

# Utilisation de la photogrammétrie aérienne pour les relevés traditionnels de fluctuations des langues glaciaires

PAR

**R. Mura**

ET

**M. Memier**

Division Nivologie du Centre  
Technique du Génie Rural des Eaux et Forêts

Photogrammètre

## 1. Historique

Il existe en France de très anciens travaux de mesures des fluctuations glaciaires et on doit particulièrement citer ceux réalisés par l'ancienne administration des Eaux et Forêts qui a contrôlé très régulièrement, jusqu'en 1965, et sur une période de 30 à 50 ans, l'évolution d'une vingtaine de glaciers du Massif alpin.

Les observations réalisées comprenaient :

- un levé du front glaciaire à partir de repères soigneusement entretenus,
- un levé de plusieurs profils judicieusement choisis,
- quelquefois des mesures de vitesses annuelles.

L'ensemble permettait d'avoir une bonne idée des fluctuations de la langue et avait l'intérêt inestimable de la cohérence des méthodes et de la continuité.

Parallèlement, et principalement depuis les années 1960, se développait la technique nouvelle de la photogrammétrie aérienne utilisée en France dès 1953 par l'Institut Géographique National pour la cartographie au 1/10 000 des glaciers du Massif du Mont Blanc. Mais c'est au Symposium d'Ottawa organisé en 1965 par la Commission Neige et Glace de l'U.G.G.I. que devait être mis en évidence l'intérêt de cette technique, non seulement pour la cartographie des glaciers à petite ou moyenne échelle, mais aussi pour l'étude de langues glaciaires à grande échelle.

Des règles générales avaient alors été arrêtées dans les domaines du choix des échelles et des légendes, mais surtout il avait été reconnu la nécessité de la participation des glaciologues et geomorphologues à l'établissement des cartes.

Sur le plan français, la collaboration souhaitable a été instituée lors de la réunion à Grenoble le 21 avril 1967,

du groupe consultatif "Neige et Glace" auprès du Comité National Français pour la Décennie Hydrologique Internationale. Ce groupe avait arrêté un programme de travaux très précis :

- 1 — prise de vue aérienne avec restitution au 1/25 000 de l'ensemble des zones comportant des glaciers dans les Alpes. Ces travaux sont exécutés par l'Institut Géographique National qui poursuit la publication de nouvelles cartes au 1/25 000 ;
- 2 — prise de vue et restitution au 1/10 000 des fronts et langues glaciaires intéressant particulièrement certains organismes ou chercheurs.

La liste des glaciers avait été établie. Elle comprenait 25 glaciers divisés en 3 groupes :

- |                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| • Massif du Mont Blanc      | 7 glaciers  |
| • Vanoise et Alpes Graies   | 8 glaciers  |
| • Oisans et Grandes Rousses | 10 glaciers |

Il est à noter que, pour l'exécution de ce programme, seule la technique de la photogrammétrie aérienne avait été retenue.

Parmi les 25 glaciers dont l'étude avait été jugée intéressante par le groupe consultatif "Neige et Glace", 20 avaient été suivis régulièrement jusqu'en 1965 par le Service des Eaux et Forêts. Malheureusement, à cette date, une réforme avait profondément bouleversé l'organisation administrative dans ce domaine, et conduit à un abandon de la surveillance des langues glaciaires.

Ce n'est qu'en 1973 que le Ministère de l'Agriculture conscient de l'intérêt que représentait un suivi régulier de l'évolution des glaciers, a bien voulu reprendre la mission de Service Public qu'il avait assurée dans ce domaine jusqu'en 1965. Il a aussitôt confié à la Division Nivologie du C.T.G.R.E.F. la responsabilité de la

conception comme de l'exécution du programme de mesures, étant bien entendu que son rôle devait se limiter à celui d'un collecteur de données.

