**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande
**Band:** 75 (1949)
**Heft:** 19: Comptoir Suisse, Lausanne, 10-26 septembre 1949

**Artikel:** L'aérotopographie moderne et ses applications
**Autor:** Ansermet, A.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-56882

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 10.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# L'aérotopographie moderne et ses applications

par A. ANSERMET

Au cours de ces dernières années les méthodes de lever par avion ont évolué et progressé de façon marquée tandis que leurs possibilités d'application se développaient dans les domaines les plus divers (urbanisme, cadastre, géologie, génie civil, etc.). Les constructeurs d'appareils et les praticiens s'efforcent d'accroître la précision et de réduire le coût des levers ce qui pose des problèmes assez complexes. La précision est fonction surtout de la technique instrumentale.

Il y a peu d'années on considérait l'échelle du 1 : 5000 comme une limite pour un bon plan aérotopographique. Actuellement on dresse dans de bonnes conditions d'exactitude des plans au 1 : 2000 et au 1 : 1000. Ce dernier chiffre correspond à une hauteur de vol au-dessus du sol de 800 à 1000 m pour les types courants d'appareils de prises de vues. A cette altitude il faut compter avec la vitesse de l'avion et son influence sur la netteté de l'image ; l'obturateur doit être rapide (1/250e seconde). Enfin, le photogramme original ne peut pas être amplifié plus de six à huit fois. L'inconvénient des faibles hauteurs de vol est de donner lieu à un nombre de clichés élevé pour une surface de terrain déterminée. On peut agrandir le format des négatifs mais cela pose des problèmes délicats dans le domaine de l'optique.

### *Matériel de prises de vues*

Un appareil récent est la chambre automatique à plaques Wild RC7 qui bénéficie des derniers progrès réalisés notamment en optique (fig. 1). L'objectif est un « Aviotar » $f = 170$ mm très lumineux et à pouvoir séparateur élevé (ouverture $f : 4{,}2$, angle de champ 60°). Le format net du cliché est 140 × 140 mm. Grâce à un dispositif stabilisateur

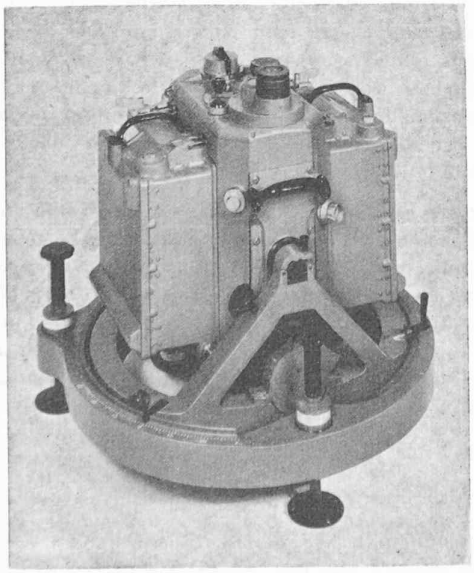

Fig. 1. — Appareil de prise de vue Wild RC7.

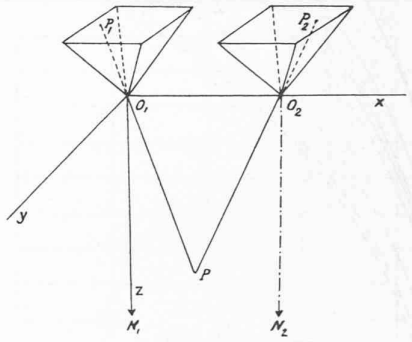


Fig. 2.

la plaque peut être maintenue horizontale à 2° près. L'obturateur rotatif permet normalement de prendre des instantanés de 1 : 250e de seconde ; il est possible toutefois de faire varier cette durée de 1 : 150e à 1 : 350e de seconde.

Les magasins contiennent quarante plaques chacun et sont disposés symétriquement pour réaliser un ensemble équilibré. L'escamotage s'effectue simplement : la plaque inférieure du magasin de droite est amenée sur le cadre de la chambre, en vue de son exposition, puis glissée dans le magasin de gauche tandis que la plaque supérieure de ce dernier est transportée à droite. L'opération peut se répéter quatre-vingts fois.

