

# De l'application de la téléphotographie en topographie d'exploration : un essai de téléphotogrammétrie à grande échelle du sommet du Mont-Blanc

Autor(en): **Choffat, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **58 (1933-1935)**

Heft 236

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-272194>

## **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.

# De l'application de la téléphotographie<sup>1</sup> en topographie d'exploration.

Un essai de téléphotogrammétrie<sup>1</sup> à grande échelle du sommet  
du Mont-Blanc

Avec une planche et un télé-stéréogrammes hors-texte

PAR

**Ph. CHOFFAT**

*Ingénieur.*

(Séance du 20 février 1935.)

## § 1. Sur la topographie d'exploration.

Dans la première phase des recherches cartographiques dans un pays inconnu ou peu connu, s'applique tout un art dont les moyens sont à la fois plus divers et plus réduits, souvent tout différents de ceux qui sont praticables, convenables et adoptés, pour les levés topographiques réguliers. L'intérêt, les moyens, les conditions de réalisation, les délais y posent des questions autres que celles auxquelles répond la topographie classique.

D'année en année, la photographie aérienne et l'aviation, qui détachent l'opérateur du sol et de ses entraves, offrent un immense champ de possibilités et servent remarquablement l'exploration. Mais pour longtemps encore sans doute elles ne rendront pas désuète la topographie d'exploration au sol, par raison d'économie, et parce que cette dernière reste mieux attachée aux études relatives au sol même.

Quoiqu'il en soit, un des schémas typiques de la topographie d'exploration aérienne ou au sol, aussi bien applicable à des recherches minières ou techniques, qu'à des études de frontières, de routes commerciales ou autres, ou à un intérêt militaire, consiste à rapporter à un levé axial parfois extrêmement allongé, toute une documentation latérale.

Ce levé axial peut être avec un grand avantage appuyé

<sup>1</sup> Il est regrettable que le mot «*téléphotographie*» et ses dérivés soient employés en deux matières absolument différentes : l'une relative aux images transmises au loin par l'électricité, l'autre relative aux images directes des objets lointains. Je l'emploie dans cette seconde acception qui semble être la plus ancienne.

J'en forme le mot «*téléphotogrammétrie*» qui signifie *construction de cartes d'après des téléphotographies*.

sur une triangulation allongée. Il peut se réduire aussi au simple « *cheminement* » de l'itinéraire parcouru, les directions et les distances pouvant être mesurées par des moyens très divers plus ou moins précis et rapides: estime, pas, vitesse de la monture ou du véhicule, compteurs kilométriques ou compteurs de tours, télémètres, fil perdu (beaucoup plus rarement déjà tachéomètre ou chaînage).

La documentation latérale reposera sur des souvenirs, des informations, des croquis, des photographies, ou des mesures très diverses.

Mais pour peu qu'on ait le souci d'une précision minimum, on saisit que ce système serait des plus propices à l'accumulation des erreurs de longueurs, et il apparaît indispensable de les « *brider* »<sup>1</sup>, c'est-à-dire de limiter cette accumulation d'erreurs par des procédés annexes, rendant possible une « *compensation* ». Si une véritable triangulation, dont tel serait pourtant le résultat, n'est le plus souvent pas réalisable, et s'il n'est pas non plus possible ni utile de tronçonner le cheminement par des déterminations astronomiques de points intermédiaires, il reste pourtant un certain nombre de possibilités géométriques capables de « *brider* », dès qu'on peut voir nettement à une distance suffisamment grande.

Quoiqu'il y ait mille schémas imaginables, assez différents de ceux de la triangulation classique, disons que l'on emploie une « *triangulation approchée* »<sup>1</sup> si ces possibilités

<sup>1</sup> Durant la recherche et l'application, j'ai été conduit à « *forger* », pour ainsi dire, quelques termes techniques pour mon usage personnel, pour distinguer quelques opérations de topographie d'exploration d'une nature peu usuelle ou suffisamment différentes quant au genre ou à la précision des opérations de topographie régulière.

Ainsi : « *brider* » et « *triangulation approchée* » avec la définition donnée ici.

Et encore, qui sont utilisés ci-après :

« *centre d'appui* » pour un repère naturel lointain non stationné, dont la position est déterminée indépendamment, auquel convergent un certain grand nombre de visées destinées à brider un cheminement ou un levé allongé ;

« *point d'appui* », pour un repère naturel identique auquel convergent quelques visées seulement ;

« *accrochement* », pour distinguer de « *rattachement* » qui donne l'idée de liaison par distances mesurées, et de « *relèvement* » qui désigne un problème très précis ; employé partiellement dans le sens de « *relèvement* » sur 3 points (problème de Pothenot), les opérations de schémas très divers permettant de trouver ou de fixer approximativement la position d'une station ou d'un groupe de stations isolées d'après des visées sur quelques points inaccessibles de position plus ou moins bien connue. Le terme « *accrochement* » doit donner l'idée de faisceaux plus ou moins rigides qu'on assied avec le meilleur équilibre sur un canevas de points d'appui plus ou moins immobiles.

géométriques ne sont pas isolées, mais peuvent se combiner d'une façon plus ou moins rationnelle.

Si l'on peut voir loin, on peut choisir des signaux naturels (sommets par exemple) qui servent de repères pendant longtemps sur de longs trajets et sur de grandes surfaces; le navigateur aérien, comme le nomade, navigateur des déserts, le savent bien. Pour prolonger cette vision, vite limitée par la petitesse des détails lointains et par les brumes, la téléphotographie et le procédé infra-rouge moderne deviendront certainement très utiles.

C'est en suivant cet ordre d'idées que j'ai été conduit tout naturellement à étudier de quelle façon on pouvait utiliser la téléphotographie et le procédé infra-rouge, soit par vues isolées, soit photogrammétriquement par couples, pour servir de base à cette « *triangulation approchée* », permettant ainsi de vaincre les très grandes distances.

Je présente ici un cas original de cette étude, cas choisi chez nous, dans un climat moyennement favorable; c'est la limite d'une première étape, posée comme prototype d'un cas fréquent en exploration, d'après ce que la pratique m'a montré.

## § 2. Puissance de la photographie.

Préalablement, un rappel n'est pas inutile sur la puissance de la photographie. Nous ne sommes plus au temps des préventions contre la photographie utilisée comme moyen de mesure; l'énorme essor de la photogrammétrie nous a habitués, particulièrement en Suisse, à voir un instrument précieux dans l'appareil photographique.

Il est en effet très supérieur à notre œil, armé ou non d'une lunette, parce qu'il voit mieux de bien des façons.

Il voit tout d'abord instantanément, et enregistre d'une façon durable en un clin d'œil une foule de choses; propriété très utile dans le cas spécial, mais fréquent, où la silhouette de l'horizon n'est nettement visible que sous un soleil bas.

Il sélectionne et fait surgir beaucoup plus de détails que l'œil, parce qu'il permet par l'emploi convenable d'émulsions et de filtres divers, de contraster les valeurs et les couleurs. D'un paysage mou, mal éclairé ou embrumé, l'émulsion orthochromatique filtrée au jaune contrastera la couleur des roches, alors que les émulsions infra-rouges modernes, filtrées au rouge, en contrasteront les plages de végétation.

La même photographie infra-rouge, qu'on a appelée « *l'œil surhumain* », permet aussi de prolonger la vision à travers certaines brumes devant lesquelles l'œil humain reste aveugle.

Un couplage convenable de deux vues permet d'augmenter presque indéfiniment l'impression stéréoscopique de relief d'objets fort lointains et très plats.

Enfin, l'utilisation d'appareils à longs foyers ou du télé-objectif nous est un moyen tout aussi précieux que le microscope pour le bactériologiste, en nous donnant des objets une image plus grande et de moindre déformation perspective.

### § 3. Illustration locale d'une reconnaissance.

Pour tenter de montrer la signification de l'essai de télé-photogrammétrie que j'ai fait, je vais supposer qu'il s'agissait d'utiliser un haut relief lointain, inaccessible et supposé unique, comme repère régional d'une exploration, doublement pour fournir un « *centre d'appui* » et pour baser une « *triangulation approchée* » qui servirait à brider un cheminement particulièrement élastique. Ce pourrait être un haut volcan, saillant au milieu d'une grande plaine. Pour mes lecteurs locaux, je mettrai ce problème dans un cadre familier, ce qui me permettra en outre de rappeler que la téléphotographie n'est pas née aujourd'hui.

Admettons que le canton de Vaud, la Savoie et le Genevois soient des pays inexplorés dont une reconnaissance rapide est utile en prévision de recherches postérieures. Comme ils ne sont que parties d'un beaucoup plus grand territoire à couvrir, on ne disposera que d'un temps très limité pour en faire la reconnaissance, et d'autres conditions encore imposeront le trajet prévu (fig. 1) :

..... Pontarlier — Ste-Croix — Cossonay — Aubonne — Nyon — Genève — Bellegarde — .....

Cette reconnaissance doit permettre de fixer la ligne du Jura, ses cols, la disposition générale des Alpes, les bassins du Léman et des deux fleuves Rhône et Arve. Mon explorateur est, si vous le voulez bien, un Jules-César du vingtième siècle, qui progresse en automobile ou en chenille et dispose de moyens photographiques modernes.

