La photographie aérienne au service de la cartographie

Autor(en): **Vuille, Ernest**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Geographica Helvetica : schweizerische Zeitschrift für Geographie = Swiss journal of geography = revue suisse de géographie = rivista svizzera di geografia**

Band (Jahr): **5 (1950)**

PDF erstellt am: **20.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-34984

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Civil Aeronautics Administration, Washington, D.C., 1946. — VAGELER, P.: Die Technik der modernen bodenkundlichen Aufnahme von Großraumländern. Berlin 1942. — WASEM, A. R.: Petroleum Photogeology. Photogrammetric Engineering, Vol. XV, No. 4, 1949. — WENGERD, S. A.: Geologic Interpretation of Trimetrogon Photographs, Northern Alaska. Photogrammetric Engineering, No. 4, 1947. — WINKLER, E.: Was ist Geographie? Bildung I, 1933/34. — WINKLER, E.: Das System der Geographie und die Dezimalklassifikation. Geographica Helvetica, I, 1946. — WODERA, H.: Die Holzmassenermittlung nach Luftbildern. Allgemeine Forst- und Landwirtschaftliche Zeitung, 1948, 59. Jahrgang, Wien. — WOOLNOUGH, W. G.: Notes on the technique of aerial photographic survey for geological purposes in Australia. World Petroleum Congress. Inst. of Petrol. Technologists, South Kensington, London, 1934.

LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE AU SERVICE DE LA CARTOGRAPHIE

par ERNEST VUILLE

Ne pouvant pas voler par ses propres moyens, l'homme cherche à élargir son champ visuel en gravissant les points culminants du sol. L'enfant déjà veut voir son village du haut de la tour de l'église ou du sommet d'un tertre. L'adulte escalade la montagne pour y contempler sa vallée, son pays. Certes, du fond des vallées, nos Alpes offrent un spectacle majestueux; combien plus grandiose cependant est la nature du haut de leurs sommets. Et sur les plus hautes cimes, l'homme voit planer le roi des airs. Une envie intense de s'élever, lui aussi, dans l'éther azuré le saisit.

Après des siècles de recherches et d'essais, en passant par ICARE et LEONARD DE VINCI, le rêve de l'homme se réalise. En 1783, les frères MONTGOLFIER inventent l'aérostat. De son côté, en 1838, DAGUERRE réussit le premier à établir des images photographiques durables. En 1858, NADAR fait, depuis la nacelle d'un ballon captif, les premiers essais de photographie aérienne. LAUSSEDAT qui connaissait les lois de la perspective de LAMBERT, l'incite à utiliser ces photographies pour des buts de mensuration.

Il semble qu'il n'y avait qu'un pas à faire de la photographie aérienne à la cartographie. Ce pas impliquait cependant un vaste problème et il fallut créer une science pour le résoudre. L'élaboration de la carte et du plan à l'aide de la photographie aérienne devait s'appuyer sur des bases mathématiques. Il fallait trouver les méthodes des constructions géométriques nécessaires, les appareils et émulsions photographiques donnant la précision exigée, les instruments de restitution des levés photographiques. N'a-t-il pas fallu des siècles pour développer les méthodes de mensuration et le rapporteur rudimentaire de SEBASTIAN MÜNSTER et créer les théories modernes de la géodésie et les instruments actuels de précision.

Nous ne pouvons, dans le cadre de notre exposé, faire l'historique du développement de la science aérophotogrammétrique. Citons-en les principaux promoteurs: les Autrichiens SCHEIMPFLUG et KAMMERER, le Français SACONNEY, le Russe THIELE, les théoriciens allemands FINSTERWALDER et VON GRUBER et enfin les constructeurs POIVILLIERS, BAUERNSFELD, PRÉDHUMEAU, HUGERSHOFF, NISTRI et SANTONI. En Suisse, les pionniers de la photographie aérienne: l'aéronaute SPELTERINI et l'aviateur MITTELHOLZER, le promoteur de l'application de la méthode stéréophotogrammétrique: le géologue R. HELBLING et le constructeur génial d'appareils géodésiques et photogrammétriques: H. WILD.

Dans notre pays, les premiers essais de photogrammétrie aérienne furent exécutés en 1913. KAMMERER fit, avec la chambre panoramique de SCHEIMPFLUG, des levés photographiques à bord d'un ballon captif. Ces levés furent redressés au perspectographe de SCHEIMPFLUG. Les détails des vues redressées étant insuffisants pour l'élaboration de cartes précises, ces essais furent abandonnés.

Le ballon sphérique ne pouvant être dirigé à volonté, les ballons captifs et dirigeables exigeant de longs et coûteux préparatifs ainsi qu'un personnel nombreux, ces moyens ne se seraient jamais prêtés à des méthodes économiques de levés étendus. L'aérostat devait donc, pour la prise des vues aériennes, céder le pas à l'avion, mis au point en 1903 par les frères WRIGHT.

La première guerre mondiale obligea les belligérants à développer l'aviation, la photographie aérienne et la cartographie militaire à un rythme accéléré. Dans les années qui suivirent cette guerre, on vit surgir dans tous les pays de nouveaux appareils de prise de vues et des instruments de restitution. La photogrammétrie aérienne prit alors un essor considérable.

De 1924 à 1928, le Service topographique fédéral et la Direction des mensurations firent de nouveaux essais avec les chambres aériennes Zeiss, Heyde et Wild et restituèrent les vues prises d'avion à l'aide de l'appareil de redressement Zeiss et à l'autographe Wild A2. Ces essais furent concluants. Le redressement de photogrammes simples et la restitution de stéréogrammes pouvaient dès lors être appliqués avec succès pour l'établissement de plans et cartes précis.

Nous nous bornerons, dans cet exposé, à traiter brièvement les méthodes actuelles et les instruments de fabrication suisse.

I. LES MÉTHODES ET LA TECHNIQUE DES PRISES DE VUES AÉRIENNES

En général, les levés aériens sont exécutés à l'aide de prises de vues dites plongeantes, c'est-à-dire pour lesquelles l'axe de la chambre est plus ou moins vertical. Les vues plongeantes ont l'avantage de présenter le terrain sans lacunes et de donner, tout spécialement pour la planimétrie, des résultats très précis. Elles sont exécutées dans une ouverture pratiquée au plancher de la carlingue de l'avion. Pour amortir les trépidations, la chambre est montée sur un dispositif de suspension pourvu de coussinets en caoutchouc. Les vues plongeantes uniques ne peuvent être utilisées pour l'élaboration de la carte que si le terrain est un plan, horizontal ou incliné. On procède alors par la méthode de redressement décrite plus loin. Ces vues sont disposées en bandes parallèles de vues successives, chevauchant toutes deux d'environ 20 % (fig. 1).

Prises de vues plongeantes

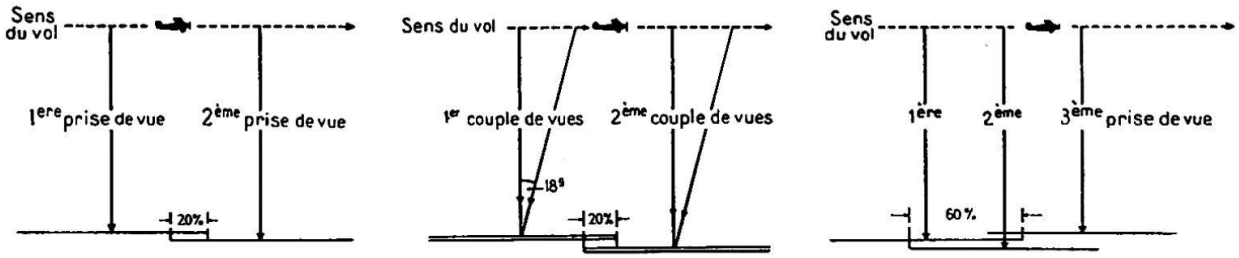

Fig. 1
Vue uniques successives

Fig. 2
Couples de vues convergentes

Fig. 3
Connexion des images

Si l'on doit, par contre, établir la carte d'un terrain accidenté, il est nécessaire de disposer de couples de vues permettant l'exploitation stéréoscopique à l'aide d'appareils à projection double. Les couples de vues plongeantes sont effectués de deux manières : soit par couples de vues convergentes, se recouvrant de 20 % (fig. 2) ; soit par connexion des vues successives se recouvrant de 60 % (fig. 3).

