

# Note sur la stéréophotogrammétrie

Autor(en): **Ansermet, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **39 (1913)**

Heft 9

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-30117>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES — PARRAISANT DEUX FOIS PAR MOIS

RÉDACTION : Lausanne, 2, rue du Valentin : D<sup>r</sup> H. DEMIERRE, ingénieur.

SOMMAIRE : Note sur la stéréophotogrammétrie, par A. Ansermet, ingénieur. — Extraits de la Communication N° 4 de la Commission suisse d'études pour la traction électrique des chemins de fer concernant le choix du système et les devis pour la traction hydro-électrique des chemins de fer suisses (suite). — Chronique : La loi sur le travail dans les fabriques — L'Hôtel de la Banque Fédérale, à Lausanne (pl. 3, 4, 5 et 6). — Extrait du Programme de concours pour la construction d'une Eglise catholique, d'une Cure et d'une Grande Salle, à Lausanne, avenue de Rumine. — Ecole d'ingénieurs de Lausanne.

## Note sur la stéréophotogrammétrie.

par A. ANSERMET, ingénieur.

Les méthodes photogrammétriques ordinaires qui avaient rendu déjà de si grands services pour lever le relief du sol, les phénomènes atmosphériques, etc. ont pris ces dernières années un essor considérable grâce à l'emploi du stéréo-comparateur, instrument construit par la maison Zeiss, à Jena ensuite des longues recherches de son collaborateur le D<sup>r</sup> C. Pulfrich.

Ce n'est pas un exposé complet de la nouvelle méthode, appelée *stéréophotogrammétrie*, que l'on va lire : près de 300 travaux (brochures, articles de périodiques, etc.) ont déjà été publiés sur cette question ; nous nous bornerons, après avoir rappelé la construction du photothéodolite et son emploi, à donner une description sommaire du stéréo-comparateur et à examiner la précision que l'on peut en attendre.

### Le photothéodolite.

Le photothéodolite n'est pas autre chose qu'un théodolite avec l'adjonction d'une chambre photographique (fig. 1 et 2).

Le corps de la chambre est en métal et forme une seule pièce venue de fonte portant d'un côté l'objectif et de l'autre le cadre appui qui reçoit la plaque sensible. L'axe optique de la chambre rencontre la plaque sensible en un point que l'on choisit comme origine d'un système de coordonnées dont les axes ne sont plus tracés sur la plaque comme autrefois : l'axe vertical est donné par deux marques repères (fig. 3, page 100) obtenues à l'aide de deux petites ouvertures de 0,15 mm. percées dans le châssis. La distance de l'axe horizontal au repère supérieur est inscrite photographiquement au haut de la plaque.

L'objectif de la chambre photographique est un *tessar* ; c'est l'objectif qui présente le moins de distorsion et qui élimine toutes les aberrations, sauf l'aberration de sphéricité que l'on corrige à l'aide de diaphragmes.

Enfin la lunette de théodolite a son plan de collimation normal à l'axe optique de la chambre ; cette condition est essentielle dans la méthode stéréophotogrammétrie.

### La méthode stéréophotogrammétrie.

Désignons par  $f$  la focale de l'objectif (distance principale) ou plutôt la distance de la plaque sensible au point nodal correspondant (point de vue) et par  $T$  le tableau c'est-à-dire le plan qui contient la plaque sensible (fig. 4).

Deux levés stéréophotogrammétriques sont caractérisés par les conditions :

- 1° Ils ont même distance principale  $f$ .
- 2° Ils ont même tableau  $T$  (ou aussi : les deux tableaux sont dans un même plan).

En d'autres termes deux levés stéréophotogrammétriques sont pris avec le même instrument ou avec deux ins-

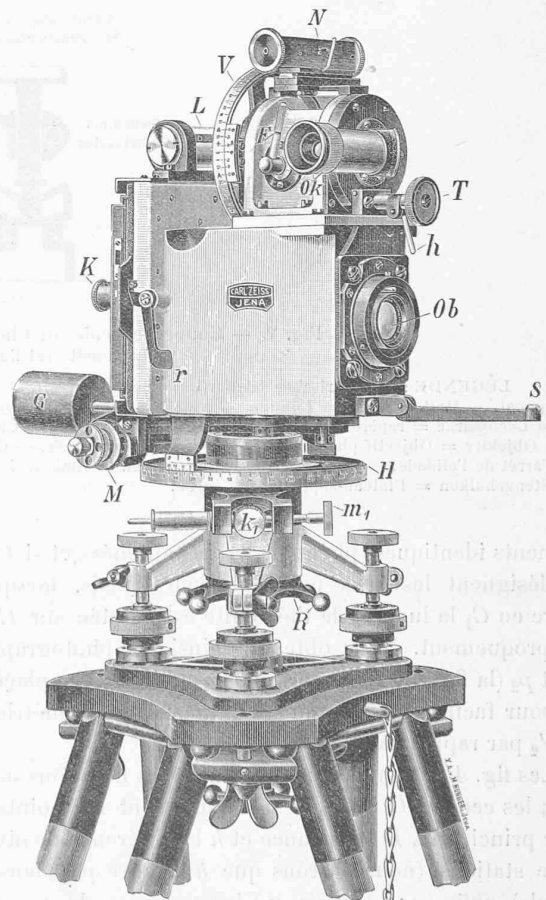


Fig 1. — Photothéodolite Zeiss. Modèle B ( $\frac{1}{5}$  grandeur naturelle) les deux appareils à objectif fixe et munis de cercles donnant la minute.