Les appareils à film permettent de prendre davantage de vues avec un seul magasin (300 env.).

La figure 2 montre un schéma courant de prise de vues ; les axes des chambres sont verticaux d'où le nom de levers nadiraux (nadirs $N_1$ $N_2$). Le point $P$ forme ses images en $P_1$ et $P_2$, $O_1P$ et $O_2P$ étant des rayons homologues des gerbes de sommets $O_1$ et $O_2$. La base $O_1 O_2 = B$ joue un rôle capital car le problème posé est la détermination du point $P$ $(x, y, z)$ Géométriquement il faudrait une base assez longue pour accroître la précision, mais la partie commune aux deux clichés diminue et l'identification binoculaire des points $P_1$ et $P_2$ est plus malaisée. Une base courte est défavorable pour le calcul de $H$ $(z = H)$ ; l'ellipsoïde d'erreur relatif à $P$ s'allonge dans le sens vertical. Le rapport $B : H \cong 1 : 3$ est usuel.

Exemple : $H = 1000$ m. $f = 165$ mm. Echelle des photogrammes 1 : 6000. $B = 300$ m. Echelle du plan 1 : 2000.
Valeurs instrumentales : $b = 15$ cm. $h = 50$ cm.

Si l'on voulait un plan au 1 : 1000 il faudrait encore amplifier deux fois le tracé graphique.

### *Emploi de l'amplificateur-redresseur*

Avant de poursuivre traitons succinctement l'opération du redressement qui rend des services surtout pour des buts d'urbanisme. Le terrain doit être assimilable à un plan et

il faut connaître quatre points au sol dont les images soient bien nettes sur le négatif, celui-ci étant de préférence un cliché-verre. Les quatre points sont rapportés sur le plan-minute, à l'échelle voulue et, par voie instrumentale, on établit une correspondance homographique entre ce plan et le photogramme. Sur ce dernier l'échelle varie d'un point à un autre et, en chaque point, suivant la direction considérée sauf au point focal si la distance nadirale dépasse 2°. En d'autres termes le cliché et le plan-minute sont les sections d'une même gerbe. Analytiquement cette correspondance implique la détermination de huit coefficients. Théoriquement trois points suffisent au lieu de quatre, à la condition de connaître exactement les constantes de la chambre de prise de vues c'est-à-dire l'orientation intérieure. C'est le problème de la détermination du point de vue dans l'espace ; de nombreuses solutions analytiques, graphiques, instrumentales furent proposées sans grande portée pratique.

L'appareil (fig. 3) est basé sur l'emploi d'un objectif redresseur ce qui complique la construction ; on a envisagé de substituer à l'objectif un sténopé mais sans succès.

Pour établir le plan au 1 : 2000 du lac de la Sihl on a opéré par redressement. La surface à lever mesurait 1611 hectares avec 745 parcelles et 290 bâtiments ; les dénivellations du sol ne dépassaient pas 25 mètres. Celles-ci donnent lieu à des déformations de l'image ne suivant aucune loi mathématique ; on les élimine, au moins partiellement, en redressant par zones et en excluant la périphérie des clichés. A la Sihl on adopta la hauteur $H = 1100$ m au-dessus du sol pour $f = 165$ mm, ce qui donne une échelle des négatifs de 1 : 6700 environ. Les levers étaient nadiraux ou presque et 268 points,

