Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 48 (1950)

Heft: 12

Artikel: La photogrammétrie aérienne sans points au sol est-elle possible?

Autor: Visio, René

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-207461

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: 11.07.2025

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

SCHWEIZERISCHE ZEITSCHRIFT FÜR

VERMESSUNG UND KULTURTECHNIK

Revue technique Suisse des Mensurations et du Génie rural

Herausgeber: Schweiz. Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik. Offiz. Organ der Schweiz. Gesellschaft f. Photogrammetrie

Editeur: Société Suisse de Mensuration et du Génie rural. Organe officiel de la Société Suisse de Photogrammétrie

REDAKTION: Dr. h. c. C. F. BAESCHLIN, Professor, Zollikon (Zürich)

Redaktionsschluß: Am 1. jeden Monats

Expedition, Administration und Inseratenannahme: BUCHDRUCKEREI WINTERTHUR AG.

Schluß der Inseratenannahme am 6. jeden Monats

NR. 12 • XLVIII. JAHRGANG
der „Schweizerischen Geometer-Zeitung"
Erscheinend am 2. Dienstag jeden Monats
12. DEZEMBER 1950
INSERATE: 25 Rp. per einspalt. mm-Zeile.
Bei Wiederholungen Rabatt gemäß spez. Tarif

ABONNEMENTE:
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 20.— jährlich
Für Mitglieder der Schweiz. Gesellschaft für Photogrammetrie Fr. 10.— jährlich
Unentgeltlich für Mitglieder des Schweiz. Vereins f. Vermessungswesen u. Kulturtechnik

La photogrammétrie aérienne sans points au sol est-elle possible?

Par René Visio, Technicien-géomètre, Bellevue/Genève

On sait la lourde sujétion qu'entraîne pour la photogrammétrie la nécessité de déterminer des points au sol. Dès le début on a cherché à établir des théories de triangulation aériennes pour rendre cette charge moins coûteuse.

La méthode actuellement la plus employée, soit triangulation par rubans de vues normales à recouvrement de 60 % donne d'excellents résultats, mais elle ne supprime pas les points au sol. Les rubans sont limités en longueur et le calcul et l'établissement de la triangulation aérienne prennent certainement autant de temps que la restitution proprement dite.

Rappelons l'utilité des points au sol:

ils servent:

à donner une échelle à l'image plastique (modèle) issue de l'orientation relative

à calculer les rotations ψ et ω qui donnent au modèle son orientation correcte par rapport à la verticale,

à corriger les déformations du modèle

à fixer l'altitude réelle du modèle au-dessus du niveau de la mer

à orienter le modèle suivant les coordonnées géographiques.

Si on peut résoudre d'une autre manière ces cinq problèmes on peut envisager une photogrammétrie sans points au sol.

Les problèmes ci-dessus sont d'inégale importance. Les deux premiers qui conditionnent la dimension et les pentes du terrain à représenter doivent recevoir la solution la plus rigoureuse possible.

L'orientation suivant le nord ainsi que l'altitude au-dessus du niveau de la mer sont des conditions qui n'affectent pas la précision relative des levés. Très importantes en cartographie, elles ne sont qu'accessoires pour les levés destinés aux travaux de génie civil. On pourra donc peut-être leur trouver une solution plus empirique.

Quant à la correction des déformations du modèle issu de l'orientation relative, c'est un problème plus apparent que réel dans le cas envisagé ici. (Nous verrons plus loin que j'envisage le cas de couples normaux convergents *isolés*. Les déformations du modèle sont donc limitées à chaque couple et ne se propagent pas aux modèles adjacents comme c'est plus ou moins le cas lors des triangulations aériennes en ruban de vues normales.)

En effet une orientation relative très poussée sur un appareil de restitution minutieusement réglé ne laisse que des déformations négligeables. A mon avis la difficulté d'obtenir une orientation relative parfaite vient du fait que les yeux du restituteur mesurent avec moins de précision les parallaxes verticales que les parallaxes horizontales, car dans ce dernier cas le restituteur s'aide de la sensation du relief. Lors d'une triangulation aérienne récente j'ai tenté de transformer les parallaxes verticales en parallaxes horizontales en tournant d'un quart de tour seulement les prismes de Doves d'un A 5. On supprime ainsi totalement la sensation de relief du modèle qui paraît un plan et les marques repère de l'A 5 apparaissent nettement au-dessus ou au-dessous de ce plan fictif s'il reste des parallaxes verticales. Cette manière de travailler, assez fatiguante pour l'opérateur, semble donner de bons résultats. Cette méthode est connue. Je n'ai toutefois jamais eu sous les yeux une publication en faisant mention et indiquant si l'on peut en attendre une précision supérieure à celle des procédés généralement utilisés pour obtenir l'image plastique.