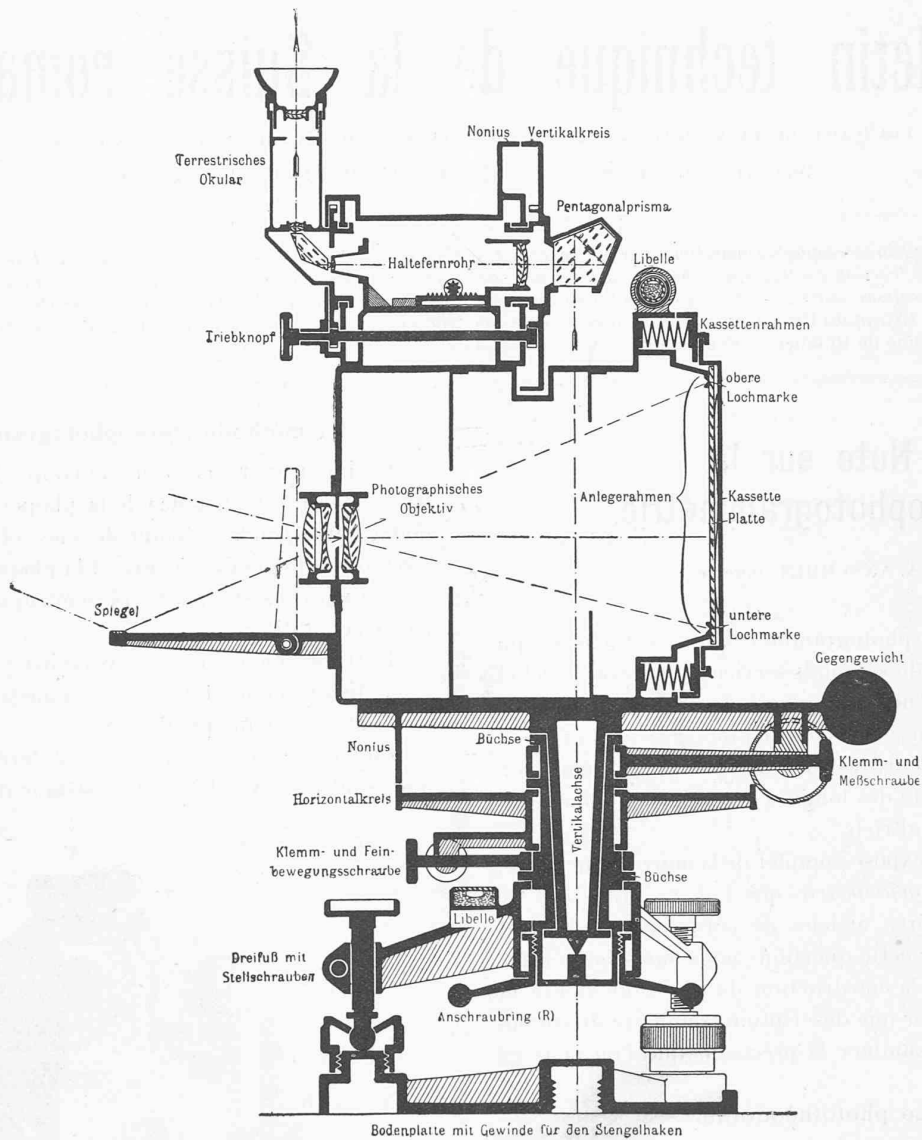


Fig. 2. — Coupe verticale du Photothéodolite Zeiss représentée schématiquement. (La lunette est figurée dans la position de transition.)

