

Auteur ou collectivité : Laussedat, Aimé

Auteur : Laussedat, Aimé (1819-1907)

Titre : Application de la photographie à la topographie : nouvelles solutions d'altimétrie au moyen des règles hypsométriques

Adresse : Paris : imprimerie Chaix, 1894

Collation : 1 vol. (66 p.) : ill., tabl.; 23 cm

Cote : CNAM-BIB 8 Tu 65 (P.9)

Sujet(s) : Photogrammétrie -- Instruments -- 19e siècle

Note : Extrait des "Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France", bulletin d'août 1894

Langue : Français

Date de mise en ligne : 03/10/2014

Date de génération du PDF : 26/9/2017

Permalien : <http://cnum.cnam.fr/redir?8TU65.P9>

St. Germain près Blois

123 juillet 1877

B

Madame

Madame

Depuis longtemps je voulais

vous faire parvenir à Paris

quelques vobstifs à la

Plato, mais j'attendais

que ce qu'il y a de plus joli  
soit bien et correctement

copié. Je vous ai enfin fait  
ce que je voulais faire, j'espé-  
re que vous l'appréciez.

Il me reste à faire à la fin  
de la semaine à Paris pour faire

ce que je devrai faire à la  
fin de la semaine pour aller à

la campagne.

Vous me direz bien excusez  
ce retard et je vous

L'édification des trois sentinels  
Méfiance et Désordre.

S. Bonté

SOCIÉTÉ  
DES  
INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE  
FONDÉE LE 4 MARS 1848  
Reconnue d'utilité publique par décret du 22 décembre 1860  
10, Cité Rougemont, 10  
PARIS

---

APPLICATION  
DE LA  
PHOTOGRAPHIE À LA TOPOGRAPHIE  
NOUVELLES SOLUTIONS D'ALTIMÉTRIE  
AU MOYEN DES RÈGLES HYPSONÉTRIQUES

PAR  
**M. Ed. MONET**

---

EXTRAIT DES MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE  
(*Bulletin d'août (1894.)*)

---

PARIS  
**10, Cité Rougemont, 10**

---

1894

À Monsieur le Colonel Fausséda  
membre de l'Institut.

Hommage respectueux,

E. Monet

St. Germain - Juin 1895 -

APPLICATION  
DE LA  
**PHOTOGRAPHIE A LA TOPOGRAPHIE**  
NOUVELLES SOLUTIONS D'ALTIMÉTRIE  
AU MOYEN DES  
**RÈGLES HYPSONÉTRIQUES**  
PAR  
**M. Ed. MONET**

---

AVANT-PROPOS

La *photogrammétrie* est la science qui a pour but d'obtenir, pour les photographies, des *perspectives exactes*, soumises à des lois géométriques connues qui permettent de mesurer les dimensions des objets qui y figurent.

Quoique la photogrammétrie soit une science récente, il est déjà difficile d'en faire l'historique, ou du moins de trouver plusieurs auteurs d'accord sur ce sujet.

De temps à autre, apparaissent des noms nouveaux, Ingénieurs ou officiers de différents pays, auxquels chaque nation attribue l'invention des méthodes photogrammétriques; et quelque singulier que cela paraisse, plusieurs d'entre eux sont d'une époque antérieure à la découverte de la photographie sur laquelle repose la photogrammétrie.

Prenons rationnellement les choses, et, sans remonter à l'invention des méthodes des intersections ou des recoulements, que la photogrammétrie utilise, prenons cette science au moment où elle a pu naître, c'est-à-dire après l'invention de la photographie dont personne ne conteste la priorité à NIEPCE et DAGUERRE.

Cette priorité, pour la photogrammétrie, est tout aussi légitimement acquise au *colonel LAUSSEDA*, directeur du Conservatoire des arts et métiers, qui la crée de toute pièce en 1850, la développa dans le *Mémorial de l'officier du génie* (n° 46, 1854, et n° 17, 1864) et fit avec cette méthode des relevés topographiques.

Ses travaux et ses écrits sont antérieurs à tout ce qui a été fait dans les autres pays, et, si l'on considère que ce savant avait déjà donné des méthodes de relevé topographique utilisant la *chambre*

claire de WOLLASTON, on comprend que, dès son apparition, il les ait appliquées à la *chambre noire* qui fixe les images que la chambre claire ne donnait que sous forme fugitive; avec Wollaston, l'outil était la chambre claire, avec Niepce, c'est la chambre photographique.

Mais, cet outil merveilleux fut délaissé en France, ou du moins inconnu : on ne fit pas assez pour le vulgariser.

La conséquence de ce désintérêt fut que l'on attribua longtemps l'invention de cette science aux savants allemands qui l'avaient étudiée, perfectionnée et lui avaient donné son nom. Il fallut même une longue polémique, quelquefois acerbe, pour faire connaître la réalité des faits. Cette polémique dure encore, toujours au détriment de la vulgarisation, et nous nous en tiendrons éloigné.

Pour nous, désireux d'aider à propager cette science, à la faire connaître à ceux qui peuvent l'utiliser *par métier* et en tirer profit, aux Ingénieurs s'occupant de travaux publics, d'études topographiques, d'explorations, nous nous sommes attaché à donner à ce mémoire une forme didactique qui permette, nous l'espérons du moins, à toute personne, de comprendre la méthode, de l'appliquer, et, au besoin, d'en modifier la partie opératoire suivant l'expérience qu'elle aura des procédés topographiques.

Profitant de la tribune de la Société des Ingénieurs civils, dont l'influence pénètre dans tous les milieux scientifiques et pratiques, nous avons aussi développé les méthodes qui nous sont personnelles et, en particulier, nos *Règles hypsométriques* qui apportent au problème d'altimétrie une solution mécanique qui conduit au résultat avec la même approximation que le calcul direct.

Les noms français qui marquent le plus dans les annales de la photogrammétrie sont, après le colonel Laussedat, MM. le commandant JAVARY, le commandant MOESSARD, le Dr LE BON. Il faut citer à part, M. le commandant LEGROS, dont l'ouvrage « *Sommaire de photogrammétrie* » est écrit dans un esprit de vulgarisation qu'il convient de signaler.

C'est à l'étranger que la nouvelle science trouva sa consécration.

Dès l'origine, elle fut appliquée par les Allemands qui la traitèrent, à la fois, comme science speculative et comme science pratique; témoin leur Institut spécial de photogrammétrie que dirige, à Berlin, le Dr MEYDENBAUER connu par ses travaux et par la polémique qui s'engagea autour de son nom, au sujet de la priorité de l'invention, et à laquelle prirent part les Drs STOLZE, VOGEL, KOPPE.

En 1875, l'Ingénieur italien Pio-PAGANINI commença le relevé photogrammétrique d'une région considérable des Alpes; l'importance de ses travaux ne le cède qu'à ceux du major américain DEVILLE qui, dans l'espace de cinq années, releva et fit la carte de 6 000  $km^2$  dans les montagnes Rocheuses et qui poursuit encore actuellement l'achèvement de ce travail.

En Autriche, les premiers essais datent de 1887. Mais cette nation se mit rapidement au niveau des précédentes, tant à cause des travaux de MM. HAFFERT, MAURER, STEINER, POLLACK, que de ses constructeurs qui créèrent, et mirent dans le commerce une série d'instruments de grand et petit format; ce qui fait qu'il est aussi facile de se procurer à Vienne un *photogrammètre*, qu'à Paris un appareil photographique ordinaire.

En France, nous n'avons rien de comparable à ces travaux, du moins pour l'importance. Mais, la lacune sera bientôt comblée, car un de nos collègues, M. H. VALLOT, nous apprend, dans les *Annales de l'Observatoire météorologique du Mont-Blanc* (1), qu'il exécute, en collaboration avec M. J. Vallot, une nouvelle carte au  $\frac{1}{20\,000}$  du massif du Mont-Blanc; une zone considérable de ce massif, et notamment toutes les parties inaccessibles, seront relevées à l'aide de la photogrammétrie, au moyen d'un nouvel appareil, le *phototachéomètre*, basé sur le même principe général que le *photothéodolite* Laussedat.

Ce mémoire est divisé en deux parties :

La *première partie*, consacrée au développement des méthodes et des instruments photogrammétriques;

La *deuxième partie*, à l'exposé des nouvelles méthodes et des instruments que nous proposons relativement à l'altimétrie.

(1) Observatoire fondé en 1890 par M. J. VALLOT et qui, par conséquent, est antérieur à celui de M. JANSEN, situé non loin du premier.

Nous renvoyons à ce sujet à la chronique du *Bulletin de la Société* (décembre 1893, page 594), de notre très distingué collègue M. A. Mallet.

## PREMIÈRE PARTIE

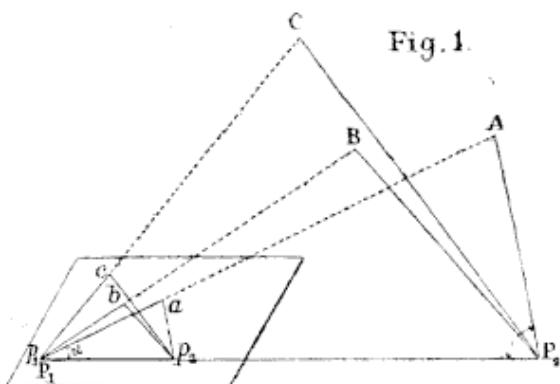
### CHAPITRE I<sup>er</sup>

#### Définitions.

##### PRINCIPE DE LA MÉTHODE DU COLONEL LAUSSEDA

La méthode photogrammétrique, appliquée à la topographie, n'est autre chose que la méthode des intersections dont le lever dit *à la planchette* est le type.

Pour ce lever, l'opérateur, après avoir fixé une base, qu'il rapporte à une échelle déterminée, se place à l'un des sommets  $P_1$



(fig. 1), vise successivement les points A, B, C... du terrain et trace leur direction, puis se porte au sommet suivant,  $P_2$ , et vise à nouveau les mêmes points A, B, C... en traçant les nouvelles directions  $P_2A, P_2B...$  Les points d'intersection  $a, b, c...$  sont les points

cherchés sur le plan, qui se trouve rapporté à l'échelle que l'on a choisie pour la ligne  $p_1 p_2$  qui représente  $P_1 P_2$ .

Le colonel Laussedat a pensé que l'on pouvait, au moyen de photographies, convenablement prises et orientées, trouver les directions, c'est-à-dire, les angles sous lesquels A, B, C... sont vus, d'abord de  $P_1$ , puis de  $P_2$ .

Il faudra donc, pour appliquer la méthode des intersections, *deux photographies*, l'une donnant le terrain vu de  $P_1$ , la seconde *même terrain vu de  $P_2$* .

Mais, comme nous allons le voir, les photographies donnent non seulement l'angle horizontal sous lequel un point est vu d'un sommet  $P_1$ , mais encore l'angle vertical  $\beta$  sous lequel il est vu de ce même sommet, ce qui permet non seulement d'établir le plan (planimétrie), mais encore de déterminer la hauteur de chaque point au-dessus du plan d'horizon, c'est-à-dire, d'inscrire sa cote (altimétrie).

Pour résoudre ce double problème, il est nécessaire que les

photographies soient des perspectives exactes dont les éléments soient connus.

Dans une brochure que nous avons fait paraître sur les *principes de la photogrammétrie* (1), nous avons rappelé les définitions et les propriétés fondamentales de la perspective géométrique; nous n'y reviendrons ici que pour les résumer très brièvement.

*Définitions (fig. 2).*

Le plan vertical TT est le *plan du tableau*;

P, un point *fixe* pris pour *point de vue*;

M, un point de l'espace,

*m* sa *perspective*;

*mn* est la perspective de la droite MN.

Si on mène *Pf* parallèle à MN, *f* est le *point de fuite* de la droite.

Le plan PHH est le *plan d'horizon*;

*p*, le *point principal*;

HH, la *ligne d'horizon*;

*Pp* = *d*, la *distance principale*.

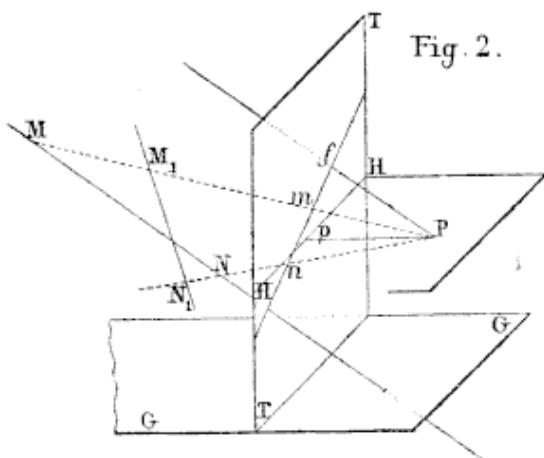


Fig. 2.

**Formule fondamentale de la photogrammétrie.**

ÉCHELLE D'UN PLAN DE FRONT

Considérons un plan de front KK (fig. 3) et une figure dans ce plan. Soit un triangle ABC dont la perspective est abc.

Menons le rayon principal *Ppk* perpendiculaire aux deux plans; on a évidemment :

$\frac{ab}{AB} = \frac{bc}{BC} = \frac{ca}{CA} = \frac{Pp}{Pk} = \frac{d}{D}$   
en posant la profondeur

$$Pk = D$$

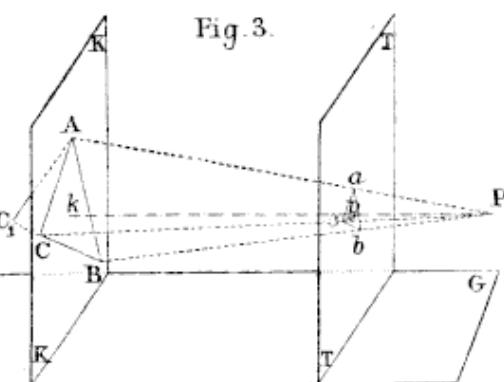


Fig. 3.

(1) Société d'Éditions scientifiques. Paris, 1893.

et cela quelle que soit la position de la figure ABC dans le plan de front KK défini par D; donc :

*Toutes les lignes d'une figure située dans un plan de front de profondeur D ont pour perspectives des lignes parallèles, semblablement placées et réduites dans un rapport constant  $\frac{d}{D}$ .*

Si H est la longueur d'une ligne de front, h celle de sa perspective, on aura :

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

d'où les quatre combinaisons :

$$h = H \cdot \left(\frac{d}{D}\right)$$

$$D = d \cdot \left(\frac{H}{h}\right)$$

$$H = h \cdot \left(\frac{D}{d}\right)$$

$$d = D \cdot \left(\frac{h}{H}\right)$$

C'est la formule fondamentale de la *photogrammétrie* où son application est constante (Détermination de la hauteur H d'un objet; de la distance principale ou longueur focale d; de la distance D à laquelle il faut se placer pour qu'un objet H ait, en perspective, une longueur h).

*Échelle de réduction d'un plan de front.* — Le rapport constant  $\frac{d}{D}$  s'appelle l'échelle de réduction du plan de front défini par D.

*Remarque.* — La profondeur D d'une figure de front ABC (fig. 3) avec sa perspective abc définissent cette figure.

Dans ce cas on n'a plus besoin, pour le relevé, que d'une photographie, au lieu de deux, comme il a été dit. Cette remarque très importante sera utilisée dans une autre partie du mémoire pour la méthode dite : *des profils de front*.

*Quand une ligne H se déplace dans un plan de front, sa perspective h se déplace en conservant la même longueur, puisque l'on a toujours :*

$$h = H \cdot \frac{d}{D}.$$

Enfin remarquons que si AC tourne autour de A de façon à ne plus être dans le plan de front, tout en conservant sa longueur

primitive  $AC_1 = AC$ , la *perspective de*  $AC_1$  sera plus petite que la perspective  $ac$  de  $AC$ .

*Réiproquement.* — La plus grande perspective d'une droite  $AC_1$ , de longueur constante, tournant autour du point  $A$ , se produira quand la droite sera contenue dans le plan de front de  $A$ .

On peut utiliser cette remarque pour placer la glace dépolie d'une chambre photographique parallèlement à la façade d'un édifice en cherchant la position pour laquelle la perspective d'une ligne de cette façade devient maximum et s'arrêtant à cette position.

## CHAPITRE II

### Photogrammétrie.

Une photographie, convenablement exécutée, est une perspective géométrique dont le *plan du tableau* a été, successivement, la plaque de verre dépoli, la plaque sensible, et, finalement, le papier sensible sur lequel s'imprime cette dernière, et dont la *distance principale* est la *longueur focale* de l'objectif.

Nous supposerons, dans ce qui va suivre, que sur chaque photographie et, par des moyens que nous indiquerons plus loin, se trouvent tracés :

1<sup>o</sup> La *ligne d'horizon*  $HH$ ;

2<sup>o</sup> Le *point principal*  $p$ ;

et que :

3<sup>o</sup> On connaisse la *longueur focale*  $d$  de l'appareil qui a servi à photographier.

### ÉLÉMENTS QUE DONNE UNE PHOTOGRAPHIE

Soient (*fig. 4*)  $T$  le *plan du tableau*,  $P$  le *point de vue*,  $RS$  le *plan d'horizon*,  $HH$  la *ligne d'horizon*,  $p$  le *point principal*.

Soient  $M$  un point de l'espace,  $m$  sa perspective,  $MM'$  la perpendiculaire abaissée sur le plan d'horizon,  $mm'$  sa perspective.

$Pp = d$ , la distance principale ou longueur focale de l'appareil,

l'angle  $\beta = \widehat{mPm'}$ , est l'angle vertical sous lequel est vu le point  $M$ , de même l'angle  $\alpha = \widehat{pPm'}$ , compté à partir de  $Pp$ , est l'angle horizontal sous lequel est vu le même point.

Si l'on suppose le plan d'horizon rabattu sur le plan du tableau,

on aura la figure 5, dans laquelle  $abce$  est le papier photographique lui-même;

$HH$ , la ligne d'horizon;

$p$ , le point principal;

$Pp = d$ , la distance principale;

$P$ , le point de vue.

( $Pp$  est mesuré sur l'épure (fig. 5), en vraie grandeur, c'est-à-

Fig. 4

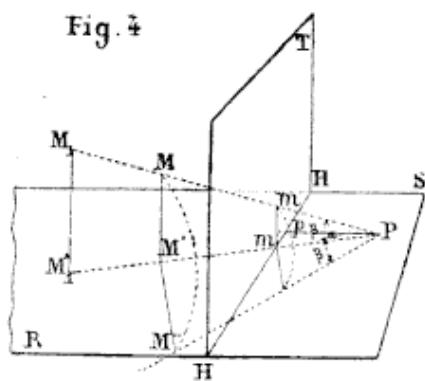
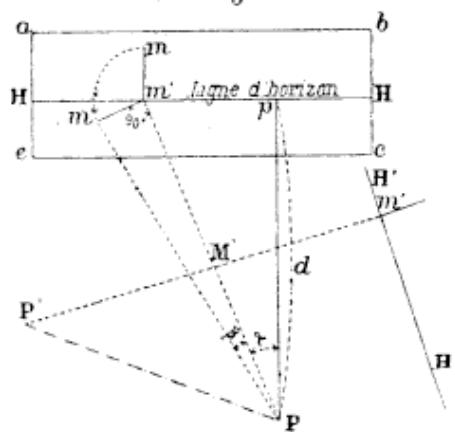


Fig. 5.



dire, que si la longueur focale est de  $0,20\text{ m}$ ,  $Pp = 0,20\text{ m}$ , sans réduction.)