La précision des dimensions du modèle en XY et Z à une échelle donnée dépend au premier chef de la précision de la base du couple photogrammétrique. Puisque mon propos est de supprimer les points à terre, je vais tenter de démontrer la possibilité de mesurer avec suffisamment de précision une base aérienne.

Considérons le mode de prise de vue suivant:

Deux avions se suivent à une distance d'environ 700 m., volant à une altitude de 2100 m. L'avion I porte sur ses ailes quatre repères (1 2 3 et 4) à distance fixe (15 m.), la ligne joignant les points 1-2 étant strictement perpendiculaire à la ligne joignant les points 3–4. La distance entre les points 1–2 et 3–4 est constante. Elle est obtenue en joignant ces repères au moyen d'un fil d'invar tendu par un ressort.

L'avion I est équipé d'une chambre photographique de focale $f = 165$ mm. prenant la vue convergente.

L'avion II est équipé d'une chambre photographique de focale $f = 165$ mm. prenant la vue normale et d'une chambre à très longue focale ($f = 1000$ mm.). Alors que l'axe de la chambre $f = 165$ mm. est dirigé verticalement, l'axe de la chambre $f = 1000$ mm. est dirigé horizontalement vers l'avant. La position de ces deux axes l'un par rapport à l'autre doit être strictement connue.

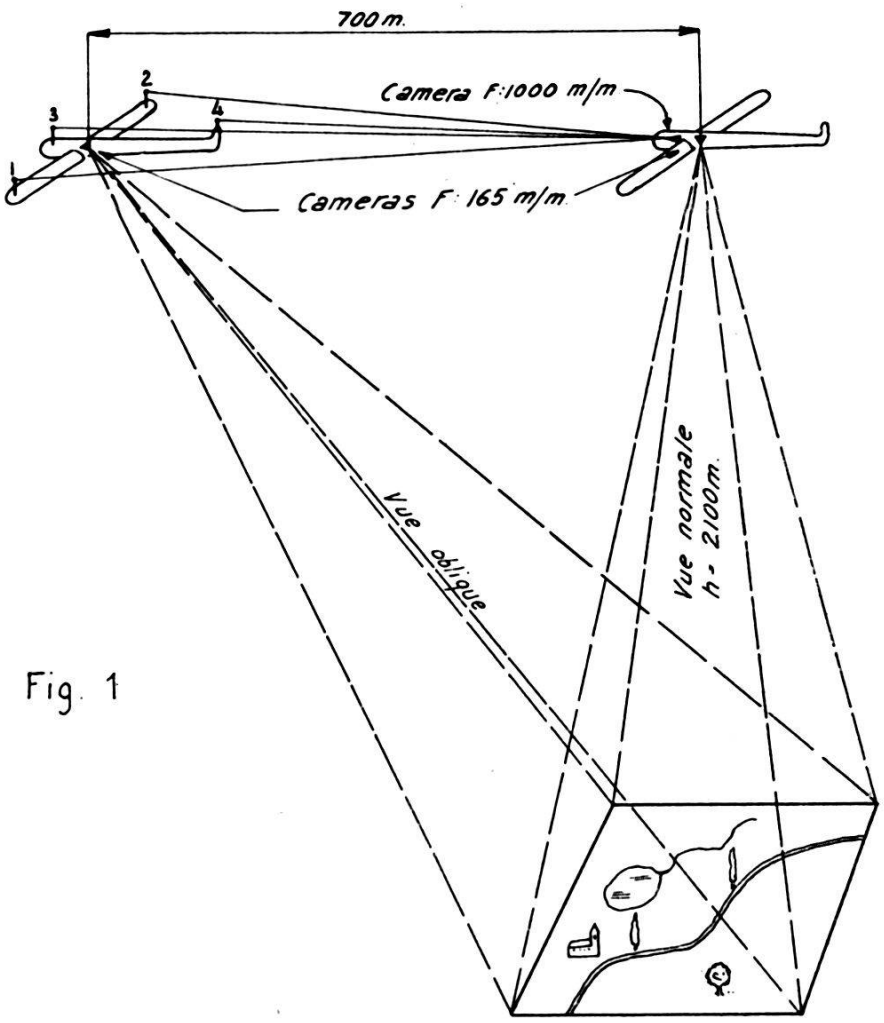

Fig. 1

La synchronisation du déclanchement des obturateurs de ces trois chambres doit être réalisé au 1/100e de seconde près. (En prenant 180 km/heure comme vitesse des avions, 1/100e de seconde donnerait déjà une imprécision de 0,50 m. sur la position d'un point photographié.)