## 2. Programme de travaux et réalisations actuelles

---

2.1. La Division Nivologie consciente de l'honneur qui lui était ainsi fait, mais aussi du poids de cette nouvelle mission, a aussitôt décidé de concentrer tous ses efforts, dans un premier temps tout au moins, sur les vingt glaciers suivis traditionnellement par les Eaux et Forêts. En effet, il y avait un intérêt primordial à assurer la continuité des mesures, et pour cela, à retrouver et à rénover le plus rapidement possible, les anciens repères ayant servi au calage des levés antérieurs à 1965. Si ces repères abandonnés depuis une dizaine d'années n'avaient pu être retrouvés, c'était tout l'intérêt de 30 à 50 ans de mesures anciennes qui disparaissait. Je peux dire dès maintenant, que pour l'essentiel, ces repères ont pu être rénovés et que l'oeuvre ancienne est sauvée, sauf peut-être pour le glacier de Gebroulaz en Vanoise, où nous avons quelques difficultés.

2.2. Les vingt glaciers intéressés par les nouvelles études sont les suivants :

### 1 -- Groupe du Mont Blanc :

Mer de Glace  
Tour  
Bossons  
Taconnaz  
Bionnassay  
Tré la Tête  
Argentières

### 2 -- Groupe Savoie :

Evettes  
Mulinet  
Grand Mean  
Arnès  
Sources de l'Arc  
Sources de l'Isère  
Gebroulaz

### 3 -- Groupe Oisans -- Grandes Rousses :

Sarennes  
Glacier Blanc  
Glacier Noir  
Pilatte  
Chardon  
Selle

2.3. Au point de vue de la technique des mesures, nous nous sommes trouvés devant un choix :

- soit conserver le système ancien, c'est-à-dire levé terrestre du front et des profils — mesure éventuelle de vitesse par suivi du déplacement de pierres peintes,
- soit employer les techniques de la photogrammétrie aérienne, seule méthode retenue par le groupe consultatif "Neige et glace", compte tenu de l'intérêt qu'elle représente pour les utilisateurs.

Nous avons décidé de nous rallier à cette deuxième solution en prenant toutes dispositions utiles pour rattacher les anciens repères à la nouvelle topographie et assurer ainsi la continuité des mesures.

Notre mission se bornant à la collecte des données, nous assurons donc, pour les glaciers visés ci-dessus :

- l'exécution de la stéréopréparation au sol,
- la prise de vue,
- la mise au point pour chaque vol, d'un dossier donnant les points de calage et leurs coordonnées en X, Y, Z en Lambert, ainsi que les coordonnées des anciens repères, renseignements indispensables pour permettre l'exploitation en photogrammétrie.

Le rythme retenu pour les prises de vue est de trois ans ; c'est-à-dire que chaque année, nous effectuerons la prise de vue d'un des trois groupes mentionnés ci-dessus.

2.4. A cette date, les réalisations ont été les suivantes :

*Année 1973 :* la décision favorable du Ministère de l'Agriculture n'étant intervenue qu'en juin, il ne nous a pas paru possible de mettre sur pied avant la fin du mois d'août une opération de prise de vue aérienne avec stéréopréparation préalable. Toutefois, pour ne pas perdre une année supplémentaire, nous avons fait exécuter par le cabinet Chaumeton de Chamonix, le levé des langues glaciaires du Massif du Mont Blanc par la méthode traditionnelle, et la rénovation des repères correspondants. Ces résultats ont été diffusés en leur temps.

*Année 1974 :* Nous avons réalisé la stéréopréparation pour le groupe des glaciers de Savoie avec les moyens propres de la Division. Les levés et le prébalisage étaient terminés pour le 5 septembre, mais le mauvais temps est venu aussitôt et il n'a malheureusement pas été possible de procéder à la prise de vue aérienne.

*Année 1975 :* Nous avons réalisé la stéréopréparation pour le groupe Oisans-Grandes Rousses, et confié la prise de vue aérienne au Cabinet Memier photogrammètre à Grenoble. La préparation au sol était terminée également début septembre, mais une période de mauvais temps a fait reporter la prise de vue qui n'a pu être réalisée que le 25 septembre à la fois pour le groupe Oisans-Grandes Rousses et pour le groupe Savoie, qui n'avait pu être photographié en 1974 et qui a dû être préalablement rebalisé.

