacement des images sur la glace photographique. — Ce qu'il faut entendre par images instantanées. — Influence des divers facteurs pouvant modifier la vitesse apparente des objets. — 2. *Détermination mathématique du temps pendant lequel un objectif doit être découvert pour reproduire un objet en mouvement.* — Etablissement des formules embrassant les quatre variables qui peuvent influencer la vitesse d'une image sur la glace dépolie. — Conséquences pratiques déduites des formules. — 3. *Mesure de la vitesse des obturateurs.* — Construction très simple d'un instrument marquant les millièmes de seconde et permettant de mesurer la vitesse des obturateurs. — 4. *Relations entre la vitesse d'un obturateur et le temps pendant lequel la lumière agit sur la glace.* — Le temps pendant lequel la lumière agit sur la glace sensible diffère du temps pendant lequel l'obturateur laisse passer la lumière. Rapport de ces deux valeurs. — 5. *Choix des obturateurs.* — Vitesse que les obturateurs ne peuvent pratiquement dépasser. — 6. *Choix des chambres noires pour Photographie instantanée.* — Imperfections des appareils actuels. Difficultés de leur construction. — 7. *Résumé pratique des règles relatives à la Photographie instantanée.* — Règles relatives à la distance. — Dimensions possibles de l'image.

1. — Considérations mathématiques sur les images dites instantanées.

Nécessité de soumettre au calcul les facteurs qui font varier la vitesse de déplacement des images sur la glace photographique. — Bien que l'étude de la Photographie instantanée paraisse sortir un peu des limites de cet Ouvrage, elle y rentre au contraire tout à fait, car il n'est pas rare d'avoir à photographier un monument entouré d'une foule en mouvement, et de vouloir le reproduire sans attirer l'attention. Pour les photographies d'ouvrages militaires, aucune autre méthode ne saurait la remplacer ([1]).

Laissant de côté le développement des clichés instantanés traité plus haut, je me bornerai à donner dans ce Chapitre, des règles très simples relatives aux rapports qui doivent exister entre la vitesse des objets, le foyer des objectifs et la rapidité des obturateurs. Ces règles, on les chercherait vainement dans les Ouvrages les plus récents. Elles ont pourtant une importance capitale, car c'est faute de les observer que les échecs en Photographie instantanée sont si nombreux.

Ces échecs répétés, les photographes les attribuent toujours au défaut de vitesse de leurs obturateurs : il en résulte qu'ils sont naturellement conduits à chercher des obturateurs de plus en plus rapides ; ce qui ne peut avoir pour résultat que de donner des épreuves de plus en plus mauvaises au point de vue des détails et du modelé. Neuf fois sur dix cependant leurs mécomptes proviennent uniquement de ce qu'ils ignorent qu'il existe des relations mathématiques reliant ensemble la vitesse que doit avoir un obturateur, la rapidité de l'objet à reproduire, sa distance à l'objectif et le foyer de ce dernier. Il y a des cas où un objet se mouvant très lentement ne peut être reproduit qu'avec un obturateur extrêmement rapide, et d'autres où un objet se mouvant très vite peut être reproduit au contraire avec un obturateur très lent. Opérant sans règle, le photographe ne peut réussir que

([1]) Pour ne citer qu'un cas entre mille de l'utilité pratique de la Photographie instantanée, je ferai remarquer que la photographie instantanée d'un chantier, exécutée deux ou trois fois par jour, pendant toute la durée de la construction, donnerait sur l'avancement des travaux, le nombre des ouvriers employés, leur façon de travailler, etc., des renseignements beaucoup plus exacts que les rapports d'ingénieurs les plus complets.

si, par hasard, il s'est trouvé dans les conditions de vitesse requises; tandis qu'en opérant avec méthode, c'est-à-dire en effectuant des calculs qui ne lui demanderaient pas deux minutes, il saurait toujours à quelle distance il doit approximativement se mettre pour reproduire convenablement un corps quelconque : cheval au galop, homme au pas, voiture en mouvement, etc.

J'indiquerai plus loin comment on peut mesurer la vitesse d'un obturateur, les indications des constructeurs portées sur leurs catalogues étant de fantaisie pure. Il ne s'agit pas de graduer les vitesses d'un obturateur en centièmes de seconde, ce qui serait inutile, mais simplement de savoir une fois pour toutes quelles sont les deux ou trois vitesses $\frac{50}{100}$, $\frac{10}{100}$, $\frac{1}{100}$ de seconde, par exemple, que l'instrument peut donner. J'espère que les considérations qui vont suivre montreront aisément la nécessité absolue de cette graduation, dont les photographes les plus instruits ne paraissent même pas soupçonner aujourd'hui l'importance ([1]).

Ce qu'il faut entendre par images instantanées. — Pour

([1]) C'est ainsi que dans l'excellent opuscule *la Photographie instantanée*, publié en 1886 par M. Londe, l'opérateur qui connaît assurément le mieux la pratique des photographies instantanées, et auquel on doit un très bon Traité de Photographie, on lit, à propos des obturateurs, que « leur graduation ne serait d'aucune utilité, car rien ne peut nous dire la pose que nous devons employer en Photographie instantanée, et il faudra se fier plutôt à son habitude et à son expérience. »

On peut également, sans doute, se fier à son habitude et à son expérience pour mesurer avec la main la température d'un liquide, mais le plus vulgaire des thermomètres sera toujours plus exact; surtout quand la construction de ce thermomètre est extrêmement facile. Nous verrons plus loin que rien n'est plus aisé, contrairement à l'opinion de l'auteur que je viens de citer, que de déterminer par le calcul la pose qu'il faut employer pour photographier un objet en mouvement.

bien comprendre la condition de production des images instantanées, recherchons d'abord ce qu'il faut entendre par image instantanée. L'appareil photographique n'ayant naturellement pas la propriété de rendre immobile un corps animé d'un mouvement continu, ce corps aura toujours le temps de bouger pendant l'exposition de la glace, si courte qu'on la suppose, mais si son déplacement a été trop faible pour avoir altéré la netteté de l'image, il en sera pour nous exactement comme si le corps était resté immobile. Pour obtenir une photographie instantanée, nous devons donc nous placer dans des conditions telles que le déplacement de l'objet en mouvement soit trop faible pour être perceptible sur l'image, et par conséquent que cette dernière paraisse immobile.

Le premier point que nous ayons à considérer est celui-ci : quelle est l'étendue du déplacement que peut subir une image sur la glace dépolie, et par conséquent sur la glace sensible, sans cesser de paraître immobile.

