

**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:** 49 (1951)

**Heft:** 9

**Artikel:** Triangulation aérienne solaire

**Autor:** Santoni, E.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-208356>

### 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:** 13.02.2026

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

## Triangulation aérienne solaire

*Résumé de la conférence donnée par M. le Dr E. Santoni, lors de l'assemblée de la Société Suisse de Photogrammétrie, le 28 avril 1951 à Berne.*

La méthode solaire n'a été appliquée jusqu'à présent qu'en Italie. L'auteur pense que cette situation est due au manque d'appareils spéciaux de prise de vues dans les autres pays. L'état actuel des autres méthodes d'aérotriangulation justifie, selon l'auteur, sa persévérance pour la diffusion de la méthode solaire. Le principe de la méthode n'a pas été modifié depuis les premiers travaux et tous les perfectionnements successifs se rapportent à la simplification des calculs, en vue de leur application pratique, ce que l'auteur a montré en résumant les longues étapes de son travail.

M. Santoni a commencé à s'intéresser à l'aérophotogrammétrie en 1918 et, en mai 1919, il a breveté un appareil permettant d'utiliser l'image du soleil pour la détermination de l'orientation extérieure d'un photogramme aérien sur lequel ne figurent que deux points connus. A ce moment, la pyramide s'appuyant sur trois points donnés jouait encore un rôle très important en photogrammétrie.

Le premier appareil de prise de vues avec dispositif solaire fut employé en 1921. Les directions des trois arêtes de la pyramide (deux directions au sol et la troisième au soleil) étaient calculées d'après les coordonnées des images mesurées sur les plaques. Pour obtenir les coordonnées  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  de l'une quelconque des stations, on était dès lors obligé de résoudre quatre triangles, dont l'un plan et les trois autres sphériques. Cette méthode se montra tout de suite très lourde. Un dispositif avait déjà été breveté par l'auteur en 1920 pour obtenir, par voie mécanique, les dites coordonnées. Cet appareil comprenait un bâti comportant d'un côté un dispositif matérialisant les directions des trois arêtes de la pyramide; il pouvait tourner autour de l'arête représentant la direction du soleil, dont l'élévation et l'azimut peuvent être calculés en fonction de l'heure indiquée sur le cliché. De l'autre côté du bâti, une règle graduée représentait la droite passante pour les deux points connus du terrain. Le support de la dite règle était amovible, tout en conservant son orientation. Une combinaison, très intuitive, de la rotation de la pyramide autour de l'arête solaire et de la translation de la règle permettait d'obtenir en quelques minutes une position telle que les deux autres arêtes (réalisées par des viseurs) coupaien l'axe de la règle. A ce moment, on pouvait lire sur l'appareil les coordonnées  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  cherchées.

Cet appareil montre clairement comment les trois rotations de la chambre – désignées généralement par  $\kappa$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  dans les appareils de restitution – sont remplacées dans la méthode solaire par une rotation unique autour de la direction solaire.

Pour fixer la position de la chambre autour de cette direction, deux points connus sur le terrain sont donc suffisants, étant donné que le plan contenant les deux images de ces points doit passer par les points correspondants au sol.

La méthode fut étudiée et utilisée initialement pour déterminer l'orientation extérieure de chaque photogramme isolément. Mais elle révéla de suite des qualités particulières pour la connexion de plusieurs photogrammes successifs sans points intermédiaires sur le terrain.

En effet, dans une bande ayant un recouvrement de 60 %, il était possible d'utiliser la surface commune à trois photogrammes pour y choisir les deux points nécessaires à la connexion.

C'est en 1930 qu'eut lieu une première expérience de triangulation aérienne solaire. L'appareil de prise de vues était la chambre double à plaques  $13 \times 18 \text{ cm}$   $f = 210 \text{ mm}$ , d'un angle de  $30^\circ$  entre les axes, ceux-ci

étant disposés dans un plan normal à la direction de vol. Dans la connexion des modèles, les deux plaques jumelées furent considérées comme une seule image. L'appareil de prise de vues était étudié de façon à permettre l'introduction à posteriori des clichés développés et leur centrage par rapport aux marques de la chambre. On utilisa un photogoniomètre spécial pour mesurer directement sur la dite chambre double les directions, au soleil et aux points du terrain par rapport à un plan et à une origine arbitraires. On disposait de deux points connus dans le premier modèle et de deux autres dans le dernier. Toute la triangulation fut développée par voie de calcul.