La technique actuelle permet d'arriver à cette synchronisation. Le problème se décompose en:

transmission radioélectrique de l'impulsion de déclenchement
synchronisation des obturateurs.

La transmission des mouvements à distance (endos-mécanique) a déjà fait l'objet de nombreuses réalisations (bateaux et avions radio-guidés, etc.).

Quant à la synchronisation des obturateurs, consultez la communication française au dernier congrès de photogrammétrie de la Haye qui donne une remarquable réalisation de ce problème.

Le rôle du pilote de l'avion II est de maintenir son appareil de telle façon que la chambre $f = 1000$ puisse photographier l'avion I ainsi qu'une bande de l'horizon dans le bas du cliché. Un viseur spécial lui aidera à atteindre ce but. Ce même viseur portera une maquette de la dimension apparente de l'avion I à la distance de 700 m. pour lui aider à maintenir la régularité de la distance séparant les deux appareils en vol. Notons qu'à la vitesse de 180 kmh. les déclanchements des appareils de prise de vues se produisent à une cadence d'environ 14 secondes. Si un voyant indique au pilote le moment de ces déclanchements il aura le temps dans l'intervalle de faire toute manœuvre lui permettant d'obtenir les conditions de visée ci-dessus.

Je ne mésestime nullement les difficultés techniques à surmonter pour arriver à faire une prise de vues dans ces conditions. Mon but n'est pas de les résoudre en quatre coups de plume, mais bien de poser un problème restant dans les possibilités de la technique actuelle.

Ce mode de prise de vue étant réalisé, nous obtiendrons donc une série de couples normaux convergents avec les caractéristiques suivantes:

cliché normal et cliché convergent exposés simultanément
cliché convergent recouvrant de 100% le cliché normal
recouvrement très minime de couple à couple (environ 10 %).

Ce mode de levé permet donc de couvrir une surface de terrain avec le minimum de couples stéréoscopiques.

D'autre part le couple normal/convergent se prête mieux à la formation de l'image plastique, grâce à son recouvrement de 100% que les couples à deux prises normales et recouvrement de 50% usuellement employés en triangulation aérienne, particulièrement pour la détermination de $\varphi' - \varphi''$.

Nous avons en outre pour chaque couple un cliché à longue focale où est fixée la position de l'avion I par rapport à l'avion II et par rapport à l'horizon.

Je vais tenter de démontrer que, au moyen du cliché à longue focale on peut calculer avec suffisamment de précision la base du couple conjoint et son orientation absolue.

Ce calcul effectué, on pourra pour chaque couple effectuer une restitution indépendante.

Je montrerai enfin comment on pourra assembler et compenser ces restitutions indépendantes tant en planimétrie qu'en altimétrie.

Considérons maintenant ce que l'on peut tirer du cliché à longue focale. Mais auparavant je rappellerai brièvement les éléments d'orientation dont l'opérateur dispose à l'autographe pour rétablir les orientations relatives et absolues du modèle.

$\varphi' \varphi''$ rotation de l'avion sur un axe parallèle aux ailes (piqué ou montée)

$\omega' \omega''$ rotation de l'avion sur un axe parallèle à la carlingue (gauchissement)

$\kappa' \kappa''$ rotation de l'avion sur un axe vertical

bx base, soit distance entre les deux chambres photographiques

by déplacement latéral (action d'un vent de coté)

bz déplacement vertical (chute dans un trou d'air)

ψ rotation du modèle issu de l'orientation relative sur un axe parallèle aux ailes.

ω rotation du modèle sur l'axe de vol.

D'un objectif d'une distance focale $f = 1000$ mm. et couvrant un format de 18/18 cm on peut exiger une déformation pratiquement nulle.

On admet d'autre part en photogrammétrie que la situation d'un point photographié est exacte à 3/100es de mm près, compte tenu des manipulations, bains et séchages de la couche sensible. Les instruments à disposition (autographes, stéréocomparateurs) permettent de lire facilement ces 3/100es de millimètre.