Les couples de vue convergentes sont restitués indépendamment les uns des autres. Les vues connexes verticales sont, pour leur restitution, combinées deux à deux successivement. La méthode des couples de vues convergentes est appliquée avantageusement pour le levé de terrains pourvus d'un réseau de triangulation dense. Celle de la connexion des vues verticales a été développée, non seulement pour permettre à l'opérateur de travailler plus rapidement et automatiquement, mais surtout en vue de l'exécution de la triangulation aérienne dans des régions où la densité des points trigonométriques est faibles et où, comme dans les régions inexplorées et infranchissables, n'existe aucune triangulation.

Pour des cas spéciaux tels que panoramas, photographies frontales de parois rocheuses servant au dessin cartographique, études géologiques, exploration, etc., des vues dites obliques uniques ou par couples sont prises au travers d'une fenêtre latérale de la cabine de l'avion, la chambre aérienne étant tenue à mains libres.

L'échelle des vues est fonction du pouvoir résolvant des émulsions, du temps d'exposition maximum en relation avec la vitesse de l'avion, de la distance focale de la chambre utilisée et de la hauteur du vol.

En admettant un pouvoir résolvant de 0,02 mm, il faut, pour qu'un objet soit reconnaissable sur l'émulsion, que la grandeur de l'image soit au minimum de 0,05 mm. D'autre part, l'image de l'objet ne sera nette, que si l'obturateur central de la chambre permet un temps d'exposition de $^1/_{150}$ à $^1/_{500}$ de seconde, conditionné par la hauteur de l'avion et sa vitesse. L'échelle des vues plongeantes étant donnée par la relation $E = \frac{f}{H}$,

il est facile de calculer les hauteurs de vol en fonction de la focale f de la chambre et de l'échelle à réaliser. Pour les chambres Wild, en admettant le rapport le plus favorable entre l'échelle de la carte et celle de l'image, nous obtenons pour les échelles des levés usuels, les hauteurs de vol suivantes :

Carte	Image	f = 115 mm	f = 165 mm	f = 170 mm	f = 210 mm
1 : 5000	1 : 8000	H = 920 m	1320 m	1360 m	1680 m
1 : 10000	1 : 12000	1380 m	1980 m	2040 m	2520 m
1 : 25000	1 : 20000	2300 m	3300 m	3400 m	4200 m

Pour les prises de couples de vues convergentes, la limite inférieure de la base, c'est-à-dire de la distance entre les 2 vues, doit être choisie de telle manière que la parallaxe stéréoscopique permette d'obtenir l'exactitude prescrite pour l'altimétrie. Les zones de défilement du stéréogramme doivent être réduites à un minimum. Il s'ensuit que la limite supérieure de la base est conditionnée par la forme du terrain. Elle sera plus grande en terrain peu accidenté qu'en terrain vallonné. Dans la pratique, le rapport de la base à la hauteur du vol varie entre $^1/_3$ et $^2/_3$. Pour les connexions d'images, la base est fonction de la hauteur et du chevauchement des vues.

Après avoir été orienté sur sa tâche, l'observateur-aviateur prend une décision concernant la méthode de levé à appliquer et la chambre à utiliser le plus favorablement puis, tenant compte de toutes les conditions traitées plus haut, il établit un plan de vol sur la meilleure carte existante de la région à lever. En terrain peu accidenté, les vues sont prises par bandes parallèles. En montagne, le plan de vol doit s'adapter aux formes du terrain de telle manière que ce dernier soit photographié sans lacunes et que la restitution des stéréogrammes des flancs escarpés et des gorges soit aisée.

Il va de soi que l'observateur ne pourra opérer exactement selon son plan de vol, que si les conditions météorologiques sont idéales, c'est-à-dire par excellente visibilité et temps calme. Dans notre pays, spécialement en montagne, ces deux conditions sont très rarement réunies. Pour augmenter la stabilité de l'avion et la netteté des photographies, le vol est exécuté face au vent. L'observateur doit tenir compte de la dérive en déversant la chambre autour de son axe optique.

Pour les levés de vues connexes sur une grande distance, vues devant être prises à une hauteur constante, l'équipe utilise le statoscope. La technique des prises de vues aériennes exige non seulement un pilote et un observateur expérimentés, mais encore une entente parfaite entre eux.

La restitution des vues aériennes exige la détermination des relations géométriques entre les vues et le terrain. Il est donc nécessaire de déterminer sur le terrain des repères d'ajustage permettant l'orientation absolue aux appareils de restitution. On obtient ces repères soit en signalisant avant le vol les points de triangulation ou autres dont la position et la hauteur sont connues, soit en mesurant sur le terrain, après le vol, le nombre de repères nécessaires à l'ajustage. Dans le deuxième cas, la position et la densité des points de repère sont fixées lors de l'identification des photographies.

II. LES APPAREILS DE PRISE DE VUES AÉRIENNES

Avion. Un avion destiné à la photogrammétrie aérienne doit remplir les principales conditions suivantes : Son rayon d'action, dépendant de l'organisation aérotechnique terrestre de la région à lever, doit être tel que, le temps nécessaire à l'aller et au retour non compris, l'équipe puisse travailler au moins trois heures consécutives. L'avion doit pouvoir atteindre rapidement la hauteur prévue. Pour que les photographies prises avec des chambres modernes soient nettes, la vitesse ne doit pas excéder 170 à 200 km à l'heure. A cette vitesse, l'avion doit voler sans trépidations. La cabine doit avoir les ouvertures nécessaires aux levés plongeants et obliques. Le champ visuel à travers