Pour simplifier l'explication, réduisons cette image à une ligne subissant un déplacement latéral. Un calcul facile à vérifier par l'observation démontre aisément que deux lignes se confondent à l'œil nu quand leur écartement ne dépasse pas $\frac{1}{10}$ de millimètre. La ligne en mouvement que nous supposions à l'instant paraîtra donc immobile tant qu'elle n'aura pas subi sur la glace dépolie un déplacement de plus de $\frac{1}{10}$ de millimètre. *Une photographie instantanée est donc simplement la photographie d'un objet dont l'image n'a pas subi pendant la pose un déplacement latéral de plus de $\frac{1}{10}$ de millimètre.*

Influence des divers facteurs pouvant modifier la vitesse apparente des objets. — La vitesse réelle des objets étant fort différente de leur vitesse apparente sur la glace dépolie, nous devons rechercher l'action des divers facteurs qui font varier cette dernière.

Cette vitesse apparente dépend de quatre facteurs fondamentaux : 1° la distance de l'appareil photographique à l'objet en mouvement; 2° la longueur focale de l'objectif; 3° la direction du mouvement de l'objet relativement à l'axe optique de l'objectif; 4° la vitesse de l'objet.

De ces quatre facteurs, un seul, la rapidité de l'objet en mouvement, est considéré comme important par les photographes ; il est aisé pourtant de prouver que les autres facteurs ont une importance bien autre. Je dis bien autre, parce que soit en s'éloignant, soit en changeant la longueur focale de l'objectif, soit en modifiant la direction de l'axe optique relativement à la direction du mouvement de l'objet, l'opérateur peut faire varier à volonté — quelque chimérique que la chose puisse paraître au premier abord — la vitesse apparente de l'objet en mouvement. L'opérateur maître de toutes les ressources de son art peut accélérer ou ralentir le mouvement apparent d'un objet animé d'une vitesse déterminée au point d'amener, par exemple, une tortue en marche à avoir, sur la glace dépolie, la vitesse d'un train de chemin de fer.

Pour mettre en évidence ce qui précède, considérons d'abord le premier des facteurs que nous avons énumérés, c'est-à-dire la distance de l'appareil photographique à l'objet en mouvement. Je vais prouver qu'en faisant varier convenablement les distances, l'image d'un individu marchant au petit pas peut suivre exactement sur la glace dépolie de la chambre noire l'image d'un train de chemin de fer.

Supposons, pour fixer les idées, que l'objectif ait $0^m,10$ de foyer, la glace dépolie $0^m,10$ de côté, et que le champ embrassé par l'instrument soit de 10^m à la distance de 10^m. Plaçons à cette distance de 10^m un individu que nous inviterons à marcher, parallèlement à la glace dépolie, avec une vitesse de 1^m par seconde. Les 10^m embrassés par l'objectif, et par conséquent les $0^m,10$ de la glace dépolie seront évidemment parcourus en 10 secondes.

Admettons maintenant que parallèlement à l'individu précédent, passe à 100m de l'objectif un train de chemin de fer animé d'une vitesse de 10m par seconde. Le champ de l'appareil étant 10m à 10m sera de 100m à 100m. Les 0m,10 de largeur de la glace dépolie embrassent donc maintenant 100m. Le train parcourant 10m par seconde, ces 100m seront parcourus en 10 secondes. Les 0m,10 de la glace dépolie seront donc parcourus comme précédemment en 10 secondes. L'homme, au premier plan, et la locomotive, au dernier, auront par conséquent exactement la même vitesse apparente sur la glace dépolie. Pour photographier l'homme marchant au petit pas ou le train de chemin de fer, l'obturateur devra avoir évidemment la même vitesse.

Nous venons de montrer l'influence du premier des facteurs que nous avons énumérés : la distance de l'appareil à l'objet. Celle de notre second facteur, la longueur focale, se démontrerait par l'argumentation qui précède. Nous avons répété plusieurs fois, en effet, que faire varier la longueur focale d'un objectif revenait finalement à faire varier la distance qui sépare l'appareil photographique de l'objet à reproduire.

Le troisième facteur, la direction du mouvement de l'objet relativement à l'axe optique de l'objectif, a une influence également considérable. Étant donné un objet en mouvement, on peut, en effet, sans rien changer à la distance dont on en est séparé, mais simplement en modifiant l'angle que fait l'axe optique avec la direction du mouvement, réduire énormément la vitesse que doit posséder l'obturateur pour donner une bonne image.

Pour mettre ce dernier point en évidence, supposons qu'un opérateur, ayant entre les mains un objectif de 0m,20 de foyer, doive faire la photographie instantanée d'une locomotive parcourant 20m par seconde. On lui laisse choisir sa position, mais sous la condition qu'il se maintienne exactement à 100m du point où doit passer la locomotive ; et l'on demande, connaissant la direction du mouvement de cette locomotive, quelle sera la vitesse maxima et la vitesse minima que pourra avoir l'obturateur dans les diverses positions que l'opérateur est libre de choisir.

7

La distance au point par où passera la locomotive devant être toujours de 100m, il est évident que les seules positions que le photographe puisse choisir seront sur une circonférence décrite autour de la locomotive avec un rayon de 100m.

Puisque l'on demande l'écart maximum de vitesse que peut avoir l'obturateur, nous n'avons que deux positions extrêmes à considérer, celle où la vitesse de l'obturateur devra être la plus grande et celle où elle pourra être la plus petite.

Des considérations géométriques élémentaires montrent que le déplacement de la locomotive sur la glace dépolie pendant l'unité de temps, et par conséquent la vitesse à donner à l'obturateur, sera maxima lorsque la glace dépolie sera placée dans une position telle que la locomotive se déplace parallèlement à cette glace, et fasse par conséquent un angle de 90° avec l'axe optique de l'appareil. Les mêmes considérations géométriques prouvent que le déplacement sur la glace dépolie sera au contraire minima, lorsque la locomotive se déplacera de façon à ce que la direction du mouvement soit perpendiculaire à la glace dépolie, c'est-à-dire parallèle à l'axe optique.

Voyons maintenant quelle devra être la vitesse de l'obturateur dans ces deux cas. En appliquant une formule que nous établissons plus loin, on voit que si la locomotive fait 20m par seconde, et que l'objectif ait 0m,20 de foyer, il faut pour qu'elle ne se déplace pas sur la glace dépolie de plus de $\frac{1}{10}$ de millimètre pendant la pose, lorsqu'elle marche parallèlement à cette glace, que l'objectif ne soit démasqué que pendant $\frac{1}{400}$ de seconde. C'est là une vitesse énorme que ne possède actuellement aucun des obturateurs vendus dans le commerce.