### 2.5. Projet pour 1976

En 1976, est prévue la prise de vue du groupe Mont Blanc. Ce travail demande un effort de préparation important. En effet, de nombreuses mesures ont été réalisées sur ces glaciers par différents organismes ainsi que plusieurs restitutions photogrammétriques dont un plan au 1/5 000 du glacier d'Argentières réalisé par l'E.D.F. Il serait donc utile de replacer toutes ces mesures dans le même système.

## 3. Aspect technique des travaux réalisés

---

### 3.1. Stéréopréparation

Il s'agit d'une opération qui consiste à mettre en place au sol et à rattacher topographiquement un certain nombre

de points de repère qui apparaîtront sur les photos aériennes et serviront de points de calage aux couples de photos pour leur restitution. Ce travail peut être fait avant ou après la prise de vue mais compte tenu du faible nombre de points facilement identifiables en montagne, nous avons préféré le faire avant, c'est-à-dire faire du prébalisage, malgré certains inconvénients attachés à cette méthode.

Nous avons donc défini un certain nombre de points situés de part et d'autre des axes de vols préalablement fixés et en dehors du glacier, de façon à permettre à la restitution un cheminement par aérotriangulation. Ces points ont été balisés à l'aide de bâches en plastique noir de 1,70 m x 1,70 m munies au centre d'un carré blanc de 0,60 m x 0,60 m.

Le levé topographique a été exécuté en deux temps :

- 1 - définition de stations rattachées par relèvement au canevas géodésique de l'Institut Géographique National. Ce travail fut relativement facile en Maurienne et Vanoise où le canevas géodésique avait été récemment rénové, beaucoup plus difficile dans l'Oisans où un nombre important de points géodésiques ont disparu. Nous aurons d'ailleurs quelques compléments à faire sur les sommets.



**1/ Opérations de levé topographique sur le Glacier Blanc**

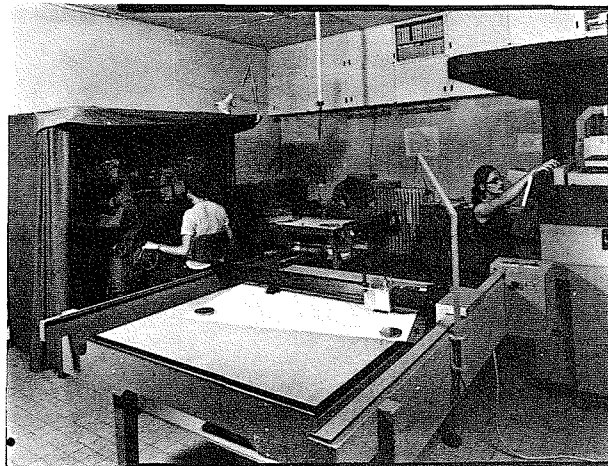
- 2 - levé par intersection ou par rayonnement dans le cadre d'une polygonale de points de calage et des repères anciens préalablement rénovés.

Equiper ainsi 6 ou 7 glaciers à une altitude variant entre 2 000 et 3 000 m et ceci en un temps limité à un mois, a représenté pour l'équipe topographique de la Division Nivologie un lourd travail, d'autant que les moyens financiers très limités ne permettent pas l'emploi de l'hélicoptère pour le transport des hommes et du matériel.

### 3.2. Prises de vue aérienne

Les prises de vue aérienne ont été confiées au Cabinet Memier qui, outre sa compétence en la matière, a aussi pour nous l'avantage de résider à Grenoble et d'être disponible très rapidement. En effet, l'expérience des deux dernières années, peut-être anormales, a montré que le temps de début septembre était nettement variable en

montagne. Il faut donc pouvoir attendre fin août pour avoir la fonte maximum des névés et donc la meilleure représentation des glaciers, mais intervenir avant la première chute de neige précoce. La moindre journée de beau temps début septembre doit donc être utilisée pour procéder à la prise de vue ; ce qui exige une disponibilité entière du matériel à cette époque.