Lorsqu'il arrivera à Ste-Croix, il verra, pour la première fois, le Plateau suisse s'ouvrir à ses pieds, bordé au loin par la frange des Alpes. Qu'il puisse alors faire, du Chaseron d'une part et des Aiguilles de Baulmes d'autre part, des panoramas photographiques complets, et il possèdera en puissance toute la situation des Alpes visibles, dès qu'il aura mesuré la base entre les deux stations; et de là d'autant mieux qu'il aura fait des vues à plus grande échelle.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur le grand panorama

photographique que M. Vautier-Dufour faisait du Chasseron vers les Alpes par-dessus la mer de brouillard<sup>1</sup>, pour saisir toute la richesse d'observations qu'il recueillerait en un minimum de temps. Cette richesse sera plus que doublée par la vision stéréoscopique exagérée qu'il aurait des Alpes en couplant ses deux panoramas.

De là, déjà, moyennant quelques mesures attentives, il pourrait fixer la position du Mont-Blanc, cette montagne maîtresse qu'il suppose bien pouvoir servir de « *centre d'appui* » aux prochaines étapes vers le Sud, comme aussi de « *point de rattachement* » possible à la Haute-Italie.

Supposons aussi qu'il n'ait pu le faire avec assez d'attention et que ce ne soit que plus bas, vers Aubonne, que, les conditions étant instantanément favorables, il puisse fixer plus exactement cette position et définir les lignes générales de ce sommet.

En disant qu'il doit définir les lignes générales de ce sommet, je pose un problème beaucoup plus complexe que la résolution d'un simple triangle. Et voici pourquoi :

Si le Mont-Blanc n'était qu'une pointe isolée, tel le Cervin, son point culminant serait toujours facilement identifiable, et deux visées uniques suffiraient théoriquement à en déterminer la position; comme, en retour, une seule visée faite d'un point quelconque du cheminement permettrait de « *brider* » ce point, puisque la visée couperait transversalement le cheminement. (Construction du point 5, fig. 1; rôle typique du « *centre d'appui* »).

Mais premièrement, il n'est pas certain qu'on puisse toujours voir ce point unique, qui, comme le sont souvent les sommets, peut être momentanément caché par les nuages.

Deuxièmement: le Mont-Blanc est un dôme à formes molles et un seul de ses points ne peut pas servir de « *centre d'appui* », car il n'est pas certain que ce point reste visible et reconnaissable de partout.

Il est donc déjà utile de pouvoir multiplier les points et par conséquent de récolter abondamment des éléments pouvant permettre des mesures relativement à ces points.

Et troisièmement, du moins théoriquement, si trois bons points en étaient déterminés qui fussent vus sur une téléphotographie d'inclinaison connue, mais de position indépen-

<sup>1</sup> M. VAUTIER-DUFOUR. Vue des Alpes avec la mer de brouillard prise du Chasseron. Editeur : Société pour le Développement de Ste-Croix.

Les clichés ont été pris probablement au téléphot de 135 cm. La vue est une réduction au rayon de 90 cm.

dante inconnue, il deviendrait possible de trouver la position de la station en rattachant à ces points bien déterminés le faisceau des rayons définis par la distance focale de la photographie et par la position des images de ces points sur la photographie. Ceci correspond à un « *relèvement sur trois points* »<sup>1</sup>. Mais cette position de la station serait d'autant mieux connue, avec certitude et précision, que le nombre des points déterminés serait plus grand. (Construction des stations indépendantes 1, 2, 3, 6, 10, 11... de figure 1.)

Par suite du changement de direction des visées, du changement d'éclairage du sujet, éventuellement du changement d'aspect saisonnier, il faut s'attendre à un déchet lorsqu'on passe d'une station à l'autre; il est donc prudent d'avoir enregistré les éléments permettant des mesures relatives à un grand nombre de points<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Comme dit ci-dessus, note terminologique page 294, je préfère employer un autre terme, celui d'« *accrochement* » pour ne pas laisser sous-entendre que l'application de cette méthode en topographie expédiée est aussi bien définie et précise qu'en topographie régulière. Nous avons toujours affaire là, à des éléments plus élastiques qu'ici.

<sup>2</sup> Si l'on connaissait très exactement la distance focale des diverses photographies du Mont-Blanc ci-dessous indiquées, on pourrait aussi en retrouver très exactement les stations de prise de vue en utilisant le Mont-Blanc comme « *centre d'accrochement* ».

Avec les premiers télé-objectifs de Dallmeyer, MM. F. Boissonnas et Vautier-Dufour faisaient dès 1892 de remarquables photographies. Continuant ses essais, M. Vautier-Dufour arrivait à la conclusion, vers 1900, que pour obtenir une bonne netteté il fallait abandonner les télé-objectifs et revenir aux objectifs à longs foyers; avec M. Schaer il créait le « *téléphot* » en brisant deux fois le cône lumineux interne par des miroirs.

Voir :

- F. BOISSONNAS. Le Mont-Blanc, vue prise de St-Cergue, près Genève. Une planche 25×32 phototype F. Boissonnas, photocollographie F. Thévoz & Cie, Genève (vue prise le 27-8-1892 avec télé-objectif Dallmeyer N° 3, probablement de 135 cm. de foyer).
- F. BOISSONNAS, Téléphot-Véga (sans date). Un album 24×32 contenant des planches de photographies et de téléphotographies de divers sujets, en particulier : le Mont-Blanc vu de Genève (Pregny) au téléphot de 135 cm., le Mont-Blanc vu de Genève (quai Est), deux vues stéréoscopiques d'écartement 29 cm. avec foyer 70 cm.
- F. BOISSONNAS. Le téléphot rapide Vautier-Dufour et Schaer. *Revue suisse de photographie*, janvier 1903, To. 15, pp. 10-22 (vue du Mont-Blanc prise à 120 kilomètres de distance des hauteurs au-dessus d'Yverdon, probablement 90 cm. de foyer).
- Colonel A. LAUSSEDAT. Recherches sur les instruments, les méthodes et le dessin topographiques, Tome 2, 2<sup>e</sup> partie. Développement et progrès de la métrophotographie à l'étranger et en France. Paris 1903, Gauthier-Villars. (Vue du Mont-Blanc, prise de Bellevue avec télé-objectif, par F. Boissonnas. Laussedat a confondu les vues de St-Cergue et de Bellevue, aussi son commentaire est inexact. Il publie, en réduction 1/2, comme étant prise de St-Cergue à 90 kilomètres avec focale équivalente de 8 mètres, la vue 50×60 prise de Bellevue avec focale équivalente de 585 centimètres, lon-

Quatrièmement enfin, par intérêt spécial (par exemple préparation d'une ascension, étude morphologique...), on peut désirer connaître au mieux les formes et certains détails de ce sommet lointainement inaccessible.

Il s'agit donc en fin de compte que cet explorateur récolte, à chacune des stations de son cheminement, ou situées hors de son cheminement, un certain nombre de visées très précises sur un objet lointain; comme il lui est imposé de faire vite et qu'il ne peut pas attendre les meilleures conditions de visibilité, il ne peut pas simplifier plus ses opérations qu'en faisant des vues téléphotographiques orientées, en profitant, si c'est nécessaire, des avantages du procédé infra-rouge.

Le schéma des opérations serait ainsi le suivant (fig. 1):

- 1° — il lève continuellement son cheminement (trait ponctué);
- 2° — en 9-9' il signale, mesure et abandonne vers Apples une courte base qui sera visible du Signal de Bougy;
- 3° — en 9 il fait une première téléphotographie orientée;
- 4° — il continue son cheminement en direction de Bougy et choisit en 8 une seconde station voyant 9-9'; il y fait une seconde téléphotographie orientée; il mesure stadiométriquement l'angle capable de la petite base, ce qui lui donne le moyen d'amplifier cette base jusqu'à la grande base 8-9 qui aura 10 1/2 km. environ.

Ces éléments lui permettront de restituer point par point et avec une certaine précision tout ce qui lui est utile de connaître du Mont-Blanc, situé à une distance de 85 km.

Dès ce moment, il peut se servir du Mont-Blanc comme point d'appui, selon des schémas tels que :

- 5° — un point du cheminement tel que 5 peut être « bridé » par une seule visée sur le Mont-Blanc, en le calculant par le triangle 8 - Mont-Blanc - 5 par exemple, dont on connaît le côté 8 - Mont-Blanc (qui joue le rôle de base), et la direction du côté 8-5 qui est la ligne de fermeture du tronçon de cheminement parcouru de 8 jusqu'à 5 (on suppose qu'on ne connaît pas la longueur 8-5, puisque c'est justement elle qu'on veut vérifier, « brider »);

gueur de la chambre de 150 centimètres, à distance de 75 kilomètres, en date de 1892.)

VAUTIER-DUFOUR. La téléphotographie, *Bull. Soc. vaudoise Sc. nat.*, 1902, Vol. 28, N° 143, pp. 29 et suiv. (Présentation d'un téléphot de 310 cm. de focale.)

VAUTIER-DUFOUR. Panorama du Mont-Blanc et des Alpes françaises, pris de la station terminus des Treize-Arbres (Salève), édité par la Société des Chemins de fer du Salève, 1925. (Le panorama qui va des Dents-du-Midi au Pic Jallouvre est une reproduction au rayon de 323 cm. d'un panorama fait au téléphot probablement de 135 cm. de focale.)