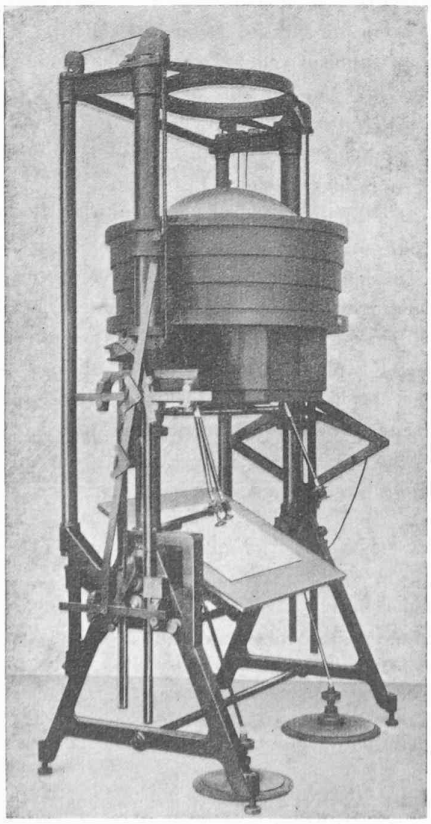

Fig. 3. — Amplificateur-redresseur.

déterminés directement au sol, assuraient l'assemblage des photogrammes (4-5 points par cliché). Ces points de rattachement étaient munis de voyants en aluminium de 80 × 80 cm². En cours de travail on constata que le format de ces voyants aurait pu être réduit à 40 × 40 cm² et la hauteur de vol $H$ portée à 1500 m. sans nuire à la précision.

*Emploi de l'autographe*

Il s'agit ici de restituer l'objet photographié à partir de *deux* perspectives. La position et l'orientation des photogrammes dans l'espace sont connues approximativement seulement. Il y a 12 inconnues : 6 coordonnées et 6 angles.

C'est au professeur von Gruber (Iéna) que l'on doit la méthode moderne par voie instrumentale. Il faut distinguer une première étape, d'importance capitale, qui consiste à réaliser l'orientation mutuelle des deux clichés. L'image spatiale du terrain photographié est ainsi à une échelle provisoire et sa position n'est pas définitive. Dans les jumelles de l'autographe, l'opérateur constate que les index-repères sont pointés simultanément sur deux points homologues $P_1$ et $P_2$ (fig. 2) ; cette condition est valable pour une paire quelconque de points homologues. C'est la solution instrumentale du problème de l'orientation mutuelle. On dit que l'image spatiale est exempte de parallaxe. Théoriquement cette absence de parallaxe doit être constatée en cinq paires de points au moins.

En fait, la détermination de l'orientation réciproque n'est pas aussi simple ; auparavant il faut introduire quelques notations. En $O_1$ le porte-cliché peut subir trois rotations : $\chi$ (axe $O_1z$), $\varphi$ (axe $O_1y$) et $\omega$ (axe $O_1x$) ; pour le porte-cliché $O_2$ les possibilités sont analogues (rotations $\chi'$, $\varphi'$, $\omega'$). L'opérateur routiné détermine sans peine à l'appareil des valeurs très approchées des inconnues. Il suffit d'apporter encore de faibles corrections assimilées à des différentielles.

Une variation $d\chi$ se traduit par un accroissement en ordonnée

$$dy = x.d\kappa = p_v.$$

C'est la parallaxe transversale ou verticale, qui est à la base de la méthode ; la formule complète est

$$(1) \quad p_v = F\,(d\chi,\ d\chi',\ d\varphi,\ d\varphi',\ d\omega) \quad \text{(erreur moyenne } \pm m)$$

expression linéaire à cinq inconnues, les coefficients étant des fonctions des coordonnées du point observé $P$ (fig. 2). Cinq points devraient donc suffire pour déterminer les inconnues ; les parallaxes $p_v$ peuvent être estimées, éventuellement mesurées ou éliminées en certains points au préalable. Un élément important de la théorie est l'erreur moyenne quadratique de la fonction $F\,(\pm\, m_F)$.