**2/ Opération de restitution photogrammétrique.**

La prise de vue est effectuée à l'échelle moyenne du 1/15 000, à une altitude moyenne de 1 500 m à l'aide d'une Caméra WILD RC 7 munie d'un objectif Aviogon grand angulaire de focale 100 mm. Il s'agit d'un appareil à plaques de format 14 x 14 qui a travaillé avec un recouvrement de 80 %. Pour la prise de vue, il est installé sur un avion de marque Pilatus.

### 3.3. Utilisation possible des prises de vue réalisées

Les prises de vue ainsi réalisées peuvent être utilisées dans l'étude des glaciers, de deux façons différentes :

1/ pour l'établissement de documents graphiques

- plans à l'échelle du 1/5 000 ou même du 1/2 000,
- profils en long ou en travers.

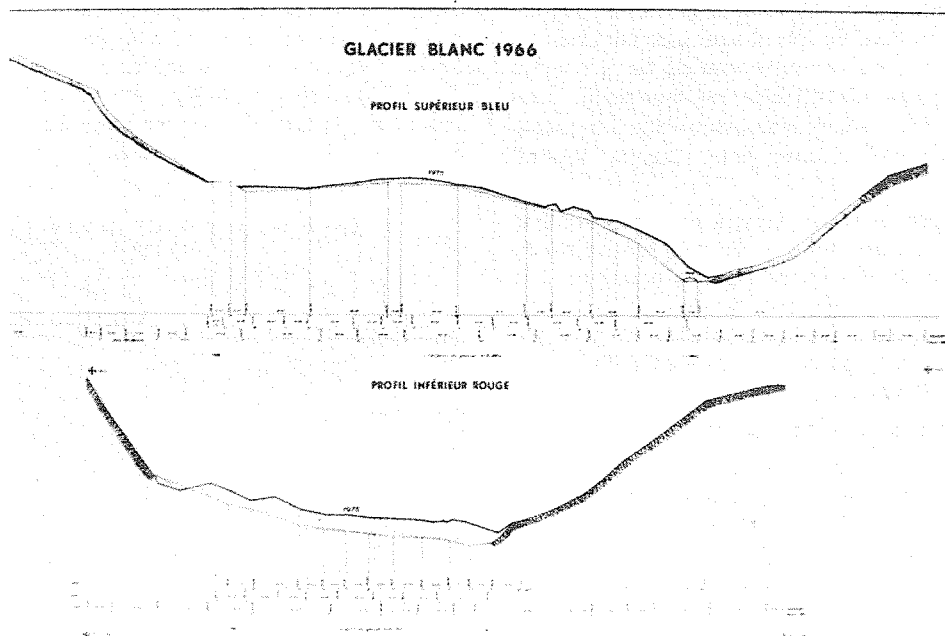
Un tel travail a été fait à titre documentaire pour la langue du glacier Blanc et vous trouverez ci-joint une esquisse du plan de cette langue au 1/2 000 avec tracé des courbes de niveau à une équidistance de 2,50 m sur le glacier et de 5 m sur le rocher ou les moraines voisines. Il ne s'agit que d'une esquisse qui devrait être complétée par un travail de terrain exécuté par des spécialistes et renseigné par une légende à définir.

2/ pour le calcul direct de variation de volumes entre deux prises de vue par mode numérique :

- soit par une méthode de quadrillage,
- soit par une méthode se rapprochant de la cubature de terrassement à partir de profil en long et en travers.

Les deux programmes de calcul sont disponibles.

Pour ces deux méthodes la précision obtenue au niveau du point est de l'ordre de 0,40 m en altimétrie et en planimétrie.