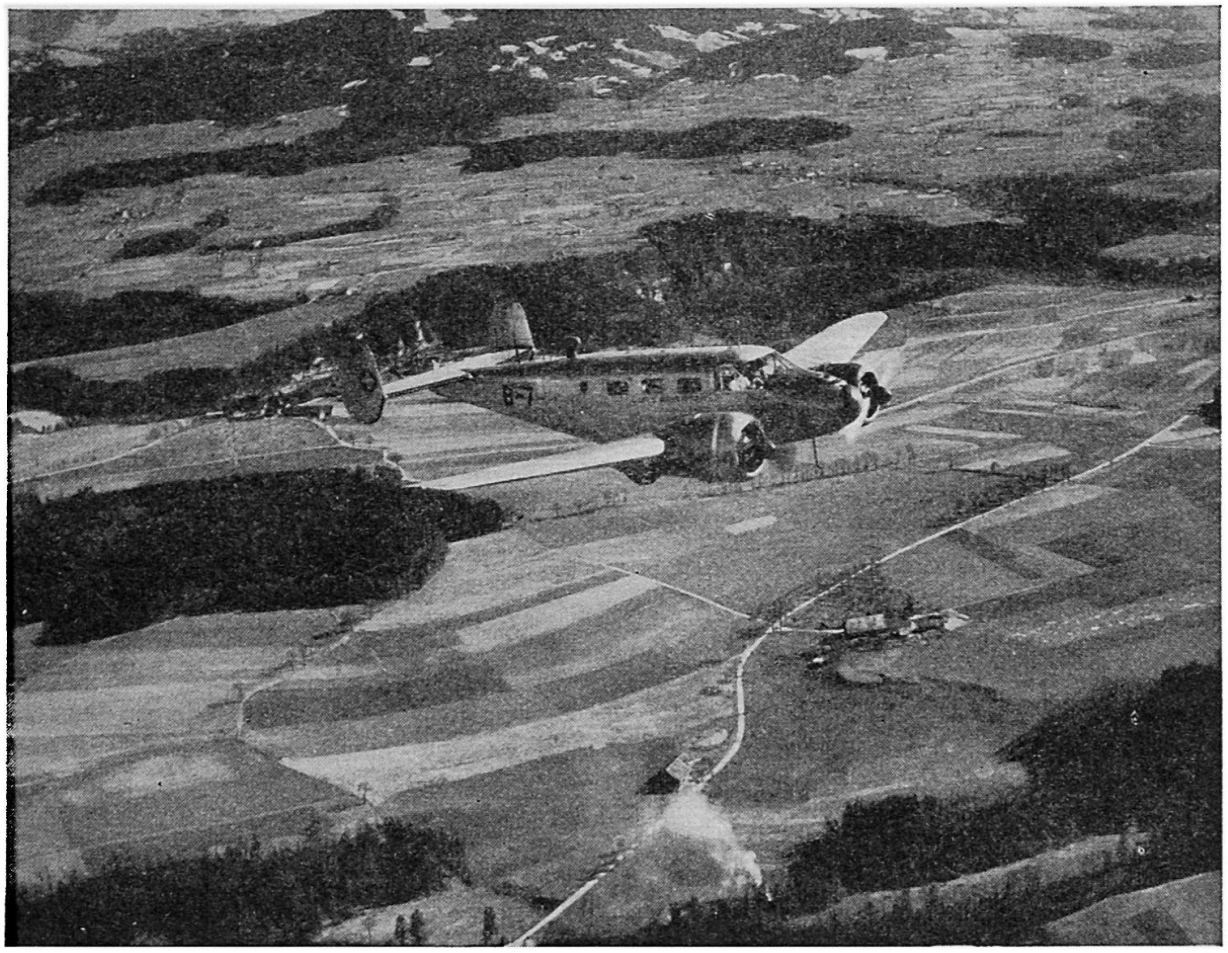

Fig. 4: Avion Beechcraft, C 45. Photo Service topographique fédéral

les ouvertures doit être suffisamment grand pour que l'observateur puisse contrôler la navigation. Les ouvertures seront placées de telle manière que le champ optique de la chambre ne soit pas restreint par les organes de l'avion. La cabine doit être assez spacieuse afin que le photographe puisse opérer aisément. L'équipe sera munie d'appareils à oxygène et d'un téléphone de bord.

En Suisse, le premier avion aménagé spécialement pour la photogrammétrie aérienne fut acquis en 1930 par la Direction des mensurations. C'était un monoplan Messerschmid à grande envergure, à un moteur et à ailes surélevées. Les qualités de vol de cet avion étaient satisfaisantes, ses dimensions et installations par contre insuffisantes. Sur la proposition du Service topographique et de la Direction des mensurations, le Service technique de l'Armée fit construire, sur licence à la fabrique d'armes de Thoune, deux machines Messerschmid de plus grandes dimensions, dotées des dernières perfectionnements. Ces avions furent mis en action en 1935 et rendirent des services éminents. Après 13 ans d'exploitation, il fallut songer à les remplacer.

En 1948, le Service topographique, tenant compte de l'évolution de la technique et des exigences modernes, acquit un avion du type «Beechcraft» (fig. 4) accusant, par rapport au type Messerschmid, les avantages d'une plus grande sécurité, d'une meilleure stabilité et d'installations modernes. Les caractéristiques de cet avion sont les suivantes: Deux moteurs Pratt et Whitney Wasp à 450 HP chacun, double commande, double gouvernail de direction, ailes surbaissées. Envergure 14,50 m, longueur 10,40 m et hauteur 3 m. Poids à vide 2520 kg, poids normal au départ 3560 kg, poids maximum 3958 kg. Vitesse 160 à 225 km/heure. Plafond 7000 m. Equipage 2 à 3 personnes.

Chambre aérienne. Comme nous l'avons vu plus haut, l'échelle des vues aériennes, devant servir aux levés cartographiques, varie de 1 : 8000 à 1 : 20000. Pour les levés extensifs, elle peut atteindre 1 : 40000. Par conséquent, une chambre aérienne doit être un appareil excessivement précis. L'objectif doit être exempte de distorsions; le plan de l'image doit être mathématiquement perpendiculaire à l'axe optique et situé

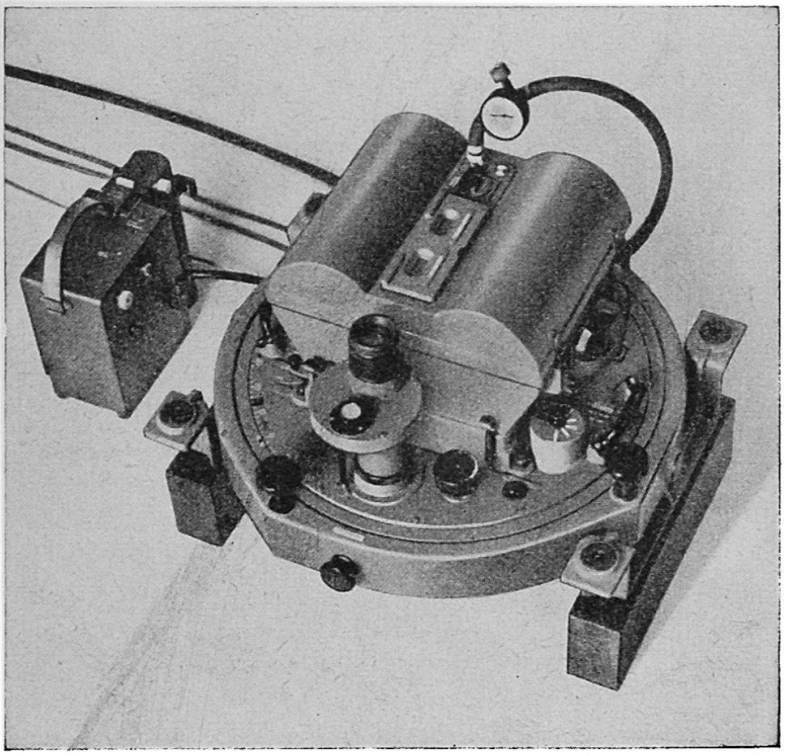

Fig. 5: Chambre automatique RC5 avec statoscope

exactement dans le plan focal de l'objectif. Le point d'intersection de l'axe optique avec le plan du négatif, appelé point principal, est défini par l'intersection de deux axes perpendiculaires l'un à l'autre, situés dans ce plan et concrétisés par deux paires de points-repères, trous minuscules pratiqués sur le cadre d'appui. Ces quatre points-repères et la distance focale constituent l'orientation intérieure de la chambre et sont absolument nécessaires pour l'orientation du faisceau intérieur de rayons lumineux ayant engendré l'image. Les points-repères apparaissant sur les négatifs, on peut ajuster ultérieurement ceux-ci sur le cadre d'appui des chambres de restitution.

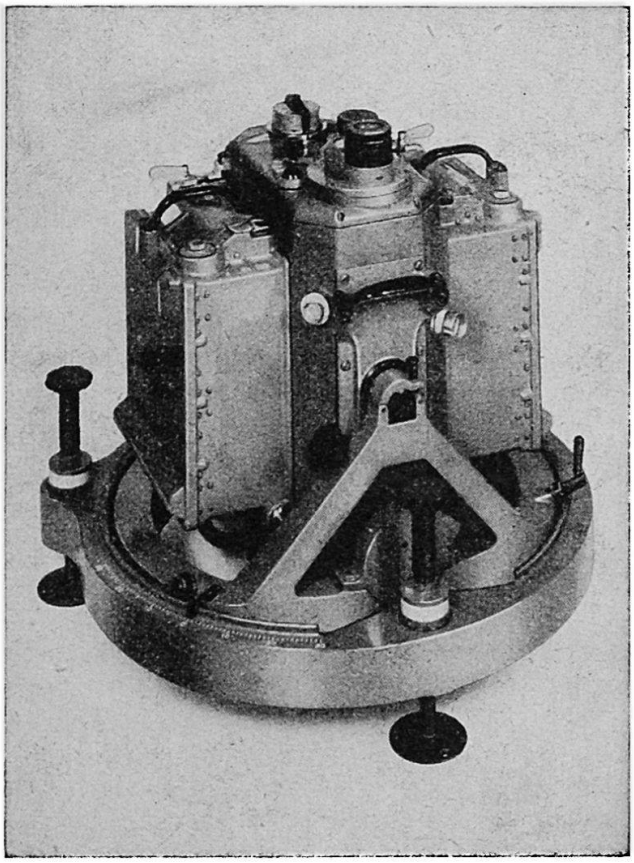

Fig. 6: Chambre automatique RC7

Les chambres aériennes Wild (données succinctes)

1° La chambre de précision a été construite pour des levés de précision sur plaques 13/13 cm. Distance focale 165 mm; opturateur central aux vitesses $^1/_{150}$, $^1/_{250}$ et $^1/_{500}$ sec.; 4 châssis-magasins à 10 plaques; numérotage automatique. La chambre peut être tenue à mains libres pour les levés obliques. Pour les levés plongeants, elle est montée sur le dispositif de suspension permettant une convergence de $+27^G$ à -27^G, une inclinaison latérale de $+28^G$ à -28^G et un déversement de 400^G.