L'incertitude angulaire est par conséquent de 20 secondes centésimales environ puisque nous avons

$$\frac{0.03}{1000} = 0.00003 = \operatorname{tg} \alpha \text{ d'où } \alpha = \sim 20''$$

Le cliché pris par la chambre à longue focale peut donc être considéré comme égal en précision à un levé fait avec un théodolite permettant de lire les 20 secondes centésimales.

Nous allons maintenant montrer comment on peut calculer la distance D entre les deux avions d'où on déduira la distance entre les deux chambres de prise de vues connaissant leur position exacte à l'intérieur des avions. Le principe géométrique qui est à la base de la solution que nous proposons découle des fig. 2 et 3.

Nous admettons que l'avion I se trouve en position normale de vol.

Le calcul comporte:

la détermination de l'angle α
la détermination de l'angle β
la mesure du segment 1a–2a
enfin le calcul de la distance D.

1 2 3 et 4 désignent les images des repères placés sur l'avion I, et 0 est le centre de projection de la chambre.

Nous avons en outre

$$\overline{1'-2'} = a \quad \overline{1'-0} = b \quad \overline{1'-0} = c \quad \sphericalangle (1'-\hat{0}-2') = \alpha$$

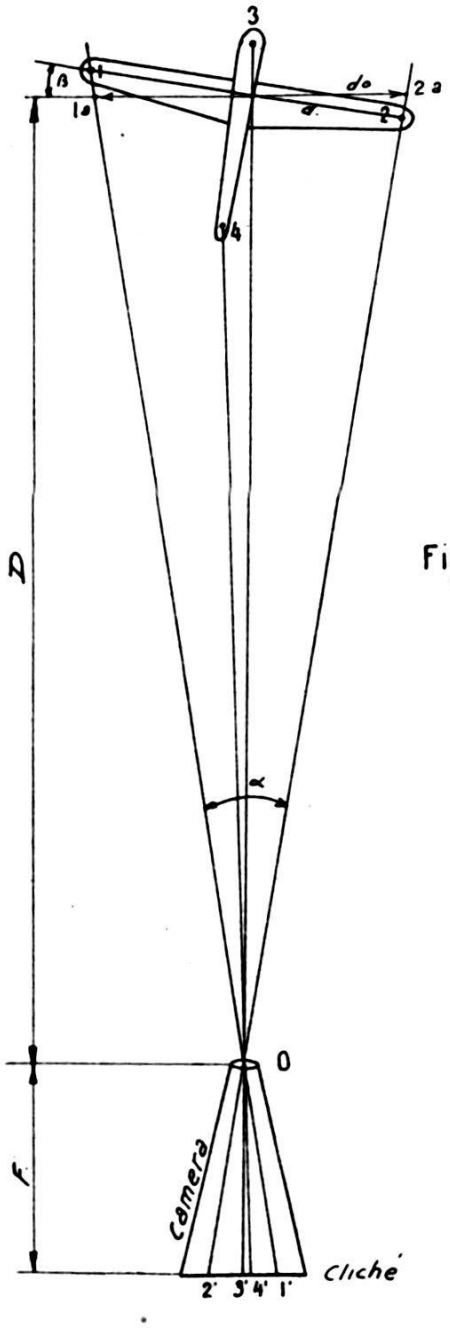

Fig. 2.

L'angle α se déduit de la formule:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2\,b\,c\,.\,\cos\alpha$$

$$a = \sqrt{(x^2 - x^1)^2 + (y^2 - y^1)^2}$$

$$b = \sqrt{F^2 + (x^2)^2 + (y^2)^2}$$

$$c = \sqrt{F^2 + (x^1)^2 + (y^1)^2}$$

Sur l'avion, le segment $\overline{1-2}$ a une longueur connue $= d$, mais il coupe sous un angle inconnu $(100-\beta)$ une normale au plan de la plaque photographique. On peut déterminer cet angle avec une approximation suffisante en considérant que:

Les segments $\overline{1'-2'}$ et $\overline{3'-4'}$ se coupent à angle droit.

$$\overline{1'-2'} = d1 \qquad \overline{3'-4'} = d2$$

$$d1\,.\,\cos\beta = d1'$$

$$d2\,.\,\sin\beta = d2'.$$

On peut poser

$$\frac{d2}{d1}\cdot \operatorname{tg}\beta = \frac{d2'}{d1'} \qquad \text{d'où}$$

$$\operatorname{tg}\beta = \left(\frac{d1}{d2}\right)\cdot\left(\frac{d2'}{d1'}\right)$$