$mm'$  la perspective de  $MM'$ ,

$\widehat{pPm'}$  l'angle horizontal  $z$ .

Si on rabat le triangle rectangle  $Pmm'$  (fig. 4 et 5) en  $Pm'm$ , l'angle  $\beta = m'Pm''$  sera l'angle vertical.

Le premier angle  $z$  donne la *direction* du point  $M$ , le second  $\beta$ , sa *hauteur au-dessus du plan d'horizon*.

Si on pose :

$$MM' = H,$$

$$mm' = h,$$

on a :

$$\frac{H}{h} = \frac{PM'}{Pm'}$$

ou : (4)

$$H = h \frac{PM'}{Pm'} \quad (\text{formule fondamentale}).$$

Tels sont les éléments que donne une seule photographie et qui ne sont pas suffisants pour déterminer un point  $M$ , car la relation (4) contient deux inconnues  $H$  et  $PM'$ .

Cette indétermination se reconnaît à l'inspection de la figure 4;

car tout point  $M_1$  du rayon  $PM$ , donnera les mêmes éléments perspectifs que le point  $M$ .

*Méthode des intersections.* — Mais, une autre perspective  $HH'$  (fig. 5), prise d'un autre point de vue  $P'$ , et sur laquelle *figurera aussi*  $M$  lèvera l'indétermination en donnant une seconde direction  $P'm'$ , analogue à  $Pm'$  sur laquelle se trouve aussi  $M'$ . L'intersection de ces deux droites donnera donc la position  $M'$ , du point, en plan (planimétrie).

Dès lors, on pourra mesurer  $PM'$  sur le plan et la hauteur  $H$  sera :

$$H = h \cdot \frac{PM'}{Pm'} \quad (\text{altimétrie}).$$

Nous allons maintenant indiquer, avec quelques détails, la suite des opérations à faire, tant sur le terrain qu'au bureau, pour exécuter un plan topographique, en étudiant particulièrement le cas où le levé est fait en vue de l'étude d'un tracé, c'est-à-dire le relevé d'une bande, relativement peu large, rapportée à grande échelle ( $\frac{1}{4000}$ ,  $\frac{1}{2000}$  ou  $\frac{1}{5000}$ ) avec un degré de précision égal à celui obtenu par les méthodes courantes (tachéométrie).

Nous passerons successivement en revue :

La marche sur le terrain ou *cheminements*, ainsi que la méthode des *profils de front*.

L'*Orientation* des photographies sur le plan.

La *Méthode des intersections* (planimétrie et altimétrie).

Et nous terminerons cette première partie, par l'examen rapide des *instruments* — (*photogrammètres* et *appareils adaptés*) — avec les réglages auxquels il faut les soumettre pour obtenir des perspectives exactes.

### Opérations sur le terrain. — **Cheminements.**

#### 1<sup>o</sup> CAS OU LA BASE SE TROUVE EN DEHORS DE LA BANDE RELEVÉE

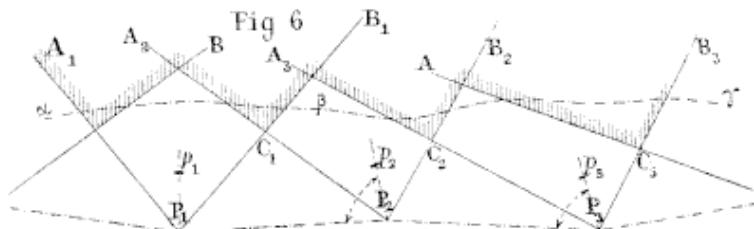
Soit à relever une bande de terrain limitée par  $\alpha\beta\gamma$  (fig. 6).

On installera convenablement l'appareil au point  $P_1$  et l'on photographiera un premier secteur  $A_1P_1B_1$ .

Puis, on se transportera en un point  $P_2$  d'où l'on puisse voir la plus grande partie possible de la première région  $A_1P_1B_1$ . Soit  $A_2P_2B_2$  cette seconde photographie.

La partie commune  $A_2C_1B_1$  aux deux secteurs sera seule utilisable pour le groupe de photographies 1 et 2.

On transportera l'appareil en un point convenable  $P_3$  et l'on photographiera un troisième secteur  $A_3P_3B_3$ , ce qui permettra de



rapporter, par intersections, les points de la partie commune  $A_3C_2B_2$  aux photographies 2 et 3, et ainsi de suite.

On peut, du reste, d'un point quelconque  $P_1$ , prendre plusieurs photographies qui élargissent le secteur et faire ainsi, au besoin, un tour complet d'horizon.

*Base.* — L'ensemble des points  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , où l'on s'est mis en station constitue la *base*.

On relève cette base soit directement sur les photographies comme on le ferait pour des points quelconques, soit, et mieux, avec les organes géodésiques que comportent les photogrammètres, comme nous le verrons plus loin.

Ce procédé de cheminement trouve son application dans le cas où la zone à relever est inaccessible (précipice, ouvrage défendu par l'ennemi...).

On voit de suite combien est judicieux le choix de la base, celui de l'orientation et du nombre de photographies à prendre de chaque station. Ce choix dépend, en majeure partie, de l'*angle de champ* de l'objectif ( $45^\circ$  à  $100^\circ$ ), de sa *longueur focale*.

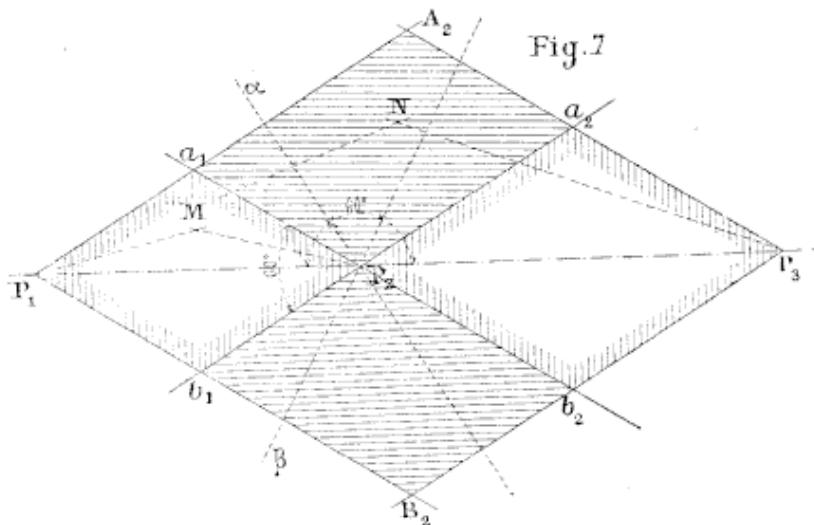
## 2<sup>e</sup> CAS OU LA BASE EST DANS L'INTÉRIEUR DE LA BANDE RELEVÉE

Un autre mode de cheminement est indiqué (fig. 7). La base  $P_1, P_2, P_3$ , occupe la partie médiane de la zone relevée en supposant que des stations  $P_1, P_2, P_3$ , on prenne *une ou plusieurs vues avant, une ou plusieurs vues arrière*.

Dans le cas de la figure 7 on remarque que les points  $M$  des zones, telle que  $P_1a_1P_2b_1$ , sont dans de meilleures conditions, au point de vue du rapport, que les points  $N$  des zones telles que  $a_1A_2a_2P_2$ . Les premiers sont dits favorisés par opposition aux autres.

*Remarque.* — Plus on élargira les secteurs  $\alpha P_2 \beta$ , plus on donnera d'importance à la zone favorisée.

Avec les appareils très courants, ayant un angle de champ de



60°, le tour complet d'horizon exigera trois photographies *avant* et trois *arrière*; en général, deux avant et deux arrière suffiront.

### Emploi d'une seule photographie.

#### 1<sup>o</sup> CAS D'UNE FIGURE DANS UN PLAN VERTICAL

Si on a à relever une figure située dans un plan vertical, le problème se simplifie beaucoup et ne nécessite plus qu'une seule photographie, si on a eu soin d'installer l'appareil de façon que la *glace soit parallèle au plan vertical qui devient ainsi un plan de front* (voir page 8).

Deux cas sont alors à considérer:

a) On connaît la distance à laquelle on est du plan vertical, c'est-à-dire sa profondeur  $D$ , par suite son échelle de réduction  $(\frac{d}{D})$ .

On mesurera directement toutes les lignes  $h$  de la photographie et l'on en déduira  $H = h \cdot \frac{D}{d}$ .

b) Si on ne connaît pas la profondeur  $D$ , on placera dans le plan vertical de la figure une mire de grandeur connue  $H$  qui, sur la photographie, donnera une perspective  $h$  et l'échelle de réduction sera  $(\frac{h}{H})$ .

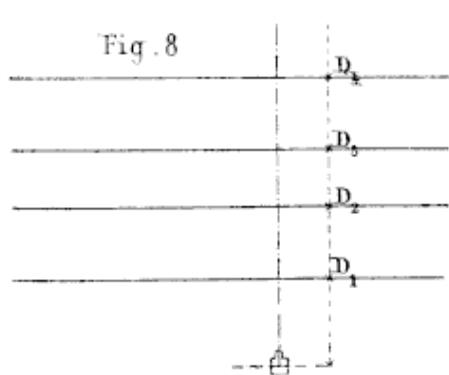
Ce cas se présente quand on a à relever la façade d'un monument ou un profil piqueté sur le terrain naturel ou provenant d'une excavation.

## 2<sup>o</sup> CAS DE FIGURES SITUÉES DANS DES PLANS VERTICAUX ET PARALLÈLES

On aura soin de placer la glace parallèlement à la direction commune des plans verticaux.

a) *Cas d'une série de profils en travers parallèles.* On connaît généralement, dans ce cas, les intervalles qui séparent les profils; par suite, leur profondeur  $D_1, D_2, \dots$

L'échelle de réduction pour chacun d'eux sera:



$$\left(\frac{d}{D_1}\right), \left(\frac{d}{D_2}\right), \dots, \left(\frac{d}{D_n}\right) \text{ (fig. 8).}$$

C'est le cas qui se présente pour les sections droites d'une tranchée.

b) Si on ne connaît pas les profondeurs des plans verticaux et parallèles on placera, dans *chacun d'eux*, une mire verticale  $H$  qui

donnera les images  $h_1, h_2, h_3, h_n$ , et, par suite, les échelles de réduction seront:

$$\left(\frac{h_1}{H}\right), \left(\frac{h_2}{H}\right), \dots, \left(\frac{h_n}{H}\right).$$

Ce cas se présente dans les monuments offrant des retraits appréciables en façade et surtout dans l'intérieur de ces monuments.

## Méthode des profils de front.

### 3<sup>o</sup> MÉTHODE GÉNÉRALE POUR LES RELEVÉS TOPOGRAPHIQUES AU MOYEN D'UNE SEULE PHOTOGRAPHIE

Vu l'état actuel de la technique photographique et des expérimentations en cours, nous ne pouvons indiquer en ce moment — pour prendre rang — que le principe de cette méthode à laquelle nous avons donné le nom de : *Méthode des profils de front*. Nous sommes convaincu de la réussite, mais comme nous tenons à ne donner dans ce mémoire que des résultats consacrés par l'expé-

rience, nous attendrons que de nouveaux faits viennent confirmer nos prévisions.

Ce procédé exige une brigade composée d'une façon analogue à celle employée au tachéomètre pour le cas, où nous nous placons, d'une bande de terrain d'une largeur de 500 m à 600 m à relever en vue de l'étude d'une route, d'un canal, d'un chemin de fer, et dont le rapport doit se faire aux échelles usuelles  $(\frac{1}{4000})$ ,  $(\frac{1}{2000})$  ou  $(\frac{1}{5000})$ .

Pour bien nous faire comprendre, nous comparerons les hommes ou manœuvres à des jalons mobiles qui, arrêtés, dessineront, sur le terrain, des profils comme le feraient des piquets, avec cet avantage qu'ils seront bien plus apparents.

Il est nécessaire que l'un d'entre eux porte une mire; si les autres en sont pourvus on aura des vérifications.

Ces hommes seront placés en ligne 1<sup>e</sup> en  $a_1b_1$  tel que  $a_1b_1$  soit *un plan de front*. Un aide opérateur placé sur la ligne et connaissant l'orientation de l'instrument photographique donnera, au moyen d'une boussole, la direction, et veillera à l'alignement comme cela se fait avec la brigade tachéométrique.

Dans ces conditions, l'instrument étant placé en P (fig. 9), on photographiera, et, grâce à la mire que porte l'un des manœuvres, on sera pour ce profil dans le *premier cas* (page 43).

La ligne des *jalons mobiles* viendra alors se placer en  $a_2b_2$  que lui assignera l'aide opérateur et qu'il alignera convenablement au moyen de la boussole... et ainsi de suite pour une 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> position.

Si, pour chacune des lignes ou profils  $a_1b_1$ ,  $a_2b_2$ ... on voulait user une photographie, on serait toujours dans le *premier cas*; mais, par économie, nous avons pensé à prendre *sur une seule plaque* les images successives  $a_1b_1$ ,  $a_2b_2$ ... en utilisant cette propriété connue :

*Que, du fait d'une admission instantanée de la lumière, les plaques conservent encore assez de sensibilité pour être impressionnées par une seconde, troisième... admission — ces seconde, troisième... admis-*

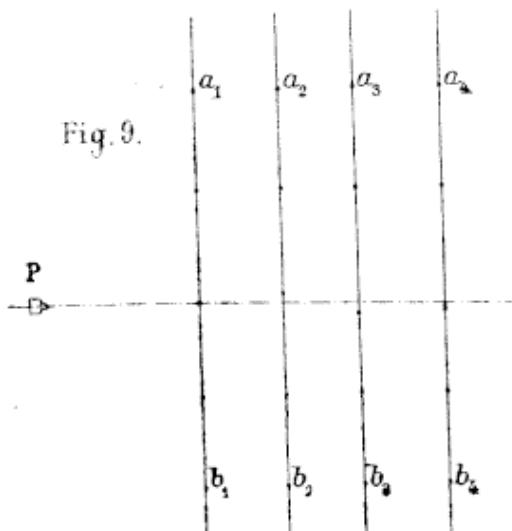


Fig. 9.

sions servant à prendre les images  $a_2b_2$ ,  $a_3b_3\dots$  sur la même plaque.

Un savant membre de l'Académie des Sciences, qui sait joindre à d'excellents conseils la plus encourageante bienveillance, M. MAREY, universellement connu pour ses études du mouvement au moyen de la photographie et auquel nous soumettions nos idées, nous a encouragé dans cette voie et nous a dit que, selon lui, certains dispositifs — légers objets brillants que porteraient les manœuvres — en accusant par plus d'intensité lumineuse les positions successives, faciliteraient le succès de la méthode.

M. Marey nous a cité un précédent que lui-même a créé, en photographiant jusqu'à dix fois, sur la *même plaque*, un pigeon qui s'envolait librement. Cela se passait, il est vrai, en Italie, sous un beau ciel où les circonstances pouvaient être regardées comme les plus favorables.

Il y a tout lieu de croire que cette méthode des *profils de front* est pratiquement possible, et qu'il ne lui manque que la sanction expérimentale.

Nous n'insistons pas sur l'avantage considérable que l'on retirerait de son application.

#### ORIENTATION OU MISE EN PLACE DES PHOTOGRAPHIES

La base  $P_1, P_2, P_3\dots$  (*fig. 6*) piquetée et mesurée par les procédés ordinaires de topographie sera rapportée sur un plan à une échelle déterminée qui sera *l'échelle du rapport* — qu'il ne faut pas confondre avec l'échelle de réduction des plans de front dont nous avons parlé.

Afin d'orienter les photographies par rapport à la base  $P_1, P_2\dots$ , c'est-à-dire donner aux rayons principaux les mêmes directions  $P_1p_1, P_2p_2\dots$  que celles qu'ils avaient au moment de l'opération, directement l'opérateur a relevé et inscrit les angles d'orientation  $\widehat{P_2P_1P_1}, \widehat{P_3P_2P_2}\dots$  qu'il lui sera facile de reproduire sur le papier.

La ligne d'horizon, le point principal étant supposés connus (voir plus loin), ainsi que la direction  $P_2X$  (*fig. 10*), on placera la photographie de telle sorte que  $p_2$  soit sur la direction  $P_2X$  à une distance  $p_2P_2 = d$  et que la ligne d'horizon soit perpendiculaire à  $P_2p_2$ .

2<sup>o</sup> Si, pour une raison ou une autre, on a relevé *directement* un point M et que ce point figure aussi sur la photographie, on peut facilement mettre celle-ci en place.

On commencera par rapporter le point M sans le secours de la photographie. On coupera celle-ci suivant AB (fig. 10) parallèle à HH et avec  $(d - a)$  on décrira un arc de cercle.

AB restant tangent au cercle, on déplacera la photographie jusqu'à ce que  $P_2m$  passe par M. Dans cette position la photographie sera orientée.

Les photographies mises en place par rapport à la base permettent d'établir le plan coté qui comporte, pour chaque point, la résolution de deux problèmes :

- 1<sup>o</sup> Problème de planimétrie (position);
- 2<sup>o</sup> Problème d'altimétrie (hauteur),  
que nous allons maintenant aborder.

### 1<sup>o</sup> Problème de planimétrie.

Considérons un point M figurant sur deux photographies en  $m_a$ ,  $m_b$  (fig. 11).

Tracons  $m_a m'_a$ ,  $m_b m'_b$  perpendiculaires aux lignes d'horizon.

On sait que (p. 9) le point M est vu de  $P_2$  dans la direction  $P_2 m'_b$ ; il est vu de  $P_1$  dans la direction  $P_1 m'_a$ . Sa position est donc en  $M'$ , intersection de ces deux lignes.

On ferait de même pour tous les autres points.

On voit donc que, pour la planimétrie, la méthode a absolument la même précision que la planchette dont l'ali-  
dade serait munie d'une lunette de visée et maniée par un opérateur

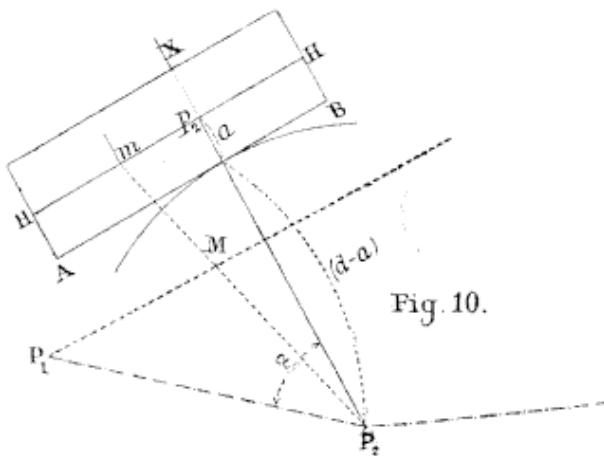
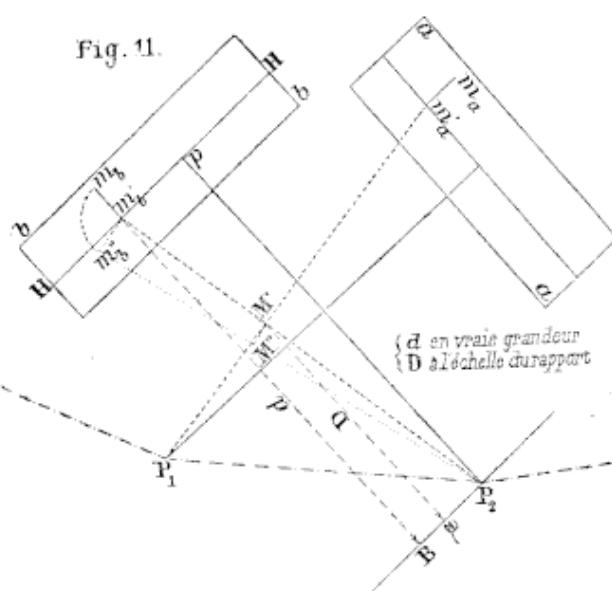


Fig. 10.



exercé qui, encore, peut faire des erreurs, alors que la photographie n'en peut commettre.