2° La chambre RC5 automatique (fig. 5) est construite pour des prises de vues connexes sur film 18/18 cm. Distances focales 115 mm et 210 mm; opturateur central aux vitesses $^1/_{75}$, $^1/_{130}$ et $^1/_{200}$ sec.; châssis-magasin pour 60 m de pellicule chacun; réglage automatique du chevauchement des vues de 20, 25, 60 et 70 %; enregistreurs automatiques sur chaque vue de l'heure, de la hauteur de vol (statoscope), de l'horizontalité, de la distance focale et du numéro. Le dispositif de suspension permet l'inclinaison de la chambre de $+13^G$ à -13^G dans les sens longitudinal et latéral et son déversement de $+33^G$ à -33^G. Cette chambre est équipée de deux statoscopes, l'un étant à portée de vue du pilote et lui permettant de maintenir

la hauteur de vol à 1,5 m près, l'autre faisant partie de la boîte d'enregistrement, reliée à la chambre par un câble électrique.

3° La nouvelle chambre RC 7 (fig. 6) automatique est construite pour tous les buts et spécialement pour la triangulation aérienne. Les vues de haute précision sont prises sur plaques 15/15 cm. Objectif spécial «Aviotar», distorsion maximale $\pm$ 0,00045 mm. Corrigé pour toutes les radiations du spectre visible, cet objectif peut être utilisé pour la photographie en couleurs. Distance focale 170 mm ; angle de champ 65^G; vitesse maximale de l'opturateur $^1/_{300}$ sec. ; deux châssis-magasins à 40 plaques chacun, disposés symétriquement ; régulateur de chevauchement et enregistreurs automatiques comme pour la chambre RC 5.

III. LE REDRESSEMENT DE VUES PLONGEANTES UNIQUES

Supposons que l'on ait, du bord d'un avion volant à la hauteur constante H, exécuté à l'aide d'une chambre aérienne de distance focale f des vues exactement horizontales, recouvrant sans lacunes la surface d'un terrain horizontal. Chacune de ces vues sera une image à l'échelle $\frac{f}{H}$, en tous points semblable au terrain. Si l'on réduit ou agrandit chacune de ces vues à une échelle déterminée et les assemble sur une feuille, sur laquelle on aura préalablement reporté un certain nombre de points de repère déterminés et identifiables sur les agrandissements, on obtient une carte photographique exacte du terrain à l'échelle choisie.

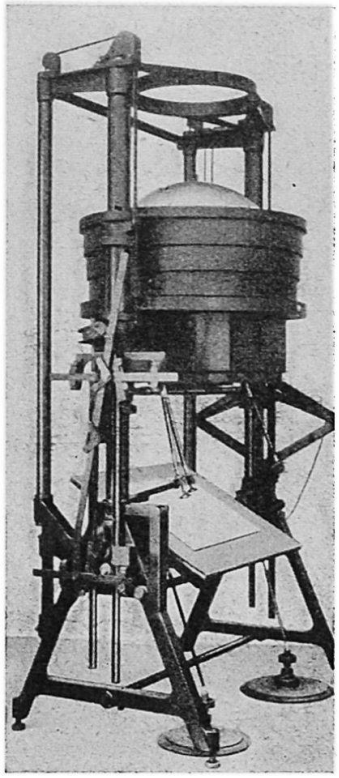

Fig. 7: Appareil de redressement Wild E2

Le pilote ne pouvant toutefois maintenir l'avion à une hauteur absolument constante, les vues accuseront des échelles différentes. En outre, par suite du roulis de l'avion, elles ne seront pas exactement horizontales. Il en résulte que les vues originales présenteront des déformations par rapport au terrain et qu'il sera impossible d'assembler correctement leurs réductions ou agrandissements. Pour obtenir une carte photographique exacte, nous devrons transformer les vues originales en images horizontales ayant toutes la même échelle. Cette opération est appelée redressement de la vue originale. Le problème consiste à déterminer pour chaque vue originale 3 éléments, soit l'inclinaison de l'axe optique, l'orientement du cliché, appelé déversement, et le rapport entre la distance focale de la chambre et la hauteur du vol. Si le terrain est un plan incliné, nous devrons connaître, comme quatrième élément, l'inclinaison du terrain. En pratique, le redressement s'opère à l'aide d'un appareil qui rend superflue la construction géométrique des éléments en question.

L'appareil de redressement permet de transformer automatiquement la projection centrale de la vue aérienne en projection orthogonale de la carte. Si le terrain est un plan horizontal ou incliné, on peut, par une projection centrale, réaliser la perspective entre la vue aérienne et la carte. L'appareil de redressement Wild E2 (fig. 7) n'est autre qu'une chambre de projection pourvue d'une source lumineuse L, d'un porte-négatif N, d'un objectif O et d'une table de projection P (fig. 8). Pour pouvoir réaliser la perspective entre l'image et la carte, il faut que le plan du négatif passe constamment par la ligne d'intersection du plan principal de l'objectif et du plan de projection (condition de Scheimpflug). En outre, l'image projetée ne sera nette que si l'équation des lentilles $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ est satisfaite.

Le rapport de collinéation entre deux plans est défini par 4 paires de points, à la condition toutefois que 3 de ces points ne soient pas sur une ligne droite. Pour pouvoir établir la projection centrale de l'image sur la carte, il faut donc que l'on puisse identifier, sur chaque cliché, 4 points de repère connus bien répartis, reportés sur le plan de la carte par leurs coordonnées. L'image sera redressée sur le plan de la carte, au moment où les projections des 4 points du négatif coïncideront simultanément avec leurs homologues sur la carte.