LÉGENDE : Terrestrisches Okular = Oculaire terrestre. — Nonius = Vernier. — Vertikalkreis = Cercle vertical. — Pentagonalprisma = Prisme pentagonal. — Haltefernrohr = Lunette. — Libelle = Niveau. — Triebknopf = Bouton moteur. — Kassettenrahmen = Cadre de la chambre. — Obere et untere Lochmarke = repère supérieur et inférieur. — Kassette = Chambre noire. — Platte = Plaque. — Anlegerahmen = Cadre appui. — Photographisches Objektiv = Objectif photographique. — Spiegel = Miroir. — Gegengewicht = Contrepoids. — Büchse = Douille. — Klemm- und Meßschraube = Vis d'arrêt de l'alidade. — Dreifuss mit Stellschrauben = Embase à vis calante. — Anschraubring = Bague de serrage. — Bodenplatte mit Gewinde für den Stengelhaken = Plateau-support avec écrou.

truments identiques (phénomènes instantanés) et si  $C_1$  et  $C_2$  désignent les deux points de vue choisis, lorsqu'on opère en  $C_1$  la lunette de théodolite est pointée sur  $C_2$  et réciproquement. Nous obtenons ainsi les photographies  $P_1$  et  $p_2$  (la fig. 4 n'en donne que la moitié); remplaçons-les pour faciliter le raisonnement par leurs symétriques  $P'_1$   $P'_2$  par rapport à  $C_1$  et  $C_2$  (tableau  $T'$ ).

Les fig. 4 et 5 montrent clairement les notations adoptées; les centres  $O_1$  et  $O_2$  des plaques sont les points de fuite principaux,  $D$  la distance et  $h$  la différence de niveau entre stations (nous verrons que  $h$  n'entre pas dans les calculs), enfin  $(x_1 y_1)$  et  $(x_2 y_2)$  les systèmes de coordonnées des plaques sensibles. Il s'agit de déterminer les coordonnées  $(XYZ)$  d'un point quelconque  $P$  de l'espace con-

naissant les images  $P_1(x_1 y_1)$  et  $P_2(x_2 y_2)$ ; nous introduisons la parallaxe stéréoscopique  $p$  qui joue un rôle fondamental :  $p = x_1 - x_2$  (algébriquement)

$$\frac{Z}{D} = \frac{f}{p} \quad \frac{X}{Z} = \frac{x_1}{f} \quad \frac{Y}{Z} = \frac{y_1}{f}$$

$$Z = \frac{Df}{p}; \quad X = \frac{Z x_1}{f} = \frac{D x_1}{p}; \quad Y = \frac{Z y_1}{f} = \frac{D y_1}{p}$$

Ces trois formules résolvent le problème :  $f$  est une constante instrumentale (180 mm. et 127 mm. dans les photothéodolites Zeiss),  $D$  en général un côté de triangulation et  $p, x_1, y_1$  se lisent au stéréocomparateur. Nous verrons plus loin l'influence de ces différentes quantités sur les inconnues  $XYZ$ ; bornons-nous à remarquer que