Considérons le cas général où l'on utilise $n$ points $(n>5)$

$$(2) \quad m_F^2 = m^2\,\psi\,(Q_{\kappa\kappa},\ Q_{\kappa'\kappa'},\ Q_{\varphi\varphi}\ \ldots\ Q_{\kappa\kappa'},\ Q_{\kappa\omega},\ Q_{\kappa'\omega}\ \ldots)$$

où la fonction $\psi$ est linéaire par rapport aux coefficients de poids et corrélatifs relatifs aux inconnues ; il y a cinq coefficients quadratiques et dix non quadratiques. Le calcul peut se faire aussi autrement (voir [4]). On s'efforce de réduire l'erreur $m_F$ mais le problème est assez complexe car il faut compter avec des résidus éventuels $v$ ; nous aurons donc au moins cinq équations de la forme :

$$(3) \qquad p_v = F\,(d\chi,\ d\chi',\ d\varphi,\ d\varphi',\ d\omega) + v.$$

Ces parallaxes, qui sont indépendantes pour $n = 5$, ne le sont plus pour $n > 5$. A priori on peut dire que

$$(4) \qquad [m_F^2]_1^n \geq i \, . \, m^2 \qquad (i \text{ inconnues})$$

où [.....] exprime une somme. Pour faciliter le calcul choisissons six points ($n = 6$) disposés symétriquement

$$x_1 = x_3 = x_5 = o \qquad x_2 = x_4 = x_6 = b$$
$$y_1 = y_2 = o \qquad y_3 = y_4 = -y_5 = -y_6$$
$$z = h \cong \text{const. (terrain faiblement accidenté)}$$

grâce à cette symétrie les trente coefficients des six équations (3) peuvent être laissés provisoirement sous une forme partiellement indéterminée et réduits au nombre de quatre en valeur absolue :

| *Points* | $d\chi$ | $d\chi'$ | $d\varphi$ | $d\varphi'$ | $d\omega$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $o$ | $c_1$ | $o$ | $o$ | $c_3$ |
| 2 | $c_1$ | $o$ | $o$ | $o$ | $c_3$ |
| 3 | $o$ | $c_1$ | $o$ | $-c_2$ | $c_4$ |
| 4 | $c_1$ | $o$ | $-c_2$ | $o$ | $c_4$ |
| 5 | $o$ | $c_1$ | $o$ | $+c_2$ | $c_4$ |
| 6 | $c_1$ | $o$ | $+c_2$ | $o$ | $c_4$ |

La solution la plus favorable au point de vue des erreurs est extrêmement simple ; elle dépend de cinq équations normales. Choisissons la forme implicite :

$$c_1 (\varphi_2 + \varphi_4 + \varphi_6) = o \qquad c_1 (\varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_5) = o$$
$$c_2 (\varphi_4 - \varphi_6) = o \qquad c_2 (\varphi_3 - \varphi_5) = o$$
$$c_3 (\varphi_1 + \varphi_2) + c_4 (\varphi_3 + \varphi_4 + \varphi_5 + \varphi_6) = o$$

Ce système homogène permet de déterminer les six valeurs relatives des $\varphi$ :

$$(5) \qquad +\varphi_1 = -\varphi_2 = -2\varphi_3 = -2\varphi_5 = +2\varphi_4 = +2\varphi_6 = \varpi$$

mais en plus : $m^2 \cdot = [\varphi\varphi]_1^6 = [\varphi \cdot p_v]_1^6 = 3\varpi^2$ (minimum) (6)

$\varpi$ est éliminé.

Le professeur Hallert de Stockholm paraît avoir le premier adapté cette solution aux besoins de la pratique (voir [1]). Sur les dix coefficients non quadratiques ou corrélatifs sept sont nuls ; les trois qui subsistent sont indiqués dans (2). Le calcul donne (voir [4]) :

$$(7) \qquad \frac{2}{3} m^2 \cdot \leq m_F^2 \leq \frac{11}{12} m^2 \cdot \left( i = 2 \times \frac{2}{3} + 4 \times \frac{11}{12} \right)$$

ce qui est favorable. Le procédé est susceptible de variantes. On peut aussi choisir d'autres inconnues d'orientation que celles sus-indiquées (voir [2], [3]).