- 6° — un point du cheminement tel que 4 peut être bridé d'une façon analogue, par une visée sur le Mont-Blanc, et par une autre visée sur un point précédemment bridé;
- 7° — tout point tel que 1, 2, 3, 6, 10, 11, ... indépendant du cheminement, peut être déterminé par simple « *accrochement* » au Mont-Blanc. Il est à remarquer que cette dernière opération peut être faite sur la base de documents photographiques obtenus à une autre époque et par un autre opérateur.

Conséquemment, sans retard et sur la base des points bridés, on pourra compenser un cheminement levé par des moyens expéditifs et peu précis, de façon à le rendre très précis et à supprimer le danger de l'accumulation des erreurs de longueur; ce cheminement servant d'axe à toute une documentation latérale supplémentaire, celle-ci sera établie avec sécurité.

Voici esquissé le cadre du problème tel qu'il se présenterait dans un cas pratique de topographie expédiée au sol. Pour arriver au même énoncé, je n'avais pas les mêmes données; ce sont des vues directes non orientées, puis une orientation indirecte qui m'y ramènent. Comme dans les deux cas la précision des éléments est à peu près identique, le lecteur verra bien que l'essai réalisé se confond quant aux résultats avec le problème réel.

#### § 4. Téléphotographies du sommet du Mont-Blanc.

Le 16 avril 1934, à 15 et 16 heures, j'ai fait plusieurs vues téléphotographiques en direction du Mont-Blanc, et quelques-unes le lendemain vers 17 heures;

les premières à 80 mètres au Sud de la route venant de Cottens, à 870 mètres de la bifurcation de la première route avant d'entrer dans le village d'APPLES (distance mesurée au compteur de l'automobile de M. B. Morandi qui me transportait aimablement), sur le revers Sud-Est d'un petit mouvement de terrain (coordonnées trouvées sur la carte au 1/25.000 feuille 434: 156.820, 523.605, 610);

les autres au pied du mât de l'esplanade de l'Hôtel des Horizons-Bleus, au SIGNAL DE BOUGY (coordonnées sur feuille 436: 148.650, 516.735, 698);

les dernières au bouquet d'arbres au-dessus du CHABLE, à 800 mètres au S  $76\frac{1}{2}^{\circ}$ W des précédentes.

La base Apples-Bougy serait donc de 10.674 m.  $\pm$  20 m.

Durant l'heure écoulée entre une station et l'autre, les ombres portées, au Mont-Blanc, avaient déjà sensiblement varié.



Vue d'Apples



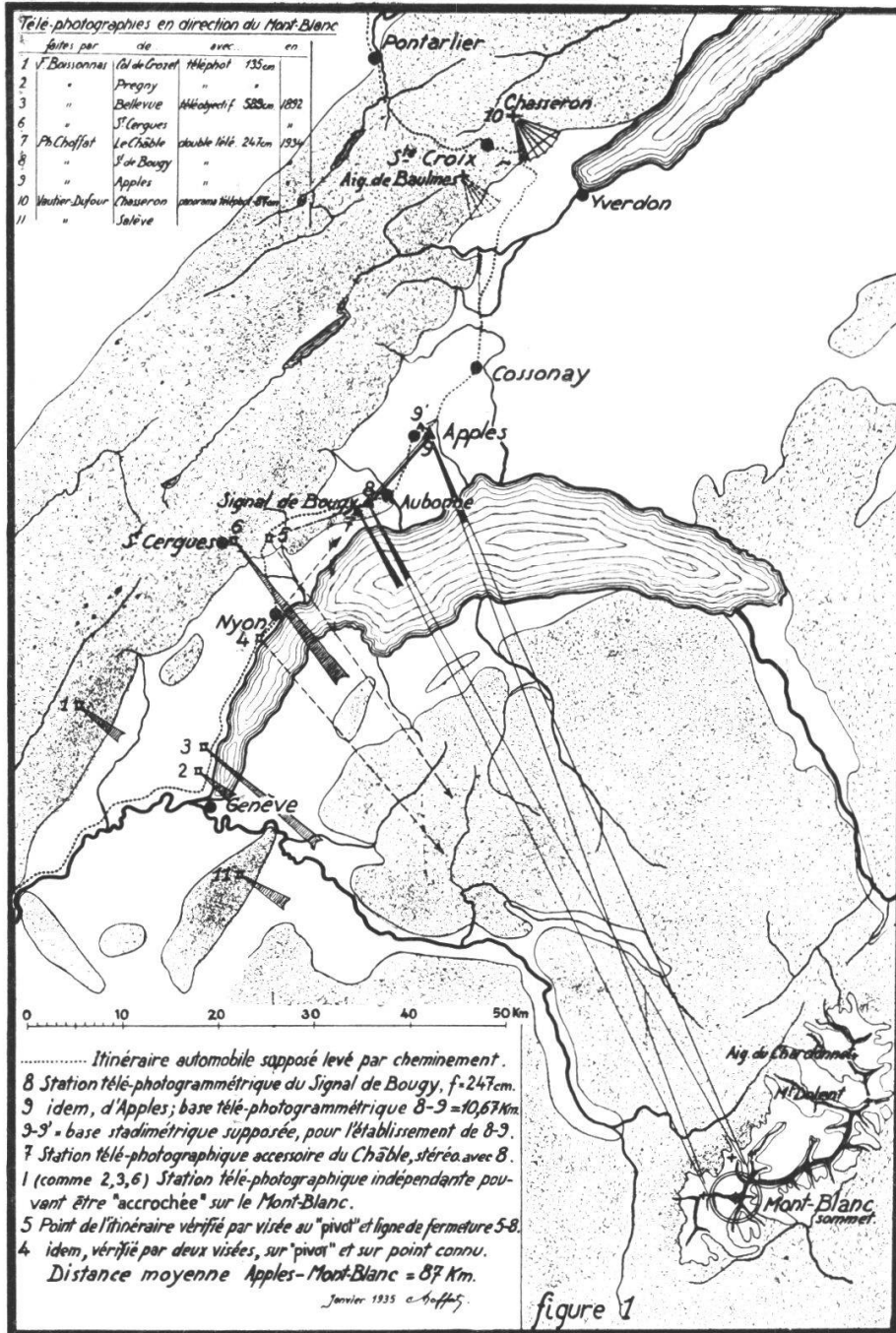
Téléstéréogramme du sommet du Mont-Blanc, versant Nord

base: 10 ½ km distance: 85 km parallaxe: 0,12

Vue du Signal de Bougy

Reproduction de *Jongh* LAUSANNE

Tirage *AL.A.photo.* MARSEILLE



Le temps était beau: plein soleil, légère bise, voile et vibrations atmosphériques assez marqués; le sujet se distinguait à peine sur le verre dépoli. Pour diminuer l'effet de ces deux perturbations et assurer un maximum de contraste, j'ai travaillé sur plaques infra-rouges, avec filtre rouge-foncé.

L'appareil photographique employé était une chambre rigide et lisse, de section carrée, en bois, construite et réglée pour l'expérience, bien équilibrée sur un trépied du théodolite Universel WILD. Elle avait  $70 \times 18 \times 18$  cm., pesait 7 kg. avec son optique, et utilisait un format  $9 \times 12$  seulement.

Le système optique doublement télé dont elle était équipée<sup>1</sup> se composait de :

- en avant, d'un télé-objectif Bistellar BUSCH de 55 cm. de foyer (Série 2, F/7, N° 4);
- en arrière, d'un verre amplificateur divergent construit anciennement par la Manufacture d'Optique E. SUTER, à Bâle, pour être combiné au télé-objectif précédent.

La position de ces deux éléments, ainsi que l'ouverture du diaphragme antérieur, avaient été réglés par quelques essais photographiques, pour donner de l'infini une image filtrée rouge foncé aussi nette que possible, d'une focale équivalente de 250 centimètres à peu près<sup>2</sup>.

Le fait que ce système doublement téléphotique n'avait pas été calculé ni corrigé pour la focale équivalente choisie, ni corrigé pour les radiations infra-rouges, explique en grande partie le flou que je n'ai pu éliminer. Il est possible aussi que les vibrations atmosphériques agissant durant les 60 secondes que duraient les expositions, aient participé légèrement à ce flou. Par contre, puisque je travaillais en lumière presque mono-chromatique, une différence dans la réfraction atmosphérique doit être sans influence. La stabilité de l'appareil était absolument suffisante. Eu égard à la grosseur du grain de l'émulsion, la netteté est loin d'être optimum. Sans en tirer de conclusion, je dois rapprocher cette constatation de l'opinion de M. Vautier-Dufour, qui abandonne les télé-objectifs pour appliquer la formule de ses téléphots à miroirs avec des objectifs de longs foyers<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Obligeamment prêté par les fils de S. A. Schnegg, photographes, à Renens.

<sup>2</sup> Le laboratoire de Physique de l'Université de Lausanne a bien voulu déterminer les distances focales principales et la position des plans nodaux de ces deux optiques. Mais, vue l'imprécision, pourtant très faible de ces chiffres, il n'est possible que de vérifier grossièrement la valeur de la focale équivalente totale admise à 2476 mm, comme je l'explique plus loin.