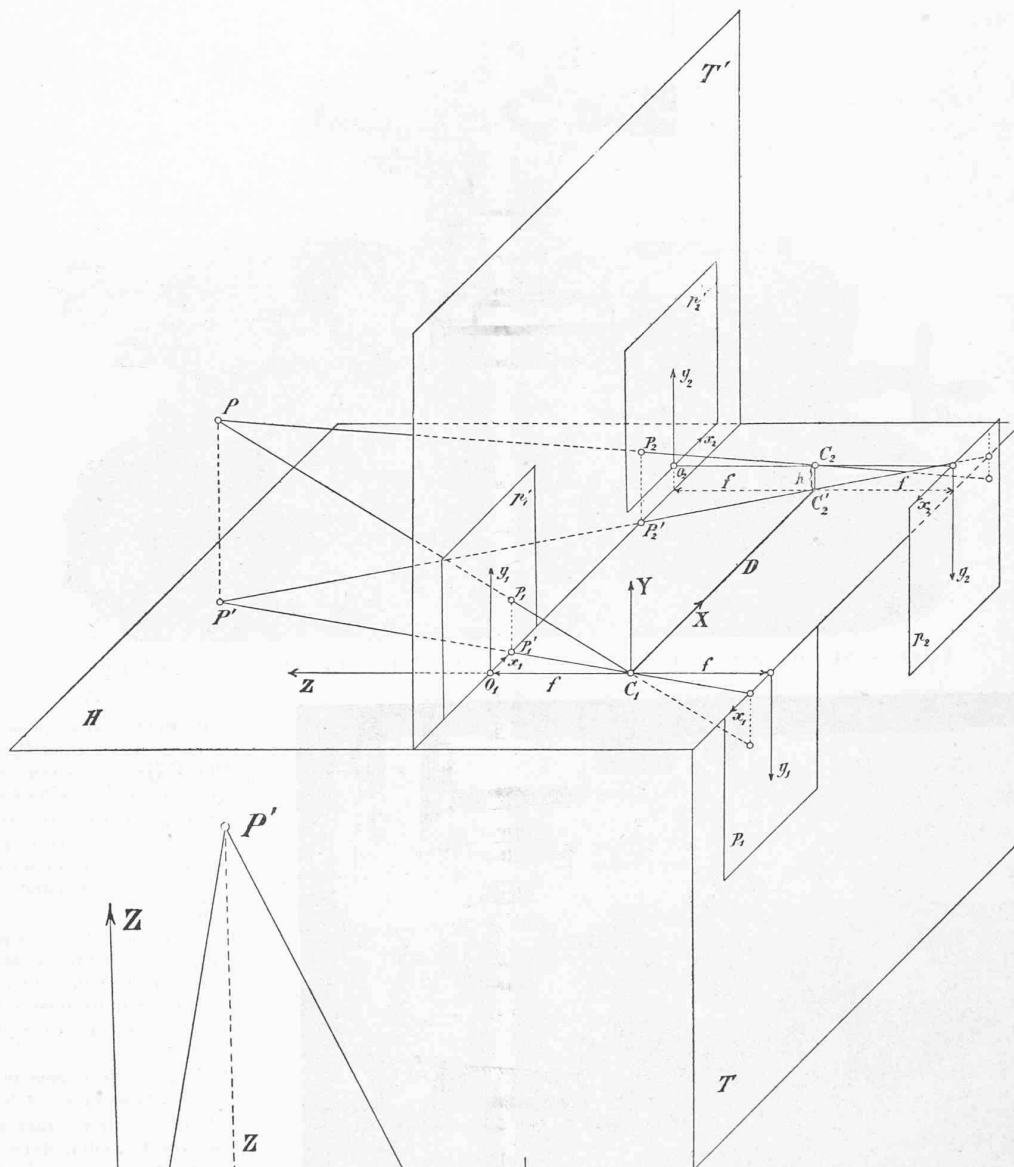


Fig. 4.

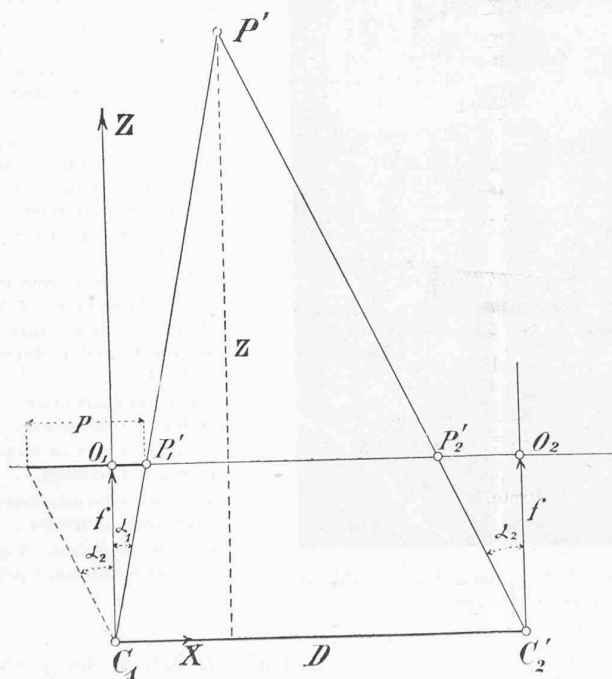


Fig. 5.

de la parallaxe  $p$  dépend toute l'exactitude de la méthode et cela d'autant plus que  $p$  est toujours très faible.

**Le stéréocomparateur.**

Le stéréocomparateur permet de mesurer les coordonnées  $x_1 y_1$  et le parallaxe  $p$ . La fig. 6 montre l'appareil tel qu'il est construit par la maison Zeiss, à Jéna; les photographies  $p_1$  et  $p_2$  (en général les négatives qui sont plus nettes) sont observées au moyen d'un microscope binocu-

laire dont la fig. 7 donne le schéma. L'écartement normal des yeux n'étant que de 65 mm., les photographies ne sont pas vues directement mais renvoyées par les miroirs  $m_1 m'_1$  et  $m_2 m'_2$ , les prismes de Porro  $\pi_1 \pi_2$  ayant pour effet de les redresser; les deux images réelles ainsi obtenues, grossies 6 fois par les oculaires (instrument Zeiss), deviennent deux images virtuelles à la distance de la vision distincte (25 cm.).