Plaçons maintenant l'objectif à 90° de la position qu'il occupait précédemment, c'est-à-dire de façon à ce que la locomotive, au lieu de se déplacer parallèlement à la glace dépolie, se meuve parallèlement à l'axe optique, c'est-à-dire vienne directement sur l'opérateur. Par le fait seul que nous avons changé l'angle que faisait l'axe optique avec la direction du mouvement, la pose va pouvoir être allongée au point que le plus lent des obturateurs sera maintenant suffisant pour reproduire nettement notre locomotive, que précédemment les plus rapides obturateurs n'auraient pu permettre d'obtenir.

Afin de pouvoir traduire en chiffres la vitesse de l'obturateur, admettons que la locomotive qui fait 20^m par seconde ait une hauteur d'environ 5^m, le foyer de l'objectif employé $0^m,20$, et la distance à l'objectif toujours 100^m.

D'après une des formules que nous avons exposées ailleurs, $h = d \times \frac{H}{D}$, nous aurons pour la hauteur de la locomotive sur la glace dépolie, à 100^m, $h = 0^m,20 \times \frac{5}{100} = 10^{mm}$. La locomotive continuant à avancer sur l'opérateur, avec la vitesse de 20^m par seconde, au bout d'une seconde elle sera à 80^m, sa hauteur sera alors $h = 0^m,20 \times \frac{5}{80} = 12^{mm},5$.

En une seconde l'image aura donc grandi sur la glace de $2^{mm},5$ (1). En $\frac{1}{25}$ de seconde elle n'aura grandi que d'environ la vingt-cinquième partie de $2^{mm},5$, soit $\frac{1}{10}$ de millimètre, ce qui est précisément, comme nous l'avons dit, la limite des variations où l'image paraît immobile. Un obturateur qui découvrira l'objectif pendant $\frac{1}{25}$ de seconde, c'est-à dire le plus lent des obturateurs instantanés, aura par conséquent une vitesse suffisante.

(1) Les calculs que je donne dans ce Paragraphe n'ont, bien entendu, aucun caractère général et doivent être répétés pour chaque cas particulier.

On voit aisément, d'ailleurs, que quand l'objet en mouvement est perpendiculaire à la glace dépolie, les variations de grandeur de l'image sur cette glace, pour un déplacement déterminé, dépendent surtout de la distance à laquelle l'objet se trouve de l'appareil. Avec un objectif de $0^m,20$ de foyer, notre locomotive de 5^m de hauteur aurait, à 100^m, 10^{mm} de hauteur; à 90^m, 11^{mm}. A 30^m elle aurait 33^{mm} de hauteur et à 20^m, 50^{mm}. On voit donc que, dans le premier cas, pour une différence de 10^m, l'image ne s'est agrandie que de 1^{mm}, tandis que dans le dernier, pour une même différence de 10^m, elle s'est accrue de 17^{mm}. Ces variations de grandeur suivant la distance peuvent être graphiquement représentées par une hyperbole équilatère.

Ainsi donc, par le fait seul que la direction du mouvement a varié, l'obturateur a pu être rendu 16 fois moins rapide. La distance de l'appareil à la locomotive est restée la même, la vitesse de cette dernière n'a pas été modifiée, l'objectif n'a pas été changé, et pourtant dans un cas la pose n'aurait pu être prolongée plus de $\frac{1}{400}$ de seconde sans perdre l'image, alors que dans le second cas elle aurait pu être prolongée pendant $\frac{1}{25}$ de seconde.

Les démonstrations contenues dans ce Paragraphe mettent en évidence l'influence des divers facteurs qui font varier le déplacement des images d'objets en mouvement sur la glace dépolie. Elles prouvent clairement que la vitesse apparente des objets en mouvement, facteur qui paraît, au premier abord, échapper absolument à l'action du photographe, peut être au contraire modifiée à son gré. De ces démonstrations découlent, d'ailleurs, comme nous le verrons, des indications pratiques dont l'opérateur trouvera journellement l'application.

L'influence de chacun des facteurs qui déterminent la rapidité du déplacement des images sur la glace dépolie étant mise en évidence, il nous reste à rechercher les relations mathématiques qui relient ces divers facteurs, afin d'en conclure la vitesse que doit avoir un obturateur pour un cas donné.

2. — Détermination mathématique du temps pendant lequel un objectif doit être découvert, pour reproduire un objet en mouvement.

Établissement des formules embrassant les quatre variables qui peuvent influencer la vitesse de l'image sur la glace dépolie. — Une formule dans laquelle entreraient : 1° la distance à l'objet, 2° le foyer de l'objectif, 3° la vitesse de l'objet, 4° la direction du mouvement, étant un peu compliquée, nous préférons donner deux formules, l'une relative aux objets qui se déplacent parallèlement à la glace dépolie, l'autre aux objets qui se meuvent perpendiculairement à cette glace. Dans la seconde position, la rapidité du mouvement sur la glace dépolie représente un minimum. Dans les positions intermédiaires, ce minimum tend vers un maximum, qui est atteint dès que le sens du mouvement est parallèle à la glace dépolie.

En considérant ces deux cas extrêmes, lesquels sont pratiquement les seuls importants à connaître, nous pourrons nous contenter de deux formules très simples comprenant seulement nos trois premières variables. La formule relative aux objets se mouvant parallèlement à la glace dépolie, étant celle qui exige l'obturateur le plus rapide, est applicable à tous les cas où la direction du mouvement de l'objet peut changer, et par conséquent est inconnue.

Ceci posé, voici comment j'ai établi mes formules :

La durée du temps pendant lequel l'objectif peut être découvert doit être telle que l'objet en mouvement n'ait pas subi, pendant la pose, de déplacement apparent. L'expérience et le calcul nous enseignent, comme je l'ai dit plus haut, que deux lignes distantes seulement de $\frac{1}{10}$ de millimètre se confondent à l'œil en une seule ligne. Toutes les fois, par conséquent, que pendant la pose photographique un objet ne se sera déplacé que de $\frac{1}{10}$ de millimètre sur la glace dépolie, il ne formera qu'une seule image et paraîtra immobile. Le temps pendant lequel l'objectif peut être découvert par l'obturateur doit donc être tel que l'objet en mouvement ne puisse pas se déplacer de plus de $\frac{1}{10}$ de millimètre sur la plaque pendant l'exposition photographique.