3/ Profils en long en 1966 et 1975. Notez l'abaissement considérable du glacier

## Discussion

Président : M.L. de CRECY

M. le Président remercie M. MURA pour la clarté de son exposé et, en tant que Chef de la Division "Nivologie" du C.T.G.R.E.F., précise :

"Nous "stockons" les prises de vues réalisées sur un même glacier tous les trois ans ; notre tâche consiste essentiellement à archiver les données mais nous n'allons pas au-delà ; nos prises de vues peuvent être mises à la disposition des chercheurs pour restitution de cartes en courbes de niveau, cubatures, etc. . ."

M. KASSER signale que la première application de la photogrammétrie dans le domaine de la glaciologie a été faite par Sébastien FINSTERWALDER au glacier de Vernagt en 1889. Relevés et restitution de carte sont décrits dans une publication parue en 1897 (\*). Cette publication contient également des considérations sur les erreurs.

M. BERNARD (E.D.F.) voudrait connaître l'ordre de grandeur du coût d'une part, de la planimétrie et d'autre part, de la fourniture des documents permettant d'évaluer la variation de volume d'un glacier. E.D.F. et la Société d'EMOSSON pourraient, dit-il, être intéressés par l'exploitation des relevés photogrammétriques.

Sur le glacier Blanc, répond M. MURA, pour la restitution altimétrique et planimétrique de 50 hectares de la langue du glacier, les dépenses ont été de l'ordre de 7.000 F. En photogrammétrie, le calage des couples de photos représente une bonne partie du prix de revient, l'importance de la surface restituée intervient à un moindre degré. Sur un cas précis, je pourrais fournir des chiffres plus approchés et une estimation du prix des opérations de calcul des variations de volume du glacier.

(\*) S. FINSTERWALDER : "Der Vernagtferner, seine Geschichte und seine Vermessung in den Jahren 1888 und 1889" mit Anhang Ad. Blümke und H. Hess. "Nachmessungen am Vernagt - und Guslarferner", in Wissenschaftliche Ergänzungshefte zur Zeitschrift des D. u. Oe. Alpenvereins, 1 Band, 1 Heft, Graz 1897.

Ne pourrait-on donner à la réunion annuelle de la Section de Glaciologie, les résultats succincts des relevés effectués au cours de l'été précédent ? demande M. BERNARD.

Les crédits dont nous disposons, précise M. le Président, ne permettent, ni la restitution, ni l'exploitation des relevés photogrammétriques que nous réalisons sur les 20 glaciers contrôlés.

La Direction des Forêts devrait peut être pouvoir fournir les crédits nécessaires pour ces dernières opérations, estime M. ROGER.