Les photographies apportent donc dans le bureau les images du terrain, tel qu'on le verrait des extrémités  $P_1$ ,  $P_2$  de la base, ce qui permet d'appliquer le procédé de relevé dit : *à la planchette*, avec cet avantage que l'on pourra, pour chaque point, déterminer la hauteur par rapport au plan d'horizon.

## 2<sup>e</sup> Problème d'altimétrie.

On a vu, page 10, que l'on avait :

$$H = h \cdot \frac{PM'}{Pm'},$$

ou 
$$H = h \cdot \frac{D}{d} \quad (\text{formule fondamentale}).$$

En comparant les figures 5 et 41, on voit que :

$$h = m_b m'_b,$$

$$Pm' = P_2 m'_b,$$

$$PM' = P_2 M',$$

et alors : 
$$H = m_b m'_b \times \frac{P_2 M'}{P_2 m'_b},$$

lont tous les éléments peuvent être mesurés.

On aurait de même :

$$H_1 = m_a m'_a \times \frac{P_1 M'}{P_1 m'_a},$$

$H$  étant la hauteur par rapport au plan d'horizon de la station  $P_2$ .

*Remarque.* — On peut aussi faire usage de la relation :

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

dans laquelle :

$D = M' p_b$ , profondeur du point ( $BP_2$ , parallèle à la ligne d'horizon);

$d$ , distance focale :  $d = P_2 p$ .

*Solution géométrique.* — La solution que nous venons d'indiquer est la *solution numérique*. On peut encore trouver  $H$ , comme on l'a indiqué pour les figures 4 et 5, en rabattant le triangle

MM'P. Pour cela, on élève en  $m'_b$  une perpendiculaire  $m'_b m''_b = m_b m_b$  sur  $m'_b P_2$ .

On joint  $m''_b P_2$ ; on mène  $M'M''$  parallèle à  $m'_b m''_b$ .

Cette longueur  $M'M''$  est, à l'échelle de rapport du plan, la hauteur  $H$  cherchée qui, ajoutée à la cote connue du plan d'horizon pris pour plan de comparaison, donne l'altitude du point  $M$ .

Nous n'insistons pas ici sur les avantages de la méthode photogrammétrique qui réduit considérablement les opérations sur le terrain et permet à l'ingénieur d'avoir constamment l'image de celui-ci sous les yeux.

Il ne semble pas que l'on puisse simplifier la solution planimétrique, du moins quand on est dans le cas général; mais nous avons été assez heureux pour simplifier la solution altimétrique en supprimant le calcul ou la construction de la formule,

$$H = m_b m'_b \times \frac{P_2 M'}{P_2 m'_b},$$

et le remplaçant par une lecture sur des instruments très simples auxquels nous avons donné le nom de « *Règles hypsométriques* » et que nous allons décrire.

Mais, auparavant, nous consacrerons un chapitre à la description des appareils avec lesquels on peut obtenir des perspectives exactes et qui portent le nom de *photogrammètres*.

### CHAPITRE III

#### **Instruments. — Objectifs.**

De la qualité de l'objectif dépend la valeur de l'instrument avec lequel on opère.

Les phénomènes optiques qui se produisent dans les objectifs sont complexes.

Malgré notre désir de ne pas étendre ce mémoire, nous ne pouvons passer sous silence certains faits dont la connaissance est indispensable en photogrammétrie, où l'on doit connaître exactement le mode de formation des images et les éléments qui servent aux calculs.

#### CLASSIFICATION

On classe les objectifs en *simples* ou *composés*.

*Objectifs simples.* — Ils peuvent n'être constitués que par une seule lentille, ou bien par plusieurs accolées.

En voici quelques types :

Ménisque convergent (*fig. 12*);

Objectif simple de Ch. Chevalier (*fig. 13*);

Objectif simple de Dallmeyer (*fig. 14*).

Suivant les valeurs que l'on donne aux éléments qui composent

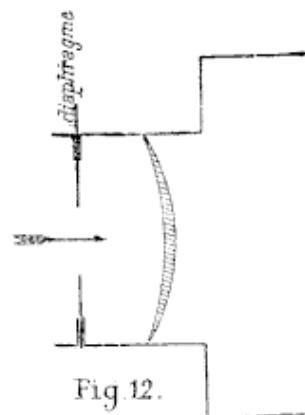


Fig. 12.

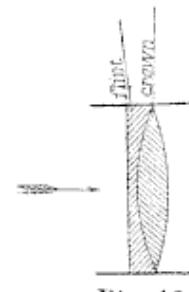


Fig. 13.

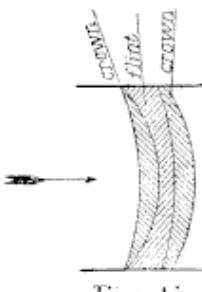


Fig. 14.

ces objectifs simples, ils possèdent des qualités spéciales, telles que :

Corrigeant plus ou moins les aberrations;

Donnant une clarté plus ou moins grande, c'est-à-dire impressionnant plus ou moins rapidement la plaque sensible;

Ayant un champ de visibilité plus ou moins grand..., etc.

*Objectifs composés.* — Dans lesquels les lentilles composantes ne sont plus accolées.

Les principaux types sont :

Rectilinéaire de Dallmeyer (*fig. 15*);

L'aplanat du Dr Steinheil qui ne diffère du précédent que par la disposition et la grandeur des éléments (*fig. 15*).

Citons encore l'anastigmat de Zeiss.

Les objectifs composés sont les plus employés, car ils corrigeent mieux :

1° Les aberrations;

2° La distorsion;

3° Le champ de visibilité est plus grand et peut atteindre 100°.

Les aberrations sont de deux sortes :

1° *Aberration de sphéricité* ou *diffusion*, par laquelle les rayons lumineux parallèles à l'axe principal FF (*fig. 16*) ne se coupent pas mathématiquement au foyer, mais forment, par leur rencontre, une surface dite *caustique*.

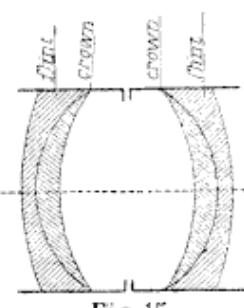


Fig. 15.

On comprend l'importance qu'il y a à réduire, en photogrammétrie, l'aberration de sphéricité, puisque, de ce fait, la distance principale  $d$  n'est plus constante pour le même objectif et varie d'autant plus que le point est plus éloigné de l'axe principal (fig. 16).

Nous insistons sur ce fait en cas de choix d'un objectif devant servir à un photogrammètre.

On diminue l'influence de cette *erreur* en resserrant, au moyen d'un diaphragme, la zone à relever.

2° *Aberration de réfrangibilité* par laquelle les rayons de lumière blanche se décomposent et donnent des images colorées.

*N. B.* — Quand l'aberration de sphéricité est sensiblement réduite, on dit que l'objectif est *aplanétique*.

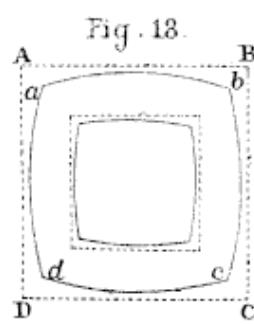
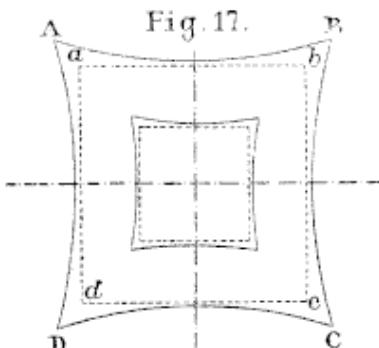
Exemple : aplanats de Steinheil, de Berthiot, d'Hermagis.

On dit que l'objectif est *achromatique* quand on a fait disparaître la coloration due à la réfrangibilité (problème d'optique des plus intéressants).

3° *Distorsion*. — La perturbation la plus grave qu'éprouvent les images photographiques est peut-être due à la distorsion que l'on constate en photographiant un papier quadrillé *abcd*.

Si l'objectif est divergent on obtiendra l'image *ABCD* (fig. 17) et la distorsion est dite en *croissant*.

Si l'objectif est convergent on aura la forme *ABCD* (fig. 18) et



la *distorsion est en bariollet*. Ce moyen qui permet de constater la distorsion donne aussi la correction à faire, puisque l'on sait que la position réelle du point est *a*, et non *A*.

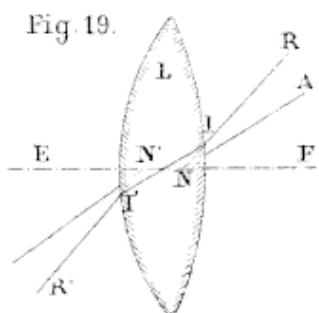
Un instrument très ingénieux, dû au commandant Moëssard, le *Tourniquet*, permet de déterminer l'angle de champ exempt de distorsion.

### POINTS NODAUX

Ces points, qui définissent rigoureusement la marche des rayons lumineux arrivant et traversant l'objectif, jouent un rôle très important en optique photographique et en particulier en photogrammétrie.

Soit une lentille L et un rayon RI qui (fig. 19) se réfracte en II' pour ressortir parallèlement en I'R'.

Fig. 19.



Si on considère une série de rayons peu inclinés sur l'axe (cas d'un objectif diaphragmé), on démontre (Listing) que tous ces rayons émergents vont concourir en un point fixe N appelé, pour cette raison, *point nodal émergent ou antérieur*, ou encore *centre d'arrivée*.

De même tous les rayons incidents vont aussi concourir en un même point fixe N' appelé : *point nodal d'incidence ou postérieur*, ou encore *centre de départ*.

De sorte que, au chemin réel RII'R', on peut substituer le chemin fictif RNN'R'. L'étude des points nodaux est très complexe ; il suffira de savoir que :

1° Pour toute lentille, simple ou composée, il existe deux points nodaux qui, du reste, peuvent se confondre ;

2° La position des points nodaux peut se déterminer rigoureusement par le calcul ;

3° Cette position peut se déterminer expérimentalement à 1/20 de millimètre près au moyen du tourniquet du commandant Moëssard.

La connaissance des points nodaux est indispensable en photogrammétrie ; aussi doit-on exiger du constructeur qu'il inscrive leur position sur la monture de l'objectif, ainsi que la longueur focale, le champ de visibilité, le champ exempt de distorsion et autres éléments nécessaires à la connaissance de l'objectif.

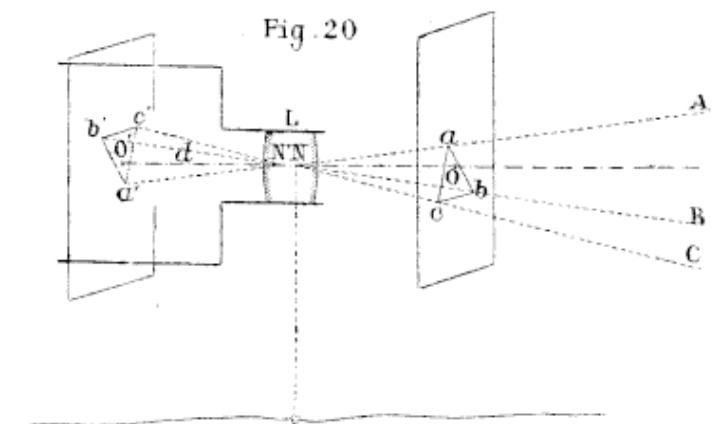
Les bons constructeurs qui, comme ceux que nous avons cités, sont des savants, sont seuls aptes à faire l'étude complète d'un objectif et à en donner les éléments *rigoureusement* exacts.

*Image sur la plaque de verre dépoli. — Renversement.*

Ceci dit sur les points nodaux, examinons ce qui se passe dans la chambre noire.

Soit  $L$  une lentille avec ses deux points nodaux  $N$  et  $N'$  (fig. 20). Soit  $ABC$  une figure qui donne son image renversée en  $a'b'c'$  sur la glace.

Lors du tirage, le positif redresse la figure et produit le même



résultat que si la glace avait été placée en  $abc$ , *telle que*  $N_0 = N'o'$ ,  $N'o'$  mesure donc la distance principale de la perspective dont on se servira.

C'est donc la distance  $N'o'$  du centre de départ  $N'$  à la glace qu'il convient de prendre pour  $d$ .

$$d = N'o' \text{ et non } N_0.$$

Quant au point nodal antérieur  $N$ , ou centre d'arrivée, c'est le point de vue de la perspective. Chacun des points nodaux joue donc un rôle particulier qu'il faut connaître et ne pas confondre.

#### *Mise au point.*

La mise au point pour un photogrammètre se fait toujours pour l'infini.

Dans ce cas la distance minimum pour laquelle les images d'un point cessent de devenir nettes, c'est-à-dire d'avoir un diamètre égal à  $1/10$  de millimètre, peut être évaluée par la formule approchée : 
$$D = 22 r. f.$$

$f$ , longueur focale évaluée en mètres :

$r$ , ouverture du diaphragme en millimètres.

Ainsi, dans le cas de  $f = 0,20$  m, si on fait :

on aura : 
$$\begin{cases} r = 3 \text{ mm}, 4 \text{ mm}, 5 \text{ mm}, 10 \text{ mm}, 15 \text{ mm}, 20 \text{ mm}, \\ D = 13 \text{ m}, 18 \text{ m}, 22 \text{ m}, 44 \text{ m}, 66 \text{ m}, 88 \text{ m}, \end{cases}$$

ces nombres ne sont qu'approchés

Au delà de ces distances  $D$ , les images seront nettes. Plus rapprochés, les points donneraient des images floues.

On devra donc choisir le diaphragme en vue de la distance minimum  $D$  qui sera, en général, facile de connaître en photogrammétrie.

Il nous resterait à indiquer le moyen de calculer la distance focale d'un objectif. En général, pour les bons appareils, cet élément  $d$ , sera indiqué par le constructeur avec une précision que l'on ne pourrait obtenir et qui, du reste, est inutile (1/10 de millimètre).

En traitant les différents instruments dont on peut se servir nous indiquerons des méthodes simples, propres à chacun d'eux, pouvant donner avec une approximation suffisante la valeur de  $d$  (à 1 mm près) et, en tout cas, servir de moyen de vérification, ce qui sera plutôt leur véritable rôle.

## PHOTOGRAMMÈTRES

Un photogrammètre est un appareil photographique susceptible de donner des *perspectives exactes* dont *les éléments soient connus*; il faut donc que l'on puisse toujours :

- 1<sup>o</sup> Rendre la glace de verre verticale;
- 2<sup>o</sup> Tracer la ligne d'horizon;
- 3<sup>o</sup> Indiquer le point principal;
- 4<sup>o</sup> Déterminer la distance focale  $d$ ;
- 5<sup>o</sup> Orienter les photographies.

A part la quatrième condition, qui est un élément fixe, connu une fois pour toutes pour chaque objectif, les autres opérations constituent la *mise en station* et *les réglages*.

Quoique la photogrammétrie ne soit pas encore d'un usage très répandu, il existe pourtant un grand nombre de types de photogrammètres. Cela se conçoit, car, ne trouvant pas d'instruments dans le commerce, chaque ingénieur en a fait construire d'après ses idées et lui a donné son nom; de là presque autant de photogrammètres différents que d'opérateurs.

Comme ces opérateurs étaient tous des hommes de science, ils se sont appliqués à perfectionner, en recherchant la plus grande précision possible, tels les Allemands qui ont fait du photogrammètre un véritable instrument géodésique et auquel ils ont donné, pour bien en indiquer le caractère, le nom de *photothéodolite*.

D'autres plus modestes, mais non moins utiles, ont voulu, comme le Dr Le Bon, rendre, par des adaptations simples et peu coûteuses, un appareil photographique *quelconque* susceptible de donner des perspectives suffisantes pour la plupart des cas.

Ces deux points de vue nous ont conduit à grouper les instruments en deux classes :

1<sup>o</sup> Photogrammètres ou appareils de précision;

2<sup>o</sup> Appareils adaptés;

et nous sommes heureux d'avoir comme types, dans chacune d'elles, deux appareils français :

1<sup>o</sup> Le dernier modèle du colonel Laussedat;

2<sup>o</sup> L'appareil adapté du Dr Le Bon, qui lui a servi dans son exploration des Indes.

Nous décrirons donc plus particulièrement chacun de ces deux types en même temps que nous nous ferons un devoir de citer et de donner les figures des instruments d'auteurs qui, par leur savoir et leurs travaux, ont donné à la photogrammétrie une impulsion telle que leur nom est en vedette dans les annales de cette science.

#### PREMIÈRE CLASSE

#### Photogrammètres de précision ou Photothéodolites.

##### TYPE. — PHOTOGRAHMÈTRE DU COLONEL LAUSSEDA.

*Chambre noire.* — C'est une caisse rigide portant à l'arrière la plaque de verre dépoli et à l'avant l'objectif qui est fixé dans un châssis qui peut s'élever ou s'abaisser de quantités que l'on lit sur une graduation gravée sur le bord du châssis.

La longueur focale est donc absolument *fixe*.

Le but du mouvement vertical donné à l'objectif est de le fixer de façon à embrasser la zone la plus intéressante du terrain à relever.

*Cercle horizontal.* — Cette chambre tourne au-dessus d'un cercle horizontal ou azimuthal gradué, reposant au moyen de trois vis calantes sur un trépied analogue à celui d'un niveau à bulle.

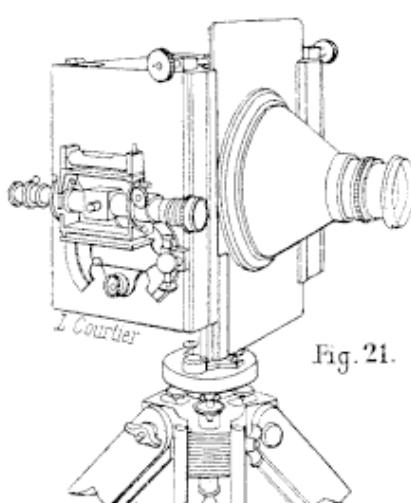


Fig. 21.

Une alidade, entraînée par la caisse, permet de lire les angles dont elle a tourné.

Le système du cercle horizontal est semblable à celui de tous les instruments topographiques (cercle, tachéomètre) — pince d'arrêt, vis de rappel, etc...