<sup>3</sup> VAUTIER-DUFOUR. La téléphotographie (déjà cité).

Les vues ont été prises sans aucune mesure d'orientation ni de site de la chambre; j'ignorais la focale exacte, car ma seule préoccupation avait été de bien mettre le sujet en plaque.

Ces vues sont :

à Apples: 2 vues jointives couvrant de l'Aiguille de Bionnassay à l'Aiguille du Midi;

au Signal de Bougy: 3 vues jointives couvrant de l'Aiguille du Midi à l'Aiguille du Tricot;

au Châble: 3 vues jointives analogues.

Une fois développés, tous ces clichés se sont montrés accidentellement faibles. Mais les trois combinaisons possibles de stéréogrammes: Châble — Signal de Bougy, Châble — Apples, Signal de Bougy — Apples, donnaient un relief très expressif. Les divers plans du sujet se dégageaient remarquablement les uns des autres (Dôme du Goûter, Observatoire Vallot, dôme terminal, Mont-Maudit) et les fines pyramides de la Pointe Durier et de l'Aiguille de Saussure, ainsi que les crevasses et les séracs du Glacier de Tacconnaz, présentaient une très bonne plastique. Seuls, les premiers plans totalement différents, quoique situés déjà à quelque 60 kilomètres, gênaient la vision stéréoscopique.

Ne possédant pas autrement l'orientation interne et externe des vues, je les déterminai par un calcul indirect. Ceci diffère fondamentalement des conditions normales d'opération, mais la précision des mesures directes étant certainement égale ou supérieure, mes conclusions resteront légitimes.

C'est sur la base de quelques points de la triangulation Vallot du massif du Mont-Blanc, dont j'ai pu avoir à ma disposition une héliographie à l'échelle du 1/50.000<sup>1</sup> que j'ai établi :

d'une part, et avec une précision de quelques décimètres, la situation de ces points du Mont-Blanc par rapport à la base, en travaillant seulement sur des documents graphiques imprimés (carte ci-dessus, 1/100.000 et 1/25.000 suisses) et en passant par l'intermédiaire de quelques sommets communs à ces deux premiers documents (Chardonnet, Dolent, Mont-Blanc, ....);

d'autre part, et avec une précision de quelques millimètres, les distances focales applicables pour que les vues couvrent les faisceaux de rayons issus des stations et allant aux quelques points de la triangulation du Mont-Blanc visibles et

<sup>1</sup> Carte d'ensemble à l'échelle du 1/50.000 des points trigonométriques de la triangulation du massif du Mont-Blanc, dressée par H. VALLOT. Paris 1922.

identifiables avec certitude sur les vues. Par suite de l'erreur graphique et de celle de l'identification dans les vues, on avait:

- points certains: Pointe Durier, Aig. du Goûter cabane;
- points intertains: Aig. de Bionassay, Aig. du Tricot, Observatoire Vallot;
- points très incertains: Refuge des Bosses, Mont-Blanc sommet, Mont-Maudit, Aig. du Midi;
- point vérifié plus tard: Aig. du Goûter signal.

Le triangle fondamental établi sur la Pointe Durier aurait les éléments suivants :

distance géodésique Apples-Pointe Durier ...	85.113 m	$\mp$ 40 m
» » Signal Bougy-Apples ...	10.674 m	$\mp$ 20 m
» » Signal Bougy-P. Durier..	80.702 m	$\mp$ 40 m
angle à la base à Apples	... 69,12	grades
angle parallaxique à Durier	... 7,47	grades
sa tangente	... 0,118 =	1/8,5

Quoique la méthode appliquée ci-après soit générale et puisse utiliser de très longs panoramas, pour des raisons de délai et de dimension de la minute de restitution, je n'ai utilisé que les deux vues centrales des stations d'Apples et du Signal de Bougy<sup>1</sup>. Les distances focales ont été admises à la valeur moyenne de 2476 mm.  $\mp$  5 mm. selon des épures utilisant un procédé de statique graphique.

### § 5. Conditions de la restitution.

En utilisant ce stéréogramme, il s'agissait alors de restituer les grandes lignes du sommet du Mont-Blanc.

Je dois dire de suite qu'il était bien impossible d'utiliser les méthodes stéréo-autogrammétriques habituelles; la restitution mécanique (à l'autographe WILD par exemple) impose que l'on utilise des clichés rigoureusement orientés et d'une distance focale de prise de vue sensiblement égale à celle de l'optique du restituteur; elle serait de 150 à 300 mm. Pour utiliser l'autographe WILD par exemple, il aurait fallu réduire

<sup>1</sup> Je présente ci-joint une petite planche sans numéro tirée en bromure: un téléstéréogramme du sommet du Mont-Blanc composé avec les deux vues centrales. Cette vue a été tirée sur bromure, car on jugeait impossible de faire voir autrement certains détails fins qui aident beaucoup à donner l'impression du relief. On a masqué les premiers plans troublants par un contour polygonal et on a affaibli le ciel pour atténuer le plus possible les perturbations à une bonne vision stéréoscopique. Ces vues sont en réduction d'environ  $\frac{1}{2}$  fois.

Elles sont à examiner par vision stéréoscopique directe, ou par un stéréoscope mexicain ou tout autre modèle courant ne croisant pas.

les vues téléphotographiques à ces courtes focales, ce qui aurait fait perdre leur avantage principal; et encore n'aurait-on pu travailler la restitution qu'à une petite échelle, le 1/100.000 seulement, pour que la restitution reste limitée aux dimensions de la machine.

Cette restitution ne peut non plus se faire par le procédé graphique classique qui consiste à matérialiser les stations par des épingles, et les rayons par des règles, puisqu'à l'échelle imposée ces règles auraient dû avoir 9 mètres de long, introduisant des erreurs de fléchissement très dangereuses.

Il y avait donc là une méthode à trouver. Il la fallait pratique, assez sensible, à la fois générale pour qu'elle pût s'appliquer à des photographies de toutes distances focales à cause de son application à la topographie d'exploration, mais suffisamment simple pour qu'on pût à la rigueur en tirer parti même aux courts stationnements d'une mission d'exploration.

Cependant le problème se compliquait grandement. J'avais le grand encouragement de me voir offert par M. N. Oulianoff (Lausanne), spécialiste de la géologie du Mont-Blanc, la possibilité de comparer les résultats que j'atteindrais à la nouvelle carte stéréogrammétrique levée par la méthode combinée de photographies terrestres et aériennes, par la Société française de Stéréotopographie<sup>1</sup>, sur une partie de minute non publiée.

Ce sont de remarquables minutes du type moderne, c'est-à-dire restituées uniquement en courbes de niveau de 10 mètres d'équidistance, et à l'échelle du 1/20.000, avec les appareils et l'autographe WILD.

Pour que l'expérience tentée fût aussi instructive que possible, j'essayai de restituer les détails de toutes les parties du Mont-Blanc visibles sur les deux vues, comme s'il s'agissait maintenant du levé indépendant d'un territoire lointainement inaccessible. Je choisis comme échelle de la minute le 1/10.000 pour m'affranchir lors de la comparaison d'un excès d'erreur graphique, et comme équidistance des courbes de niveau, également 10 mètres.

Si le problème se compliquait, c'était du fait du grand nombre de points qu'il fallait restituer; puis aussi parce que le

<sup>1</sup> Carte topographique détaillée du massif du Mont-Blanc, au 1/20.000, dressée par la Société française de Stéréotopographie (en partie publiée) servant de base topographique à la carte géologique du massif du Mont-Blanc, par P. CORBIN et N. OULIANOFF.

sujet n'était pas favorable à un tel essai (voir la raison p. 314); de plus, la parallaxe était faible. Ni la méthode graphique courante, ni le calcul forcément logarithmique n'étaient applicables, la première pour ce qui vient d'être dit, le second parce qu'il aurait fallu calculer des centaines de triangles avec 5 décimales.

Les moyens réduits dont j'ai disposé ne m'ont pas permis de réaliser ce que j'aurais voulu, car l'optique et la mécanique m'ont manqué. La précision et surtout le rendement en ont certainement souffert.

En donnant ci-après la marche suivie, je n'ai absolument pas la prétention d'épuiser une si vaste question. Je présente un des nombreux moyens possibles de l'aborder aisément. Les théories suivantes sont du reste d'une application générale.

### § 6. Redressement.

Les deux vues envisagées d'Apples et du Signal de Bougy sont, par rapport à la base, inclinées inégalement et inégalement montantes. C'est le cas photogrammétrique général que j'ai voulu en premier lieu simplifier.