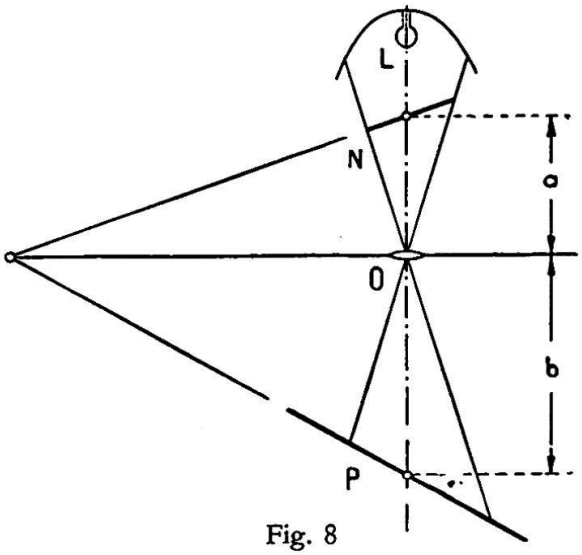

Fig. 8
Schéma du fonctionnement du Wild E2

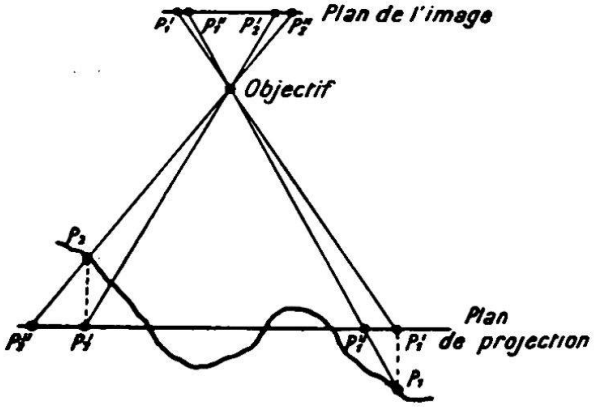

Fig. 9: Déformation
de l'image hors du plan de projection

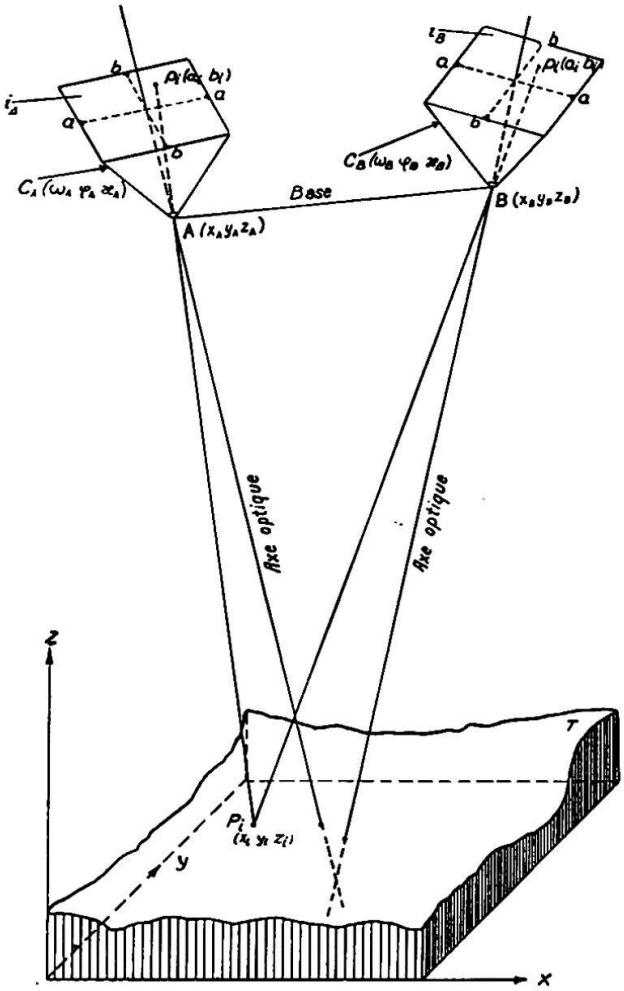

Fig. 10: Eléments géométriques
d'un couple de vues plongeantes

L'appareil de redressement doit comporter 5 «degrés de liberté», soit :

1° Variation de la distance de projection (échelle) ;
2° Variation de l'inclinaison de la table de projection ;
3° Variation du déversement du cliché ;
4° et 5° 2 translations du cliché dans son plan perpendiculairement et parallèlement à l'axe de basculement de ce plan.

Ces 5 mouvements sont exécutés par tâtonnements, jusqu'à ce que la coïncidence des 4 paires de points soit réalisée.

On fait alors l'obscurcissement, place un papier sensible sur la table et procède à l'exposition. Après développement, on obtient une image redressé positive. On procède ainsi pour chaque cliché séparément. En assemblant ensuite les images redressées, on obtient le plan photographique du terrain. Lorsqu'il s'agit de dresser la carte elle-

même, on reporte préalablement, sur la feuille sensible, en chambre noire, tous les points de repère du terrain levé, afin que l'assemblage des images redressées puisse être fait sur la table de projection, au moment de l'exposition des différents clichés. Après avoir développé et fixé la feuille sensible, on passe à l'encre les objets du plan photographique devant figurer sur la carte, puis on élimine chimiquement la couche photographique.

La méthode du redressement de vues plongeantes uniques ne pouvant nous procurer l'altimétrie, est appliquée tout spécialement pour le levé de la planimétrie de terrains plans, horizontaux ou inclinés et pour la mise à jour de la planimétrie de plans et cartes.

Par le redressement, on peut cependant établir la planimétrie d'un terrain accidenté en procédant par zones horizontales se rapportant chacune à un plan de référence horizontal. On doit alors tenir compte des déformations de l'image hors du plan de projection respectif de chaque zone (fig. 9).

IV. LA RESTITUTION DE COUPLES DE VUES AÉRIENNES

1° Le problème et sa solution optico-mécanique

Soient A (X_A, Y_A, Z_A) et B (X_B, Y_B, Z_B) (fig. 10), deux points dans l'espace, situés à une distance B, appelée base, d'où l'on a pris les images i_A et i_B du terrain T. L'orientation intérieure de la chambre est supposée connue.

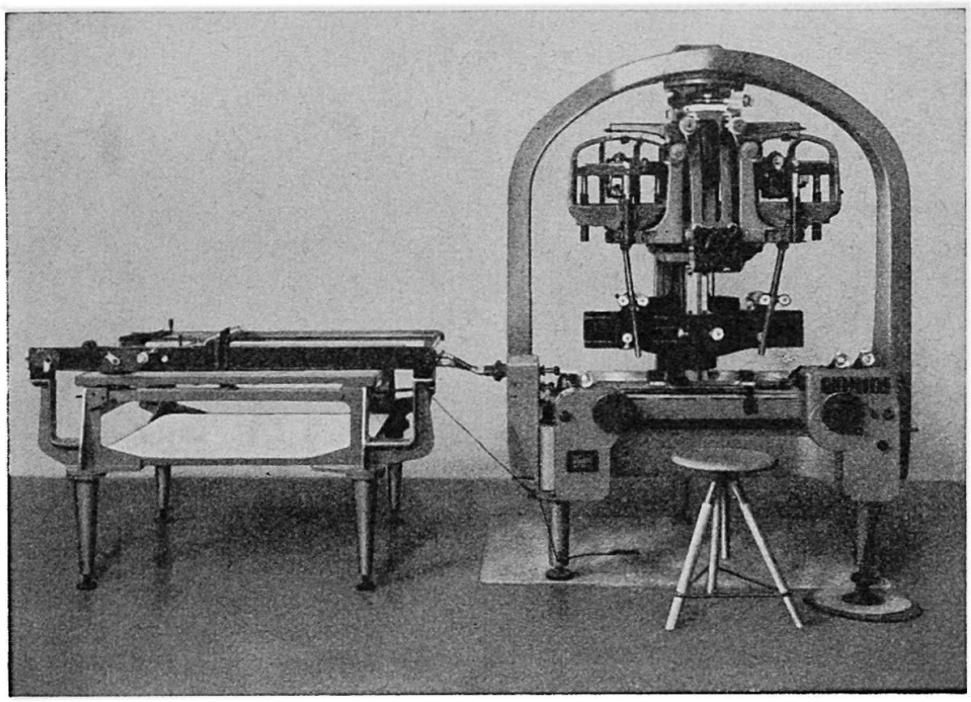

Fig. 11: Autographe Wild A 5

La position d'un corps dans l'espace par rapport à un système X, Y, Z de coordonnées est déterminé par 6 éléments, soit les 3 translations X, Y et Z de son centre de gravité et les 3 rotations Rx, Ry et Rz d'un axe quelconque du corps autour du centre de gravité. Dans notre cas, le corps est représenté par la chambre photographique C et il est d'usage en photogrammétrie, de choisir comme éléments : les 3 coordonnées X, Y, Z du point principal de l'objectif, l'inclinaison transversale ω de l'axe optique, l'inclinaison longitudinale φ de cet axe et le déversement $\varkappa$ de la chambre. Si nous pouvons déterminer ces 6 éléments de l'orientation extérieure de la chambre en A et B, soit 12 éléments, les positions des deux faisceaux lumineux ayant engendré les images

i_A et i_B seront fixées par rapport au terrain T et les rayons conjugués des faisceaux se recouperont deux à deux aux points du terrain Pi (Xi, Yi, Zi). En admettant que nous ayons déterminé les 12 éléments de l'orientation du stéréogramme, nous pouvons les introduire à un appareil de projection double, muni de deux chambres de restitution identiques à la chambre originale. En éclairant les deux clichés, nous reconstruisons les deux faisceaux lumineux et, par conséquent, un modèle optique du terrain à l'échelle de la carte. Si l'appareil est muni d'un système d'observation stéréoscopique et des organes mécaniques nécessaires, nous pourrons viser tous les points du modèle optique et, par transmission des observations, sur une feuille à dessin, établir la carte de ce modèle.