Tout l'ensemble est construit de telle façon que quand le plateau est horizontal la plaque de verre est verticale; si cette condition n'est pas remplie l'instrument est défectueux.

*Cercle vertical.* — Le système du cercle vertical est également semblable à ceux des instruments géodésiques. Il est fixé sur l'un des côtés de la caisse (voir *fig. 24*).

*Une lunette* se meut devant le cercle gradué et donne, à chaque instant, l'inclinaison de sa direction.

Le zéro de la graduation correspond à l'horizontalité de la lunette, à moins d'une erreur dite de *collimation* dont on tient compte.

*Niveau.* — Toujours, comme dans les instruments géodésiques, un niveau à bulle à retournement permet, au moyen des vis calantes, de rendre l'instrument horizontal.

La lunette est *montée en stadia* et l'ensemble des cercles, horizontal et vertical, et de la lunette constitue un tachéomètre dont on se servira après avoir fait les vérifications et réglages usités :

Centrage de niveau;

Calage de l'instrument;

Angle diastimométrique;

Axe optique de la lunette;

Zéro du vernier vertical (erreur de collimation).

• •

Nous n'insistons pas sur ces réglages que tous les opérateurs connaissent.

#### CONDITIONS SPÉCIALES AUX PHOTOGRAMMÈTRES

1<sup>o</sup> Comme nous l'avons déjà dit, la plaque de verre dépoli doit être verticale quand l'instrument est calé horizontalement.

2<sup>o</sup> L'axe optique de la lunette, *rendue horizontale*, doit être parallèle et à la même hauteur que l'axe de l'objectif.

Ces conditions doivent être satisfaites par le constructeur, sans quoi, l'appareil est défectueux.

#### DÉTERMINATION DE LA LIGNE D'HORIZON ET DU POINT PRINCIPAL

*Ligne d'horizon.* — La ligne d'horizon se détermine au moyen de deux pointes  $a, b$ , qui peuvent se déplacer devant la plaque et se fixer à demeure (fig. 22).

L'instrument étant calé et l'axe de la lunette *rendu horizontal*, on visera successivement *avec celle-ci*, en faisant tourner tout l'ensemble, deux points A et B suffisamment éloignés. On *remarquera* ces deux points afin de pouvoir *reconnaître leur image*.

On se reportera à la glace de verre dépoli sur laquelle A, B, *déterminent la ligne d'horizon*; on amènera les deux pointes  $a, b$  à se projeter sur AB. Dans cette position  $ab$  est la ligne d'horizon; on fixera alors  $a$  et  $b$ .

La plaque sensible ayant remplacé le verre dépoli, sans que les repères aient pu se déplacer, ceux-ci s'imprimeront sur elle en  $a, b$  et se reproduiront sur la photographie; en les réunissant par un trait fin on aura la ligne d'horizon.

Quoique fixes, il faudra avoir soin de vérifier les repères de temps en temps.

*Point principal.* — L'axe optique de la lunette décrivant, quand on la déplace verticalement, un plan parallèle au plan vertical qui contient l'axe optique de l'objectif et en étant toujours très rapproché, on peut considérer deux points C, D (suffisamment éloignés) du premier comme appartenant au second (fig. 23).

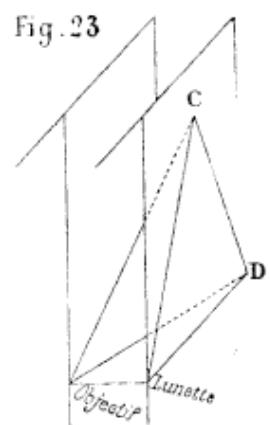
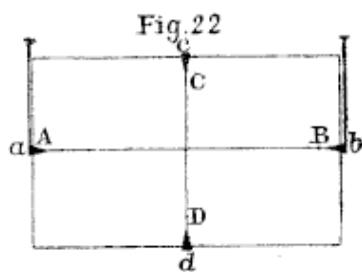
Les vis d'arrêt du cercle horizontal étant serrées on visera, *avec la lunette*, deux points C, D que l'on remarquera afin de reconnaître les images.

On se reportera à la glace où l'on cherchera C et D.  $cd$  doit coïncider avec CD. Si cela n'a pas lieu on amènera les index  $c, d$  à la position qu'ils doivent occuper (fig. 22).

Comme les repères  $a, b$ , les index  $c, d$  s'impriment sur les photographies.

Le point principal est évidemment à l'intersection de  $ab$  et de  $cd$ .

Si les repères  $a, b$  restant fixes, on élève ou l'on abaisse l'ob-



jectif au moyen du châssis porte-objectif, comme nous avons vu qu'on pouvait le faire, il est clair que la ligne *ab* est élevée ou abaissée d'autant par rapport à la ligne d'horizon; il conviendra donc de tenir compte de ce déplacement que l'on lira sur la graduation qui est gravée au bord du châssis porte-objectif.

#### USAGE DES ORGANES GÉODÉSIQUES

*Détermination de la base.* — Dans les opérations faites dans le but d'établir des tracés, il convient de déterminer la base (p. 42) par les méthodes ordinaires, indépendantes de la photographie. Outre la plus grande précision que l'on obtient pour ces *points spéciaux*, sur lesquels l'attention est portée, on a ainsi des moyens de vérification; on isole les erreurs qui pourraient se produire en les rendant locales sans qu'elles puissent affecter l'ensemble des opérations.

C'est dans ce but que tous les photogrammètres portent les éléments d'un tachéomètre et c'est pourquoi les étrangers leur ont donné le nom générique de *photothéodolites*.

*Dédoublement de l'appareil.* — C'est aussi pour faciliter cette opération de la détermination de la base que le colonel Laussedat a

rendu indépendant le *système du tachéomètre* du *système de la chambre photographique*.

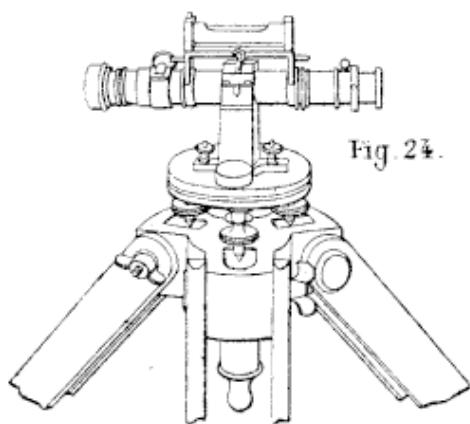


Fig. 24.

On pourra donc se servir :

1° De l'appareil complet (fig. 24);

2° Du cercle seul, sans la chambre (fig. 24);

3° De la chambre photographique seule.

Sans avoir besoin d'insister, on comprendra l'avantage de cette disposition.

*Orientation des photographies.* — Nous avons consacré un paragraphe à la mise en place des photographies (p. 46, fig. 40) et nous avons dit qu'il suffisait d'avoir relevé les angles tels que  $\widehat{p_2P_2P_1}$ ,  $p_2P_2$  étant la direction de l'axe principal de l'appareil mis en station.

Le cercle horizontal ou azimuthal permet de relever et d'inscrire ces angles.

*Boussole.* — Si l'instrument est muni d'une boussole ou déclinatoire, le relevé des angles d'orientation  $\widehat{p_2P_2P_1}$  sera simplifié, ainsi que l'orientation de l'appareil à chaque station (méthode tachéométrique). Dans ce cas, l'appareil ne devra comporter aucune pièce en fer ou en acier, qui devront être remplacées par le cuivre ou l'aluminium.

*Points remarquables.* — La lunette peut encore servir à viser, de deux stations différentes, des points tels que clochers, angles de maison, ou autres, qui se placeront sur le plan *par recouplement* et pourront aussi être utilisés à la mise en place des photographies, si ces points y figurent.

#### DÉTERMINATION DE LA DISTANCE FOCALE OU DISTANCE PRINCIPALE

Nous indiquerons plusieurs procédés pratiques pour déterminer ou vérifier la distance focale ou distance principale  $d$ .

Nous avons vu qu'en général le constructeur la fera connaître avec une approximation que l'opérateur ne pourrait atteindre. Mais comme il suffit de connaître  $d$  à 1 mm près, les méthodes que nous allons indiquer suffisent.

*Première méthode, applicable aux deux classes. (Photogrammètres et appareils adaptés.)*

Elle consiste à mesurer les éléments  $H$ ,  $h$ ,  $D$  de la formule fondamentale :

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

On mesurera une ligne verticale  $H$ , on chainera la profondeur  $D$  à laquelle se trouve placé l'instrument et on mesurera la longueur  $h$  sur la photographie ou sur la plaque de verre dépoli. On remplacera  $H$ ,  $h$ ,  $D$  par leur valeur et on aura :

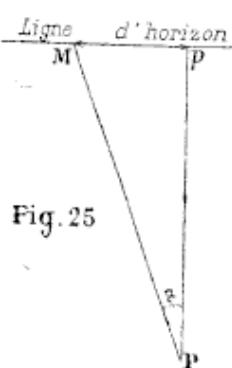
$$d = D \times \frac{h}{H}.$$

Pour avoir une ligne verticale, on pourra prendre l'angle d'une maison ; — faire suspendre une mire, une chaîne, etc.

Quel que soit l'instrument que l'on ait, on peut appliquer cette méthode.

*Deuxième méthode, applicable aux photogrammètres. (1<sup>re</sup> classe.)*

Elle consiste à mettre le photogrammètre en station, à *remarquer* un point *M* qui forme son image sur la ligne d'horizon et à mesurer *sur la glace* exactement la distance *pM*, *p* étant le point principal (*fig. 25*).



Puis, au moyen de la lunette et du cercle horizontal, relever directement l'angle horizontal  $\widehat{pPM} = \alpha$ .

Ayant  $pM$  et  $\alpha$  on pourra construire le triangle  $PpM$ , par suite mesurer directement

$$Pp = d.$$

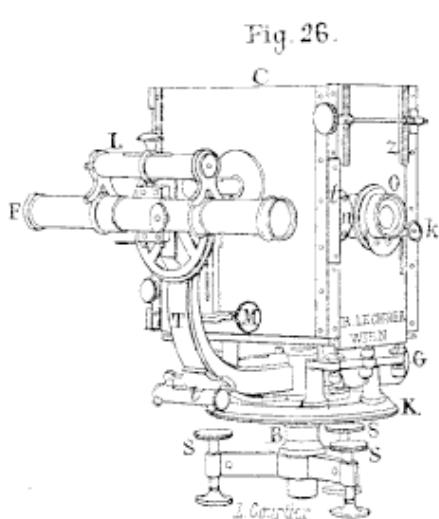
Par le calcul on aurait :

$$d = pM \cdot \cot \alpha.$$

Pour appliquer cette méthode, il faut que l'instrument soit muni d'un cercle azimutal.

**Photothéodolite Pollack** (*fig. 26*).

Comme le précédent, le photogrammètre Pollack comporte, outre la chambre noire, des organes géodésiques.



*C*, chambre photographique rigide, — par conséquent à distance focale constante, — supportée par un plateau dormant avec cercle horizontal *K* et vis calantes *S*.

*O*, objectif (anastigmat Zeiss) mobile dans le sens vertical et dont les déplacements se lisent sur la réglette divisée *t*, munie d'un vernier *n*.

*F*, lunette montée en stadia, équilibrée par un contrepoids *G*. Un cercle vertical indique l'angle d'inclinaison de la lunette; le zéro de la graduation répondant à l'horizontalité.

La chambre est munie, à l'arrière, près de la glace dépolie, de fils croisés avec quatre repères *M* (*fig. 27*) : deux horizontaux et deux

verticaux (ligne d'horizon, verticale principale). En vue des réglages, de petits déplacements peuvent être donnés à ces repères au moyen de vis.

La lunette a, en général, une longueur focale égale à 0,27 m et un grossissement de 9 à 18.

Par un dispositif spécial, la plaque sensible occupe toujours, dans le châssis, mathématiquement la position qu'elle doit avoir et ne laisse aucun jeu qui puisse faire varier la distance focale.

*Réglages et usage.* — Ce que nous avons dit à ce sujet, à propos du photogrammètre du colonel Laussedat, nous dispense d'y revenir.

### Photogrammètre à planchette du capitaine baron Hübl, de l'Institut militaire de Vienne (fig. 28).

#### DESCRIPTION SOMMAIRE

C, chambre noire photographique rigide en aluminium.

M, planchette en bois, sur laquelle se place un carton à dessin maintenu par quatre pinces n.

K, graphomètre à lunette muni d'une alidade horizontale servant à enregistrer les angles horizontaux et pivotant sur le tourillon z.

z, tourillon ou pivot pouvant se placer au *centre* de la planchette ou *au-dessus de l'objectif*.

Pour que l'on puisse utiliser l'alidade dans les deux positions du pivot, l'appareil est muni de deux réglettes de longueur différente. On peut fixer la lunette sur l'une ou l'autre de ces règles.

gg, deux butoirs latéraux correspondant à l'angle d'ouverture de l'instrument; ḡzḡ est donc le secteur qui sera photographié; en dehors, les objets n'apparaissent plus sur la plaque.

Fig. 21.

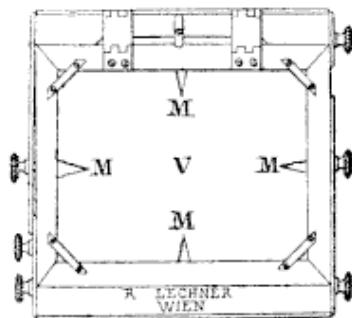
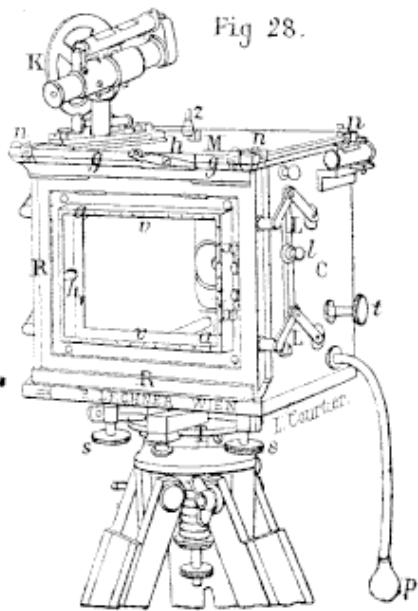


Fig. 28.



*h*, repère qui correspond au plan vertical principal; celui qui contient l'axe optique de l'objectif : *zh*, bissectrice de  $\widehat{gzg}$ .

*p*, poire pneumatique actionnant l'obturateur.

*t*, bouton permettant le déplacement vertical de l'objectif; déplacement mesuré sur une règle.

*R*, cadre s'ouvrant au moyen d'un système de levier à genou *L*. Un dispositif spécial assure la mise en place exacte de la plaque sensible.

*T*, plateau horizontal gradué.

*ss*, vis calantes.

*x*, vis de correction du cadre applique *a*.

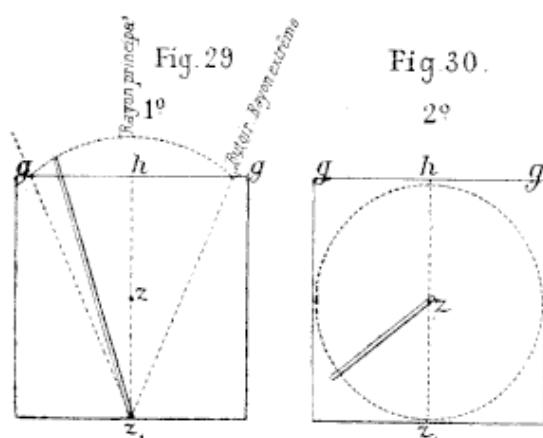
*vv*, repères verticaux sur lesquels on peut tendre un fil de cocon, de même que sur les repères horizontaux.

*Réglages et mise en station.* — Ils se font suivant les principes que nous avons déjà indiqués.

*Usage de l'appareil.* — On peut s'en servir comme d'un photogrammètre, et, en plus, comme d'une planchette. C'est pour faciliter ce second emploi, indépendant du premier, que le pivot,

l'alidade et l'une des règles peuvent se fixer soit au milieu *z* de la planchette, soit en avant, en *z<sub>1</sub>*, au-dessus de l'objectif.

Pour les points de précision, le constructeur conseille la plus grande des deux règles avec le point de rotation extrême *z<sub>1</sub>* (fig. 29).



Pour les points situés de côté, ou par derrière, on utilisera le point de rotation moyen *z*, avec la petite règle (fig. 30).

### Photogrammètre Lechner (fig. 31).

M. Lechner, de Vienne, est aussi le constructeur des appareils Pollack, Hübl, Werner.

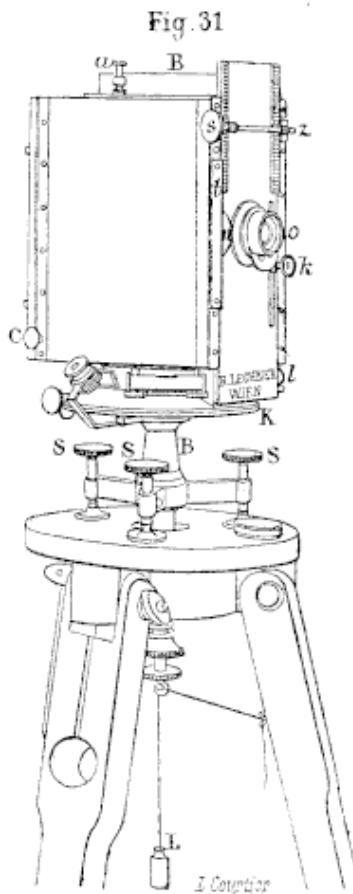
La figure 31 indique la forme de l'instrument. Il tient la place entre les photothéodolites et les appareils adaptés.

La caisse est rigide, montée sur un plateau K divisé en demi-degrés ou grades et mobile autour d'un axe vertical B. Le tout est supporté par trois vis calantes S, avec niveaux de réglage.

La chambre est reliée à l'aliadade du cercle horizontal par quatre vis, dont *deux*, suivant la direction de l'axe optique, servent à assurer la verticalité de la glace et *deux*, dans la direction perpendiculaire, servent à corriger le croisement des axes sur la glace.

L'objectif o est un anastigmat de Zeiss. Il peut se déplacer verticalement au moyen d'une crémaillère s. Une réglette t, avec vernier n, sert à mesurer ce déplacement.

L'usage et les réglages sont, du reste, ceux que nous avons déjà mentionnés.



### Autres photogrammètres.

Il existe encore, à notre connaissance, plusieurs photogrammètres qu'il convient de mentionner :

Photothéodolite du Dr *Meydenbauer* (allemand);

Appareil photogrammétrique du Dr *Vogel* et du professeur *Doergens* (allemand).

Photothéodolite du Dr *Koppe* (allemand).

Photothéodolite de l'ingénieur *Pio-Paganini* (italien);

Phototachéomètre *Vallot* (le dernier en date). Cet appareil spécialement étudié pour les dénivellations considérables et en vue du travail dans les hautes altitudes est actuellement en fonctions pour les levés du massif du Mont-Blanc.

Nous avons voulu, par cette nomenclature, montrer que les appareils photogrammétriques sont nombreux, qu'ils ont été imaginés et construits par des hommes de science et prouver ainsi la généralité et le crédit que la photogrammétrie rencontre à l'étranger.