La photogrammétrie aérienne utilise dans plusieurs procédés (par exemple méthode Roussilhe) le redressement des clichés obliques sur un plan horizontal. Ceci se fait par reproduction photographique au moyen de redresseurs. Tous les points de cette reproduction oblique doivent respecter la relation fondamentale de l'objectif de redressement  $O$  :

$$1/p + 1/p' = 1/f \quad \text{où } f = \text{distance focale}$$

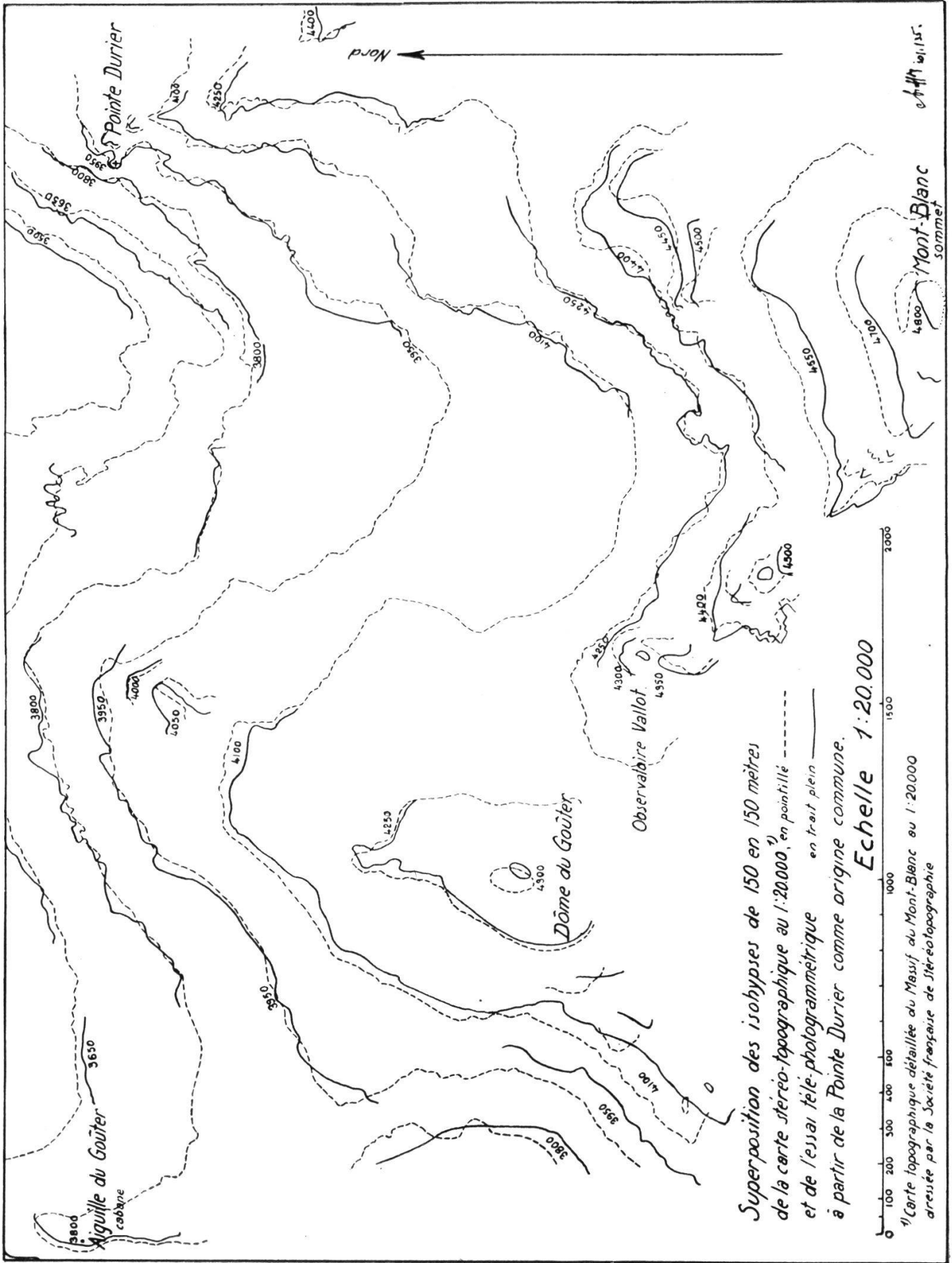
cela a lieu dès que l'un des points respecte cette condition et que les trois plans: du cliché, de la reproduction, et le plan nodal de l'objectif, se coupent sur une même ligne (fig. 2).

En redressant ici (fig. 3), en photogrammétrie terrestre, des clichés 1 et 2 de focales quelconques, différentes, diversement obliques sur la base et diversement inclinés sur l'horizon, jusqu'à les rendre d'égale focale, parallèles à la base et perpendiculaires à un même plan de base, je réduis le *cas photogrammétrique quelconque* 1-2, qui est peu maniable, au *cas normal* 1'-2', qui a une propriété très simple.

Si  $D$  (fig. 4) est la « profondeur »  $AC$  d'un point  $X$ , perpendiculairement à la base, si  $f$  est la distance focale commune aux deux vues normales 1 et 2, si  $M$  et  $N$  sont les deux images de  $X$  sur les vues,  $m$  et  $n$  les ordonnées de ces images à partir des axes verticaux, et  $b$  la base  $AB$ , les triangles sem-

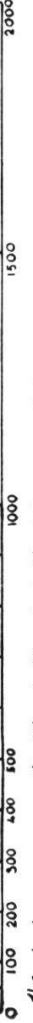






Superposition des isohypses de 150 en 150 mètres  
 de la carte stéréo-topographique au 1:20.000<sup>1)</sup>, en pointillé - - - -  
 et de l'essai télé-photogramétrique en trait plein ———  
 à partir de la Pointe Durier comme origine commune.

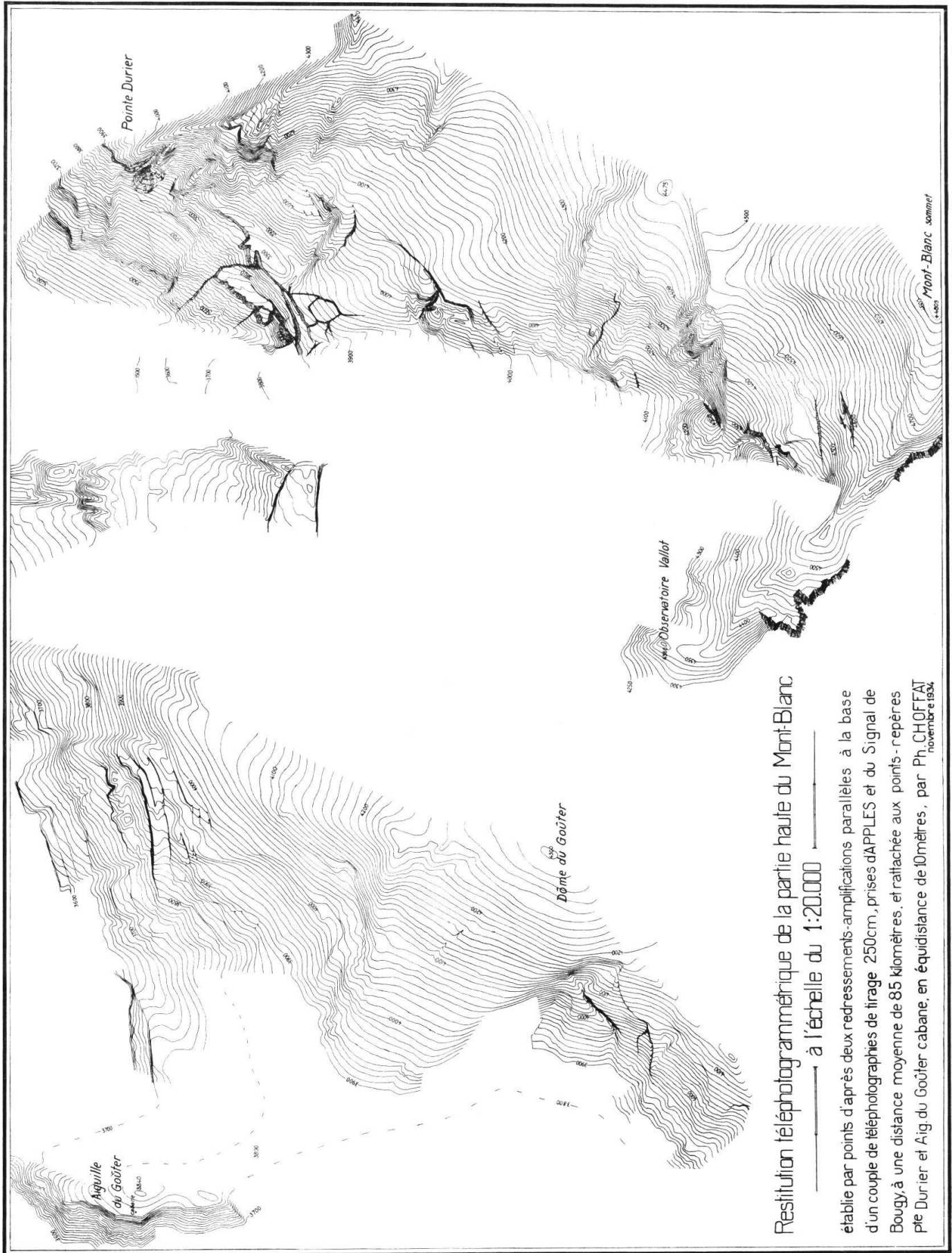
Echelle 1:20.000



<sup>1)</sup> Carte topographique détaillée du Massif du Mont-Blanc au 1:20.000  
 dressée par la Société française de Stéréotopographie

0/111 101.135.