Soit V la vitesse en mètres par seconde de l'objet en mouvement, D la distance à laquelle cet objet se trouve de l'objectif, f la longueur focale de cet objectif, T le temps pendant lequel ce dernier peut être découvert sans que l'image puisse se déplacer de plus de $\frac{1}{10}$ de millimètre. Pendant une seconde l'objet parcourt sur la glace dépolie une longueur représentée par $V \times \frac{f}{D}$; durant la fraction de seconde pendant laquelle l'objectif est découvert par l'obturateur, l'espace parcouru sera $\left(V \times \frac{f}{D}\right)$ T. Or, pour que l'image soit nette, cette quantité doit être égale ou inférieure à $\frac{1}{10}$ de millimètre. Nous avons donc

$$\left(V \times \frac{f}{D}\right) T \leqq 0^{mm},1,$$

d'où l'on tire (¹) $T \leqq \frac{D}{Vf} \times 0^{mm},1.$

(¹) On remarquera que, dans cette formule, la valeur de T ne change pas quand on fait varier également D et f. On peut, par exemple, doubler D, c'est-à-dire la distance, à condition de doubler également f, c'est-à-dire le foyer, ou prendre une distance moitié moindre, à condition de prendre également un foyer moitié moindre. Il en résulte que pour un objet donné, animé d'une vitesse donnée, l'image ne peut pas dépasser une certaine grandeur sur la glace dépolie. C'est sur ce fait qu'est basée une règle pratique importante donnée à la fin de ce Chapitre, et qui permet de déterminer immédiatement, sans calcul, pour les cas les plus ordinaires, à quelle distance il faut se placer d'un objet en mouvement pour obtenir une bonne photographie instantanée, quelle que soit la force de l'objectif.

Telle est la formule pour les objets qui se meuvent parallèlement à la glace dépolie. Si les objets se meuvent perpendiculairement à cette glace, c'est-à-dire en venant vers l'opérateur, la formule est un peu plus compliquée.

Si nous appelons, comme précédemment, T le temps pendant lequel l'objectif doit être découvert, V la vitesse en mètres par seconde de l'objet en mouvement, D la distance en mètres de cet objet à l'objectif, f le foyer exprimé en dixièmes de millimètre et H la hauteur de l'objet mobile, on a [1] :

$$T = \frac{1}{V} \times \frac{D^2}{(H \times f) - 1}.$$

Les deux formules précédentes impliquent quelques calculs, mais elles seront fort utiles aux opérateurs qui aiment à opérer avec certitude. Pour les personnes ayant l'horreur des chiffres, je donne à la fin de ce Chapitre des règles très simples déduites d'ailleurs de nos formules, et indiquant pour les cas les plus fréquents, sans calcul et sans mesure de distances, les moyens d'obtenir des instantanées parfaitement nettes.

Conséquences pratiques déduites des formules. — En examinant attentivement la première des formules qui précèdent, c'est-à-dire celle relative aux objets qui se meuvent parallèlement à la glace dépolie, on voit aisément qu'elle conduit à employer des obturateurs d'une vitesse très grande. Il est possible cependant de réduire de moitié cette vitesse, mais à la condition de sacrifier un peu de la netteté. Nous

[1] Il serait peu intéressant, pour la plupart des lecteurs, d'indiquer ici la série de calculs par lesquels j'ai été conduit à cette formule. Il suffit de pouvoir contrôler son exactitude, et chacun peut le faire après qu'elle a été appliquée à un cas quelconque, par un raisonnement identique à celui donné plus haut pour calculer le déplacement d'un objet en mouvement pendant un temps donné.

avons admis, en effet, que deux lignes se confondent quand elles sont distantes de $\frac{1}{10}$ de millimètre, et par conséquent que l'obturateur doit fonctionner un temps suffisant pour que l'image n'ait pas subi un déplacement de plus de $\frac{1}{10}$ de millimètre; mais on conçoit facilement qu'un déplacement de $\frac{2}{10}$ de millimètre n'altérera pas beaucoup la netteté de l'image : les lignes seront un peu empâtées, la photographie un peu moins nette, mais cependant encore acceptable. Dans ce dernier cas la vitesse de l'obturateur pourra être réduite sans inconvénient.

Mais ce qui ressort de plus pratique des formules précédentes, c'est qu'il faut éviter autant que possible de photographier les objets dont le mouvement est parallèle au plan de la glace dépolie. On se placera donc toujours de façon à ce que l'axe de la chambre noire soit placé parallèlement ou obliquement, relativement à la direction du mouvement de l'objet.

Les personnes qui pensent qu'il est inutile de connaître la vitesse des obturateurs, en se basant sur ce que les variations d'intensité lumineuse et la différence de sensibilité des glaces doivent faire varier fréquemment la durée du temps de pose, feront bien de remarquer que, dans tous les calculs précédents, nous n'avons pas eu un instant à nous occuper d'intensité lumineuse ni de sensibilité des glaces. Nos formules disent à l'opérateur la durée maxima du temps pendant lequel son objectif peut être découvert pour qu'un objet en mouvement paraisse immobile et dans quelles circonstances une photographie instantanée sera toujours impossible. C'est ensuite à lui à choisir un temps assez clair, des glaces assez sensibles, pour avoir une bonne image.

3. — Mesure de la vitesse des obturateurs.

Méthodes diverses. — Une des conclusions de tout ce qui précède est que le photographe doit connaître les diverses vitesses que peut lui donner son obturateur, ou tout au moins la vitesse maxima que cet obturateur peut atteindre. Dans un laboratoire, cette mesure s'exécute de la façon la plus simple, avec un diapason inscripteur donnant le $\frac{1}{100}$ ou le $\frac{1}{250}$ de seconde. Cette méthode est excellente, mais il ne faut pas oublier que si elle nous dit le temps pendant lequel un obturateur a été démasqué, elle ne nous fait pas toujours connaître le temps de pose utile, parce que, dans certains cas que nous examinerons plus loin, la lumière n'agit pas sur la plaque sensible dès que l'objectif commence à être démasqué.

La plus simple et la plus exacte des méthodes qui puissent être théoriquement proposées consiste à photographier un cadran, sur lequel se promène une longue aiguille marquant des centièmes ou des millièmes de seconde. En photographiant ce cadran avec l'obturateur instantané pendant que l'aiguille est en marche, cette dernière laisse sur l'épreuve un secteur dont la longueur indique exactement le nombre de centièmes ou de millièmes de seconde pendant lesquels l'aiguille a marché et par conséquent pendant combien de temps l'obturateur a laissé passer la lumière dans l'objectif.

Cette méthode, comme le dit justement M. Londe, est la meilleure en théorie; mais, comme il le fait observer également, elle est restée sans application parce qu'il est extrêmement difficile de faire parcourir par une aiguille des espaces égaux en des temps égaux. Faire tourner l'aiguille à la main, comme on l'a proposé, ou l'actionner par un mécanisme de tourne-broche, conduirait à des résultats grossièrement approximatifs. On pourrait, il est vrai, l'actionner par un régulateur Foucault, mais la dépense élevée (600$^{\text{fr}}$) de cet instrument et son énorme volume en interdisent l'emploi, d'autant plus que, même avec cet appareil, l'emploi du diapason serait nécessaire pour régler et contrôler, comme on le fait d'habitude, la marche de l'instrument.