## DEUXIÈME CLASSE

### Appareils adaptés

#### TYPE : APPAREIL DU Dr LE BON.

Le plus simple des appareils photogrammétriques est la chambre photographique ordinaire à laquelle on apporte, comme l'a fait le Dr Le Bon, les modifications suivantes.

Les conditions à remplir sont, du reste, celles que nous avons énumérées pour la première classe.

1<sup>o</sup> *Verticalité de la glace.* — Elle est toujours la conséquence de l'horizontalité de la planchette, chose que l'on vérifiera au moyen d'un *petit niveau sphérique* encastré dans l'épaisseur de la planchette.

On peut faire faire cette adaptation pour le prix de 5 à 6 francs.

2<sup>o</sup> Pour arriver à placer la bulle au centre du niveau (la centrer), il faut pouvoir faire osciller la chambre sur son pied. Le Dr Le Bon y arrive, en moins d'une demi-minute, en interposant, entre le pied et la chambre, une *calotte sphérique* (fig. 32) imitée de la calotte sphérique du colonel Goulier et dont l'invention, remontant à 1840, est due à **Bodin**, mécanicien attaché au magasin des instruments de l'École de Metz. Cette calotte sphérique,

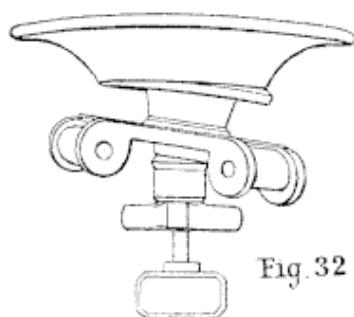


Fig. 32

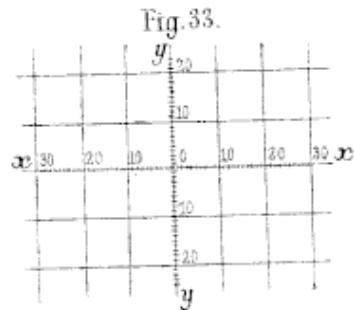


Fig. 33.

qui peut s'adapter à tous les pieds, permet à la chambre de s'incliner en tous sens et, une fois fixée, de tourner autour de son axe en restant horizontale.

3<sup>o</sup> La troisième modification à faire est de diviser en millimètres les axes XX, YY de la glace de verre dépoli (fig. 33).

De 10 mm en 10 mm sont tracées des parallèles aux axes.

Ces divisions doivent être faites à l'acide fluorhydrique; leur prix est de 10 à 12 francs.

4<sup>o</sup> Dans les appareils que l'on vend couramment le châssis porte-objectif est mobile verticalement; une graduation millimétrée

trique placée sur le côté du porte-objectif indique de combien on l'a élevé ou abaissé.

Si cette *graduation latérale* n'était pas faite on devrait la faire faire ou l'indiquer soi-même en collant une bande de papier préalablement divisée en millimètres.

5° Il est utile, en vue de simplifier l'orientation de l'instrument, de faire encastrer dans l'épaisseur de la planchette *une boussole* divisée en degrés; bien entendu, rien, dans l'instrument, n'étant en fer ou en acier.

Telles sont les seules modifications à faire à un appareil photographique ordinaire pour le transformer en un photogrammètre; nous les résumons :

- 1° Niveau sphérique encastré dans la planchette;
- 2° Calotte sphérique permettant de centrer le niveau;
- 3° Divisions millimétriques des axes de la plaque de verre et centimétriques sur la surface;
- 4° Échelle millimétrique latérale dans le cas où le châssis porte-objectif est mobile;
- 5° Boussole encastrée dans la planchette.

Aucune de ces modifications n'est de nature à modifier le poids, ni l'apparence de l'appareil. Elle n'en élève pas non plus beaucoup le prix. Disons, que l'on trouve couramment dans le commerce des chambres ainsi préparées.

Les conditions que nous avons énumérées (p. 24) s'obtiendront de la façon suivante :

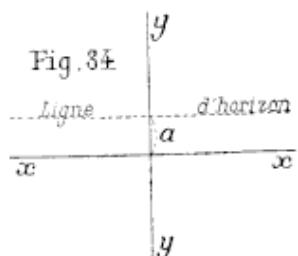
1° *Verticalité de la glace.* — Elle s'obtiendra par une série de tâtonnements au moyen de la calotte sphérique.

2° et 3° *Détermination de la ligne d'horizon et du point principal.*

On emploiera la méthode que nous avons indiquée (p. 27) à propos des instruments de la 1<sup>re</sup> classe. Mais, comme, ici, il n'y a pas de lunette déterminant le plan d'horizon et visant deux points A et B qui y sont contenus, on aura recours à un instrument auxiliaire (niveau à bulle ou autre) dont on établira la ligne de visée sensiblement à la même hauteur que l'axe optique de l'appareil et on opérera comme il a été dit plus haut.

Comme il n'y a pas de repère *ab*, on note, et on marque d'un trait, à quelle division de l'échelle millimétrique du châssis porte-objectif il faut arrêter celui-ci pour que l'axe XX de la glace coïncide avec la ligne d'horizon.

Cette position de l'objectif pour laquelle XX coïncide avec la ligne d'horizon sera la *position initiale* et si, pour les besoins, on vient à éléver ou à abaisser l'objectif, il faudra, sur la photographie,



tracer la ligne d'horizon à une distance  $z$  de la ligne médiane XX, égale à la quantité dont on a déplacé le châssis et que l'on aura eu soin d'inscrire en la lisant sur l'échelle latérale (fig. 34).

Comme les chambres sont à soufflet on peut leur faire faire *quartier* et opérer avec l'autre dimension; YY devient alors horizontal. On opère avec YY comme on l'a fait pour XX : on reconnaîtra qu'il coïncide avec la ligne d'horizon déterminée par l'appareil auxiliaire, et qu'alors son intersection avec XX (position initiale) donne le point principal  $p$ .

Cette opération de la détermination des positions initiales se fait une fois pour toutes. Si l'opérateur n'a pas suffisamment confiance en lui-même, il pourra s'adresser à un intermédiaire qui peut, du reste, être étranger à l'art du photographe.

4<sup>e</sup> *Détermination de la distance focale d.* — Nous avons vu (p. 29) une méthode générale qui s'applique à tous les instruments. C'est même celle que nous conseillons.

Avec une chambre à soufflet, on peut mettre au point des objets à distance finie, c'est-à-dire plus rapprochée que la distance minimum  $D$  (p. 23) qui correspond à la mise au point à l'infini.

#### *Troisième méthode, applicable aux chambres à tirage (soufflet).*

Quelle que soit la mise au point, il existe une relation (formule du grossissement) entre une verticale  $H$ , sa perspective  $h$ , la distance focale principale  $d$ , et la longueur  $l$  de l'objet  $H$  au point nodal d'incidence; cette relation est :

$$\pm \frac{h}{H} = \frac{d}{d-l}$$

Si l'image est droite on prendra le signe (+); si l'image est renversée, le signe (-), qui convient dans le cas actuel :

$$(1) - \frac{h}{H} = \frac{d}{d-l}$$

(1) Puisque nous sommes amené à rappeler la formule du grossissement,  $\frac{H}{h} = \frac{l-d}{d}$ , disons, qu'en toute rigueur, c'est elle qu'on devrait employer en photogrammétrie; mais, comme dans l'application  $l$ , (qui n'est autre chose que la profondeur  $D$ ), est très grand vis-à-vis de  $d$ , (distance focale principale), on néglige  $d$  vis-à-vis de  $D$  pour se servir de  $\frac{H}{h} = \frac{D}{d}$ . L'erreur est insensible.

Si on désigne par  $\frac{1}{n}$  le rapport  $\left(\frac{h}{H}\right)$ ,  
on a :  $d = \frac{l}{(n + 1)}$ .

Cette méthode présente cet avantage qu'elle s'applique pour une mise au point quelconque, que l'on n'a pas besoin de connaître; de sorte que l'objet (la verticale  $H$ ) peut se trouver très rapproché de l'objectif et donner une image  $h$  relativement grande, ce qui diminue l'importance de l'erreur de mensuration.

Pour ce calcul, on substitue à  $l$  la *distance de l'objet*  $H$  à l'*objectif*, distance que l'on mesure avec une règle.

Si, par exemple, on a :  $H = 0,400\text{ m}$ ,  $h = 0,092\text{ m}$ ,  $l = 1,20\text{ m}$ ,

$$\frac{1}{n} = \frac{92}{400} \quad d = \frac{92 \times 1,20\text{ m}}{92 + 400},$$

$$d = 0,224\text{ m}$$

Une fois la valeur de la distance focale principale déterminée, on repérera la position de la glace qui lui correspond. Comme le châssis porte-glace se meut sur une échelle horizontale graduée (on l'établira si elle n'existe pas), on aura à chaque instant la distance focale qui correspond aux positions de la glace, positions qui serviront au cas d'objets plus rapprochés que  $D$ , distance minima pour la mise au point à l'infini (p. 23).

### 5° Mesures des angles.

La division en millimètres des axes de la glace permet de mesurer les angles ou du moins leur tangente.

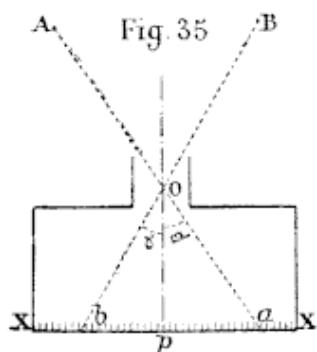
1° *Angles horizontaux.* — a) Les points  $A$  et  $B$ , dont on veut mesurer la distance angulaire  $\widehat{AOB}$ , sont sur le plan d'horizon (fig. 35).

$$\widehat{AOB} = \widehat{bop} + \widehat{poa}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{tg} \widehat{bop} = \frac{bp}{d} \\ \operatorname{tg} \widehat{poa} = \frac{pa}{d} \end{array} \right. \quad op = d$$

$pa$ ,  $pb$  se lisent directement sur l'axe  $XX$  de la glace,  $d$  est connu; le calcul est donc très simple.

b) Les points  $A$  et  $B$  ne sont pas dans le plan d'horizon (fig. 36).



Leur distance angulaire est alors celle de leur verticale dont les pieds A', B' sur le plan d'horizon formeront leur image en  $a'$ ,  $b$  dont il sera facile d'évaluer la position grâce au quadrillage de la glace. On retombe ainsi sur le cas précédent.

On voit que l'on ne peut pas mesurer directement un angle horizontal plus grand que l'angle d'ouverture de l'appareil  $\widehat{XoX}$  (fig. 35). Mais en fractionnant l'horizon, au moyen de repères natu-

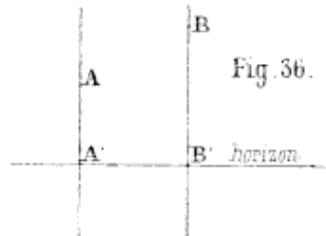


Fig. 36.

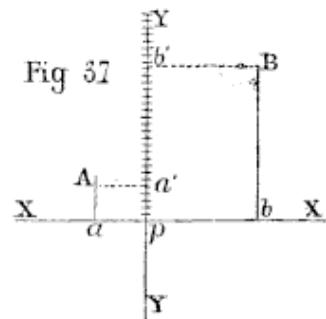


Fig. 37

rels, on pourra en faire le tour, comme on le fait avec le sextant qui, lui aussi, ne mesure qu'une fraction de la circonférence.

*2<sup>o</sup> Angles verticaux.* — Ces angles se mesurent sur l'axe YY de la glace.

La distance angulaire verticale de deux points A et B est représentée par  $\widehat{b'oa'}$  ( $o$  foyer de l'appareil) (fig. 37).

$$\widehat{b'oa'} = \widehat{b'op} - \widehat{a'op}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{tg} \widehat{b'op} = \frac{b'p}{d} \\ \operatorname{tg} \widehat{a'op} = \frac{a'p}{d}; \end{array} \right.$$

pour plus de facilité dans les mesures de  $b'p$ ,  $a'p$ , on fera pivoter la chambre de façon que A se projette sur YY; on lira  $a'p$ , puis on amènera YY à couvrir B et on lira  $b'p$ .

#### *Conversion des tangentes en degrés. — Tables et graphiques.*

Pour éviter tout calcul lors des opérations sur le terrain on calculera d'avance les valeurs de  $\left(\frac{X}{d}\right)$  ou  $\left(\frac{Y}{d}\right)$ , X ou Y variant de millimètre en millimètre et  $d$  ayant la valeur de la distance focale

de l'appareil dont on se sert; ces rapports  $\frac{X}{d}$ ,  $\frac{Y}{d}$  expriment les tangentes naturelles et au regard on inscrira la valeur en degrés des angles qu'elles représentent.

*Graphique.* — On peut aussi se servir du graphique suivant, très simple à construire (fig. 38) :

$$\overline{OA} = d$$

AB divisé en millimètres

On applique un rapporteur COD et on pointe les degrés; à une longueur  $a$ , lue sur la glace, correspond l'arc  $cb$ . ObBT est un fil fixé en O.

La chambre photographique, munie d'une glace dont les axes sont divisés en millimètres, constitue donc un *véritable théodolite*, donnant les angles horizontaux et verticaux, qui pourra servir à résoudre tous les problèmes usuels de trigonométrie, dont l'énumération serait trop longue, et qui se trouvent dans tous les traités de trigonométrie ou de topographie.

*De plus*, la ligne d'horizon XX déterminant un plan horizontal, on peut niveler avec la chambre photographique ordinaire munie des accessoires que nous avons indiqués et, bien entendu, rendue horizontale (fig. 39).

Un *appareil adapté* constitue donc un *instrument topographique complet* et nous insistons sur ce point en vue de faire connaître les ressources qu'il offre à l'explorateur, au touriste, à l'amateur.

Comme la glace divisée donne la mesure  $h$  de l'image d'une mire  $H$  et par suite son éloignement (fig. 40),  $D = \frac{d \times H}{h}$  ; qu'il est facile aussi d'y lire  $ac$  et d'en conclure  $AC$ , c'est-à-dire la distance de  $A$  au-dessus du plan d'horizon, on a à la fois la cote de  $A$ , sa distance  $D$  et son orientation (angle horizontal).

On peut donc se servir de la chambre photographique comme d'un tachéomètre.

Fig. 38.

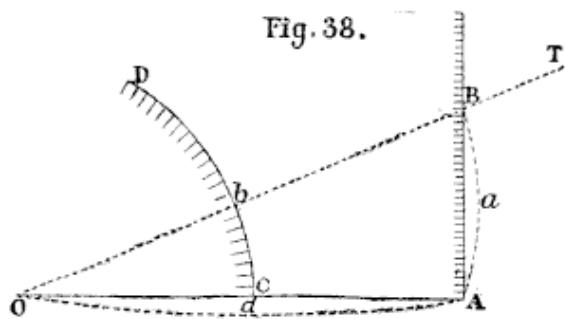


Fig. 39.

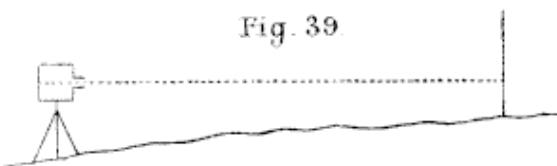
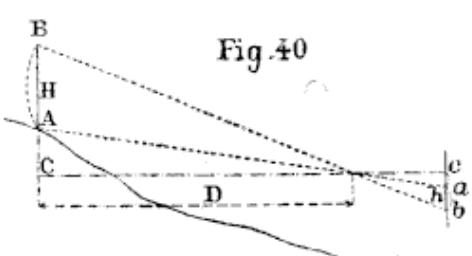


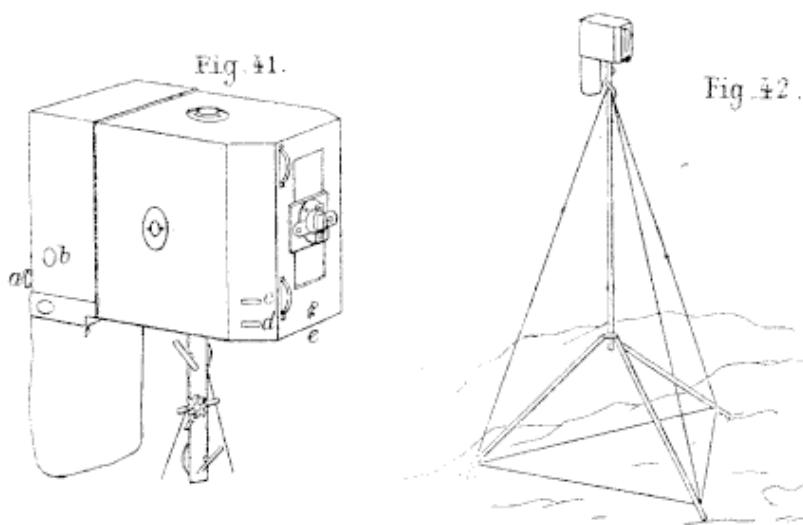
Fig. 40



### Appareil Meydenbauer.

Nous rangerons dans cette classe d'instruments le *photogrammètre, petit modèle*, du Dr *Meydenbauer*, quoiqu'il ait été construit spécialement et que la chambre soit rigide (*fig. 41 et 42*).

Les dimensions de la chambre sont  $9\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ , elle pèse  $730\text{ gr}$ . Elle est montée sur un pied à trois branches qui, en se repliant,



forme une canne de voyage de  $0,85\text{ m}$  de hauteur. Des cordes à violon tendues par des clés maintiennent l'ensemble rigide.

Une poche pouvant contenir 12 plaques du poids de  $500\text{ gr}$ , et un châssis mobile actionné par *a, b*, permettent automatiquement l'échange des plaques.

Des boutons permettent, en les pressant, d'avoir une introduction instantanée ou momentanée de la lumière.

Les réglages à faire sont ceux que nous avons indiqués plus haut.

### Appareil adapté de Werner (*fig. 43*).

A un appareil à soufflet ordinaire, on fait adapter un plateau à vis calantes et deux niveaux en croix pour la mise horizontale de ce plateau.

Le plateau, par suite la chambre, est mobile sur un axe vertical et maintenu par une vis d'arrêt avec vis de rappel.

La verticalité de la plaque est assurée au moyen de deux guides.

Des repères, ou mieux une échelle graduée, permettent de donner à l'instrument exactement la longueur qui correspond à la longueur focale de l'objectif employé.

Fig. 43

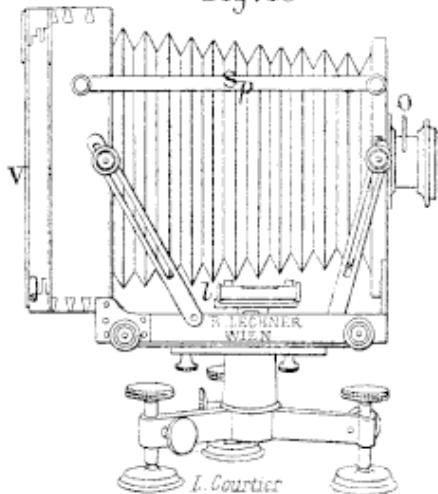
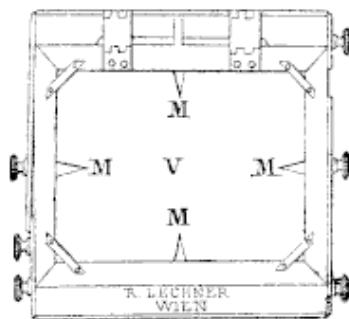


Fig. 44.