Pour identifier les deux images d'un même point, les

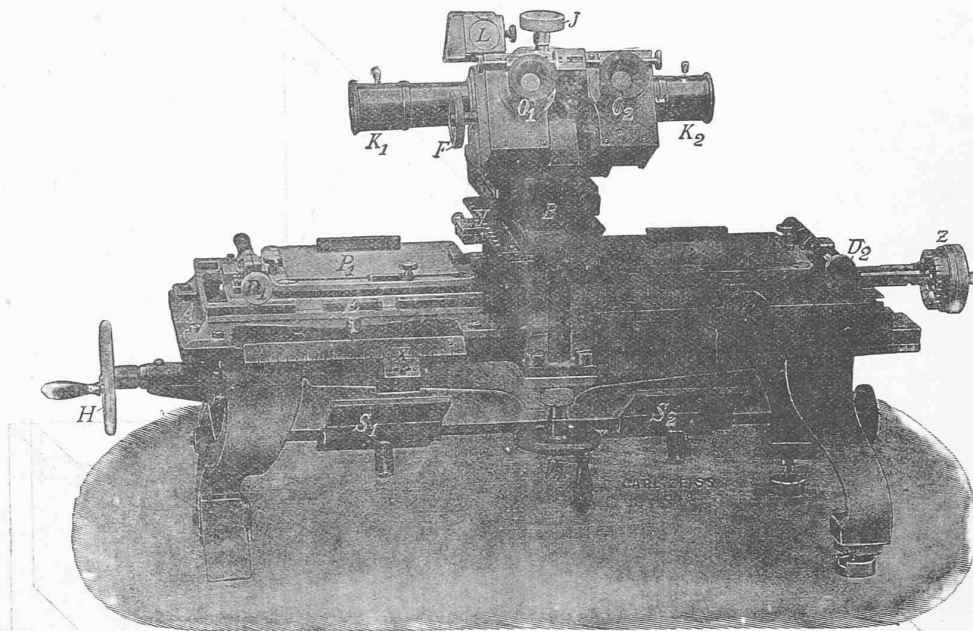


Fig. 6. — Stéréo-comparateur Zeiss, modèle D, pour plaques  $9 \times 12$  cm. ( $\frac{1}{5}$  grand nat.)

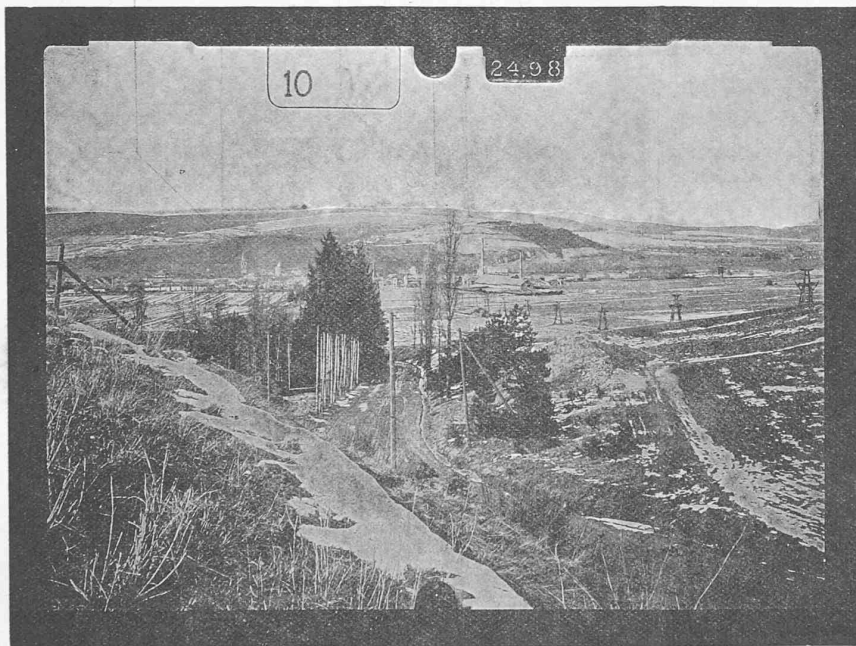


Fig. 3. — Epreuve, prise en mars 1906 par le service de la « Kgl. Preuss. Landesaufnahme » avec le photothéodolite  $9 \times 12$  cm. dans le Rhön (grand. nat.)

*A* Premier chariot principal portant les deux plaques  $P_1$  et  $P_2$ . Se déplace dans la direction des horizons des plaques au moyen de la manivelle *H*.

*B* Second chariot principal, mobile dans la direction des verticales des plaques. Déplace le stéréo-microscope. Le mouvement est commandé par la manivelle *V*.

*C* Vis de rappel pour égaliser les différences de hauteurs des deux plaques provenant d'une différence de niveau entre les deux postes qui ont servi à prendre les épreuves photogrammétriques.

*D*<sub>1</sub> et *D*<sub>2</sub> vis de rappel pour rectifier les orientations de  $P_1$  et de  $P_2$ .

*E* Verrou pour bloquer le chariot de la plaque  $P_1$  mobile dans la direction du chariot *A*.

*S*<sub>1</sub> et *S*<sub>2</sub> Deux miroirs d'éclairage tournant autour du même axe.

*x* Echelle, à vernier mobile, pour la lecture des abscisses.

*y* Echelle, à vernier mobile, pour la lecture des ordonnées.

*z* Vis micrométrique, à tambour mobile, pour la mesure des parallaxes.

verres des réticules portent deux marques  $M_1 M_2$  correspondantes qui donnent l'illusion du relief: celle du réticule gauche est fixe et celle de droite peut subir un léger déplacement mais demeure fixe une fois le réglage opéré.

La détermination de  $x_1 y_1$  et  $p$  ne présente pas de difficultés; en effet, le stéréocomparateur porte trois graduations qui permettent de lire les trois déplacements dont sont susceptibles les plaques sensibles :

1° Les deux plaques se déplacent ensemble, parallèlement au front, par le moyen du chariot *A* qui les porte (échelle des  $x$ ).