Le problème des régulateurs nous a beaucoup occupé, il y a une douzaine d'années, à l'époque où nous avions entrepris des recherches sur la vitesse de l'agent nerveux (¹). Après avoir fait connaître un nouveau régulateur à vitesse variable, qu'on trouvera dans notre Ouvrage *la Méthode graphique et les appareils enregistreurs*, nous avons fini par construire un instrument qui marque exactement sur un cadre les centièmes de seconde et qui porte son contrôle permanent.

Il se compose d'un mécanisme d'horlogerie dont le régulateur est un pendule conique *très lourd*, servant à régulariser un système d'engrenage dont on utilise une des roues à faire tourner une aiguille se mouvant sur un cadran divisé en centièmes de seconde. Un autre cadran gradué en heures et minutes sert simplement à contrôler la marche de l'appareil et donner au pendule la longueur nécessaire pour que les aiguilles marquent correctement l'heure. Quand elles la marquent à peu près exactement, la grande aiguille des centièmes de seconde est réglée.

L'appareil, ayant été construit pour des recherches sur le système nerveux, contient beaucoup d'autres détails dont il est inutile de parler ici. Dans son état actuel, il constituerait tout ce qu'il faut pour mesurer des vitesses d'obturateurs, si son prix trop élevé n'en interdisait pas l'usage. Mais pour la Photographie, il peut être remplacé par un instrument que je vais décrire et que chacun peut construire pour quelques francs.

Construction très simple d'un instrument marquant les millièmes de seconde et permettant de mesurer la vitesse

---

(¹) Tout ce qui concerne les questions de régulateurs et d'appareils enregistreurs est longuement traité dans notre Ouvrage : *la Méthode graphique et les appareils enregistreurs*, illustré de 60 gravures représentant divers instruments enregistreurs nouveaux que nous avons fait construire et qui ont figuré à l'Exposition universelle de 1878.

des obturateurs. — Les instruments d'horlogerie marquant exactement, comme notre chronoscope, le centième de seconde, sont d'une construction délicate, d'un réglage difficile, et par conséquent très coûteux. Ils n'ont donc aucune chance d'être utilisés par les photographes. Désireux de rendre possible la mesure de la vitesse des obturateurs, j'ai construit un instrument que le plus inexpérimenté des opérateurs peut fabriquer et dont le prix total ne dépasse guère 5^{fr}, si l'on prend la peine de le faire soi-même.

Pour le construire, on se procure un de ces réveille-matin qu'on trouve aujourd'hui dans tous les bazars pour $3^{fr},50$; on le démonte, puis on ôte les trois vis qui fixent l'échappement; si alors on remonte l'instrument avec la clef qui lui est fixée, on voit que l'aiguille des minutes, entraînée par le ressort que l'échappement ne régularise plus, fait le tour du cadran avec une rapidité telle que l'œil peut à peine la suivre. Si par des procédés, qu'il serait sans intérêt d'exposer ici, on mesure avec précision le temps que met cette aiguille à faire le tour du cadran, on voit que pendant les 20 à 25 premiers tours, elle est animée d'un mouvement uniforme suffisamment constant. Plus tard, c'est-à-dire quand le ressort approche de la fin de sa course, le mouvement se ralentit et ne peut plus être utilisé.

C'est en se basant sur cette régularité du déroulement du ressort pendant les premiers temps de sa course, que nous allons amener une aiguille à marquer exactement des millièmes de seconde.

Pour y arriver, nous devons rechercher tout d'abord quelle est la vitesse de rotation de l'aiguille des minutes. Ce mouvement est trop rapide pour être apprécié à l'œil, mais comme l'aiguille des minutes est liée à l'aiguille des heures, laquelle va 12 fois moins vite, il nous suffira de connaître la vitesse de la dernière pour en déduire celle de la première.

Toute l'opération se réduit à compter avec un métronome, battant la demi-seconde, le nombre de battements qui s'écoulent entre deux passages consécutifs de l'aiguille des heures à midi.

L'observation, répétée plusieurs fois, nous donnera une moyenne suffisamment exacte. Dans un appareil que nous avons construit, l'aiguille des heures faisait le tour du cadran en 8 secondes, au lieu des 12 heures nécessaires quand l'instrument était muni de son échappement. Sachant que l'aiguille des heures fait le tour du cadran en 8 secondes, on voit immédiatement que l'aiguille des minutes, qui va 12 fois plus vite, doit le parcourir en $\frac{8^s}{12} = 0^s,666$.

Avec les indications précédentes, nous avons tout ce qui est nécessaire pour diviser un cadran de carton de telle façon que chacune de ses divisions soit parcourue en $\frac{1}{1000}$ de seconde par la grande aiguille — une aiguille à tricoter, par exemple — que nous avons, dès le début de l'opération, substituée à l'aiguille des minutes. Rien n'est plus facile, en effet, que de calculer le diamètre que devra avoir le cadran pour que 1^{mm} de sa circonférence soit parcouru en $\frac{1}{1000}$ de seconde. Si l'on appelle D ce diamètre, on aura évidemment pour le cas précédent d'une aiguille faisant le tour du cadran en $0^s,666$, $D = \frac{666}{\pi} = 212$. Le cadran devra donc avoir 212^{mm} de diamètre. Le rayon du cercle qui devra servir à le tracer aura naturellement 106^{mm}. Il ne reste plus alors qu'à fixer le mécanisme d'horlogerie derrière un cadran en carton ayant les dimensions qui précèdent, marquer à l'encre un point sur chaque millimètre de sa circonférence et des chiffres de 10 en 10 divisions. L'opération terminée, on pourra se dire qu'on aura résolu avec une précision plus que suffisante pour les besoins de la pratique et avec une dépense insignifiante un problème dont la solution rigoureuse par les procédés ordinaires est assurément le plus délicat de tous les problèmes de l'horlogerie.

4. — Relations entre la vitesse d'un obturateur et le temps pendant lequel la lumière agit sur la glace.

Le temps pendant lequel la lumière agit sur la glace sensible diffère du temps pendant lequel l'obturateur laisse passer la lumière. Rapport de ces deux valeurs. — Avec la méthode de mesure de la vitesse des obturateurs que nous avons donnée, l'opérateur peut déterminer, pour tous les cas possibles, objectifs diaphragmés ou non diaphragmés, *le temps pendant lequel la lumière a agi sur la glace dépolie*, qu'il ne faut pas confondre comme nous allons le voir, *avec le temps pendant lequel l'obturateur a laissé passer la lumière*. Ce sont là deux facteurs que confondent invariablement la plupart des opérateurs, et qui sont cependant indépendants.