Cette longueur est maintenue immuable au moyen d'une tringle  $S_p$  qui relie les deux cadres.

*Axes, ligne d'horizon, distance focale.* — Comme pour les autres instruments que nous avons déjà étudiés.

*Objectif.* — Anastigmat de Zeiss.

## DEUXIÈME PARTIE

Cette seconde partie est entièrement consacrée aux instruments et nouvelles méthodes que nous proposons en vue de simplifier le problème d'altimétrie, c'est-à-dire la détermination de la hauteur d'un point par rapport au plan d'horizon, pris pour plan de comparaison, et d'arriver ainsi à la même simplicité que pour le problème de planimétrie.

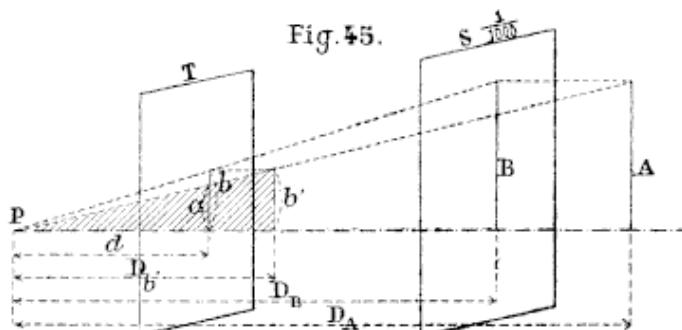
Remarque. — *Si on connaît la longueur  $h$  de la perspective d'une ligne  $H$  située dans un plan de front, pour lequel l'échelle de réduction est  $\frac{1}{1000}$  on a de suite la valeur de  $H$ ;  $H = 1000 h$ .*

En général, si l'échelle du plan de front où se produit l'image  $h$  est  $\frac{1}{m}$ , on a :  $H = m \cdot h$ .

### Première solution: Règle hypsométrique.

(Modèle n° 1.)

Nous abordons maintenant la première solution sur laquelle nous nous étendrons, car c'est à elle que nous donnons, de beaucoup, la préférence, tant à cause de sa simplicité que de sa précision qui est, comme on le verra, en quelque sorte illimitée.



Soit une perspective dont les éléments sont les suivants (figure 45) :

T, plan du tableau ;

A, une verticale dont la profondeur est  $D_A$  ;

a, la perspective de A ;

S, le plan dont l'échelle de réduction est de  $\frac{1}{1000}$ , de sorte que si A vient en B ( $A \rightarrow B$ ), la perspective  $b$  de B sera  $b = \frac{B}{1000}$ .

Déplaçons  $b$  parallèlement à lui-même, de façon qu'il vienne en  $b'$  tel que  $b' = b$  et que  $a$  puisse être regardé comme la perspective de  $b'$ .

Cherchons où se trouve placé  $b'$ , c'est-à-dire  $D_{b'}$ .

On a (*figure 45*) :

$$\frac{b'}{D_{b'}} = \frac{A}{D_A}, \quad \text{d'où} \quad D_{b'} = \frac{D_A}{1000};$$

donc, pour avoir  $b'$  il suffit de *transporter*  $a$ , comme le montre la figure, *dans le plan de front* dont la profondeur est  $\frac{D}{1000}$ .

L'appareil primitif, représenté figure 46, permet d'avoir de suite la valeur  $b' = \frac{H}{1000}$ .

Soient : M, la perspective d'un point dont on veut avoir la hauteur H au-dessus du plan d'horizon ;

R, un point *fixe* ou *repère de la règle* et tel que  $\overline{AR} = d$ .

*On placera la règle de façon que le pied de la verticale de M soit R.*

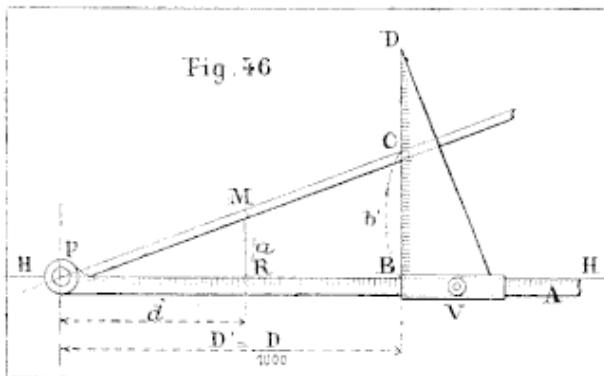
Dans ces conditions, le triangle MRP n'est autre chose que le triangle (a) (d).P de la figure 45. Et si, au préalable, on a placé et fixé l'équerre BD de façon que  $PB = \frac{D}{1000} = D_b$ , on aura, comme dans la figure précédente :

$$BC = b' = \frac{H}{1000}$$

et on lira de suite :

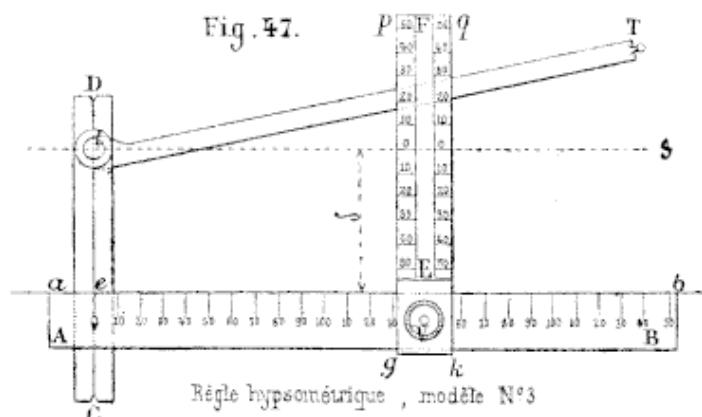
H = 1 000, BC.

NOTA. — La profondeur D du point se mesure toujours directement au plan supposé rapporté.



DESCRIPTION ET USAGE DE LA RÈGLE

La règle telle que nous l'avons fait exécuter est représentée par la figure 47. AB est une règle graduée en  $1/2$  millimètres, sur laquelle est fixée, à l'une de ses extrémités, une lame métal-



lique CD où se trouve tracé un trait fin, rigoureusement perpendiculaire à l'arête  $ab$  de AB et terminé par deux encoches C, D.

EF est une autre règle, à arêtes  $gp$ ,  $kq$  parallèles et biseautées divisée chacune en demi-millimètres.

EF coulisse à frottement doux sur AB en lui restant toujours *perpendiculaire*.

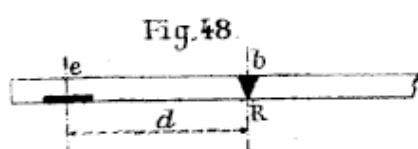
Une vis d'arrêt V permet de fixer EF sur AB dans une position quelconque.

Le zéro des divisions de EF se trouve à une distance  $\varepsilon$  de l'arête  $ab$  et le numérotage est symétrique par rapport à ce zéro.

Sur le trait CD se trouve en  $t$  le tourillon d'une règle  $tT$  à une distance  $te$  rigoureusement égale à  $\varepsilon$  ( $te = \varepsilon$ ).  $ts$  sera la *ligne des zéros* ou la ligne d'horizon exactement parallèle à  $ab$ .

Un fil très fin peut remplacer la règle  $tT$ .

*Repère.* — Nous avons donné le nom de repère au point fixe R (fig. 46) situé à une distance  $eR = d$  de l'origine  $e$  des divisions de AB,  $d$  étant la distance focale de l'appareil. La position du point R variera donc avec l'instrument et nous conseillons d'indiquer ou de régler le repère de la façon suivante :



L'opérateur découpera un petit triangle de papier  $br$  qu'il viendra coller sur l'épaisseur de la règle (fig. 48) de façon que la pointe R corresponde exactement à la division de  $eb$  exprimant  $d$  ( $eR = d$ ).

Ainsi déterminé, ce point ne sera pas un arrêt pour le coulisseau EF, ce qui est essentiel.

Si on a toujours affaire au même appareil, de foyer constant, un simple trait peut indiquer R.

*Échelles.* — Il y a à considérer deux échelles :

4° L'échelle  $\frac{1}{n}$  du rapport au plan qui, pour les études, est en général  $\frac{1}{1000}$ ,  $\frac{1}{2000}$  ou  $\frac{1}{5000}$ .

2º L'échelle  $\frac{1}{m}$  de la règle sur laquelle on lit  $h = \frac{H}{m}$

## USAGE DE LA RÈGLE

Supposons pour le moment le plan rapporté au  $\frac{1}{4000}$  ( $n = 4000$ ) et prenons pour la règle la même échelle ( $m = 4000$ ).

Nous avons vu (p. 43, *fig. 46*) que nous devions placer le coulisseau de la règle à une distance de l'origine égale à  $\frac{D}{1000}$ , D étant la profondeur du point M que l'on considère, l'échelle de rapport du plan étant  $\frac{1}{n} = \frac{1}{1000}$ .

*Le plan donnera de suite, en vraie grandeur, la distance à laquelle on doit placer le coulissoeur.* | Fig. 59.

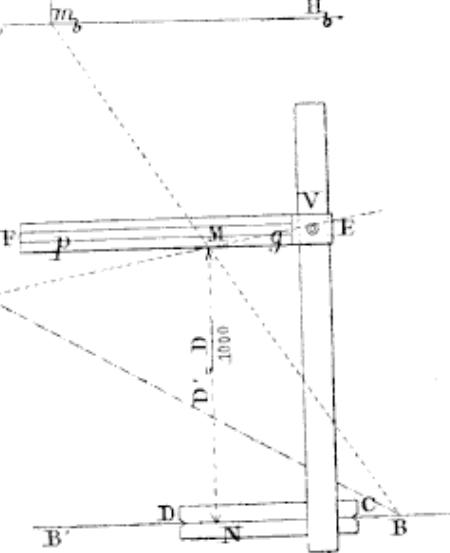
Soit un point M (*fig. 49*) rapporté comme il a été dit (p. 47) au moyen de deux photographies  $H_h H_h$ ,  $H_a H_a$ .

Par B, station d'où a été pris  $H_b$   $H_b$ , menons BB' parallèle à  $H_b$   $H_b$ .

MN perpendiculaire à BB' présente, comme on sait, la profondeur du point M à l'échelle  $\frac{4}{1000}$  :

$$MN = D' = \frac{D}{4000}.$$

Fig. 49.



Donc si on vient appliquer la règle dans la position indiquée sur la figure 49 (où  $CD$  coïncide avec  $BB'$ ) et que l'on fixe le cou-

lisseau quand l'une de ses arêtes viendra affleurer le point M, on l'aura mise *mécaniquement* en place, évitant : *une lecture au décimètre sur le plan, ainsi qu'une autre lecture sur la règle AB pour amener le coulisseau au point voulu.*

Comme il est essentiel que le repère R soit apparent, qu'il ne soit pas recouvert par la réglette EF, on a gradué les deux biseaux.

Les figures 50 et 51 montrent qu'en utilisant l'une ou l'autre des deux arêtes, on pourra toujours laisser R à découvert. Seulement il faudra lire  $h = \frac{H}{1000}$  sur celle des arêtes que l'on a placée à l'affleurement de M et pour laquelle on a bien :

$$D' = \frac{D}{1000}.$$

EF mis en place, nous n'avons plus qu'à porter la règle sur la photographie  $H_b H_b$ , de façon que  $ts$  coïncide avec la ligne d'horizon et que la verticale  $M_b m_b m'_b$  du point M passe exactement par le point de repère R de la règle (fig. 52).

Dans ces conditions, si on fait pivoter la règle  $tT$ , ou que l'on tende le fil de façon que  $tT$  passe par  $M_b$ , on a vu (p. 43) que :

$$h = \alpha \beta = \frac{H}{1000}.$$

Fig. 50.

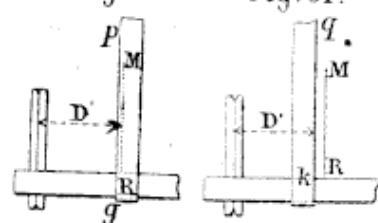


Fig. 51.

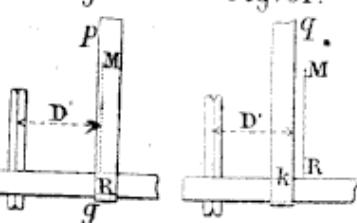
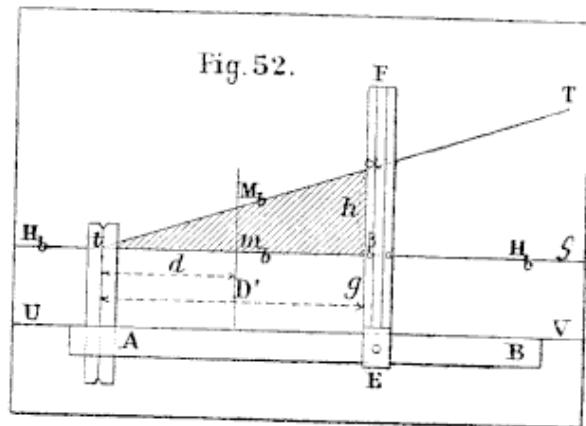


Fig. 52.



*Remarque.* — Suivant que  $M_b$  est au-dessus ou au-dessous de la ligne d'horizon,  $h$  sera positif ou négatif, et la cote du point M s'obtiendra en *ajoutant*, ou *retranchant*,  $H$  de  $C_B$ , cote du plan d'horizon à la station B, qui se compose elle-même de la cote  $(B_B)$  du terrain augmentée de la hauteur  $l$  de l'instrument au-dessus du piquet B; de sorte que  $C_M$  étant la cote du point M, on a :

$$C_M = C_B \pm H$$

avec

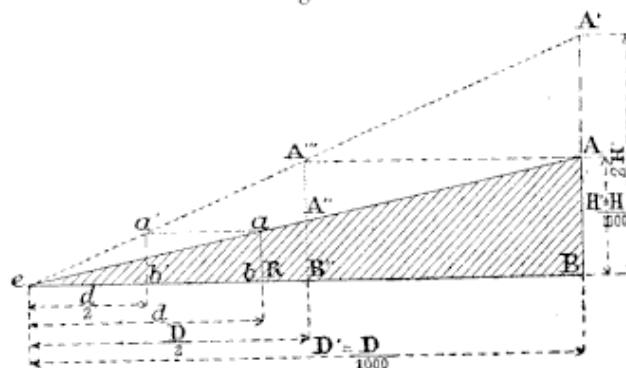
$$C_B = B + l.$$

DÉPLACEMENT DU REPÈRE. — CHANGEMENT D'ÉCHELLE DE LA RÈGLE  
DEGRÉ D'APPROXIMATION

On doit faire ici une remarque intéressante au point de vue de l'application de la règle et de la précision presque indéfinie que l'on peut obtenir avec son emploi.

Si, au lieu de prendre  $eR = d$  pour déterminer le repère, on prend une fraction de  $d$ , on ne fera que changer le rapport de

Fig. 53



similitude des triangles qui ont servi à notre raisonnement (p. 255 et suiv.).

1<sup>o</sup> Ainsi (fig. 53) si avec  $D' = \frac{D}{1000}$  on prend  $eR = d$  on est dans le cas où nous nous sommes placés et :

$$h = AB = \frac{H}{1000} \quad (\text{tri. } eab, eAB)$$

2<sup>o</sup> Si au lieu de régler le repère avec  $d$ , on le règle avec

$$eR' = \frac{d}{2},$$

on constituera les triangles  $ea'b'$ ,  $eA'B'$ ,

$$\text{où } h' = A'B' = 2AB = 2h = 2 \left( \frac{H}{1000} \right).$$

*Dans ce cas l'échelle de la règle est doublée ainsi que le degré d'approximation.*

3<sup>o</sup> Si on réglait le repère avec  $\frac{d}{4}$  ( $eR'' = \frac{d}{4}$ ) l'échelle de la règle serait quadruplée, il en serait de même du degré d'approximation.

EN GÉNÉRAL, si on règle le repère R avec la distance  $\frac{d}{k}$ , l'échelle de la règle est rendue  $k$  fois plus grande et la précision est multipliée d'autant.

On voit donc que, par le réglage de R, on est maître du degré d'approximation de la règle.

### INFLUENCE DE L'ÉCHELLE $\frac{1}{n}$ DU RAPPORT AU PLAN

Si, comme nous le conseillons, on place directement le coulisseau de la règle sur le plan afin d'éviter une double lecture (p. 45, *fig. 49*), l'échelle  $\frac{1}{n}$  intervient forcément.

1° Nous avons examiné le cas où  $n = 1,000$ .

2° Soit l'échelle  $\frac{1}{n} = \frac{1}{2000}$ ; dans ce cas, le plan donne et place le coulisseau à la distance :  $MN = \frac{D}{2000} = \frac{D'}{2}$ .

a) Si  $R$  est réglé avec  $d$ ,  $AB$  est remplacé par  $A''B''$  (triangles  $abe$ ,  $A''eB''$ ) (*fig. 53*) et l'on a :

$$h'' = A''B'' = \frac{AB}{2} = \frac{h}{2} = \frac{1}{2} \left( \frac{H}{1000} \right).$$

L'échelle est *réduite de moitié* ainsi que le degré d'approximation.

b) Si  $R$  est réglé avec :  $\frac{d}{2}$

$$h = A''B''' = AB = h = \left( \frac{H}{1000} \right).$$

L'échelle n'est *ni diminuée, ni augmentée*.

c) Si  $R$  est réglé avec  $\frac{d}{4}$ , l'échelle et par suite le degré d'approximation seront *doublez*.

EN GÉNÉRAL, si  $\frac{1}{n}$  est l'échelle du rapport du plan et que l'on place directement l'arête du coulisseau à la distance  $\left( \frac{D}{n} \right)$  ;

Si le repère est réglé avec la valeur  $\frac{d}{k}$  :

L'échelle, par suite l'approximation, de la règle sera :  $\left( \frac{k}{n} \right)$ .

On devra donc disposer de  $k$  et de  $n$  de la façon la plus avantageuse.

Voici, du reste, les différentes combinaisons pratiques que l'on peut adopter avec un appareil de distance focale égale à  $0,20\text{ m}$  en considérant les échelles en usage pour les études  $\left( \frac{1}{1000}, \frac{1}{2000}, \frac{4}{5000} \right)$ .

La première colonne du tableau indique l'échelle de rapport du plan,  $\frac{1}{n}$ ;

La seconde, la valeur de  $eR = \frac{d}{k}$  qui a servi au réglage du repère R;

La quatrième, l'échelle  $\left(\frac{k}{n}\right)$  de la règle :  $h = \frac{k}{n} \cdot H$ ;

La cinquième, la traduction linéaire de l'échelle : 1 mm p. 1 m, 2 mm p. 1 m., etc.;

La sixième, l'erreur ou l'approximation sur laquelle on peut compter en supposant que l'on apprécie le quart de millimètre, ce qui est facile puisque la règle EF est divisée en demi-millimètres.