2° Le microscope se meut perpendiculairement au front

par le moyen du chariot *B* (échelle des  $y$ ). Nous supposons, ce qui revient au même, que c'est le microscope qui reste fixe tandis que les plaques  $p_1$  et  $p_2$  sont mobiles dans le sens des  $y$ .

3°  $p_1$  reste fixe pendant que  $p_2$  se déplace parallèlement au front (tambour micrométrique *Z*).

Voici maintenant le mode de fonctionnement du stéréocomparateur :

On oriente d'abord les plaques de manière que les axes  $O_1 x_1$  et  $O_2 x_2$  soient parallèles à l'échelle des  $x$  puis on amène les centres  $O_1 O_2$  ou plutôt leurs images en coïncidence avec les marques  $M_1 M_2$  du réticule (ceci avec les

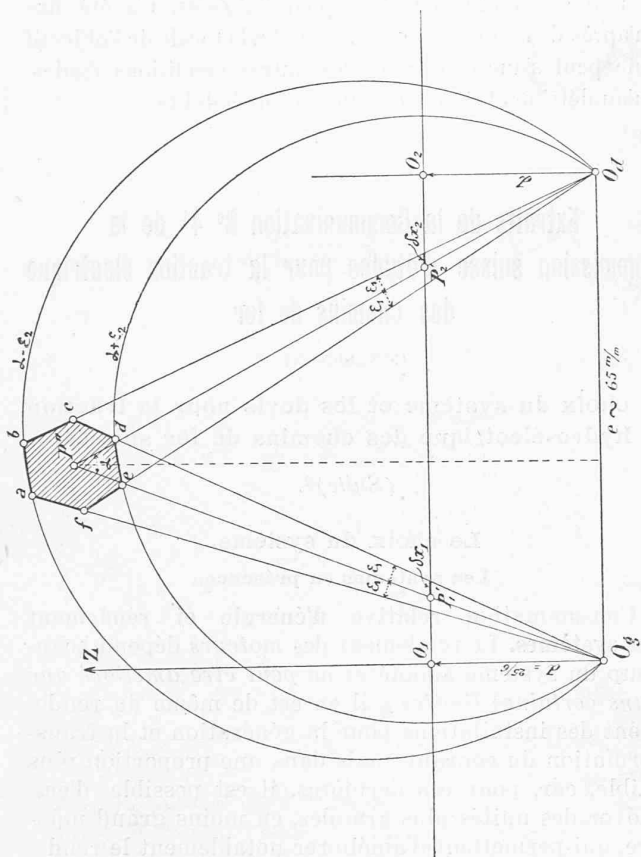


Fig. 8.

vis de l'appareil); ces images sont donc sur les rayons visuels principaux. On effectue alors les lectures initiales sur les deux échelles et le tambour. Le paysage photographié apparaît à ce moment aux yeux de l'observateur comme il apparaissait aux objectifs des photothéodolites placés en  $C_1$  et  $C_2$  (fig. 4) avec cette différence toutefois que la distance entre les points de vue n'est plus  $D$  mais  $e$  (65 mm.) et que la distance principale  $f$  est devenue  $d = \frac{25}{6} f = \frac{1}{3} f$  ( $f = 12,7$  cm.).

Il s'agit maintenant d'identifier les deux images du point  $P$  et pour que l'effet stéréoscopique soit produit, l'observateur doit fixer les images constamment avec les deux yeux; il amènera ainsi  $P_1$  et  $P_2$  sur les marques  $M_1$  et  $M_2$ ; on recommence les trois lectures déjà mentionnées et retranche les lectures initiales, ce qui donne  $x_1 y_1$  et  $p$  avec toute la précision voulue (moins de 0,01 mm.).

**Précision de la méthode stéréophotogrammétrique.**

Nous partons des formules fondamentales, établies dans un précédent chapitre, en donnant des accroissements  $\delta x_1 \delta y_1$  et  $\delta p$  aux trois variables  $x_1 y_1$  et  $p$

$$Z + \delta Z = \frac{Df}{p + \delta p}; \delta Z = -\frac{Df}{p(p + \delta p)} \delta p = -\frac{Z^2}{Z(p + \delta p)} \delta p = -\frac{Z^2}{Z\left(\frac{Df}{Z} + \delta p\right)} \delta p = -\frac{Z^2}{Df + Z\delta p} \delta p = \delta Z$$

$$X = x_1 \frac{Z}{f}; X + \delta X = (x_1 + \delta x_1) \frac{Z + \delta Z}{f} = x_1 \frac{Z}{f} + x_1 \frac{\delta Z}{f} + \delta x_1 \frac{Z}{f} + \delta x_1 \frac{\delta Z}{f}$$

$$\delta X = \frac{X}{Z} \delta Z + \delta x_1 \frac{Z}{f} + \delta x_1 \frac{\delta Z}{f}$$

de même :

$$\delta Y = \frac{Y}{Z} \delta Z + \delta y_1 \frac{Z}{f} + \delta y_1 \frac{\delta Z}{f}$$