Nous devons ici examiner de plus près le problème de la détermination des 12 éléments de l'orientation extérieure. Connaissant l'orientation intérieure de la chambre, on peut reconstruire le faisceau de rayons intérieur. Chaque point du cliché est fixé par ses 2 coordonnées a et b par rapport aux axes du cliché. Dans un couple de clichés, chaque point fournit par conséquent 4 éléments. Le problème comportant 12 éléments, il suffira pour le résoudre de connaître les 12 coordonnées a et b de 3 paires de points homologues des deux clichés. La position des deux faisceaux de rayons extérieurs sera donc déterminée par 3 points du terrain identifiables sur les deux clichés. Par conséquent, nous pourrons établir la carte du terrain, si chaque couple de cliché contient 3 points connus.

La solution analytique du problème, appelé relèvement double dans l'espace, consiste à établir 12 équations à l'aide des 12 coordonnées a et b ou de 12 autres éléments et à résoudre ce système d'équations. Cette solution embarrassante ne peut toutefois être appliquée économiquement en pratique. D'une manière analogue à celle du redressement de vues uniques, le problème est résolu aux appareils de restitution, par un procédé optico-mécanique comportant les 3 opérations suivantes :

a) la réalisation du modèle optique du terrain à une échelle approximative par l'orientation relative des deux clichés ;
b) la rectification de l'échelle provisoire de ce modèle et
c) l'orientation absolue du modèle rectifié par rapport au plan de la carte.

Les deux clichés ayant été ajustés sur les cadres d'appui des chambres de restitution, on introduit à l'appareil, à l'échelle de la carte, la composante bx de la valeur approximative de la base et l'angle de convergence que le photographe avait fixé au dispositif de suspension, au moment de la prise de vue.

a) L'orientation relative des deux clichés consiste à trouver par tâtonnements à l'appareil de restitution, la position de l'un des clichés par rapport à l'autre, de manière à ce que toutes les paires de rayons conjugués se recoupent en leurs points respectifs. Cette opération dépend de 5 éléments : la dérive by, la différence de déversement $\Delta \varkappa$, la différence de hauteur bz, la différence d'inclinaison $\Delta \omega$ des axes optiques et la convergence γ de ces axes. Nous devons donc faire varier ces 5 éléments à l'aide de 5 vis ad hoc de l'appareil, jusqu'à ce que le modèle stéréoscopique soit exempt de parallaxe en tous ses points. Le couple de clichés fournit une infinité de points d'intersection de rayons conjugués. Pour déterminer les 5 éléments en question, l'observation de 5 points suffit théoriquement. L'influence de la variation de ces 5 éléments diffère selon la position des points dans le modèle et atteint, en certains endroits, un maximum. En outre, la variation d'un de ces éléments influence les autres. Nous devons donc procéder par tâtonnements. Pour arriver rapidement au but, on choisit judicieusement les 5 points à observer, en tenant compte de la méthode des prises de vues et de la forme du terrain. L'orientation relative étant réalisée, nous aurons déterminé 5 éléments du problème.

b) Rectification de l'échelle provisoire du modèle. Après l'orientation relative, l'échelle du modèle est celle de la base introduite à l'appareil. Pour obtenir

l'échelle du modèle correspondant à celle de la carte, on vise, à l'autographe, deux points de repère connus et on lit leurs coordonnées aux tambours. On peut alors calculer la distance spatiale entre ces deux points du modèle. Comme on connaît d'autre part la distance spatiale réelle entre ces deux points, on peut calculer le rapport des échelles du modèle et de la carte. En multipliant les composantes bx, by et bz de la base par le rapport calculé, on obtient les rectifications à apporter à ces composantes. A ce moment, un 6e élément du problème est déterminé. Par la rectification de la base, le modèle reste exempt de parallaxe.

c) Orientation absolue du modèle rectifié. Cette opération consiste à imprimer au modèle rectifié 3 translations ΔX, ΔY et ΔZ et 3 rotations Ω, Φ et K, de manière à ce qu'il soit correctement orienté par rapport au plan de la carte et que les altitudes des 3 points de repère, lues au tambour de l'appareil, soient identiques aux altitudes connues de ces points.

De ces 6 mouvements, seules les 2 rotations Ω et Φ sont imprimées au modèle même. Pour en déterminer les valeurs, on vise successivement, à l'appareil, les 3 points de repère et lit leurs altitudes au tambour. Les différences entre les lectures et les altitudes connues des 3 points donnent les corrections et, par de simples calculs les valeurs des rotations Ω et Φ. La translation ΔZ s'effectue en rectifiant la position du tambour des altitudes. Les translations ΔX et ΔY et la rotation K sont réalisées sur la table en déplaçant et en orientant la feuille du dessin.

Les 3 translations et les 3 rotations étant exécutées, les 6 derniers éléments du problème sont implicitement déterminés.

Le problème du relèvement double dans l'espace peut ainsi être résolu d'une manière élégante à l'appareil de restitution, par des observations du modèle stéréoscopique et quelques opérations à la règle à calcul. En pratique, les 3 opérations de ce relèvement doivent être poussées à une telle précision, que les erreurs résiduelles restent dans les limites des tolérances prescrites pour la planimétrie et l'altimétrie. On ne se contente pas d'observer uniquement le nombre théoriquement nécessaire de points du modèle. Pour réaliser l'orientation relative, on dispose d'une infinité de points conjugués. La précision de l'orientation absolue augmente, si l'on dispose de plus de 3 points de repère, dans le cas idéal, de 5 points, soit un point au centre et un point vers chaque coin du modèle. Les observations et corrections sont réitérées jusqu'à obtention de la précision nécessaire.

2° La restitution stéréoscopique

La restitution elle-même consiste à exploiter le modèle à l'aide de la marque stéréoscopique du système d'observation. En combinant les trois mouvements spatiaux à l'aide des deux manivelles des X et des Y et de la pédale des Z, on peut placer cette marque sur n'importe quel point du modèle et suivre avec elle toutes les lignes et tous les contours de la planimétrie devant figurer sur la carte. Les mouvements de la marque stéréoscopique sont reportés automatiquement sur le plan de la carte par un mécanisme de transmission, muni d'un traçoir. Pour obtenir une courbe de niveau, on tourne d'abord la pédale jusqu'à ce que le chiffre de l'altitude désirée apparaisse à l'index du tambour, puis, à l'aide des manivelles, on dirige la marque stéréoscopique en la maintenant constamment en contact avec la surface du modèle ; le traçoir dessine automatiquement la courbe de niveau sur la carte.

3° Appareils de restitution de couples de vues aériennes

Nous ne pouvons ici faire la description, même succincte, des appareils de restitution ni expliquer le fonctionnement de leurs multiples organes. Nous recommandons au lecteur de se rendre occasionnellement dans un institut photogrammétrique pour y voir fonctionner un tel appareil. Nous devons toutefois esquisser les principes de leur construction.

Un appareil de restitution de couples de vues aériennes doit comporter :

a) un double système de projection des clichés, permettant de reconstruire l'orientation intérieure de la chambre de prise de vues, la position relative des deux clichés et la position absolue du couple des clichés par rapport au terrain ;

b) un dispositif d'observation stéréoscopique du modèle reconstruit à l'appareil ;

c) un mécanisme de transmission permettant de reporter les observations sur une table à dessin.