Mont-Blanc  
 Sommet



Restitution téléphotogrammétrique de la partie haute du Mont-Blanc

à l'échelle du 1:20.000

établie par points d'après deux redressements-amplifications parallèles à la base d'un couple de téléphotographies de tirage 250cm., prises d'APPLES et du Signal de Bougy, à une distance moyenne de 85 kilomètres, et rattachée aux points-repères pte Durier et Aig. du Goûter cabane, en équidistance de 10mètres, par Ph. CHOFFAT novembre 1934.



blables XAB , KAM , et XAC , MAG , montrent que

$$D/f = XA/MA = b/(m-n)$$

d'où

$$D = b \times f / (m-n)$$

Dans cette fonction, si le paramètre  $(m-n)$  reste constant, la profondeur  $D$  est constante et définit un plan frontal parallèle à la base. De plus, comme  $b$  et  $f$  sont constants dans un cas,  $D$  varie hyperboliquement avec le paramètre.

De plus, comme en redressant je puis disposer de l'agrandissement ou de la réduction, c'est-à-dire de  $f$ , la distance de la reproduction à la base, j'introduis une nouvelle simplification en choisissant  $f$  de telle sorte que le produit  $b \times f$  devienne égal à la puissance ronde de 10 la plus commode, de façon que, suivant l'échelle employée, l'expression de la profondeur se réduise dans tous les cas à

$$D = 1/(m-n)$$

qui représente une hyperbole équilatère. Il est loisible de construire une échelle hyperbolique universelle de cette fonction.

(Pour résoudre plus pratiquement tous les cas, on devrait avoir un petit jeu d'échelles hyperboliques représentant

$$D = A/(m-n) \quad D = B/(m-n) \quad D = C/(m-n) \quad \dots\dots)$$

Toutes précautions prises, l'utilisation de cette échelle est élémentaire. Les deux redressements 1 et 2 (fig. 6) étant fixés l'un à côté de l'autre, leurs lignes d'horizon étant parallèles, on mesurera l'écartement des images correspondantes au moyen d'une règle  $R$ , portant à une extrémité un index  $i$  convenablement réglé et l'échelle graduée hyperbolique  $e$  à l'autre extrémité. La lecture sur  $e$  donnera directement la profondeur  $D$ . On peut d'ailleurs imaginer d'autres dispositifs mécaniques simples, plus rapides et plus précis.

Dans le cas présent, l'agrandissement a porté  $f$  à environ 10 mètres; les divisions de 20 en 20 mètres de l'échelle hyperbolique ayant un module voisin de 0,4 mm., permettent d'estimer à l'œil nu les profondeurs à 5 mètres près. Mais la netteté des agrandissements étant trop imparfaite, pour les raisons indiquées à la page 302, ligne 23, l'identification est d'une imprécision plus grande.

Le premier avantage de cette méthode par coordonnées, qui est du reste très générale, est de rendre inutile la maté-

rialisation de la base et des stations; la minute de restitution et son encombrement sont alors limités à la partie strictement utile.

Nous verrons plus loin comment il a fallu la généraliser en utilisant un « faux-redressement ».

La seconde coordonnée  $E$  du point  $X$  (fig. 5), « l'écartement »  $CX$ , peut s'obtenir de bien des façons à partir de la profondeur  $D$ , et par exemple de l'angle de station  $CAX$ , appliquant la relation donnée par une des paires de triangles semblables :

$$E/D = m/f \quad \text{d'où} \quad E = m \times D/f$$

Je l'obtenais par un dispositif mécanique indiqué plus loin.

### § 7. Calcul altimétrique par réduction du cas sphérique.

Par contre, la troisième coordonnée du point : « l'altitude », est une fonction de second ordre peu maniable de la profondeur et des éléments du redressement; on peut la tirer de l'expression :

$$D' \operatorname{tg}(\alpha + \rho') - \frac{D'^2}{2R} - \frac{kD'^2}{2R \times \cos^2(\alpha + \rho')} + H$$

où  $D'$  est la distance  $SN$  (fig. 5) facilement assimilable à la distance géodésique,

$\alpha$  est l'angle à l'horizon  $ASC$

$\rho'$  l'angle au centre de la terre des deux verticales  $MS$  et  $AN$

$R$  le rayon terrestre

$H$  l'altitude de la station  $S$

$k$  le coefficient régional de réfraction atmosphérique.

A ces grandes distances, il n'est plus possible d'ignorer l'effet considérable de la sphéricité de la terre et de la réfraction atmosphérique; la correction en peut atteindre 530 mètres dans le présent cas.

Mais je tourne la difficulté en choisissant comme plan de comparaison, non plus l'horizon  $SC$  de la station  $S$ , comme cela se fait normalement, mais l'horizon moyen du territoire à restituer  $SN$ , corrigé d'une inclinaison relative à la réfraction atmosphérique.

Cela introduit une erreur absolument insignifiante (90 cm. sur 10 km. de profondeur à la distance de 100 km.); mais l'immense avantage est que le calcul des altitudes devient linéaire. On ne résout plus l'altitude  $EB$  d'un point  $B$  par le triangle aux tangentes  $ASC$ , c'est-à-dire par

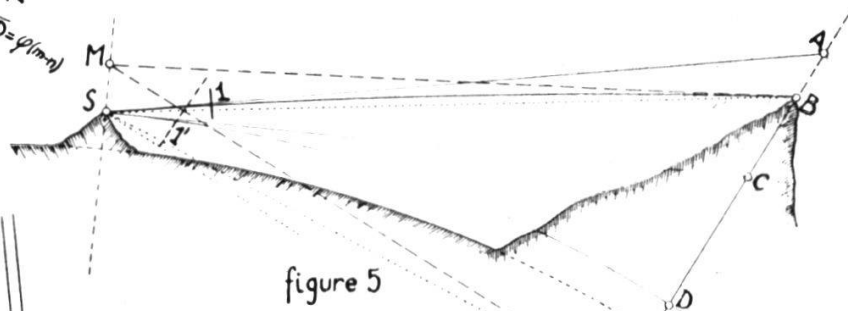
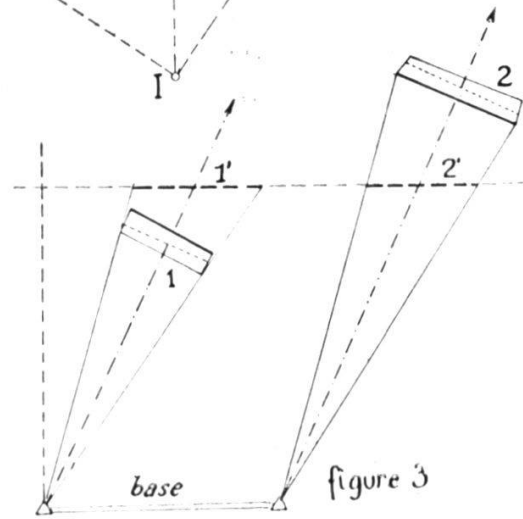
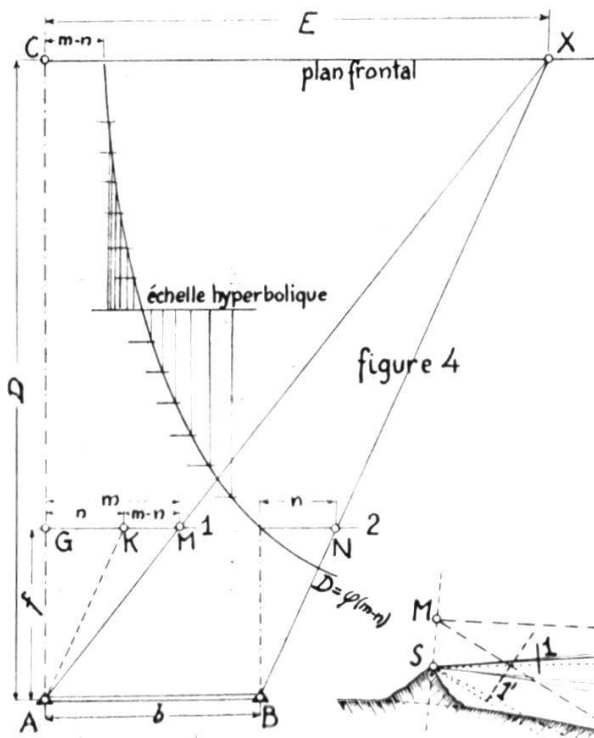
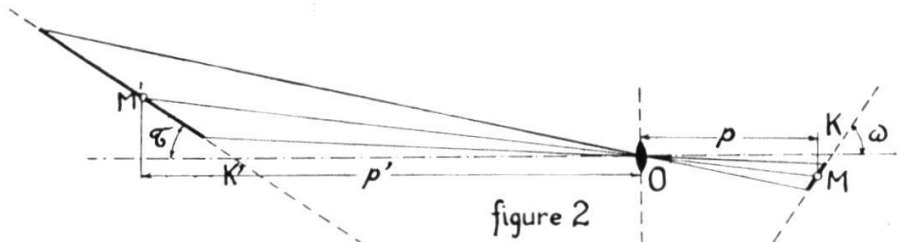
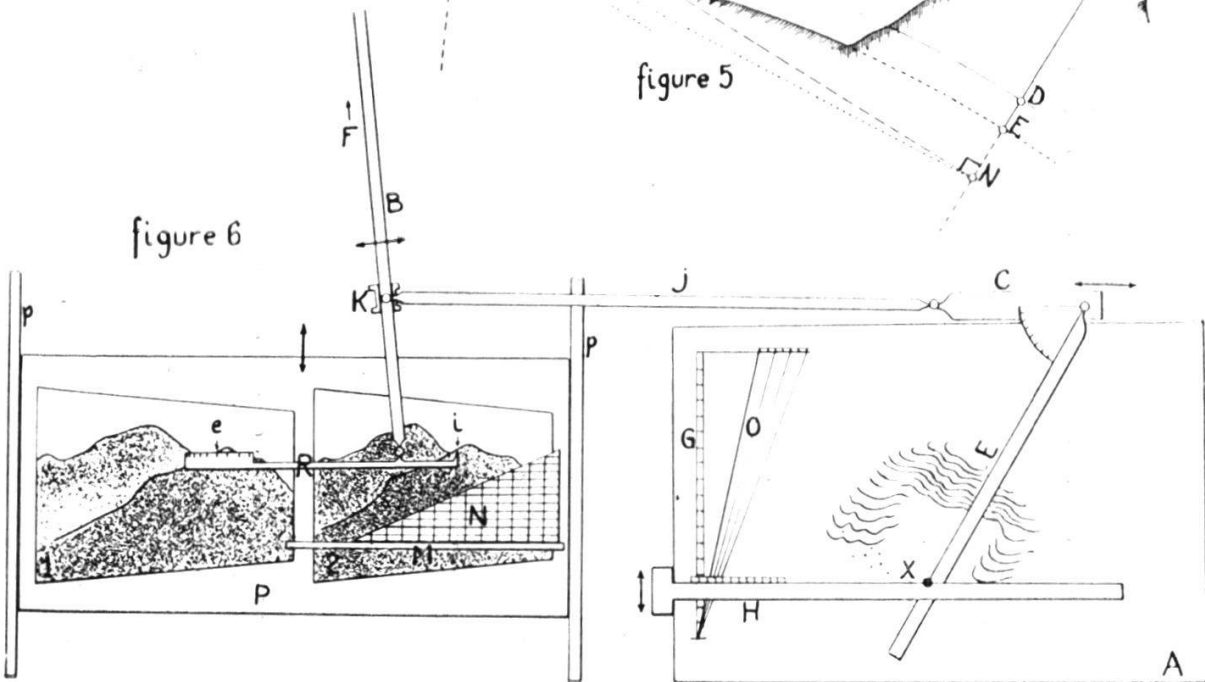