TABLEAU DES COMBINAISONS DE  $k$  ET DE  $n$  AVEC  $d = 0,200$  m

ÉCHELLE d'UN PAS	RÉGLAGE de R $eR = \frac{d}{k}$	VALEUR de D'	VALEUR de $h$ (Échelle de la règle) $h = \frac{k}{n} \cdot H$	ÉCHELLE de la RÈGLE	APPROXIMATION en lisant à 1/4 de millimètre près
1°	0	$eR = d = 0,20$ m	0	$h = \frac{H}{1000}$	1 mm pour 1 m 0,25 m
	$\frac{1}{4000}$	$eR = \frac{d}{2} = 0,10$ m	$D' = \frac{D}{4000}$	$h = 2 \left( \frac{H}{1000} \right)$	2 mm — 1 m 0,12 m
	0	$eR = \frac{d}{4} = 0,05$ m	0	$h = 4 \left( \frac{H}{1000} \right)$	4 mm — 1 m 0,06 m
2°	0	$eR = d = 0,20$ m	0	$h = \frac{1}{2} \left( \frac{H}{1000} \right)$	$\frac{1}{2}$ mm pour 1 m 0,50 m
	$\frac{1}{2000}$	$eR = \frac{d}{2} = 0,10$ m	$D' = \frac{D}{2000}$	$h = \frac{H}{4000}$	1 mm — 1 m 0,25 m
	0	$eR = \frac{d}{4} = 0,05$ m	0	$h = 2 \left( \frac{H}{1000} \right)$	2 mm — 1 m 0,12 m
3°	0	$eR = d = 0,20$ m	0	$h = \frac{H}{3000}$	1 mm pour 3 m 1,25 m
	0	$eR = \frac{d}{2} = 0,10$ m	0	$h = 2 \left( \frac{H}{3000} \right)$	2 mm — 3 m 0,62 m
	$\frac{4}{5000}$	$eR = \frac{d}{3} = 0,04$ m	$D' = \frac{D}{5000}$	$h = \frac{H}{4000}$	1 mm — 1 m 0,25 m
	0	$eR = \frac{d}{10} = 0,02$ m	0	$h = 2 \left( \frac{H}{1000} \right)$	2 mm — 1 m 0,12 m

*Remarque.* — Si on veut utiliser la graduation de  $ab$  et prendre chaque fois  $D' = \frac{D}{1000}$ , quelle que soit l'échelle  $\frac{1}{n}$  du plan, on sera toujours dans les conditions du premier cas.

Enfin, remarquons que plus  $d$  sera grand, plus  $\frac{d}{k}$  le sera et plus éloignés seront les points  $t, M_b$  (fig. 52); ce qui est une bonne condition pour la détermination de la droite  $tM_bT$ .

Nous avons déjà remarqué que plus  $d$  était grand, plus l'était la perspective  $h$  d'une verticale  $H$  ( $h = d \cdot \frac{H}{D}$ ), ce qui fait double raison pour préférer les objectifs à long foyer.

*Addition.* — On peut encore, pour plus de précision, faire conduire par la règle  $Tt$  (fig. 47) un vernier au  $\frac{1}{10}$  se mouvant sur la réglette  $EF$  et dont le zéro soit toujours sur l'arête  $Tt$  qui passe par le point. On aura ainsi pour les lectures une plus grande approximation et au lieu de  $1/4$  de millimètres que nous avons supposé pour établir le tableau de la page 49, ce sera le  $1/10$  de millimètres; en le modifiant en ce sens on verra l'erreur sur laquelle on peut compter.

## RÈGLE DE PROFONDEUR

### Préliminaires.

#### LOI DE RÉDUCTION, EN PERSPECTIVE, D'UNE VERTICALE $H$ QUI SE MEUT DANS L'ESPACE. — TABLES

Si une verticale de longueur constante  $H$  se meut dans l'espace, ses perspectives  $h$  varient suivant une loi exprimée algébriquement par :

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

dans laquelle :  $d$  = longueur focale de l'appareil;  $D$ , profondeur qui définit la position de  $H$ .

Supposons que nous prenions  $\left\{ \begin{array}{l} H = 5,00 \text{ m} \\ d = 0,20 \text{ m} \end{array} \right.$

on a :  $H \cdot d = 5 \times 0,2 = 1$

d'où  $h = \frac{1}{D}$ .

Donnons à  $D$  les valeurs successives 1, 2, 3.... 4 000, nous aurons pour  $h$  des valeurs correspondantes que nous inscrirons en face des valeurs de  $D$  qui leur ont donné naissance. Nous obtenons ainsi le tableau, dont nous ne donnons ici qu'un spécimen, qui se trouve calculé en entier dans notre brochure que nous avons déjà mentionnée ainsi que dans plusieurs aide-mémoire.

*Tables des valeurs de  $y = \frac{1}{D}$  quand  $D$  varie de mètre en mètre de 0 m à 4 000 m.*

SPECIMEN		SPECIMEN	
$D$	$Y = \frac{1}{D}$	$D$	$Y = \frac{1}{D}$
en mètres	en millimètres	en mètres	en millimètres
$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
1 m	4000 mm	100 m	10 mm
2	500 mm	101	9,90
.	.	102	9,80
.	.	.	.
20 m	50 mm	.	.
21	47,6	150 m	6,67
.	.	200 m	5 mm
50 m	20 mm	.	.
51	19,61	.	.
52	19,23	500 m	2 mm
.	.	.	.
.	.	1 000 m	.
.	.	.	.

LOI DE RÉDUCTION, EN PERSPECTIVE, DES LIGNES DE PROFONDEUR  
RÈGLE DE PROFONDEUR

Si on divise une ligne de profondeur, c'est-à-dire une perpendiculaire au plan du tableau, en parties égales, les perspectives de ces segments égaux seront réduites inégalement suivant une loi que nous allons indiquer.

1<sup>o</sup> Construction graphique de la règle de profondeur.

Considérons les deux photographies *aa*, *bb* mises en place (fig. 54).

Soit un point *M* qui figure sur les deux perspectives et dont la position en plan est donnée par la méthode des intersections.

Supposons une verticale *EF*, d'une longueur égale à 5 m ( $EF = 5\text{ m}$ ). Dans le mouvement que nous donnerons à *EF*, nous supposerons que son pied *F* reste dans le plan d'horizon et que l'autre extrémité *E* soit au-dessous de ce plan.

Soient *ef*, *ef*, les perspectives de cette mire, sur l'une et l'autre photographie, pour une position déterminée.

Soit *E* la position en plan, obtenue par intersection, de la mire *EF*.

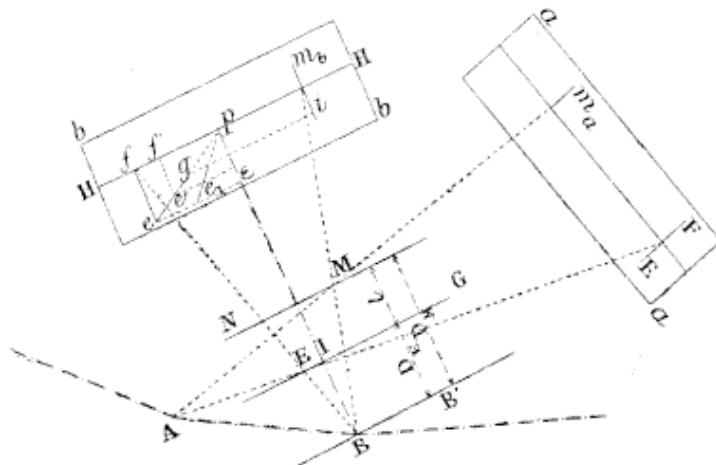
Les plans de front des points *M*, *E*, *B* sont déterminés par les droites *MN*, *EG*, *BB'* parallèles à la ligne d'horizon *HH* de *bb*.

Les profondeurs de ces plans sont  $D_M$ ,  $D_E$ .

La différence de profondeur de *M* et de *E* :  $l = D_M - D_E$ .

La différence de niveau des deux points *M* et *E* est donnée

Fig. 54



par la distance verticale qui sépare les deux plans horizontaux passant par ces points.

Cette distance est mesurée par  $m_b i -$  (si *i* est l'intersection du plan horizontal de *E* avec la verticale de *M*),  $m_b i$  étant réduit à l'échelle du plan de front de *M*, c'est-à-dire  $\left(\frac{d}{D_M}\right)$ .

*p* étant le point principal,

*pe* sera une ligne de profondeur.

Si partant de  $e$  et cheminant sur  $ep$  d'une quantité  $eg$ , mesurant en perspective la longueur  $l$ , nous atteindrons le plan de front de  $M$  qui est séparé du précédent justement de cette longueur  $l$ .

Si donc  $ep$  était gradué perspective de mètre en mètre, rien ne serait plus facile que d'y apprécier  $l$ , puis de mener, dans le plan de front de  $M$ , l'horizontale de front  $gi$  qui rencontrera en  $i$  la verticale de  $M$ .

Ce qui permettrait aussi de résoudre le problème plus général :

*Trouver les intersections successives du plan horizontal passant par  $E$  avec les différents plans de front.*

On est donc amené ainsi à :

*Diviser  $pe$  **perspectivement** de mètre en mètre.*

Supposons en premier lieu que la mire  $EF$  ( $H = 5\text{ m}$ ) ait été placée dans un plan de front de profondeur  $D_E$ ,

$$D_E = 40\text{ m}$$

et que l'on ait photographié avec un appareil dont la longueur focale est  $d$  ( $d = 0,20\text{ m}$ ), on a :

$$h = ef = \frac{5 \times 0,20}{40} = 0,025\text{ m.} \quad (\text{Fig. 54.})$$

Calculons ce que devient la perspective  $h'$  quand la mire, dont le pied restant sur  $pe$ , se transporte à  $10\text{ m}$  plus en profondeur, c'est-à-dire quand sa profondeur est devenue  $D_E = 40\text{ m} + 10\text{ m} = 50\text{ m}$ ,

$$h' = \frac{5 \times 0,20}{50} = 0,020\text{ m}$$

et plaçons cette image sur la photographie.

Dans ce mouvement, les extrémités de la mire, conservant les mêmes niveaux, sont restées sur les lignes de profondeur  $pf$ ,  $pe$ ; il suffit donc de prendre  $e'f' = h' = 0,020$  pour avoir la nouvelle perspective de la mire, dont  $ee'$  mesure le déplacement, c'est-à-dire  $10\text{ m}$ .

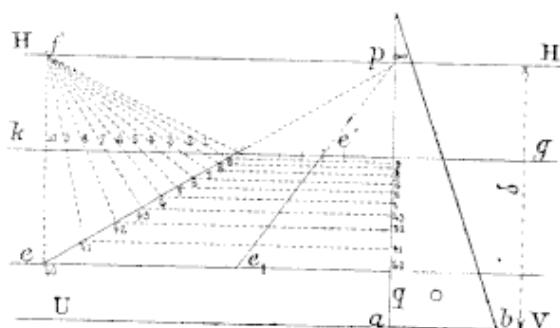
Si on divise  $ee'$  perspective en dix parties égales — ce que l'on sait faire, — on aura gradué  $eg$  de mètre en mètre de  $40$  à  $50$ .

Après avoir déterminé  $e$ ,  $e'$  (fig. 55) (points  $40$  et  $50$ ), on mènera par  $e'$  une parallèle  $gK$  à  $HH'$  sur laquelle on prendra dix divisions quelconques, mais égales entre elles; on joindra  $e$  au point  $40$  jusqu'en  $f$  que l'on réunira aux points  $1, 2, 3 \dots 9$ , ce qui donnera sur  $ee'$  les divisions  $41, 42 \dots 49\text{ m}$ . On complétera les divisions

en continuant à porter sur  $gK$ , à droite et à gauche, la longueur arbitraire que l'on a choisie etachevant la construction.

Si on avait considéré une autre position  $e_1$ , du pied de la mire dans le même plan de front  $e$ , on aurait à diviser perspectivement

Fig. 55



la base  $e_1e_1'$ , en dix parties égales ; il est facile de voir que les *divisions correspondantes* de  $ee'$ ,  $e_1e_1'$  sont sur des droites parallèles à  $HH$ ; cela résulte des propriétés des plans de front :

Ce que l'on traduit en disant que tous les *points*

*correspondants des segments de même niveau, tel que  $pe$ , ont même projection sur la droite  $pq$ , droite qui correspond à la perspective de la mire quand celle-ci est dans la direction du rayon principal.*

Si on trace ces dernières divisions sur une règle métallique ou simplement sur une bande de papier, on constitue la *règle de profondeur* qui permet de mener des horizontales de même niveau que le point  $E$  dans les différents plans de front, et d'avoir ainsi, sans construction, la différence de niveau  $m_b i$  (fig. 54) des points  $M$ ,  $E$  à l'échelle du plan de front  $M$ .  $\left(\frac{d}{D_M}\right)$ .

Soient, par exemple,  $D_E = 40$  la profondeur du point  $E$ ,  $D_M = 55$  celle du point  $M$ . Si on fait glisser jusqu'en  $M$  la règle  $pq$  (fig. 54 et 55), en la maintenant de façon que sa division 40 coïncide toujours avec la ligne  $ee$ , et que sa direction reste perpendiculaire à  $HH$ , il suffira de marquer le point  $i$  où tombe la division 55 pour avoir le point de rencontre de l'horizontale de même cote que  $E$  avec la verticale de  $M$ . La longueur  $m_b i$  donne, à l'échelle du plan de front de  $M$ ,  $\left(\frac{9,20}{55}\right)$ , la différence de niveau entre  $M$  et  $E$ .

#### HORIZONTALE REPÈRE

Faire coïncider une division fixe de la règle avec la parallèle correspondante s'appelle : *repérer la règle*. Pour repérer la règle, on tracera, au moyen de tables, l'une des horizontales (pour  $D = 50 m$ ,  $y = 20 mm$ ) (fig. 55). On viendra appliquer la règle en mettant en coïncidence les divisions 50 : la ligne  $ab$  sera l'*horizontale repère*.

Elle est à une distance  $\varepsilon$  de HH; on mesurera une fois pour toutes cette distance qui servira, pour chaque photographie, à tracer immédiatement la ligne UV.

2<sup>o</sup> DÉTERMINATION, PAR LE CALCUL, DES DIVISIONS DE LA RÈGLE  
DE PROFONDEUR

On doit remarquer que (fig. 54) :

$$p\varepsilon = ef = h$$

$$p\varepsilon = \frac{H \times d}{D}$$

et qu'en se plaçant dans le cas où  $H = 5\text{ m}$ ,  $d = 0,20$ ,

$$p\varepsilon = \frac{1}{D}$$

c'est-à-dire que les points de division, comptés à partir de  $p$ , seront donnés par le tableau de la page 54, donc :

*La loi de réduction des lignes de profondeur, aussi bien que celle des perspectives, est représentée par :*

$$yD = 1 \quad (p\varepsilon = y),$$

c'est-à-dire, par une hyperbole équilatérale dont les asymptotes sont les axes de coordonnées et que l'on construit facilement point par point en se servant du tableau de la page 54,  $y = \frac{1}{D}$ .

GÉNÉRALITÉ DE LA RÈGLE

Soit que la règle de profondeur ait été construite géométriquement, soit qu'elle ait été calculée par la formule :

$$p\varepsilon = y = \frac{1}{D},$$

on s'est placé dans le cas où :

$$H = 5\text{ m}, \quad d = 0,20\text{ m}$$

afin d'avoir :  $H \times d = 1$ .

Si on emploie un appareil photographique dont la longueur focale soit  $d'$ , il faudra se servir d'une mire de longueur  $H' = \frac{1}{d'}$  de façon à avoir encore :  $H'd' = 1$ , qui est la *condition essentielle*.

pour que  $\left(\frac{Hd}{D}\right) = \left(\frac{H'd'}{D}\right) = \frac{1}{D} = y$ .

Exemple : si  $d' = 0,480\text{ m}$ ,  $H' = 5,55\text{ m}$ .



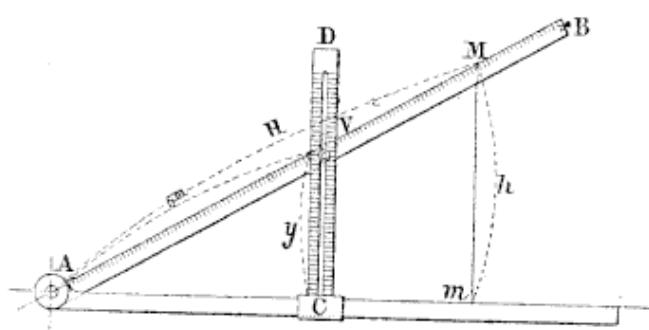
*Remarque.* — On verra que cette mire n'intervient dans nos lectures et dans nos constructions graphiques que par ses perspectives, qui *servent d'étalons*; elle ne figure pas sur les photographies; en un mot, elle est *fictive*.

## Autres règles hypsométriques. Deuxième solution

Soit  $M$  la perspective (fig. 56) photographique d'un point dont la profondeur est  $D$ .

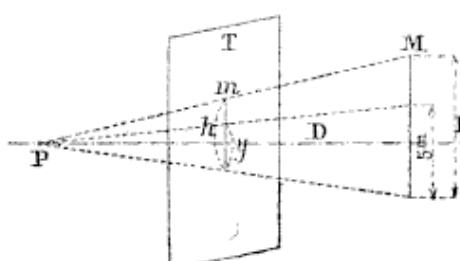
$Mm = h$  la perspective de sa hauteur  $H$  qu'il s'agit de calculer.

Fig. 56



Si  $d = 0,20$  est la longueur focale de l'appareil avec lequel on a photographié, la longueur  $\lambda$  de la mire fictive que nous avons considérée sera  $\lambda = 5\text{ m}$  ( $\lambda d = 1$ ) et si cette mire, supposée dans

Fig. 57



que cette ligne, supposée dans le même plan (fig. 58) de front que M, avait été photographiée, sa perspective eût été  $y$ , dont la valeur  $y = \frac{1}{D}$  est donnée par les tables.

$$\text{On a: } \frac{H}{h} = \frac{5m}{y} = \left(\frac{D}{d}\right)$$

dans laquelle  $H$  est l'inconnue que nous donnera de suite la *règle hypsométrique* représentée en principe par la figure 56.

AB est une règle divisée tournant autour de A.

CD une réglette également divisée coulissant sur AC en lui restant toujours perpendiculaire

Un tourillon avec vis de serrage. Ce tourillon fixe est placé à une distance telle que :  $AV = 5\text{ m}$  à l'échelle de la règle.

On lit  $y$  dans les tables; on amène le bord de AB à coïncider avec la division  $y$  de CD et l'on fixe au moyen de la vis V.

On applique ensuite l'instrument de façon que l'arête AC restant sur la ligne d'horizon, l'arête AB passe par le point M. Dans cette position on lira AM qui n'est autre que H, car on a :

$$\frac{AM}{h} = \frac{5m}{y}.$$

### Troisième solution: Construction graphique.

Supposons, pour fixer les idées, la longueur focale  $d = 0,20\text{ m}$ , la mire fictive aura alors une longueur  $\lambda = 5\text{ m}$  ( $\lambda d = 1$ ).

Menons au-dessous de HH' (fig. 58)  
AA' parallèle à une distance

$$\delta = \frac{\lambda}{4000} = 5 \text{ mm.}$$

Soit M un point sur la photographie. Ce point a une profondeur D que l'on mesurera sur le plan. (*Planimétrie*, page 47.)