La solution appliquée généralement pour la reconstruction de l'orientation intérieure de la chambre se base sur le principe de projection Koppe, consistant à utiliser à l'appareil de restitution deux chambres identiques à celle qui a servi aux prises de vues. Ce système a l'avantage d'éliminer les déformations de l'image, résultant des distorsions de l'objectif de prise de vues. Il a en revanche, l'inconvénient de ne présenter les négatifs de face que dans leur partie centrale. Plus l'axe d'observation s'éloigne du centre du modèle, plus il devient oblique par rapport au plan des négatifs et plus le modèle

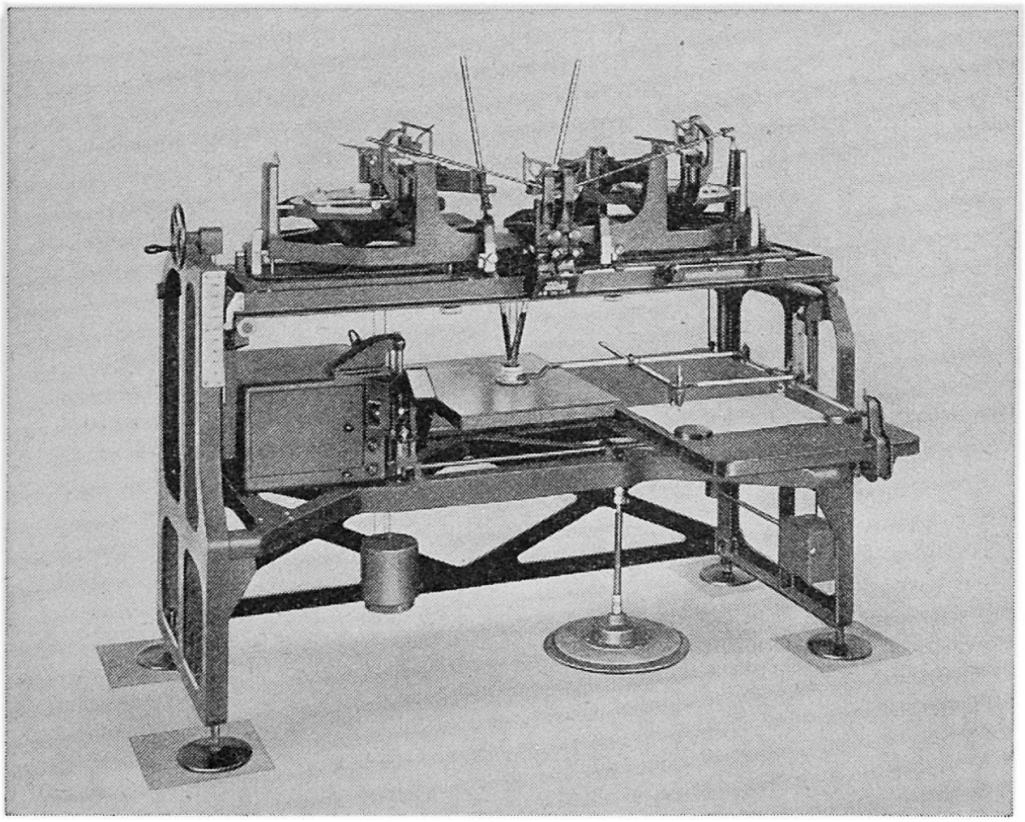

Fig. 12: Stéréorestituteur Wild A 6

apparaît incliné. Au fur et à mesure que l'axe d'observation s'éloigne du centre, l'exploration du modèle et le filage des courbes de niveau deviennent de plus en plus malaisés. Wild ayant réussi à construire des objectifs exempts de distorsions, abandonna le système Koppe, appliqué à la construction de l'autographe A 2, et conçut une solution mécanique permettant d'observer tous les points des négatifs suivant une direction perpendiculaire à leur plan. Cette solution est appliquée notamment dans la construction de l'autographe Wild A 5 et du stéréorestituteur Wild A 6.

La solution adoptée pour la suspension ou le logement des chambres de restitution, et celle de la disposition du système d'observation varient selon les appareils. Dans certains appareils, les chambres de restitution restent immobiles lors de la restitution ; les mouvements nécessaires à l'exploration du modèle sont alors effectués par des organes optiques mobiles. C'est le cas pour le stéréoplanigraphe Zeiss, l'autographe Wild A 5 et le stéréorestituteur Wild A 6. Dans l'autographe Wild A 2, ce sont, au contraire, les chambres et leurs tiges conductrices solidaires qui subissent deux rotations autour de deux axes perpendiculaires l'un à l'autre, tandis que le dispositif d'observation reste immobile. Dans d'autres appareils enfin, l'une des rotations est attribuée aux chambres, l'autre aux organes optiques.

La transmission mécanique des mouvements des manivelles au traçoir est réalisée par un jeu de bielles et d'engrenages. Les dimensions de l'appareil ne pouvant dépasser certaines limites, on est obligé,

pour l'établissement de plans à grandes échelles, de réduire l'échelle du modèle par rapport à celle du plan. Si l'on veut, en revanche, restituer à une petite échelle les parties rapprochées d'un couple de vues terrestres, on doit agrandir l'échelle du modèle. En outre, pour augmenter le rendement de la restitution de plans à grandes échelles, il est nécessaire de multiplier les vitesses des mouvements des chariots de l'appareil. Les multiplications et démultiplications des échelles et des vitesses sont réalisées par une série d'engrenages pouvant être embrayés et débrayés à volonté à l'aide de boutons à tirette.

L'autographe universel Wild A5 (fig. 11) est un appareil de haute précision permettant la restitution de couples de vues terrestres et aériennes, ces dernières pouvant être aussi bien obliques que plongeantes.

A l'aide de vis micrométriques, on peut, en déplaçant les porte-clichés parallèlement à eux-mêmes dans la direction de leur axe optique, introduire aux deux chambres toutes les distances focales comprises entre 98 mm et 215 mm, à $^1/_{100}$ mm de près. On est ainsi dispensé de changer les chambres de restitution pour les différentes distances focales et de réajuster chaque fois l'appareil, comme c'est le cas à l'autographe A2 (système Koppe). Les dimensions des porte-clichés permettent l'ajustage de plaques et de films de tous les formats ne dépassant pas 18 × 18 cm. Les chambres peuvent effectuer indépendamment l'une de l'autre les rotations ω et φ autour des axes x et y et la rotation $\varkappa$ autour de leur axe optique. Pour l'orientation absolue du modèle, on peut en outre imprimer à l'ensemble du système des deux chambres, les rotations Φ et K autour des axes Y et Z. La rotation Ω du modèle doit, en revanche, être effectuée séparément pour chaque chambre, par les rotations ω et $\omega' = \Omega$. Les combinaisons de positions des boutons à tirette des engrenages, permettent d'obtenir 12 multiplications indépendantes. On peut, par conséquent, restituer à cet autographe des plans et cartes de toutes les échelles désirées. Grâce à sa haute précision, l'autographe A5 se prête tout spécialement à l'exécution de triangulations aériennes par connexion des images. Un essai de l'Institut photogrammétrique de l'E.P.F. de Zurich, effectué à l'aide de 72 modèles successifs, sur une longueur de 100 km, a donné pour les erreurs de fermeture, à la fin de la bande, les valeurs de $\pm$ 5 m pour l'altitude et $\pm$ 7,7 m pour la planimétrie.