figure 6



$$EB = AC - AB + CD + DE$$

mais par le triangle rectiligne BSN à partir d'une cote de base N constante sur quelques kilomètres de profondeur.

Ce calcul peut se faire graphiquement ou mécaniquement, ou par simple mesure, de bien des façons. Il reste seulement à appliquer un résidu de correction qui est du second degré, mais qui est pratiquement négligeable pour une étendue de quelques kilomètres  $(1 - k)dD^2/2R$ , profonde de  $dD$  de part et d'autre de la verticale AN.

J'ai employé un système de coins en carton millimétré qui me donne l'altitude avec une sensibilité de 1 mètre (réserve faite de l'identification exacte).

### § 8. Faux-redressement.

Une difficulté se présente ici quant au redressement. Dans le cas simple où, la focale de prise de vue étant  $df$ , la distance de la base à la reproduction étant  $f$ , et la focale de redressement étant  $F$ , on aurait  $df = f = F$ , il suffit, pour redresser d'un angle  $\varphi$ , que les tableaux du redresseur soient aussi inclinés du même angle  $\varphi$  sur les normales à l'axe optique. Mais suivant les valeurs que prennent séparément  $df$ ,  $f$ , et  $F$ , les inclinaisons des tableaux sont toutes différentes.

Dans mon cas où  $df$  et  $f$  sont très grands (téléphotographie et son agrandissement), le redressement ne devient possible que si  $F$  est beaucoup plus grand encore. Une telle optique était impossible à réaliser et elle aurait imposé la construction d'un banc de redressement de quelques décamètres de long.

Pour ce cas spécial, j'ai tourné la difficulté en appliquant l'extension du redressement, la théorie du « faux-redressement », qui est tout à fait et surtout légitime pour les téléphotographies. On décide donc que le redressement sera rigoureux dans le sens horizontal seulement, mais que le redressement sera centré exactement sur l'axe optique du redresseur (on peut aussi imposer un décentrement quelconque). Il en découle que dans le sens vertical les grandeurs sont exagérées dans un rapport constant dont il est facile de tenir compte lors du calcul des altitudes.

Ceci m'a permis d'utiliser une optique de court foyer (15 cm.) travaillant à plein rendement, et de petits tableaux peu inclinés (2 et 3 grades).

L'utilisation combinée du redressement et du faux-redressement autorise à envisager la construction de petits redresseurs universels pouvant faire partie d'un matériel léger de campagne.



### § 9. Restitution.

Sur ces bases théoriques, il était aisé d'envisager plusieurs dispositifs mécaniques, qui auraient facilité grandement la restitution. Il aurait fallu aussi utiliser l'identification stéréoscopique qui rend si précise la restitution moderne. Faute de matériel je ne l'ai pas pu, et j'ai dû me limiter à la restitution point par point, en m'aidant de la vision directe à l'œil nu<sup>1</sup>.

Je me suis aidé d'un dispositif d'expérience mi-graphique. mi-mécanique qui était le suivant (fig. 6) :

Sur une grande table étaient disposés :  
une planche P pouvant se déplacer en profondeur et portant les deux « faux-redressements » 1 et 2 convenablement situés ; un balancier B pivotant autour d'un point fixe éloigné F, et à l'autre extrémité duquel se trouvait articulée la règle R servant à la mesure des parallaxes, portant son index  $i$  et son échelle hyperbolique  $e$ .

D'un certain point réglable K du balancier part une bielle J qui entraîne un chariot des écartements C d'une quantité proportionnelle au déplacement de B ; ce chariot porte une règle des rayons E qui peut être orientée comme à volonté, mais se désoriente automatiquement avec le déplacement du chariot, de telle façon que dans chaque cas, elle converge toujours vers une des stations de la base, situées tout à fait hors de la minute. (Pour plusieurs raisons, ce dispositif n'est pas rigoureux, mais les erreurs sont faibles.)

Une échelle millimétrée des profondeurs, G, permet de donner à un té des profondeurs H la position correspondante à la lecture parallactique, si bien que le point à restituer se trouve à l'intersection de la règle des rayons et du té, l'intersection se faisant sous un angle très favorable (70 grades).

Un guide M placé sur un des « faux-redressements » parallèlement à la ligne d'horizon, matérialise, pour une certaine profondeur de comparaison de la minute, une certaine altitude de comparaison choisie aussi grande que possible et qui reste constante pour toute la restitution.

L'appoint à cette altitude de comparaison pour obtenir l'altitude réelle résulte de deux termes :

l'un lu sur le coin millimétré N au droit de l'affleurement de son biseau avec le point  $i$  (l'angle du coin N, qui peut

<sup>1</sup> Voir *Contribution à la physiologie de la Vision*, par Sir CH. WHEATSTONE, traduit de l'anglais, complété par des conseils pratiques et des planches d'exercices pour faciliter la *Vue à l'œil nu du relief des clichés stéréoscopiques*, par PIERRE-TH. DUFOUR, ing., Dr ès sc., 87 pages, Imprimerie La Concorde, Lausanne, 1919.

coulisser sur M, est tel que la valeur lue soit la différence entre l'altitude de comparaison, et l'altitude du rayon SB de fig. 5 à la profondeur de comparaison) ;

l'autre tiré d'un abaque linéaire O, dessiné au bord de la minute, permettant de lire au niveau du té des profondeurs H, la différence entre l'altitude vraie et celle du rayon SB à la profondeur de comparaison.

On y ajouterait éventuellement la correction résiduelle  $(1 - k)dD^2/2R$  mesurée sur une échelle volante Q (non dessinée) entre un certain point de comparaison (point central N de fig. 5) et le point restitué.

Comme opérations totales pour restituer un point, il suffit d'amener l'index de la règle R sur le point du faux-redressement de droite, pour que la règle E prenne mécaniquement sa place sur la minute. Il suffit de lire l'échelle hyperbolique  $e$  en face de l'autre point du faux-redressement de gauche, pour savoir où placer le té H. Le point est construit. Pour son altitude, on fait aisément de tête l'addition de trois termes dont le plus grand est un nombre rond, et dont les deux autres se lisent directement.

Par ce dispositif élémentaire, j'ai pu restituer à la cadence de 150 points par jour, bien que je fusse souvent encombré par les opérations d'identification; 900 points environ ont été ainsi construits.

La restitution s'est montrée délicate pour deux genres de raisons :

Tout d'abord le sujet ne se présente pas bien; d'une part les régions rocheuses où de nombreux points auraient pu être choisis, regardent le Nord et étaient mal éclairées; d'autre part les névés et les glaciers ne présentent pas de points très sûrs ni assez denses, les seuls possibles étant des inflexions dans les ombres naturelles des crevasses et des séracs, ceci spécialement sur la coupole terminale.