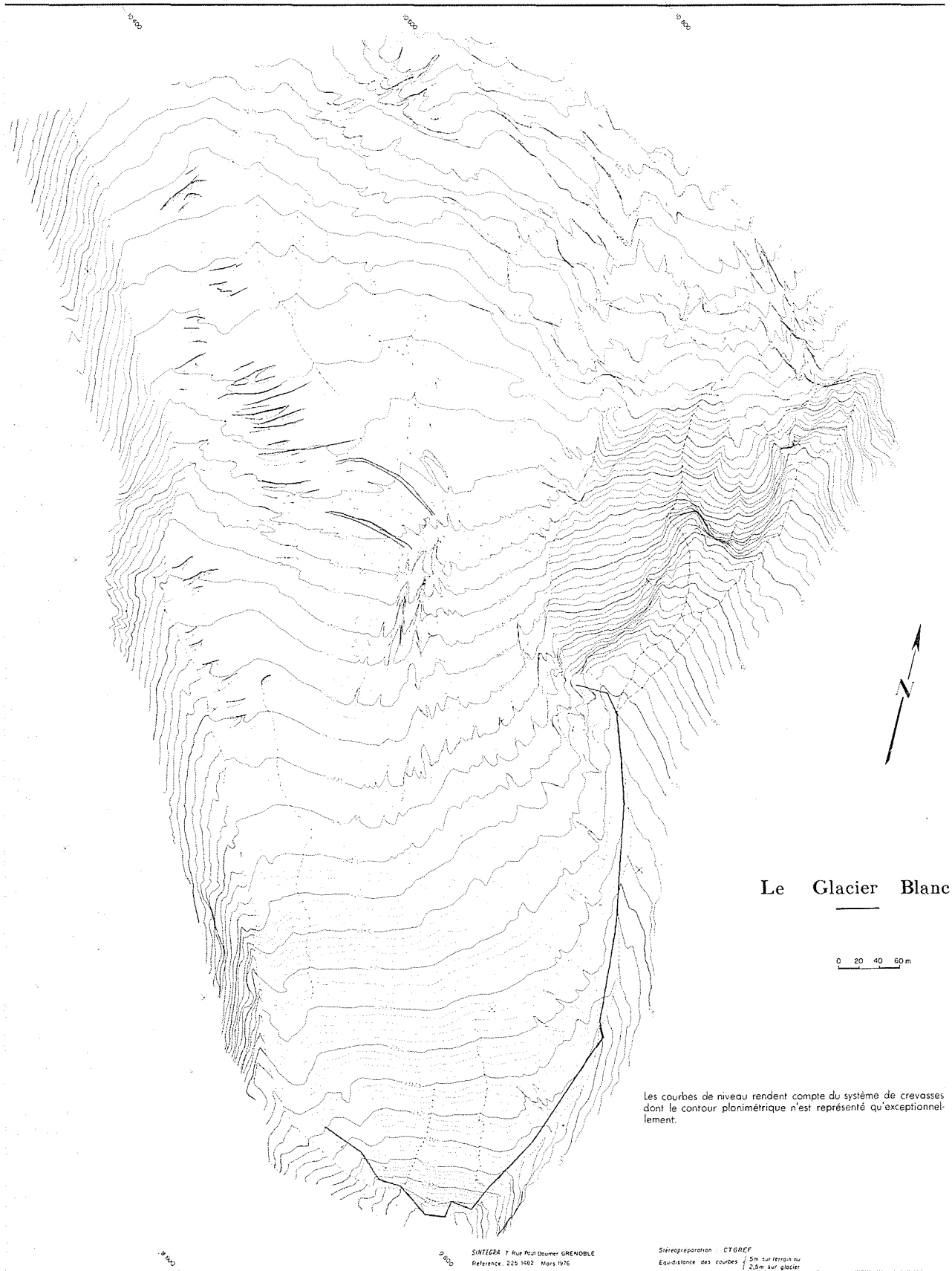
M. GUILLOT pose les deux questions ci-après :

- 1 - Comment s'articule ce programme de vos levés aériens avec celui de l'I.G.N. ?
- 2 - Si la précision ponctuelle est de 0,40 m, quelle est la précision sur la cote moyenne d'un profil ?

Il est très difficile de coordonner nos levés avec ceux de l'I.G.N., estime M. MURA. Ce dernier fait ses prises de vue à une échelle de l'ordre du 1/25 000 pour en tirer des plans au 1/10 000 ; il en résulte une précision insuffisante pour les besoins des glaciologues ; en outre, la périodicité des levés de l'I.G.N. n'est pas assurée et la prise de vue n'intervient pas toujours à la période la plus favorable.

En ce qui concerne la précision sur la cote moyenne d'un profil, M. MURA ne dispose pas "d'études d'erreur" ; dans de bonnes conditions, la cote d'un point est déterminée avec une incertitude comprise entre 0,30 m et 0,40 m ; sur l'ensemble d'un profil et pour le calcul d'un volume, l'approximation est meilleure.

Pour l'exploitation des données, M. POIREL suggère de demander une participation financière aux Agences de Bassin. M. le Président et M. ROGER confirment que cette question est à l'étude - notamment à la DATAR - dans le cadre plus large de la restauration des terrains en montagne (R.T.M.) et la protection des ressources en eau (quantité et qualité).



4/ Plan de la langue glaciaire.