Le stéréorestituteur Wild A6 (fig. 12) est un appareil de dimensions restreintes, utilisé pour l'établissement de cartes aux échelles de 1 : 5000 et plus petites à l'aide de couples de vues aériennes plongeantes. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Les deux porte-clichés sont montés sur un bâti horizontal. Ils peuvent être déplacés verticalement de manière à permettre la restitution de vues prises avec toutes les chambres de distance focale de 98 mm à 270 mm. Sur les porte-clichés, on peut ajuster des plaques et des films de tous les formats jusqu'à 24 × 24 cm. Le porte-cliché de droite peut, pour l'introduction de la base, être plus ou moins rapproché de celui de gauche. Les deux porte-clichés peuvent effectuer indépendamment l'un de l'autre, les rotations ω, φ et $\varkappa$. La rotation Ω du modèle est réalisé séparément à chaque porte-cliché par les rotations ω et $\omega' = \Omega$. La rotation Φ du modèle s'opère par l'inclinaison du bâti commun aux deux porte-clichés. Les tiges conductrices sont disposées de telle manière, que la distance entre leurs points de rotation, puisse être rendue égale à la base elle-même, à l'échelle de restitution. L'orientation absolue du modèle, étant réalisée, la position des tiges correspond à celles des rayons visuels P p' des deux faisceaux lumineux (fig. 10). Les tiges se rencontrent effectivement au point P lui-même, concrétisé par une charnière pouvant être déplacée à la main sur une plaque de verre, à l'aide d'une poignée. Les porte-clichés sont placés de part et d'autre des tiges conductrices, lesquelles glissent, dans les douilles aménagées au sommet intérieur de chacun des ciseaux du dispositif. Ceux-ci sont fixés aux porte-clichés à leur centre d'articulation. Chaque sommet extérieur des ciseaux porte une petite lunette d'observation, munie de la marque stéréoscopique, à l'aide de laquelle on peut explorer le négatif. Un double système de prismes et de lentilles ramène l'image des points du modèle aux oculaires. Les mouvements X et Y, destinés à amener les points du modèle sous la marque stéréoscopique, sont effectués simultanément à l'aide de la poignée. La plaque de verre, sur laquelle l'observateur conduit la poignée, peut être déplacée en hauteur, au moyen de la pédale des altitudes. Le pantographe transmettant les mouvements de la poignée à la pointe traceuse, est fixé à la poignée elle-même. Le stéréorestituteur A6 est un appareil simple, d'un maniement aisé. Il a été conçu comme auxiliaire de l'autographe A5 pour des levés extensifs de grandes étendues.

Lorsqu'il s'agit de dresser des cartes à petites échelles de régions inexplorées, on détermine préalablement, à l'aide d'observation astronomiques, des repères principaux situés à 50 à 100 km les uns des autres. A proximité de chaque repère principal, on détermine deux à trois points trigonométriques. Tous les points mesurés étant dûment signalisés, on peut alors lever, d'un groupe de points à l'autre, des bandes de vues connexes se recouvrant de 60 %. A l'aide de l'autographe Wild A5, on exécute des chaînes de triangulation aérienne reliant les uns aux autres les groupes des points principaux. Les chaînes principales étant exécutées, on les rejoint par des chaînes secondaires et, ainsi de suite, jusqu'à ce que toute la région soit levée. La restitution topographique des couples de vues est alors effectuée au stéréorestituteur A6, en se basant sur les éléments d'orientation des couples, déterminés à l'autographe A5. Aux termes d'un prospectus des établissements Wild, il suffirait d'un seul autographe A5 pour fournir un travail ininterrompu à 3 à 4 stéréorestituteurs A6.

Nous recommandons au lecteur de consulter la publication récente : «Photogeologische Studien» (R. Helbling, 1948) qui traite, entre autre, les méthodes et instruments photogrammétriques. Il y trouvera, en outre, une liste de la littérature concernant la photogrammétrie.

DAS LUFTBILD IM DIENSTE DER KARTOGRAPHIE

Nach einer Darstellung der Geschichte der Aerophotogrammetrie werden die Methoden und die Technik der Aufnahme von Luftbildern, Flugzeug und Aufnahmekammer dargelegt. Der zweite Abschnitt gibt Auskunft über die «Entzerrung» von Einzelbildern und die hiefür verwendeten Geräte. Sodann wird das Prinzip des allgemeinen Problems der Stereophotogrammetrie und seine optisch-mechanische Lösung am Auswertegerät behandelt, wobei sich der Verfasser auf die schweizerischen Instrumente der Firma Wild in Heerbrugg beschränkt.

LA FOTOGRAFIA AEREA NEL SERVIZIO DELLA CARTOGRAFIA

In seguito illustra i sistemi e le successive fasi seguite nell'allestimento di una carta, dal progetto del piano di volo alla scelta della scala della fotografia e della quota di volo.

Segue una descrizione dell'aereo e delle camere di presa impiegate nello svolgimento dei voli fotogrammetrici, con speciale menzione delle camere «Wild». L'autore descrive per ultimo gli apparecchi di restituzione, detti «autografi». I principi basilari della costruzione, il loro funzionamento e le loro caratteristiche sono esposte diffusamente, di modo che il lettore può farsi una chiara idea sul come si allestisca una moderna carta topografica. Hanno la precedenza nella descrizione gli autografi «Wild», modelli A5 e A6.

FOTOGRAFIA AEREA MIGLIORAMENTO DEL SUOLO E STRUTTURA DEL PAESAGGIO

di Arturo Pastorelli

Con 4 illustrazioni

Un progresso considerevole è da registrare nel campo della rappresentazione grafica del terreno, grazie alla fotogrammetria aerea, vale a dire, all'impiego di fotografie aeree per la confezione di piani e carte.

Il perfezionamento degli apparecchi di presa e di restituzione è progredito ad un punto tale da consentire rilievi alla scala 1:1000 con precisione pari o superiore a quella di rilievi alla tavoletta, in un tempo di tre o quattro volte inferiore, e con un risparmio finanziario sensibile. Si può affermare che esso è il sistema di misurazione dell'avvenire, quello che permette il massimo rendimento nel minimo tempo. La stereofotogrammetria aerea permetterà di risolvere rapidamente, in tutte le parti del mondo, i problemi catastali e di raggruppamento.

Le misurazioni catastali, siano esse destinate all'allestimento del catasto fiscale o del Registro Fondiario (catasto giuridico), rappresentano per uno Stato i lavori di misurazione più costosi. Si tratta di un'opera di una tale mole, da permettere raramente ad una Nazione di portarla a termine in un tempo utile.

Si è cercato e si cerca ancora il metodo di lavoro che porti più rapidamente e con spesa minore allo scopo. Il sistema della fotogrammetria aerea, applicato in Isvizzera con il consenso delle superiori Autorità, ci ha messo sulla buona via. I vantaggi principali del metodo sono: risparmio finanziario, raccorcimento del tempo necessario al rilievo catastale, e risparmio di tecnici specializzati.

Specialmente nei rilievi del vecchio stato particellare, rilievi che dovranno servire come base allo studio del raggruppamento dei terreni, l'applicazione della stereofotogrammetria aerea presenta ancora speciali vantaggi, perchè la stima dei terreni può avvenire basandosi sulle fedeli fotografie aeree, ed il riporto nei piani dei confini delle classi di stima, di altri oggetti interessanti e delle curve di livello avviene direttamente all'apparecchio stereorestitutore (autografo).

In Isvizzera furono i cantoni di Ginevra e di Vaud che iniziarono l'allestimento del catasto, modellato su quello francese, ordinato da Napoleone. Nel 1845, il governo ticinese ordinò la confezione del catasto: causa l'enorme frazionamento della proprietà fondiaria, solo pochi comuni diedero seguito all'ordine. Su 262 comuni, 186 allestirono il catasto entro il 1900. Nel 1912 entrò in vigore il nuovo codice civile, e con esso l'introduzione per tutta la Svizzera del Registro Fondiario. Si iniziò così l'epoca della nuova misurazione catastale secondo criteri e procedimenti uniformi, ben chiari e definiti. Logicamente si portò prima a termine il rilievo delle città e dei terreni di alto valore, per poi estendere i procedimenti alle zone di medio valore ed alla montagna.

Le due guerre mondiali ed i periodi critici del dopo guerra obbligarono anche la ricca Svizzera a massimo risparmio. Il campo delle misurazioni non fu esente da critiche. Ci fu chi sostenne che non era il caso di domandare una precisione esagerata nei rilievi di zone di scarso valore, e raccomandava