Nous devons rechercher quelles valeurs peuvent atteindre  $\delta x_1 \delta y_1$  et  $\delta p$  en assimilant ces accroissements aux erreurs commises dans l'identification des deux images d'un même point. Soient  $O_g$  et  $O_d$  les yeux de l'observateur (fig. 8) dont l'écartement est d'environ 65 mm.; les images réelles des photographies viennent se former à la distance  $d = \frac{25}{6}$ , ainsi que nous l'avons déjà dit, et en vraie grandeur (la fig. 8 n'est pas à l'échelle). Comme nous le verrons plus loin, l'exactitude dans la mesure de  $x_1 y_1$  et  $p$  est augmentée dans le rapport  $\frac{f}{d}$  ce qui n'est pas un des moindres avantages du stéréocomparateur.

Dans l'identification des images  $P_1$  et  $P_2$  du point  $P$ , désignons par  $\epsilon_1$  l'erreur angulaire à craindre sur chacune des lignes visuelles  $O_g P_1$  et  $O_d P_2$  (acuité visuelle monoculaire) et  $\epsilon_2$  l'erreur à craindre sur l'angle  $\alpha$  de ces lignes

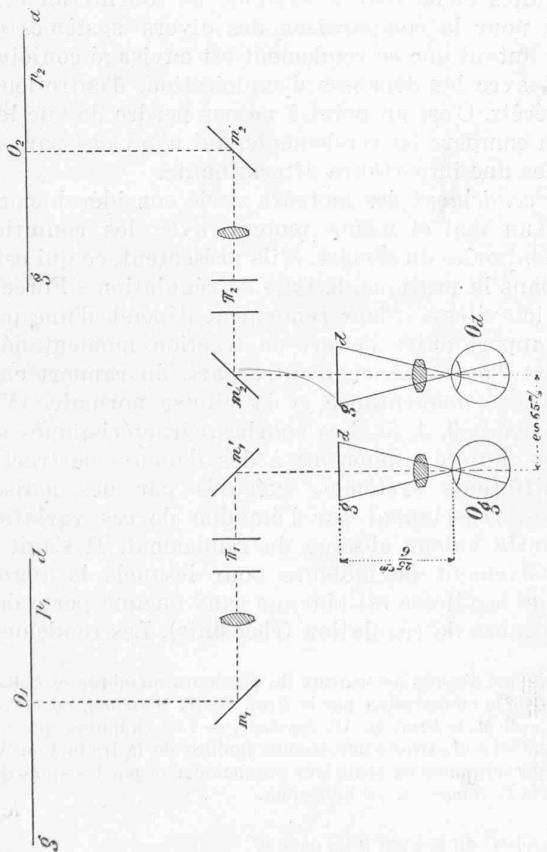


Fig. 7.

visuelles (acuité visuelle binoculaire); supposons en outre le point  $P$  et les points de vue dans un même plan horizontal  $H$  ( $P_1$  et  $P_2$  sont confondus avec  $P_1'$  et  $P_2'$ ); l'hexagone  $abcdef$  est appelé *domaine d'identité* du point  $P$  dans le plan  $H$ ; ce domaine est limité par 4 segments rectilignes et par les deux arcs de cercle  $ab$  et  $ed$  capables des angles  $\alpha - \varepsilon_2$  et  $\alpha + \varepsilon_2$ .

Le domaine d'identité d'un point quelconque de l'espace sera donc limité par 4 segments de cônes de révolution et deux segments de cyclides de Dupin.

Nous sommes maintenant en mesure de calculer  $\delta x_1$ ,  $\delta y_1$  et  $\delta p$ ;  $O_1 P_1' = x_1$   $O_2 P_2' = x_2$

$$\delta x_1 = \frac{(O_1 P_1')^2 \sin \varepsilon_1}{d}$$

en réalité  $P''$  est très éloigné et on peut poser :

$$O_1 P_1' = d; \quad \sin \varepsilon_1 = \varepsilon_1 \quad \text{donc : } \delta x_1 = \pm d \cdot \varepsilon_1 = \delta y_1$$

Soient ( $X''$   $Y''$   $Z''$ ) les coordonnées de  $P''$  :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{X''}{Z''} + \frac{e - X''}{Z''}}{1 - \frac{X''(e - X'')}{Z''^2}} = \frac{e Z''}{Z''^2 - e X'' - X''^2}$$

ici encore nous négligerons  $X''$  par rapport à  $Z''$  et poserons  $\operatorname{tg} \alpha = \alpha$

$$\alpha = \frac{e}{Z''} = \frac{p}{d} \quad p = d \alpha$$

$$p + \delta p = d (\alpha \pm \varepsilon_2) \quad \delta p = \pm d \cdot \varepsilon_2$$