Pour le faire comprendre, supposons un obturateur-guillotine dont la section d'ouverture soit à peu près celle du carré inscrit dans la monture de l'objectif employé et admettons que des expériences faites par des méthodes d'enregistrement rigoureuses aient prouvé, qu'en fonctionnant sans objectif derrière lui, l'obturateur laisse passer la lumière pendant $\frac{1}{100}$ de seconde. Plaçons-le maintenant devant l'objectif muni d'un diaphragme et faisons-le fonctionner. Si nous mesurons alors le temps pendant lequel la lumière agira utilement sur une plaque sensible, on voit que cette durée sera toujours fort inférieure à $\frac{1}{100}$ de seconde. *L'introduction d'un diaphragme a donc eu en fait le même résultat que si l'on avait augmenté la vitesse de l'obturateur.*

L'expérience qui précède s'explique aisément. Introduire un diaphragme dans l'objectif revient à rétrécir le diamètre de ce dernier. Or, comme la vitesse de l'ouverture de la guillotine qui démasque l'objectif n'a pas changé, alors que l'ouverture de ce dernier a été au contraire considérablement réduite par le diaphragme, il est évident que le temps pendant lequel

la lumière aura pu passer à travers l'objectif sera forcément réduit. Le calcul montre aisément que, si l'ouverture d'un obturateur à guillotine et celle d'un objectif ont le même diamètre, en réduisant de moitié l'ouverture du diaphragme on réduit d'un quart le temps de pose [1], ce qui revient au même que si, par un moyen mécanique, on avait accéléré la rapidité de l'obturateur. Avec le diaphragme nous avons donc entre les mains le moyen de rendre variable la vitesse mécaniquement invariable d'un obturateur.

En dehors des raisons mathématiques que je viens de donner, d'autres raisons d'ordre chimique interviennent pour réduire, avec un obturateur de vitesse constante, le temps pendant lequel la lumière peut agir sur la plaque sensible quand on diaphragme l'objectif. Lorsqu'on diaphragme en effet un objectif, la partie centrale de la plaque photographique reçoit beaucoup plus de lumière que sa partie périphérique. Avec une pose suffisante, la chose passera inaperçue ; mais quand on arrive à ces limites de rapidité, qu'on ne peut dépasser sans que la lumière cesse d'agir, les parties périphériques n'ont plus le temps d'être impressionnées alors que les parties centrales le sont encore. On peut le prouver expérimentalement en diaphragmant un

---

(1) Voici la formule qui m'a permis de calculer la réduction du temps de pose produit par la réduction de l'ouverture de l'objectif au moyen du diaphragme. J'ai supposé qu'on se sert d'un obturateur-guillotine, dont l'ouverture primitive est égale à celle du carré inscrit dans l'objectif, ce qui est d'ailleurs le cas général.

Soient T le temps de pose primitif connu,
T' le nouveau temps de pose inconnu, produit par l'adjonction d'un diaphragme dans l'objectif,
D le diamètre primitif du diaphragme, c'est-à-dire l'ouverture de l'objectif,
D' le diamètre du nouveau diaphragme,

on a $\frac{T'}{T} = \frac{D + D'}{2D}$, équation de laquelle, tout étant connu, on déduit aisément T'.

objectif qui, avec une pose suffisante, couvrirait une dimension déterminée, un quart de plaque, par exemple. Aussitôt qu'il est très diaphragmé et que la pose devient trop rapide, on obtient une épreuve dans laquelle on a une image centrale entourée d'un cercle noir ; ce qui prouve que sur la partie périphérique la pose a été insuffisante.

Le degré de réduction de la pose, tenant au défaut d'intensité de la lumière sur les parties périphériques de la glace, dépend de la sensibilité des glaces. C'est donc un élément, — le seul d'ailleurs de tous ceux examinés jusqu'ici, — qui échappe au calcul. Il n'échappe pas d'ailleurs à l'observation, et l'opérateur voit vite quelle est la limite du diamètre du diaphragme au-dessous de laquelle il ne doit pas descendre pour avoir une bonne image avec des glaces de qualité donnée. Lorsqu'il ne dépasse pas cette limite, la réduction de la rapidité de l'obturateur produite par l'inégal éclairage de la plaque peut être négligée en pratique, à condition d'opérer en plein soleil, ainsi qu'on le fait toujours d'ailleurs pour les photographies instantanées.

Les considérations théoriques qui précèdent ont des conclusions pratiques évidentes. En mesurant en plein soleil, par la méthode du cadran, le temps pendant lequel l'objectif est découvert pour deux ou trois diaphragmes (les diaphragmes intermédiaires sont en pratique totalement inutiles) on connaît quel est, en plein soleil, pour chaque diaphragme, la véritable rapidité de l'obturateur. Connaissant cette rapidité, on saura, en appliquant nos formules, à quelle distance il faut se placer pour réussir sûrement une photographie instantanée.

Tout ce qui précède peut être aisément compris et appliqué après quelques heures d'étude. Je les recommande aux personnes qui, après avoir gâché inutilement de nombreuses plaques photographiques, et fatiguées par leurs non réussites mélangées de succès de hasard qui leur semblent inexplicables, voudront donner une base solide à leurs opérations.

5 — Choix des obturateurs.

Choix des obturateurs. — Le plus simple des obturateurs instantanés est assurément celui connu sous le nom de *guillotine*. Grâce à l'emploi d'anneaux de caoutchouc qu'on trouve partout, il permet de donner à l'instrument toutes les vitesses nécessaires. Cet obturateur a en outre l'avantage d'être fort économique. J'en ai fait construire, il y a environ dix ans, par M. Gilles, un petit modèle pouvant tenir dans un portefeuille, et qui ne coûtait que 5^{fr} à 6^{fr}. Il a été imité depuis par beaucoup de constructeurs. J'en ai fait plus tard construire un en acier par M. Molteni, avec déclenchement automatique ; mais il m'est revenu vingt fois plus cher que le précédent et ne m'a pas rendu de meilleurs services.