Le segment $\overline{1a-2a}$ (fig. 2) defini par $1' \sphericalangle \alpha$ et normal à la bissectrice de cet angle peut maintenant se calculer avec suffisamment de précision vu la petitesse relative de α par:

$$d\,.\,\cos\beta = d_0$$

$$d = \overline{1-2} \qquad d_0 = \overline{1a-2a}.$$

Et la distance D ressort de:

$$\frac{d_0}{2D} = \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} \qquad \text{d'où} \qquad \boxed{D = \frac{d_0}{2}\cdot\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}}$$

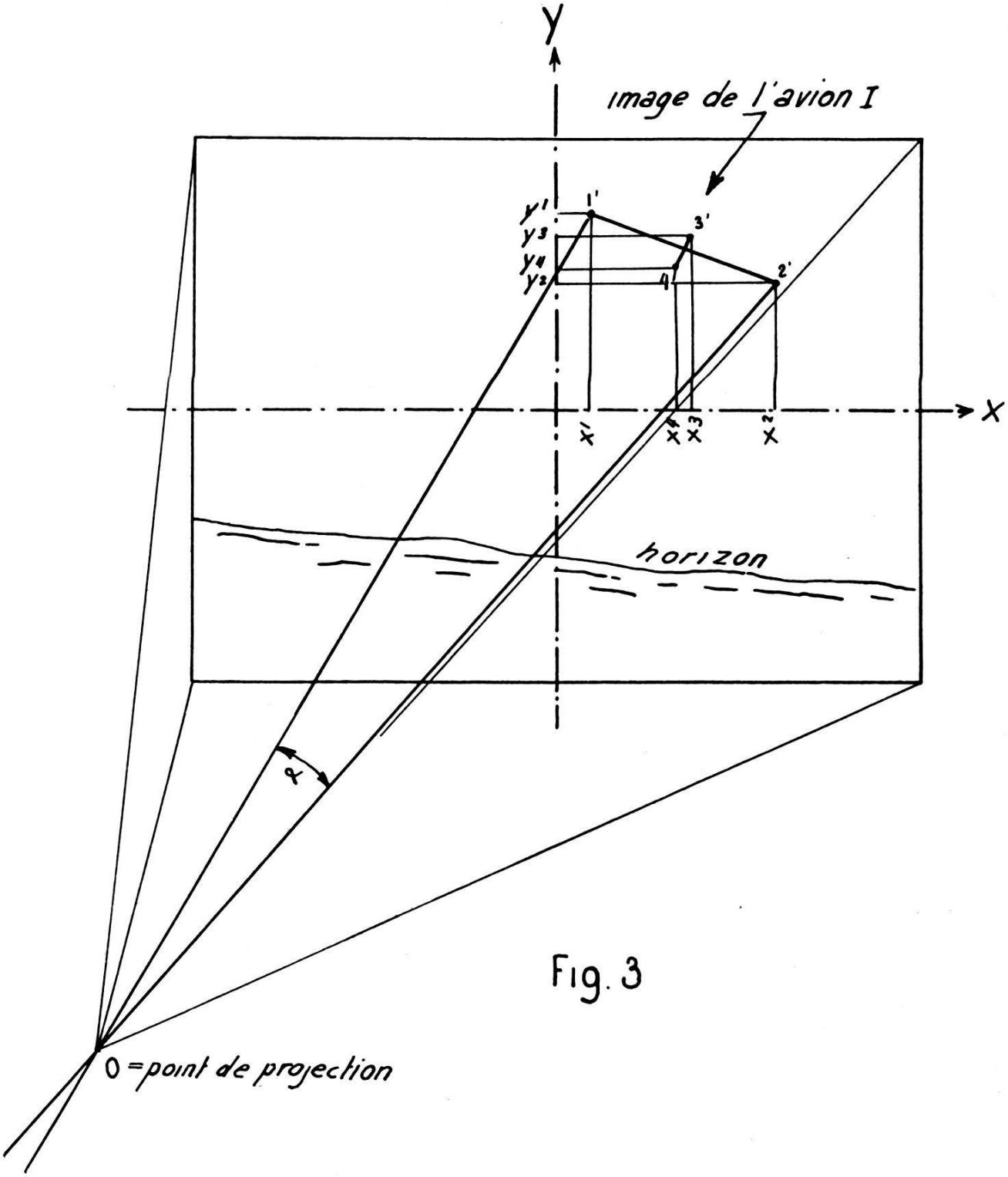

Fig. 3

En admettant une imprécision de 20 secondes cent. de l'angle α, la base sur une distance de 700 m. est obtenue avec une approximation de l'ordre du mètre. Dans l'exemple examiné ci-dessus la base est prise au tier de la hauteur de vol. Cette imprécision de la base affectera les altitudes relatives du modèle de $3 \Delta bx$ soit ~ 3 m. Nous sommes donc dans l'ordre de grandeur de ce que l'on obtient avec les meilleures méthodes de triangulation aérienne.