Il s'agissait de 7 stéréogrammes pour une longueur totale de 8 km. Les erreurs brutes de fermeture furent de -5,60 m, -4,80 m, en plan et de -1,50 m, +1,50 m en altitude. Cette expérience qui, aujourd'hui encore, a une certaine importance, représente la consécration de la méthode solaire. Mais les calculs trop nombreux auraient empêché sa diffusion.

L'auteur a montré par des projections une série d'appareils spéciaux qu'il a étudiés et réalisés dans les années suivantes, s'inspirant du principe de son brevet de 1920. Toutefois, l'emploi de ces appareils ne fut que temporaire, étant donné les erreurs qu'ils introduisaient par rapport aux calculs numériques. En 1935, l'auteur étudia un nouveau périscope solaire qui comportait une chambre à film pour le soleil avec un champ de 170° (obtenu avec une série de prismes comme à la chambre d'Aschenbrenner) synchronisée avec une chambre nadirale normale et reliée à la première par une tourelle.

La chambre solaire pouvait être séparée de la tourelle et on pouvait y introduire à posteriori le film avec l'image du soleil. Un photogoniomètre spécial était placé sur la chambre solaire et on lisait pour chaque image du soleil son azimut et son élévation par rapport aux axes de la chambre. Les opérations photogoniométriques, limitées ainsi au soleil, demandaient 4 à 5 minutes par station. Le parallélisme (obtenu par réglage mécanique) entre les axes de la chambre solaire et celui de la chambre nadirale permettait d'identifier la direction solaire par rapport à cette dernière. La connexion des photographes s'effectuait dans l'appareil de restitution. Etant donné que celui-ci était pourvu des axes de rotation ordinaires ( $\kappa$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ ) et qu'un appareil de restitution spécial (pourvu de chambres pouvant tourner autour de la direction solaire) n'avait pas été réalisé pour des raisons pratiques, il était nécessaire d'effectuer tout d'abord une détermination approchée du dévers ( $\kappa'$ ) de chaque photographie, afin de pouvoir calculer les angles  $\varphi'$  et  $\omega'$  en utilisant les données solaires. Dans ce but, on effectuait une connexion des photographes sur l'appareil de restitution même, limitée à la détermination des dévers, et cela en introduisant un  $b\kappa$  constant, les inclinaisons  $\omega$  et  $\varphi$  étant zéro. Le temps employé pour cette opération est d'environ 5 à 7 minutes par cliché. Les  $\kappa'$ , obtenus de façon semblable à ce qu'on peut obtenir avec une triangulation radiale à point principal, étaient suffisamment précis pour calculer les  $\omega'$  et  $\varphi'$  pour chaque photographie ainsi que les dérivées

$$\frac{d\varphi}{d\kappa} \text{ et } \frac{d\omega}{d\kappa}$$

Dans la connexion définitive, effectuée aussi à l'appareil de restitution, on introduisit, à partir du premier stéréogramme et pour chaque nouveau photographie, les  $\kappa'$ ,  $\omega'$  et  $\varphi'$  provenant de la connexion approchée et du calcul. Une rectification (généralement limitée à 5 minutes centésimales) devait être suivie par les rectifications  $d\omega$  et  $d\varphi$  données par les différentielles mentionnées.

Avec cette méthode, on introduisit donc le photographie avec son axe disposé sur une génératrice du cône ayant par axe le soleil. Avec les rectifications  $d\omega$  et  $d\varphi$ , on transportait l'axe de la chambre le long de la surface du cône jusqu'à sa position correcte.