Mais surtout l'identification à l'estime des images d'une même paire, sur l'un puis sur l'autre faux-redressement, introduisait une erreur d'identification et de piqué pouvant atteindre 2 à 3 dixièmes de millimètre. Celle-ci correspondant à une erreur en profondeur de 10 à 15 mètres — erreur pouvant par malchance jouer entre deux points très voisins — après qu'un groupe de points avait été construit, la prudence exigeait la vérification de certains d'entre eux et la critique de leur position relative par un examen stéréoscopique indépendant.

Ce même examen stéréoscopique, fait à l'œil nu sur des copies directes des clichés originaux, me montrait les formes

topographiques comprenant le groupe des points construits, et j'en tirais les courbes de niveau, sensiblement comme le fait l'opérateur à la planchette.

Une surface de 500 hectares a été ainsi restituée avec courbes de niveau de 10 mètres d'équidistance, en utilisant 2 points construits par hectare en moyenne et l'examen stéréoscopique indépendant (planche hors texte).

### § 10. Critique. Précision.

Jusqu'à achèvement de cet essai, je n'ai volontairement consulté aucune carte ni aucun autre document photographique que les deux vues d'Apples et de Bougy, pour ne pas être influencé par une connaissance préalable quelconque du terrain.

Je dois à l'obligeance de MM. N. Oulianoff et P. Corbin d'avoir pu établir toute la valeur de cette expérience et comparer mon essai à la nouvelle carte. La Société française de Stéréotopographie a donné l'aimable autorisation de publier un extrait de sa minute encore inédite pour permettre la comparaison suivante (planche I). Je les en remercie ici bien sincèrement.

L'examen de ces documents montre que mon essai représente fidèlement les traits généraux du terrain; les différents éléments en sont respectivement bien en place et parfaitement reconnaissables. Beaucoup de formes secondaires sont typiquement rendues. Cet essai pourrait donc servir à guider exactement une exploration sur le terrain même.

Pour pouvoir mieux apprécier la précision réalisée, j'ai extrait des deux documents à comparer les isohypses de 150 en 150 m., qui sont toutes rapportées à la Pointe Durier, celles de mon essai en traits pleins, celles de la carte stéréo-topographique en traits pointillés.

Sur les bords latéraux et au bord de la carte opposé à nos stations, lesquels correspondent aux bords et au haut des clichés, se manifeste un excès de profondeur qui était assez probable; il provient de l'imprécision de l'orientation interne, en particulier de la distance focale (du fait que pour simplifier je n'ai pas redressé perpendiculairement au plan de comparaison des altitudes [erreur de 3 grades environ]), et de l'insuffisance de correction de l'optique de redressement utilisée. Puis, dans la coupole terminale, les points identifiables sont particulièrement incertains.

Abstraction faite de ces défauts, on peut dire que l'écart moyen entre les courbes de niveau de l'essai et celles de la carte stéréo-photogrammétrique, est de l'ordre de 30 mètres; c'est-à-dire que la surface topographique irréaliste représentée

par les isohypses de l'essai s'écarte de  $\pm 20$  mètres de la surface topographique réelle.

Il est impossible de préciser complètement ici la part dans l'erreur finale de chaque facteur d'imprécision. Mais plusieurs remarques sont utiles.

Tout d'abord, une irrégularité dans le retrait du papier des reproductions photographiques ne doit pas avoir d'effet sensible; car pour éviter l'influence des fautes sur les focales des redressements (l'une était de 9353,1 mm., l'autre de 9346,3 mm., au lieu de 9368,6 imposé), j'avais introduit une compensation en désorientant convenablement le té et l'échelle millimétrique des profondeurs. (Théorie des fausses-frontales quand  $f' \neq f'' \neq f$ .)

Le redressement complet et rigoureux avec une optique bien corrigée n'aurait pas donné les grosses erreurs systématiques des bords et du fond de la carte; et l'erreur générale serait à peu près égale à l'erreur moyenne de 30 mètres reconnue plus haut.

Remarquons alors que cette erreur de  $\mp 30$  mètres en profondeur, correspond à une erreur de  $\mp 0,6$  mm. sur le facteur parallaxique ( $m-n$ ), autrement dit sur l'écartement des images d'une paire. Or nous avons apprécié :

d'une part l'imprécision de la lecture à l'œil nu sur l'échelle hyperbolique à 0,1 mm.;

d'autre part l'imprécision d'identification et de piqué des points, à 0,2 à 0,3 mm. Soit au total 0,3 à 0,4 mm. Ceci correspond bien à l'erreur moyenne.

Enfin, il faut faire une part à l'erreur graphique et à l'interprétation des courbes de niveau.

Mais on peut certainement dire que l'erreur moyenne se réduirait beaucoup en améliorant l'estimation du facteur parallaxique. La voie normale de cette amélioration est double: améliorer la netteté des vues en employant une optique téléphotique corrigée pour les radiations captées et une bonne optique de redressement; améliorer l'identification des images des paires en utilisant par exemple un stéréoscope de mesure avec index aérien, ou peut-être le « *clignotement* »<sup>1</sup>. Car si l'erreur sur le facteur parallaxique ne dépendait plus

<sup>1</sup> Une même partie très restreinte de deux vues couplées est projetée alternativement et rapidement à la même place d'un écran; si l'image résultante semble vibrer c'est qu'une des projections ne se fait pas rigoureusement au même point que l'autre; en corrigeant l'une de ces directions on peut stabiliser l'image résultante, et de là tirer un procédé d'identification. (Utilisation dans la méthode cartographique du photo-restituteur Gallus.)

guère que de la grosseur du grain de l'émulsion et de l'erreur graphique, l'imprécision pourrait ne plus être que de quelques mètres.

### § 11. Conclusions.

D'une façon générale, et pour les conditions dans lesquelles il a été fait, c'est-à-dire sans avoir pris de précautions spéciales, l'essai donne des résultats intéressants et très encourageants. En substance et précision, il représente déjà un bon 1/100.000; en substance seule, il représente mieux encore.

Au premier problème particulier dont nous sommes parti (pivotage d'un cheminement, construction du point 5, fig. 1, p. 297), l'essai répond avec une très bonne précision. Comme il peut livrer un nombre considérable de points dans tous les azimuts d'une demi-circonférence autour du Mont-Blanc, les points bridés le seront avec une précision ne dépendant que de la visée bridante.

Au second problème, celui de l'accrochement, l'essai répond comme suit: dans une largeur de champ voisine de 3000 mètres dans tous les azimuts d'une demi-circonférence autour du Mont-Blanc, l'erreur de chaque point étant de  $\pm 30$  mètres, le choix d'une dizaine de points d'accrochement abaisse cette erreur à  $\pm 5$  mètres déjà; par conséquent l'imprécision avec laquelle on pourrait accrocher le faisceau d'une station téléphotographique indépendante sur ces divers points choisis au Mont-Blanc, serait de l'ordre de grandeur de  $5/3000$ , allant même jusqu'à  $1/1000$ . Si la station à accrocher est St-Cergue, à environ 90 kilomètres, son imprécision en profondeur sera de  $90 \times 1/1000 = 90$  mètres, ce qui est un maximum<sup>2</sup>.

Une telle précision est bien suffisante pour un levé de reconnaissance.

On doit s'attendre à pouvoir améliorer cette précision et ces conclusions, ce qui élargirait le champ d'application, si l'on emploie des appareils plus soignés (chambre de prise de vues et restituteur), une optique bien corrigée et l'identification stéréoscopique.

On peut alors espérer, particulièrement si l'on use du procédé infra-rouge, pousser l'investigation cartographique des reliefs saillants à 200 ou 300 kilomètres autour de stations ou d'un cheminement central, avec une bonne précision et par des moyens simples.

<sup>1</sup> Ce problème de l'«accrochement» n'est rien d'autre qu'un relèvement sur trois points. On en améliore la solution en travaillant sur un nombre de points surabondant. Il y a diverses solutions graphiques possibles, particulièrement simples pour les faisceaux étroits.

On entrevoit tout un champ d'application dont je ne puis ici que suggérer quelques cas :

Large reconnaissance des traits structuraux orographiques d'un pays neuf; — levé d'archipels (archipels marins ou archipels de collines en saillie sur une plaine); — levé d'un objet dont on s'éloigne volontairement pour s'affranchir d'obstacles locaux, de la déformation perspective, ou pour en avoir une vue dominante; — applications en triangulation approchée; — éventuellement triangulations téléphotographiques pouvant ensuite servir de canevas à des levés aériens réguliers; — repérage des routes aériennes commerciales.

De plus, dès que la sensibilité des émulsions infra-rouges sera suffisante, il deviendra possible de faire de la téléphotographie instantanée, et toute la méthode exposée pourra s'appliquer aux cheminements aériens<sup>1</sup>.

D'une façon plus générale, le redressement parallèlement à la base simplifie à tel point le problème photogrammétrique qu'elle le rend réalisable avec un appareillage réduit, léger, maniable, et se pliant aux conditions d'un petit bureau local, ce qui est d'un vif intérêt pour la topographie d'exploration.

Perroy, le 25 janvier 1935.

PH. CHOFFAT.

---

<sup>1</sup> L'article « Du Baloutchistan à Malacca par l'Inde à vol d'oiseau », de l'*Illustration*, N° 4792, du 5 janvier 1935, montre, pp. 13-16, ce que peut voir actuellement une téléphotographie aérienne en infra-rouge.