### *Orientation absolue*

Une fois l'orientation mutuelle d'un aérostéréogramme terminée on pourrait établir le plan et notamment filer les courbes à l'autographe mais celles-ci ne seraient pas des courbes de niveau et l'échelle du dessin serait arbitraire. Il est nécessaire d'effectuer un rattachement avec des points fixes déterminés par des opérations au sol. De plus on n'a, en général, pas un stéréogramme isolé mais un groupe de clichés constituant un enchaînement spatial. Désignons par $A$, $B$, $C$, $D$ ... les points déterminés géodésiquement et $A'$, $B'$, $C'$, $D'$ ... ces mêmes points restitués instrumentalement. Il faut faire subir à ces derniers des translations,

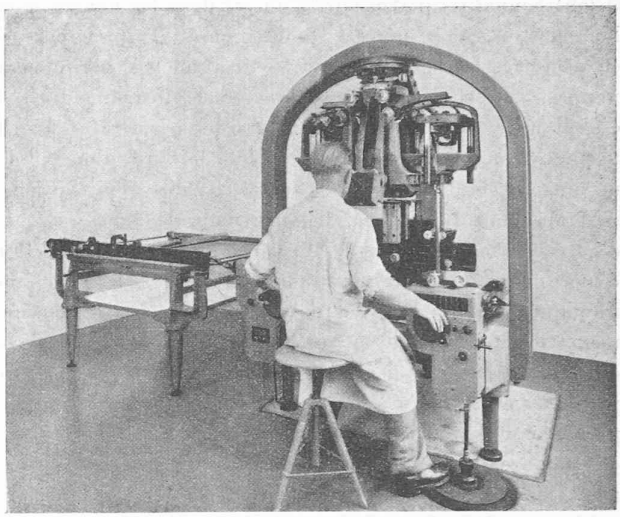

Fig. 4. — Autographe.

rotations, changement d'échelle ce qui réduit les discordances $AA'$, $BB'$, ... sans les éliminer complètement. Le principe des moindres carrés est éventuellement appliqué. De nombreuses solutions ont été et sont encore proposées ; ce problème est un des plus actuels de l'aérophotogrammétrie.

Un exemple récent de lever aérocadastral est celui de « Media Blenio » exécuté avec succès par le Bureau Pastorelli. Il portait sur une région de 2200 hectares comptant 88 000 parcelles. Il s'agissait notamment d'établir un plan au 1 : 1000 avec courbes de niveau équidistantes de 10 m servant de base à un projet d'améliorations foncières avec remaniement parcellaire.

Deux hauteurs de vol au-dessus du sol furent appliquées : $H = 1000$ m environ (clichés au 1 : 6000) pour le parcellement au 1 : 1000 (ancien état de propriété) et $H = 2500$ m. Ces vols à altitude plus élevée devaient permettre de déterminer un réseau de points de rattachement servant de base aux levers à faible altitude. Les points de la triangulation du territoire étaient en nombre insuffisant. Les vols furent effectués par zones, le terrain étant accidenté. Les angles des limites étaient marqués par des voyants de 20 × 20 cm en carton blanc et les points de rattachement par des voyants de 40 × 40 cm en Pavatex. Ce format fut suffisant pour des levers avec des plaques mais eût été un peu petit si l'on avait utilisé des films. Les résultats furent bons ; en particulier l'erreur altimétrique ne dépassa pas en moyenne la valeur $m_H = \pm 0{,}3\, H^0/_{00}$. Le travail de bureau fut exécuté avec l'autographe Wild A5 (fig. 4).

### *Littérature*


[1] Hallert B., *Über die Herstellung photogrammetrischer Pläne*; Stockholm 1944.

[2] Van der Weele-Brandenberger, « Die Genauigkeit der gegenseitigen Orientierung. » (*Schweiz. Zeitschrift für Vermessung* Nr. 8, 1948.)

[3] Bachmann W.-K., « Theorie und Praxis der gegenseitigen Orientierung. » (*Schweiz. Zeitschrift für Vermessung* Nr. 12, 1947.)

[4] Ansermet A., « Die Bedingungsgleichungen bei der gegenseitigen Orientierung von Luftaufnahmen. » (*Zeitschrift für Vermessungswesen* Nr. 10, 1943.)