Si l'on appelle  $Z_s$  l'élévation du soleil et que l'axe de la chambre ne s'écarte que de quelques degrés de la verticale, on obtient avec une précision suffisante

$$\begin{aligned} d\omega &= d\kappa \ ctg Z_s \cos \sigma \\ d\varphi &= d\kappa \ ctg Z_s \sin \sigma \end{aligned} \quad (1)$$

où  $\sigma$  est l'angle formé entre l'azimut du soleil et celui choisi comme direction des  $X$  de l'appareil. Avec cette méthode, le temps nécessaire au calcul était de 25 à 30 minutes pour chaque photogramme. On doit noter que ce calcul s'effectue après la détermination approchée des  $\kappa'$ , l'appareil de restitution étant ainsi libre pour d'autres travaux.

La formation définitive de chaque modèle est limitée à la rectification du dévers ( $dy - d\kappa$ , suivi par les  $d\omega$  et  $d\varphi$  calculés avec la formule (1), à l'introduction du  $bz$  (avec élimination de la parallaxe pour un ou deux points symétriques par rapport à la ligne des nadirs) et à l'introduction de  $bx$ , suivant les méthodes ordinaires (égalisation de  $Z$  sur le point nadiral ou comparaison de la distance horizontale entre deux points latéraux). Elle demande généralement 10 à 15 minutes.

Dans les expériences qu'on effectua avec cette méthode, on utilisa une chambre à plaque de  $10 \times 15$  cm et de 17,5 cm de focale, le côté de 15 cm étant disposé dans la direction des  $X$ .

La base était inférieure à  $1/3$  de  $Z$ . Pour la connexion, on utilisa le Stéréocartographe Santoni, Modèle III. Il faut tenir compte que cet appareil (contrairement au modèle IV) ne comporte pas le duplicateur de la base. Les photogrammes devaient donc être transférés d'une chambre à l'autre, en utilisant les graduation  $\kappa$ ,  $\omega$  et  $\varphi$ . C'était là une source d'erreurs systématiques, surtout en  $\kappa$ , ce qui pouvait donner une torsion et une flexion au modèle général (voir formule 1). Une compensation était donc nécessaire.

Les essais effectués jusqu'en 1938 firent l'objet de deux rapports au Congrès de Rome. Résumons les principaux résultats obtenus. Sur un parcours de 32 km après compensation, les erreurs sur deux points intermédiaires  $P$  et  $V$  furent de

$$\begin{array}{lll} \Delta X_p = -5 \text{ m} & \Delta Y_p = +3.60 \text{ m} & \Delta Z_p = +0.40 \text{ m} \\ \Delta X_v = -2.70 \text{ m} & \Delta Y_v = +0.80 \text{ m} & \Delta Z_v = -1.30 \text{ m} \end{array}$$

Sur un parcours de 100 km, après compensation sur la seule base d'arrivée, les erreurs sur un point situé environ au milieu furent de  
 $\Delta X = -15 \text{ m}$        $\Delta Y = -46 \text{ m}$        $\Delta Z = +14.50 \text{ m}$

La méthode fut utilisée après 1938 en Afrique Orientale et en Libye pour les levés au  $1/100\,000$ . La précision fixée pour les mesurages sur le terrain (en vue de l'établissement de la carte) et le manque d'un nombre suffisant de points de contrôle ont empêché de tirer de ces travaux des données intéressant la précision de la méthode.

Après la guerre, de nouveaux appareils ont été mis au point et leur essai sur le terrain est en cours. Il s'agit d'un nouveau télescope solaire avec un seul objectif grand angulaire ( $140^\circ$ ), d'un nouveau photogoniomètre et d'un appareil spécial destiné à supprimer les calculs numériques. La chambre de prise de vue nadirale, solidaire du télescope, est à film. Son format est  $18 \times 20$  cm et sa focale de 13,5 cm. Deux chambres inclinées de  $48^\circ$  sont connexes à la chambre nadirale. Ces dernières ne sont pas utilisées pour l'aérotriangulation. Par rapport à l'ancienne chambre à plaques ( $10 \times 15$  cm  $f = 17,5$  cm), on aura l'avantage d'un champ plus grand, mais le désavantage du film. On doit noter à ce propos que la méthode solaire ne peut se soustraire complètement à l'influence des erreurs de déformation du support de la couche sensible.