Le défaut des guillotines est de produire des frottements latéraux qui donnent un peu de vibration aux chambres noires quand elles ne sont pas bien stables. Cet inconvénient a été évité dans divers instruments, notamment l'obturateur Londe-Dessoudeix, qui est certainement un des meilleurs et auquel on ne peut objecter que son prix très élevé (1). Il sera excellent lorsque le constructeur aura compris la nécessité d'indiquer sur l'instrument les diverses vitesses qu'il peut fournir. Les vitesses indiquées devront, bien entendu, être celles pendant lesquelles l'instrument essayé

(1) Pour les personnes que ce prix effrayerait, je recommanderai les nouveaux obturateurs circulaires à ressort de caoutchouc qu'on trouve maintenant chez beaucoup de dépositaires d'articles pour Photographie. J'en ai vu chez M. Molteni qui ne coûtent qu'une dizaine de francs et peuvent être appliqués par les constructeurs sur tous les objectifs. Le ressort étant formé d'un de ces anneaux de caoutchouc, dont on trouve chez tous les papetiers une boite entière pour quelques sous, est beaucoup plus pratique pour le voyage que les ressorts métalliques qui se rouillent bientôt et cessent rapidement de fonctionner.

sans objectif laisse passer la lumière. Suivant l'ouverture de l'objectif et l'intensité lumineuse, la durée de la pose pourra être plus ou moins raccourcie, comme nous l'avons vu plus haut; mais ces valeurs variables sont tout à fait indépendantes de cette valeur invariable sans laquelle aucun calcul n'est possible : le temps pendant lequel l'obturateur essayé sans objectif laisse passer la lumière.

Vitesse que les obturateurs ne peuvent pratiquement dépasser. — La rapidité que peut avoir utilement un obturateur est pratiquement limitée — en dehors des difficultés mécaniques de construction — par ce fait que, lorsque la pose descend au-dessous d'un certain chiffre, l'image manque entièrement de détails et n'est plus qu'une silhouette, utile sans doute pour des recherches de laboratoire, mais inacceptable comme photographie.

Considérant l'état actuel des plaques sensibles qu'on trouve dans le commerce, on peut dire que, pratiquement, la rapidité d'un obturateur ne doit pas dépasser un centième de seconde. En fait, les obturateurs qui, tels que celui de M. Londe-Dessoudeix, atteignent cette vitesse sont fort rares. Dans la presque totalité des cas, les indications des marchands sont absolument fantaisistes. J'ai constaté par expérience, qu'avec des obturateurs à guillotine, il fallait des caoutchoucs très puissants pour arriver à cette vitesse. Étant données les dimensions possibles des appareils de voyage, ce n'est que très exceptionnellement qu'elle pourra être dépassée.

Pour les besoins de la Photographie courante, la vitesse d'un centième de seconde est d'ailleurs très suffisante; mais, pour la reproduction d'objets rapprochés animés de grande vitesse, un cheval de course par exemple, elle serait au contraire tout à fait insuffisante. C'est ce dont les photographes doivent bien se pénétrer afin de ne pas s'exposer à perdre leur temps en voulant reproduire des chevaux au galop ayant plusieurs centimètres de hauteur. En appliquant une des formules données plus haut, on voit que pour reproduire à 100^m, avec un objectif de $0^m,20$ de foyer, un cheval de course faisant 20^m par seconde, et se mouvant parallèlement à la glace dépolie, il faudrait un obturateur donnant le $\frac{1}{400}$ de seconde, et pourtant l'image n'aurait pas plus de 6^{mm} de hauteur.

On sait que M. Muybridge, dans des expériences célèbres, réussit — au prix d'une installation qui représente une fortune — à reproduire toutes les phases de mouvements de chevaux au galop dans des photographies ayant des dimensions supérieures à celles que je viens d'indiquer. Il pourrait donc sembler, au premier abord, qu'il y ait contradiction entre ce fait et tout ce qui précède; mais, en réalité, M. Muybridge et les physiologistes qui ont répété des expériences analogues n'ont obtenu que des silhouettes noires sans aucun détail. Ce qu'ils photographiaient, ce n'était pas le cheval, mais bien le mur blanc placé devant l'appareil, moins la silhouette formée par le cheval sur ce mur à un certain moment.

6. — Choix des chambres noires pour Photographie instantanée.

Imperfections des appareils actuels. Difficultés de leur construction. — Les appareils qui servent pour la Photographie instantanée peuvent être, à la rigueur, ceux dont on se sert pour la Photographie habituelle; mais, comme l'installation de ces derniers est assez longue, qu'ils sont assez rarement prêts juste au moment où l'on en a besoin, on a construit des petits appareils destinés à être tenus à la main, et pouvant fonctionner immédiatement à un moment donné.

Ces appareils se comptent aujourd'hui par douzaines et ont toujours des acheteurs, parce que l'opérateur, reconnaissant bientôt l'inutilité de l'instrument qu'il a acheté sur la foi des prospectus, achète généralement les nouveaux qui se présentent. Je n'en connais malheureusement aucun qui puisse être utilement recommandé. Je le regrette d'autant plus qu'un appareil pour Photographie instantanée toujours prêt à servir aurait une utilité immense.

En dehors des obturateurs, dont on possède aujourd'hui des modèles excellents, la grande difficulté des appareils tenus à la main réside dans la mise au point. Le voile étant impossible, puisque l'appareil n'est pas sur pied, les constructeurs ont pensé pouvoir supprimer la mise au point en se basant sur ce fait qu'à partir d'une certaine distance, toutes les images sont sensiblement au foyer principal. Si cette hypothèse était bien exacte, il n'y aurait, comme ils le font, qu'à fixer la planchette porte-châssis dans une position invariable correspondant à ce foyer principal. Malheureusement, les constructeurs ont totalement oublié que si les images sont assez rapidement au point pour toutes les distances, avec un petit diaphragme, il n'en est plus du tout de même quand on n'emploie pas de diaphragmes ou qu'on en emploie de très grands, comme on le fait précisément pour les photographies instantanées. La distance à laquelle les objets situés sur divers plans forment leur image au foyer principal s'éloigne fort rapidement de l'opérateur à mesure qu'il augmente le diamètre de ses diaphragmes. Il ne peut alors se servir utilement de son appareil qu'à des distances telles que les objets deviennent presque microscopiques.

D'autres constructeurs ont songé à inscrire sur la chambre des points de repère indiquant le déplacement qu'il faut faire subir à la glace dépolie pour une distance déterminée. Mais ce moyen est aussi imparfait que possible, non seulement parce que cette distance varie suivant le diamètre du diaphragme employé, mais encore parce que l'évaluation à l'œil de petites distances est chose fort difficile.