See English abstract on next page

## Abstract

# Use of aerial photogrammetry for routine surveys of glacier snout fluctuations

### I – Historical background

Some measurements of glacier snout fluctuations in France date back to a very long time ago, especially those carried out by the former Forestry and Waters Commission, which kept a close, regular check on the behaviour of some twenty Alpine glaciers over a period of 30 - 50 years, ending in 1965. This involved the following operations :

- Measurement of glacier front movement with respect to carefully-maintained benchmarks
- Surveys of cross-sections
- Occasional measurements of annual glacier movement rates.

A satisfactory overall picture of glacier snout fluctuations was obtained in this way. In addition, the survey methods were coherent and ensured continuity of the observed data, which was a considerable asset.

Cooperation between various organisations concerned with glacier problems officially began at a meeting of the "Ice and Snow" group of the French Committee at the International Hydrological Decade on 21st April 1967, when the following precise operational programme was drawn up:

1) Aerial photography of all glacier areas in the French Alps and data-plotting to a scale of 1:25,000. This work is being undertaken by the French National Geographical Institute, which is producing maps to the above scale.

2) Photography of glacier fronts and snouts and data-plotting to a scale of 1:10,000. This work is of special interest to a number of research and other organisations.

Twenty-five glaciers were listed for "monitoring" under this programme.

The Ministry of Agriculture finally decided in 1973 to resume the public service role it had held in this field until 1965, having realized the need to keep a close, constant watch on the behaviour of the country's glaciers. The Snow Research Division of CTGREF (Rural Engineering, Forestry and Waters Commission) was made responsible for preparing and implementing the survey programme and keeping records of the observed data.

### 2 – Programme of operations, and work completed to date

The Snow Research Division has concentrated on the twenty glaciers formerly surveyed by the Forestry and Waters Commission. To restore continuity of observed data - a most important requirement - the Division made it its first job to locate and recondition the pre-1965 benchmarks with the minimum of delay. This work was duly completed.

As previously mentioned, the surveys are to be carried out by aerial photogrammetry, which involves the following operations:

- Stereo-preparation of areas to be covered

- Photography

- Compilation of a file for each glacier, listing all control points, their Lambert coordinates and those of the pre-1965 benchmarks.

Photography is to be completed in three years, by covering one group of glaciers each year.

The following work has been completed to date :

1973 : A survey of Mont Blanc glacier snouts, by conventional methods as time was lacking for preparation of a photogrammetric survey.

1974 : Stereo-preparation for the group of glaciers in the Savoy Alps. Owing to premature snowfall, however, no photographs could be taken.

1975 : Stereo-preparation for the group of glaciers in the Oisans Alps, followed by photography of these and the glaciers in the Savoy Alps.

The programme for 1976 provides for stereo-preparation and photography covering the Mont-Blanc glacier group.

### 3. Technical details

#### 3.1. Stereo-preparation

A number of points to either side of the flight paths are plotted on a Lambert coordinate system. To allow traversing by aerotriangulation at the plotting stage, the flight paths run outside the glacier. The ground points are marked with 1.7 m x 1.7 m black plastic sheets with a 0.6 m x 0.6 m white square in the middle.

#### 3.2. Aerial photography

The photographs, to an average scale of 1:15,000, are taken from an average height of 1,500 m, using a "Wild RC 7" 14 x 14 plate camera with an "Aviogon" wide-angle lens of 100 mm focal length. The camera is installed in a "Pilatus" survey aircraft and operates with 80 % overlap.

#### 3.3. Use of the photographs for glacier research

The photographs can be used for either of the following purposes :

1) To produce plans to scales of 1:5,000 or 1:2,000, longitudinal and cross-sections.

2) For direct numerical calculation of changes in volume between camera "takes", using a squaring method or calculating the volume from the longitudinal and cross-sections in much the same way as for calculating excavation volumes on building sites.

Either method gives vertical and horizontal point positions to within 0.4 m. Programs are available for both methods.