Dans les essais en cours, on aura donc recours à l'examen de ces sources d'erreurs et on prendra, suivant la technique la plus récente, des

précautions pour réduire leur influence au strict minimum. Mais l'intention de l'auteur est d'écartier tout alourdissement du travail qui empêcherait l'application économique de l'aérotriangulation.

D'autre part, si l'on songe à un développement de l'aérotriangulation, exclusivement par voie de calcul, l'auteur rappelle sa suggestion d'un appareil de prise de vues spécial, composé d'un certain nombre de chambres-à plaques de longue distance focale et de champ réduit, dans le but d'utiliser des objectifs avec un pouvoir séparateur très élevé. Ces chambres (p. ex. au nombre de 9) seraient fixées au périscope solaire, de façon que les axes restent dirigés vers les points de rattachement sur le terrain.

En utilisant un photogoniomètre approprié (voir première expérience de l'auteur), on pourrait obtenir avec une précision remarquable les valeurs angulaires nécessaires à développer une triangulation aérienne numérique à grandes mailles (10–15 km) qui pourrait remplacer, le cas échéant, la triangulation géodésique.

## Bücherbesprechungen

*VII<sup>e</sup> Congrès International des Géomètres; Compte-rendu officiel.* Rédacteur: Dr. Walter K. Bachmann, Professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne. 17,5 × 24,5 cm, 714 Seiten mit 10 ganzseitigen Wiedergaben von Photographien. Lausanne 1949. Preis broschiert Fr. 10.—.

Im ersten Teil von 134 Seiten wird über die Sitzungen des Ständigen Komités, die Eröffnungssitzung, die allgemeinen Vorträge der Herren Vermessungsdirektor H. Härry, M. R. Danger, Mr. Henry W. Wells, die Ausflüge nach dem Schloß Chillon, nach Genf und nach Bern sowie über die Ansprachen an der Schlußsitzung und am offiziellen Bankett und die interessante Ausstellung berichtet.

Der zweite Teil bringt die Berichte, eventuell die Landesberichte und den Schlußbericht der 10 Kommissionen. Diese Berichte sind meistens in zwei Sprachen, oft auch in allen drei Kongresssprachen wiedergegeben. Aus diesem reichhaltigen, sehr sorgfältig redigierten Material ergibt sich ein klares Bild der großen Arbeit, die an diesem 7. Internationalen Geometerkongreß in Lausanne vom 23. bis 27. August 1949 geleistet worden ist.

Wir gratulieren dem Zentralkomitee, das aus den Herren Präsident Marcel Baudet, Generalsekretär Prof. Dr. W. K. Bachmann und Quästor Henry Pfanner zusammengesetzt war, dem Organisationskomitee unter dem Präsidium von Dr. Louis Hegg für ihre glänzende Arbeit. Der vorliegende Bericht, der in vorbildlicher Weise vom Generalsekretär Prof. Dr. W. K. Bachmann verfaßt und herausgegeben worden ist, bleibt ein überaus wichtiges Dokument, das weit über den Tag hinausreicht.

Wir empfehlen allen Lesern unserer Zeitschrift, die dieses wichtige Dokument nicht besitzen, weil sie nicht an dem hochinteressanten Kongreß teilnehmen konnten, die geringen Kosten für seine Anschaffung nicht zu scheuen.

Allen schweizerischen Geometern aber empfehlen wir in Mußestunden ein sorgfältiges Studium dieses reichhaltigen Buches; sie werden einen hohen Genuss haben und sehr viele Anregungen erhalten. *F. Baeschlin*

*Tardi, Pierre, Inspecteur général Géograph, Professeur à l'Ecole Polytechnique et Laclavère, Georges, Ingénieur en chef Géograph, Professeur à l'Ecole nationale des sciences géographiques. Traité de Géodésie, deuxième édition entièrement refondue. Tome I. Triangulations. Fascicule I, Les fondements mathématiques de la Géodésie.*