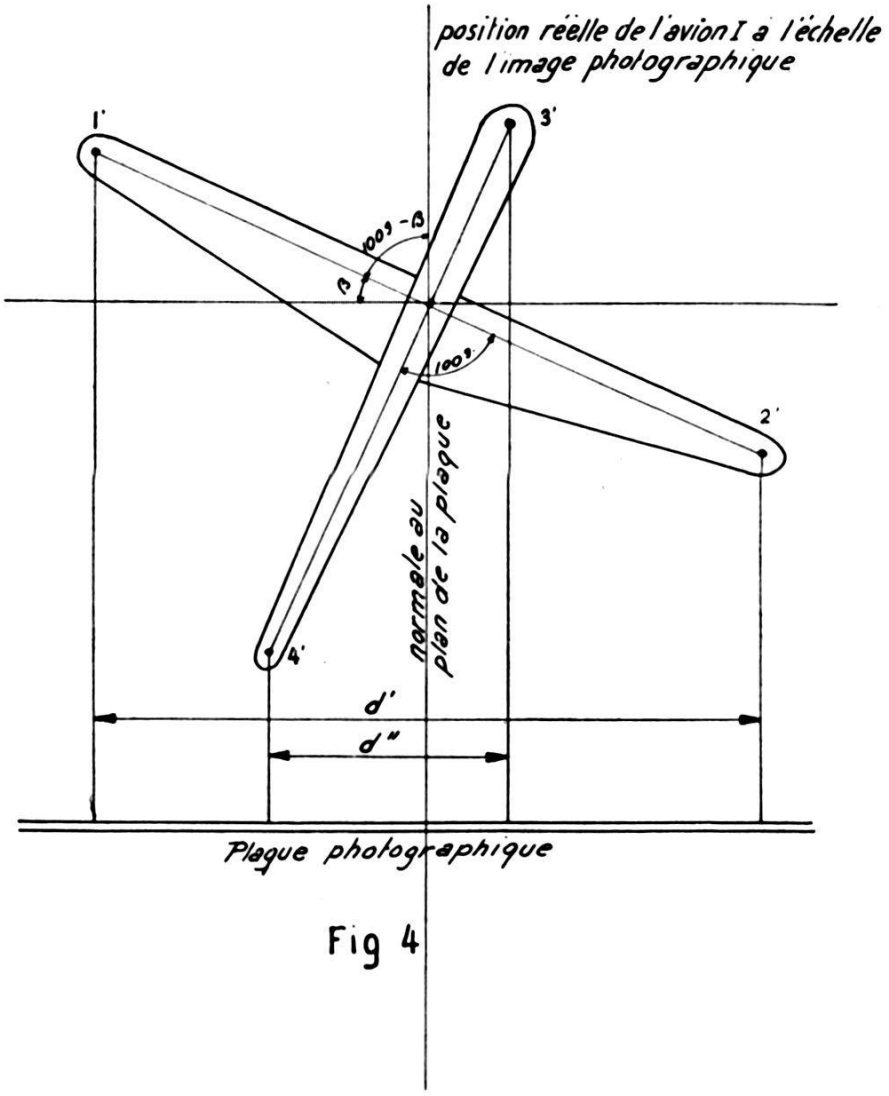

Fig 4

On pourrait calculer sur le cliché à longue focale quasi tous les éléments de l'orientation relative. Je crois ce travail inutile car l'obtention usuelle de l'orientation relative par élimination des parallaxes verticales doit certainement être aussi précise qu'un tel calcul. Je préconise toutefois d'obtenir l'orientation relative avec $by = 0$ et $bz = 0$ car j'aurai besoin plus loin d'utiliser bz pour calculer l'orientation générale du modèle.

L'orientation relative terminée et la base calculée ayant donné ses dimensions au modèle il reste à lui imposer les rotations ω et ψ qui lui donneront sa position réelle par rapport à la verticale.