Il existe pourtant un moyen très simple pour mettre au point sans voile les images de petite dimension. Il suffit de fixer invariablement devant la glace dépolie, à une distance

convenable, une lentille convexe au moyen d'un petit cône de cuivre dont la partie antérieure présente un trou de faible dimension. C'est la disposition dont nous nous sommes servi dans un appareil que nous avons fait autrefois construire par M. Gilles pour un de nos voyages, et qui nous a servi à obtenir plusieurs des photographies instantanées figurant dans notre *Histoire de la Civilisation des Arabes*. Je n'en parle pas ici pour le recommander, car il est fort loin de réaliser un type parfait et j'ai renoncé à son emploi, mais simplement pour donner aux constructeurs une idée dont ils pourraient tirer parti. Une petite glace à 45°, sur laquelle ont été taillées deux lignes en croix et pouvant se rabattre, permet, quand l'appareil est sous le bras, de le mettre dans la direction des objets à photographier.

C'est aux personnes ayant besoin de faire de la Photographie, sans attirer l'attention, que toutes ces petites dispositions peuvent être utiles. Les photographes doivent guider les constructeurs, et non se laisser guider par eux, et les obliger à construire les instruments suivant leurs besoins. C'est surtout pour fixer sur les desiderata que doit remplir un appareil pour Photographie instantanée que toutes les indications qui précèdent ont été données.

7. — Résumé pratique des règles relatives à la Photographie instantanée.

Nous avons donné dans ce Chapitre les indications nécessaires pour tous les calculs que la Photographie instantanée comporte. Pour les personnes qui voudraient se soustraire à ces calculs, je vais donner quelques indications qui, sans être aussi précises, leur éviteront cependant de nombreux insuccès.

L'objectif sera de préférence à court foyer, c'est-à-dire de $0^{m},11$ à $0^{m},12$, afin de permettre de se rapprocher le plus possible de l'objet. L'on n'essaiera qu'exceptionnellement les formats supérieurs au $\frac{1}{4}$ de plaque. Si les objets à reproduire ne sont que sur un seul plan, on ne diaphragmera pas l'objectif ou on le diaphragmera très peu; s'ils sont sur plusieurs plans, on emploiera un diaphragme, mais sans descendre au-dessous d'un diamètre égal au $\frac{1}{10}$ du foyer, soit $0^m,01$ pour $0^m,10$ de foyer. On peut aller à la rigueur jusqu'à $\frac{1}{15}$ du foyer, mais on ne doit pas dépasser cette limite, à moins d'être bien sûr de la rapidité de ses plaques.

Règles relatives à la distance. Dimensions possibles de l'image. — Quant à la distance à laquelle il faut se placer, nous n'envisagerons que les cas qui se présentent le plus fréquemment dans l'intérieur des villes, renvoyant pour les autres à nos formules d'où sont déduits d'ailleurs les chiffres qui vont suivre.

Lorsqu'on pose avec un obturateur découvrant un objectif pendant $\frac{1}{100}$ de seconde, on peut, sans aucun calcul, savoir exactement la distance à laquelle il faut se placer, en observant les règles suivantes :

1° Pour faire la photographie instantanée d'individus au pas marchant parallèlement à la glace dépolie, se reculer assez pour que ces individus n'aient — quel que soit le foyer de l'objectif — que 11^{mm} environ de hauteur sur la glace dépolie.

Pour des raisons indiquées dans un autre Paragraphe, on pourra, — si l'on veut avoir une image plus grande, mais moins nette, — se rapprocher jusqu'à ce que les personnages aient $0^m,02$ de hauteur, mais l'on ne dépassera cette dernière dimension que s'il s'agit de reproduire des groupes d'individus presque immobiles.

2° Si, au lieu d'hommes allant au pas, il s'agit de voitures au petit trot (3^m environ par seconde), la hauteur totale des chevaux sur la glace dépolie ne doit pas dépasser 6^{mm} pour que leur image soit très nette. Elle peut atteindre 12^{mm} si l'on sacrifie un peu la netteté.

3° Si les objets, au lieu de se mouvoir parallèlement à la

glace dépolie, sont parallèles à l'axe optique, c'est-à-dire viennent directement vers l'opérateur, on observera les règles suivantes : un homme au pas peut être photographié quand il a environ 26^{mm} de hauteur sur la glace dépolie; une voiture ou un cavalier au petit trot peuvent être photographiés quand ils ont 20^{mm} de hauteur. Ces dimensions peuvent à la rigueur, et en perdant un peu de la netteté, être portées à 35^{mm} pour l'homme et à 30^{mm} pour le cavalier (1).

Les règles qui précèdent sont, comme nous l'avons fait voir en établissant nos formules, indépendantes de la longueur focale de l'objectif, ce qui veut dire que, quel que soit le foyer de ce dernier, il faut se reculer ou se rapprocher assez pour que les objets aient sur la glace dépolie les dimensions que nous avons indiquées. Il est évident que plus la distance focale de l'objectif sera grande, plus on aura à se reculer. Il y a par conséquent avantage à employer un objectif à court foyer. Je rappelle d'ailleurs que tous les objectifs, quel que soit leur foyer, donnent des images ayant exactement la même grandeur, si l'on exprime la distance qui les sépare des objets en fonction de la longueur focale. Un objectif de $0^m,80$ de foyer donne une image de même dimension qu'un objectif de $0^m,10$ de foyer, s'ils sont placés l'un et l'autre à une distance de l'objet égale à 10 fois, 100 fois, n fois la longueur focale de l'objectif. Si, par exemple, l'objectif de $0^m,10$ de foyer est placé à 10^m de l'objet, c'est-à-dire à 100 fois sa

(1) On trouvera quelquefois, dans les expositions de Photographie, des instantanées dans lesquelles les objets en mouvement ont des dimensions supérieures à celles que j'ai indiquées, mais ces images sont presque toujours obtenues par le grandissement de petits clichés habilement retouchés. Avec des glaces suffisamment rapides et des obturateurs de laboratoire ayant une vitesse fort supérieure à celle que j'ai indiquée, on peut évidemment obtenir des images de dimensions beaucoup plus grandes que celles dont nous avons parlé; mais les succès seront alors tout à fait exceptionnels. Ce qui fera défaut le plus souvent, ce sera la rapidité des glaces.

distance focale, l'objectif ayant $0^m 80$ de foyer devra être également placé à 100 fois sa longueur focale, soit 80^m pour donner une image ayant exactement la même dimension que celle donnée par le premier.

Les règles pratiques qui précèdent sont fort simples et éviteront aux photographes bien des mécomptes. Je ne pouvais les exposer sans les faire précéder des considérations mathématiques sur lesquelles elles reposent, et qui seules permettent d'en vérifier l'exactitude.

FIN DE LA SECONDE PARTIE.

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE IV.

Technique photographique.

CHAPITRE V

Photographie instantanée.

PH