Il n'y a plus qu'à introduire ces expressions dans les équations ci dessus :

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta Z = \pm \frac{Z^2 d \cdot \varepsilon_2}{D f \pm Z \cdot d \cdot \varepsilon_2} \sim \pm \frac{Z^2 d}{D f} \varepsilon_2 \\ \delta X = \frac{X}{Z} \delta Z \pm d \cdot \frac{Z}{f} \varepsilon_1 \pm d \cdot \frac{\delta Z}{f} \varepsilon_1 \\ \delta Y = \frac{Y}{Z} \delta Z \pm d \cdot \frac{Z}{f} \varepsilon_1 \pm d \cdot \frac{\delta Z}{f} \varepsilon_1 \end{array} \right.$$

de nombreuses recherches ont donné comme valeurs moyennes :  $\varepsilon_1 = 2' = 0,00058$ ;  $\varepsilon_2 = 0,5' = 0,00015$ .

Il résulte de ces équations que de la coordonnée  $Z$  dépendent les coordonnées  $X$  et  $Y$  ce que l'on pouvait d'ailleurs prévoir; il suffira donc pour étudier la précision de la méthode stéréophotogrammétrique de savoir comment varie  $\delta Z$  et l'examen des équations ci-dessus nous permet immédiatement d'établir les trois théorèmes :

1. L'erreur  $\delta Z$  (valeur absolue) est proportionnelle au carré de la coordonnée  $Z$  (distance du point levé à la base d'opération).

2. L'erreur  $\delta Z$  est inversement proportionnelle à la distance entre stations  $D$ .

3. L'erreur  $\delta Z$  est proportionnelle à  $\frac{d}{f}$ .

Pratiquement, on ne peut pas fixer d'une façon absolument arbitraire les quantités qui influent sur  $\delta Z$ . Le choix de la base  $D$  est en général dicté par la configuration du terrain sur lequel on opère. Une diminution de  $d$  soit une augmentation du grossissement de l'oculaire du stéréocomparateur nuirait à la netteté des images et le grossis-

sement 6, adopté pour les appareils Zeiss, n'a été fixé qu'après de longues recherches; enfin la focale de l'objectif  $f$  ne peut s'augmenter, toutes autres conditions égales, qu'au détriment du champ du photothéodolite.

## Extraits de la Communication N° 4<sup>1</sup> de la Commission suisse d'études pour la traction électrique des chemins de fer

CONCERNANT

le choix du système et les devis pour la traction  
hydro-électrique des chemins de fer suisses.

(Suite)<sup>2</sup>.

Le choix du système.

Les systèmes en présence.

**Consommation relative d'énergie et rendement des systèmes.** Le rendement des *moteurs* dépend beaucoup du système adopté et *ne peut être amélioré que dans certaines limites*; il en est de même du rendement des installations pour la génération et la transformation du courant, mais dans une proportion plus faible, car, pour ces dernières, il est possible d'employer des unités plus grandes, en moins grand nombre, qui permettent d'améliorer notablement le rendement. Quant aux *conduites*, on peut en accroître le rendement autant qu'on le désire. Le rendement des conduites et de tout le système ne fournit un critérium pour la comparaison des divers systèmes que pour autant que ce rendement est envisagé conjointement avec les dépenses d'exploitation, d'entretien et d'intérêts. C'est un point à ne pas perdre de vue lorsqu'on compare les rendements, qui n'ont pas par eux-mêmes une importance déterminante.

Le *rendement* des moteurs varie considérablement, pour un seul et même moteur, avec les conditions momentanées du service. S'ils présentent, ce qui est le cas dans la pratique, le type de régulation « Force de traction-vitesse », leur rendement dépend, d'une part, du rapport entre l'effort de traction momentané et l'effort « normal », et, d'autre part, du rapport entre la vitesse momentané et la vitesse normale. (Voir tableaux 2, 3, 4, 5). Les courbes caractéristiques suivantes, qui se rapportent à des moteurs de traction de différents systèmes, exécutés par des maisons suisses, renseignent sur l'étendue de ces variations et sur la valeur absolue du rendement. Il s'agit ici exclusivement de moteurs pour lesquels la régulation de la vitesse est obtenue sans aucune perte dans les organes de régulation (rhéostats). Les rendements

<sup>1</sup> Résumé d'après les travaux de plusieurs membres et collaborateurs de la commission, par le Prof. Dr W. Wyssling, en collaboration avec M. le Prof. Dr W. Kummer. — Les chapitres que nous publions ici sont extraits des bonnes feuilles de la traduction française qui sera mise en vente très prochainement par les soins de la Librairie F. Rouge & C<sup>ie</sup>, à Lausanne.

<sup>2</sup> Voir N° du 25 avril 1913, page 87.