Le cliché à longue focale permet également d'extraire ces deux éléments.

Si l'horizon est constitué par une mer ou par une plaine ω sera simplement l'angle que fait cet horizon avec l'axe des X du cliché (voir fig. 3). Si l'horizon est constitué par des montagnes il faut évidemment en connaître les altitudes. Notons que les méthodes développées par Santoni (photographie de la position du soleil et d'un chronographe) et de Nenonen

(photographie de deux horizons) pourraient s'appliquer ici avec d'autant plus de précision qu'il s'agit d'orienter un modèle dont les dimensions sont données par la connaissance de la base et non d'orienter des clichés séparés comme l'ont préconisé ces auteurs.

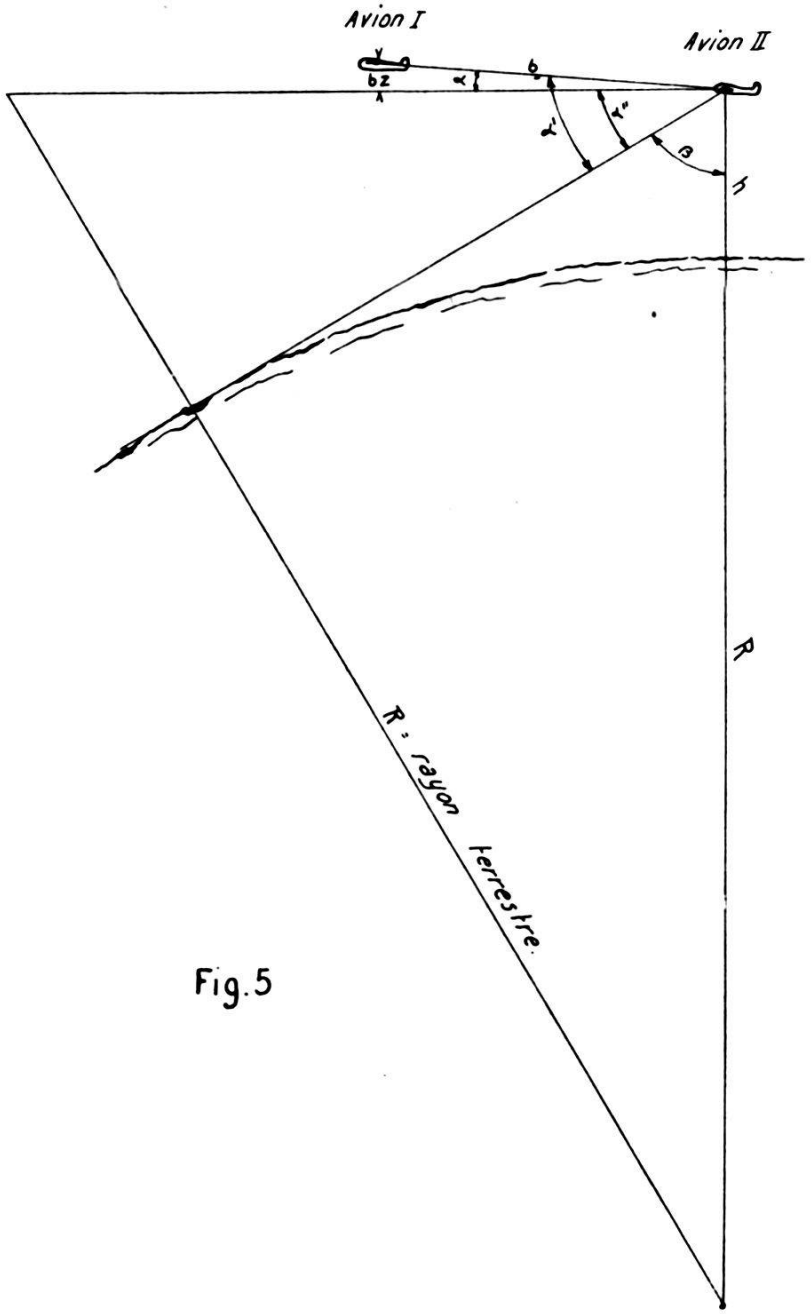

Fig. 5

Considérons la rotation en ψ

Nous avons fait l'orientation relative avec $bz = 0$

Si au moment de la prise de vue les avions sont rigoureusement à la même altitude il n'y a pas de rotation à faire. Si l'altitude diffère, nous introduirons dans l'autographe un bz égal à

$$bz = b \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

où b désigne la longueur de la base, et où α se déduit des relations suivantes:

$$\alpha = \alpha' - \alpha''$$

$$\alpha' = 100 - \beta$$

$$\beta = \operatorname{tg} \frac{R}{d}$$

$$d = \sqrt{2hR + h^2}$$

α'' est calculé sur le cliché à longue focale

h = altitude de l'avion prise à l'altimètre.