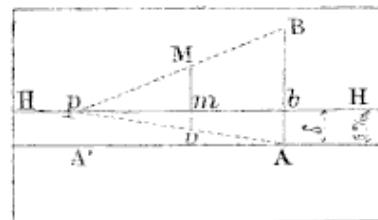


Fig. 58

Dans ce plan de front D, une verticale égale à  $\lambda = 5m$  donne une perspective dont la valeur, inscrite au tableau (p. 51) est  $y$ . Portons cette valeur en  $mV$ :

$$mV = \lambda \left( \frac{0,20}{D} \right) = \left( y = \frac{4}{D} \right).$$

Menons la ligne de profondeur  $pV$  jusqu'à sa rencontre A avec la parallèle AA' ainsi que les lignes AB, PMB.

Je dis que :  $Bb = \frac{H}{1000}$

### Car on a ;

$$Bb = Ab, \frac{Mn}{m\sqrt{V}}$$

avec

$$\left. \begin{array}{l} mV = \lambda \cdot \frac{d}{D} \\ Mm = H \cdot \frac{d}{D} \\ Ab = \frac{\lambda}{1000} \end{array} \right\}$$

d'oui

$$Bb = \frac{\lambda}{1000} \cdot \left( \frac{H}{\lambda} = \frac{H}{1000} \right)$$

On voit qu'au lieu de  $Ab = \frac{\lambda}{1000} = 5 \text{ mm}$  on aurait pu prendre  $Ab' = \frac{\lambda}{100} = 0,05 \text{ m}$  et on eût trouvé :

$$B'b = \frac{H}{100}$$

c'est-à-dire une approximation dix fois plus grande.

Cette solution n'exige *aucun instrument*.

On voit de suite quelle modification il faut apporter au tracé dans le cas où  $d = 0,20\text{ m}$ .

Si, par exemple,  $d = 0,18\text{ m}$ , on a :

$$\text{Hauteur de la mire fictive . . . . . } \lambda = \frac{1}{d} = \frac{1}{0,48} = 5,55 \text{ m}$$

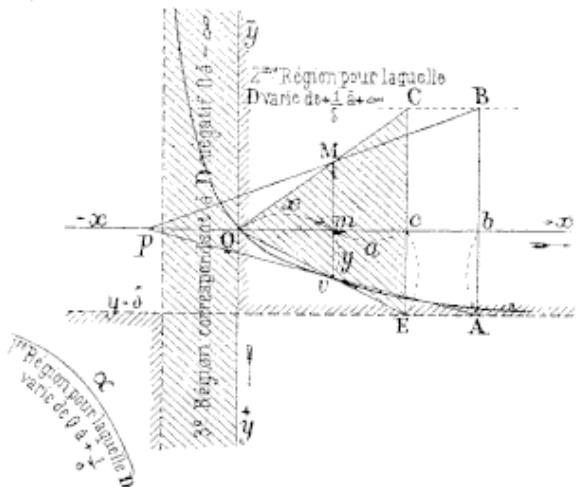
$$\text{Distance de la parallèle AA'} \dots \dots \dots \lambda = \frac{\lambda}{1000} = 5,55 \text{ mm.}$$

#### Quatrième solution : Règle hypsométrique.

(Modèle n° 2.)

Remarque. — *Tout point Q de la ligne d'horizon (fig. 59) peut remplacer le point principal P dans la construction précédente.*

Fig. 59



Car  $cE$  étant toujours égale à  $bA = cE$

$$cG = bB = \frac{H}{1000}.$$

Posons :  $mQ = x$ ,  $mc = a$ ,  $bA = cE = \varepsilon = \frac{\lambda}{1000}$

les triangles hachés de la figure donnent :

$$\frac{x}{y} = \frac{x+a}{\mathfrak{z}}$$

d'où :

$$x = \frac{ay}{\mathfrak{z} - y};$$

mais comme nous avons toujours  $y = \frac{4}{D}$ ,

$$x = \frac{a}{\mathfrak{z}D - 4}.$$

Si donc on prend pour  $a$  une valeur constante, à toute valeur de  $D$  correspondra pour  $x$  une valeur déterminée; on pourra même construire un tableau de ces valeurs  $x$  en faisant  $D$  successivement égal à 1, 2, 3... 4 000 comme il a été fait (page 51). Mais si  $a$  a été convenablement choisi ce même tableau donne de suite les valeurs de  $x$ .

#### CHOIX DE $a$ .

En effet,  $\lambda$ , longueur de la mire fictive, répond à :  $\lambda d = 1$  ou  $\lambda = \frac{1}{d}$ ;

mais  $\mathfrak{z} = \frac{\lambda}{4000} = \frac{1}{4000d}$ ,

la valeur de  $x$  devient donc :

$$x = \frac{a}{\mathfrak{z}D - 4} = \frac{1000 \cdot ad}{D - 1000d},$$

$d$  étant donné en millimètres,  $1000d$  est un *nombre entier*  $N$ .

$D - N$  est donc un nombre entier ou peut être considéré comme tel :  $D - N = n$  :

$$x = \frac{1000 \cdot ad}{n}$$

et si l'on pose  $1000ad = 10$  :

$$x = 10 \left( \frac{1}{n} \right)$$

c'est-à-dire que les nombres du tableau de la page 51, multipliés par 10, donnent les valeurs de  $x$  correspondantes à  $D$ .

$1000 \cdot ad = 10$  donne la valeur qu'il faut prendre pour  $a$  :

$$a = \frac{10}{1000d} = \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{d} = \frac{\lambda}{100}.$$

Dans l'exemple que nous avons couramment pris,

$$a = \frac{5}{400} = 0,050 \text{ m} \quad a = 50 \text{ mm}.$$

Si  $d$  prend une autre valeur  $d' = 0,18 \text{ m}$  la valeur à prendre pour  $a$  sera :

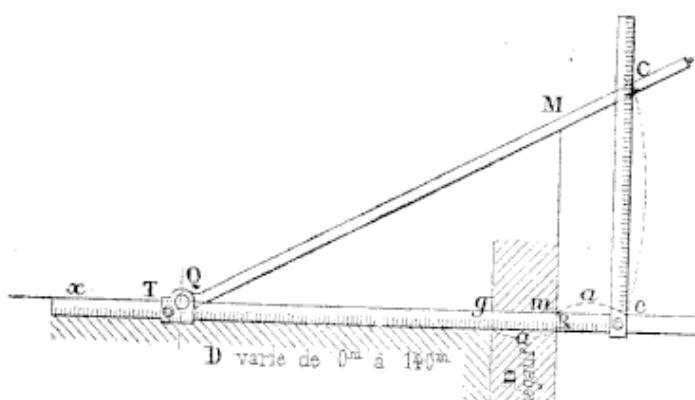
$$a = \frac{1}{400 d} = \frac{1}{18} = 0,055 \text{ m} \quad (55 \text{ mm}).$$

Les tables conservent donc leur généralité.

### Règle hypsométrique.

Ces remarques faites, nous avons construit le modèle n° 2 de la façon suivante (fig. 60) : Ce est une règle graduée en demi-milli-

Fig. 60



mètre fixée d'équerre sur  $cQx$  qui est également graduée et dont R est l'origine, c'est-à-dire le zéro.

On a pris pour fixer le pied  $c$ , une distance

$$Rc = a = \frac{1}{1000 d} = \frac{\lambda}{100}.$$

Un étrier à vis permet de régler Cc de façon que  $Rc = a$ , et que les tables puissent servir quel que soit  $d$ .

A partir de R la règle est graduée à gauche.

S est un coulisseau avec vis d'arrêt T. Ce coulisseau porte l'axe Q de la règle QMC.

Q est disposé de telle sorte qu'il se trouve exactement à l'intersection des arêtes CM et  $cx$  des deux règles.

Voici comment on se servira de cette règle :

Ayant, par les tables, la valeur de  $x$  correspondant à la profondeur D d'un point considéré, on amènera Q, au moyen du coulis-

seau, à coïncider avec le même nombre de la règle; dans ces conditions,

$$RQ = x.$$

Si maintenant on applique l'arête  $cQ$  sur la ligne d'horizon  $HH$  de façon que  $R$  coïncide avec le pied  $m$  de la perpendiculaire  $Mm$  du point et que, dans cette position, on fasse pivoter la règle  $QC$  de façon que son arête *supérieure passe par*  $M$ , on aura reconstitué *automatiquement* les triangles hachés de la figure 59.

$$\begin{cases} QR = x & MR \text{ ou } Mm = Mm \\ Rc = a & Cc = Cc = \frac{H}{4000} \\ & H = 4000 Cc. \end{cases}$$

### Discussion.

L'expression qui relie  $x$  et  $y$  est comme on l'a vu :

$$\frac{x}{y} = \frac{x + a}{\bar{z}}$$

$$\text{d'où l'équation : } xy - \bar{z}x + ay = 0$$

qui représente une hyperbole équilatère (*fig. 59*) passant par l'origine et ayant pour asymptotes les parallèles  $y = b$ ,  $x = -a$  aux axes.

Or,  $x$ , avons-nous vu (p. 59), peut se mettre sous la forme :

$$x = \frac{a}{\bar{z}D - 1}$$

qui montre que :

$$\begin{cases} D \text{ variant de } 0 \text{ à } \frac{1}{\bar{z}} \\ x \text{ varie de } -a \text{ à } -\infty. \end{cases}$$

C'est ce qui représente l'arc  $\alpha$  de l'hyperbole et qui montre en outre que la partie  $gx$  (*fig. 60*), ( $Rg = a$ ), *indéfiniment prolongée* sert pour les valeurs de  $x$  correspondant à  $D$  compris entre 0 et  $\frac{1}{\bar{z}}$ ,  $\frac{1}{\bar{z}} = \frac{1}{0,005} = 200 \text{ m.}$

$$\begin{cases} D \text{ variant de } \frac{1}{\bar{z}} \text{ à } +\infty \\ x \text{ varie de } +\infty \text{ à } 0. \end{cases}$$

Cette variation est représentée par la portion  $QU$  (*fig. 59*), c'est-

à-dire que la partie  $RQ$ , *indéfiniment prolongée à droite*, sert aux valeurs de  $x$  correspondant à  $D$  compris entre  $\frac{1}{\delta} = 200$  m et  $+\infty$ .

3° 
$$\begin{cases} D \text{ négatif variant de } 0 \text{ à } -\infty \\ x \text{ varie de } -a \text{ à } 0, \end{cases}$$

c'est-à-dire que la région comprise entre l'asymptote et l'axe des  $y$  (fig. 59) est donc réservée aux valeurs négatives de  $D$  qui, du reste, n'existent pas en photogrammétrie.

Comme on ne peut pas avoir une règle *indéfiniment prolongée* dans chacun des sens, on devra avoir recours à l'artifice suivant :

Si la plus grande valeur de  $x$  que l'on puisse lire à gauche sur  $Rx$  est  $0,25$  m, cette valeur limite correspondra à la valeur de  $D$  donnée par :

$$0,25 = \frac{0,05}{0,005 D - 1}$$

$$D = 160 \text{ mètres,}$$

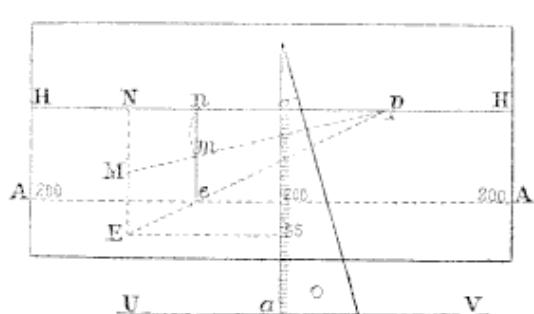
et la partie de gauche servira pour  $D$  compris entre 0 et 160 m. Mais on peut toujours ramener  $D$  à être  $\leq 160$  en le divisant par un nombre entier, 2, 3 ou 4. On reviendra à la réalité en multipliant  $Cc$  par le même nombre qui a servi à diviser.

N. B. — La règle  $QC$  peut être remplacée par un fil fixé au point  $Q$  du coulisseau  $S$ .

### Autre solution au moyen de la règle de profondeur.

Cette *solution* que l'on pourrait appeler 3<sup>bis</sup> à cause de son analogie avec la solution 3, utilise la règle de profondeur.

Fig. 61



Soient sur une photographie :

HH, la ligne d'horizon (fig. 61);

$p$ , le point principal;

$M$ , un point dont on veut la hauteur au-dessous du plan d'horizon.

Nous supposerons

$$d = 0,20, \lambda d = 1, \lambda = 5 \text{ m},$$

soit aussi  $D = 55$  m la profondeur du point  $M$ . Traçons  $UV$  l'horizontale repère (p.54) et appliquons la règle.

Si M, dont la profondeur est 55, coïncidait avec la division 55 de la règle, il est clair que sa hauteur serait  $\lambda = 5\text{ m.}$  (Construction de la règle p. 52.)

En général, cela n'aura pas lieu et il faudra abaisser M en E pour le mettre dans le plan de niveau 5 m.

Menons les lignes de profondeur  $pM, pE.$  Le plan de front dont l'échelle de réduction  $\frac{h}{H}$  est  $\frac{1}{1000}$  a une profondeur D telle que :

$$\frac{h}{H} = \frac{0,20}{D} = \frac{1}{1000}$$
$$D = 200\text{ m.}$$

Il est facile de mener, avec la règle, l'horizontale ( $e, 200$ ) de même niveau que E, *dans ce plan de front.*

Pour ce plan de front 200, les verticales (ou perspectives des hauteurs)  $mn, ne$  sont réduites au  $\frac{1}{1000}$  et on a :

$$H = 1000\text{ mm.}$$

On voit de suite l'analogie de cette méthode avec la solution 3 :

$$\begin{cases} NE = y, & \text{des tables,} \\ ne = \frac{5}{1000} = 5\text{ mm} & \text{(la parallèle AA' (fig. 58),} \end{cases}$$

mais le raisonnement qui y conduit est un peu différent; nous avons cru intéressant de le faire connaître.

---

## CONCLUSION

Le lecteur qui aura étudié ce mémoire aura remarqué que la photogrammétrie est une science qui n'exige que des connaissances élémentaires de géométrie.

Pour notre exposé, nous n'avons eu à rappeler que les premières définitions de la perspective, encore n'avons-nous pas parlé de toutes celles que l'on rencontre aux premières pages des traités.

Mais il est bien évident que les photographies utilisées étant des perspectives, tous les problèmes traités dans les livres spéciaux intéressent ces photographies.

Le problème de planimétrie est, en photogrammétrie, exactement le même que celui connu en topographie sous le nom de *relevé à la planchette*, avec cette différence qu'au lieu d'opérer sur le terrain naturel on le fait sur les images photographiques et c'est au bureau que se fait le rapport.

Quant au problème d'altimétrie nous avons pu, avec des instruments très simples, donner une solution mécanique dont la précision ne le cède pas au calcul et qui l'emporte par la rapidité et le peu d'effort qu'elle demande au dessinateur.

Pour l'optique photographique, ce que nous avons dit suffit pour faire connaître les conditions qu'un bon objectif doit remplir et faire concevoir que sa construction nécessite de savants efforts, auxquels l'opérateur peut être étranger, dont il n'aura qu'à bénéficier, mais qu'il doit exiger.

La photogrammétrie est une science trop récente pour que l'on puisse avoir la prétention de donner les meilleures méthodes, d'indiquer le meilleur procédé opératoire ; il y a encore à chercher et à trouver. La technique photographique réalisera encore des progrès et en fera bénéficier la photogrammétrie. Dans ce sens, nous avons indiqué, *aux cheminements*, une méthode de *profils de front* dont la réussite dépend de la sensibilité des plaques et nous avons dit que, dès maintenant, avec les bonnes plaques, la méthode était applicable.

Mais, quoique nous ne voulions pas entrer dans le domaine de l'imagination, *peut-être* utilisera-t-on plus tard les différentes intensités d'éclairage des objets pour en apprécier l'éloignement. Un cylindre se représente sur une feuille plane par une série de teintes dégradées, qui fait naître un *sentiment d'éloignement différent* pour les génératrices.

L'œil perçoit donc bien la sensation de l'inégale distance des objets, mais n'est pas assez parfait pour établir une relation entre *l'intensité lumineuse des corps et leur distance*.

Arrivera-t-on à trouver des instruments qui perfectionnent l'œil et complètent cette sensation de l'éloignement en le mesurant.

Nous ne pouvons que répondre : « Espérons-le ». L'esprit humain a bien expliqué et tiré parti des phénomènes les plus mystérieux.

La lumière ne vient-elle pas de révéler ses secrets à l'un de nos savants, M. Lippmann, qui en a fixé photographiquement les couleurs primordiales ?

Se laissera-t-elle encore pénétrer et nous dira-t-elle le rapport

qui existe entre la *distance d'un objet qui la reflète et son action sur la plaque sensible?*

Arrêtons-nous à cette pensée, à l'espérance de voir aboutir à des solutions qui laisseront dans l'oubli ce que nous connaissons actuellement et regardons le présent qui nous montre, qu'en l'état actuel, la photogrammétrie réalise un progrès sur les autres méthodes topographiques.

Exprimons le regret que ces méthodes soient si peu connues de nos compatriotes alors que c'est une science française : par *sa pratique* nous devrions être les premiers et nous sommes les derniers.

Déjà par la photogrammétrie, les Italiens ont relevé de grandes surfaces dans les Alpes (Paganini) et les Américains, sous la direction du major Deville, ont fait des relevés encore plus considérables dans les montagnes Rocheuses (six mille kilomètres carrés).

Et nous, qu'avons-nous à mettre en parallèle ?

Quelques kilomètres carrés.

Et pourtant une occasion s'est présentée et existe encore pour l'emploi d'un mode de relevé économique.

N'est-ce pas à cause de l'énormité de la dépense que la révision du cadastre est ajournée ?

*Un milliard*, a-t-on dit.

N'est-ce pas le moment de faire connaître, de vulgariser une méthode de planimétrie économique, rapide, ne détériorant pas la propriété ?

La révision du cadastre est fatale.

Il est reconnu que l'impôt foncier est réparti d'une façon malheureuse sur la population des campagnes : économistes et écrivains agricoles sont d'accord à ce sujet.

La valeur de la propriété foncière s'est considérablement modifiée depuis que le cadastre existe : tel terrain a augmenté de valeur alors que tel autre est déprécié ; les charges primitives n'en pèsent pas moins sur chacun d'eux et rendent injuste la répartition.

Le plan cadastral devient, de ce fait, une source de vexations et sa révision est très vivement réclamée par nos populations des campagnes. Il devient indispensable d'exécuter cette réforme.

En 1828, un éminent officier du génie piémontais, *Porro*, inventait le tachéomètre qui s'est généralisé dans les travaux que

le génie civil entreprend ou dirige et qui rend d'immenses services.

Quand le photogrammètre aura pris l'extension à laquelle il a droit, quand la pléiade des excellents opérateurs se sera mise à la manipulation du nouvel instrument, alors l'ingénieur, tout en conservant la mémoire de l'*auteur* de l'instrument délaissé, tournera, cette fois, sa reconnaissance et son souvenir vers un officier français, un savant qui honore notre Société, le colonel *Laussedat*.