Ce bz étant introduit à l'autographe et l'orientation relative ayant été obtenue avec φ' et φ'' il faut corriger ces deux derniers éléments suivant la relation:

$$-dbz = bz \sin \varphi$$

cette correction ayant le même effet que ψ général.

Les caractéristiques d'un modèle obtenu par ce procédé seraient, abstraction faite des déformations du modèle:

1) une erreur de dimensions en X Y et Z due à l'imprécision de la base
2) une erreur X et Z (surtout en Z) due à l'imprécision de $\varphi' - \varphi''$
3) une erreur de pentes due à l'imprécision des rotations générales ω et ψ
4) il ne peut être rattaché aux coordonnées géographiques
5) ses altitudes ne sont pas rattachées au niveau de la mer
6) mais, caractéristique importante, ces défauts sont limités au modèle et ne se propagent pas aux modèles adjacents.

Concernant le point I nous avons vu dans l'exemple traité plus haut que l'imprécision de la base affecterait les altitudes d'environ 3 mètres.

Le point 2 relève de l'orientation relative. Il est difficile de lui donner un ordre de grandeur. Notons à ce propos cette opinion du Professeur Zeller émise dans son traité de photogrammétrie page 204. «Dans beaucoup de cas l'orientation est assez précise ce qui fait que les déformations du modèle inhérentes à cette orientation peuvent pratiquement être négligées.»

Le point 3 relève de l'imprécision de la détermination de l'horizon. On pourrait diminuer cette imprécision en recourant pour le cliché à longue focale à la photo infra-rouge qui traverse beaucoup mieux les brumes atmosphérique et donnerait des horizons plus lointains et plus net que la photographie ordinaire. Le fait que la photographie à l'infra-

rouge demande un plus long temps de pose n'est pas critique ici puisqu'il s'agit de photographier d'une part un mobile se déplaçant à la même vitesse que la camera et d'autre part des points fixes très lointains vus en vol d'approche.

L'orientation des modèles selon le nord géographique pourrait être résolue en photographiant sur le bord de chaque cliché une boussole, la date et l'heure. Le calcul de la déclinaison du moment donnera la direction du nord, direction qui pourra être améliorée encore par juxtaposition des bords communs des modèles contigus avec compensation des écarts.

De même pour les altitudes réelles. Presque toujours dans un levé colonial d'une certaine importance on aura un bord de mer ou un fleuve à pente douce qui permettra de donner *l'altitude absolue d'une série de* modèles. On moyennera les altitudes obtenues sur le bord opposé au bord de la mer des modèles, on appuyera sur ces moyennes la seconde série de modèles et ainsi de suite.

Ces dernières considérations nous amènent à prévoir une restitution en deux temps. D'abord formation des modèles et restitution des points communs aux modèles adjacents, points choisis sur les clichés et désignés provisoirement par les coordonnées X Y et Z lues à l'autographe. Notation des éléments de l'orientation pour la restitution ultérieure.

Ensuite compensation de l'ensemble du travail. C'est-à-dire moyennes arithmétiques des distances et des altitudes des bords contigus des modèles. De ces moyennes on déduira la correction éventuelle à apporter à la base de chaque couple.

Enfin remise en place des couples dans l'autographe et exploitation de l'altimétrie et de la planimétrie.

Notons encore qu'il serait possible d'«étalonner» la prise de vue. En effet plusieurs des éléments utilisés ci-dessus sont variables (par exemple fléchissement des ailes du premier avion dans l'état de sustentation ce qui modifierait légèrement la base de mesure, coefficient de réfraction pour le calcul de l'emplacement des horizons, synchronisme des obturateurs, variation journalière de la déclinaison magnétique, etc.).

Pour effectuer cet «étalonnage» on signalisera et triangulera autour de l'aérodrome de stationnement des avions les points nécessaires à la mise en place d'un couple. A l'aller comme au retour les avions photographieront ces points. Le couple ainsi obtenu sera mis en place par les moyens usuels et les résultats de cette mise en place seront confrontés avec les données tirées du cliché à longue focale, faisant ressortir ainsi les constantes éventuelles.