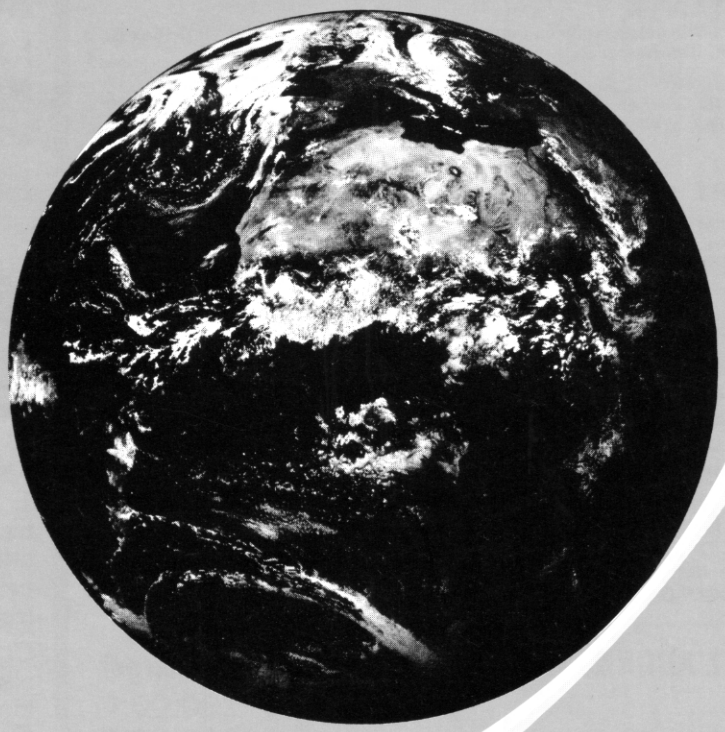
revue de géomorphologie dynamique

géodynamique externe

étude intégrée du milieu naturel



XXXIXe N° 1-1990

LES GLACIERS ROCHEUX DU MARINET
(Haute-Ubaye, France)

MARINET ROCK GLACIERS
(Haute-Ubaye, France)

par Michèle EVIN* Alain ASSIER** Denis FABRE***

GLACIERS ROCHEUX
FLUCTUATIONS CLIMATIQUES
Alpes (Ubaye)

ROCK GLACIERS
CLIMATIC FLUCTUATIONS
Alps (Ubaye)

RESUME

Situés à 2250-2600 m d'altitude, en Haute-Ubaye, les glaciers rocheux de Marinet sont les mieux étudiés des Alpes françaises.

Les trois conditions essentielles pour la fourniture de matériel aux glaciers rocheux sont :

- l'existence d'une haute paroi délitée soumise aux alternances gel-dégel assurant un important apport en blocs,
- la formation de cônes d'avalanches, pas assez bien alimentés en neige pour donner un glacier.
- l'existence de températures moyennes assez basses pour que le mélange neige-blocs se transforme et se conserve ; d'après ce que nous savons du climat et de l'activité des glaciers rocheux en Haute-Ubaye, cette condition thermique n'est réalisée qu'à 2850 m + 50 m, donc à Marinet I, au-dessus du petit lac de cryokarst.

Onze sondages électriques ont été réalisés, ce qui nous permet de préciser la répartition du pergélisol : amas de pergélisol riche en glace près des fronts des glaciers rocheux (vers 2550 m) et pergélisol plus pauvre en glace, détecté dans la zone radicale de Marinet I. La partie centrale des glaciers rocheux est soit dégelée actuellement, soit ne contient plus qu'un pergélisol très pauvre en glace et/ou «tiède».

Nous pensons que la réoccupation de l'amont des glaciers rocheux par des glaciers épais d'une centaine de m est responsable de la fusion du pergélisol interne et/ou de ses modifications thermiques. Les amas de glace mis en évidence près des fronts seraient dans ce cas des héritages et stagneraient depuis des siècles. On ne connaît pas les modalités de leur fusion.

ABSTRACT

The Marinet rock glaciers in the upper Ubaye Valley of the French Alps at an elevation of 2550-2600 m have been studied more than any others. With help of old maps and photographs, the authors have been able at first to reconstruct the evolution of the real glaciers situated upslope from the rock glaciers.

The distribution of permafrost in Marinet I has been revealed by 11 electrical resistivity soundings. While masses of permafrost rich in ice were found in its lower end, its upper part is poor in ice. The medial zone, in contrast, is presently unfrozen or its permafrost very poor in ice or.

* Université de Picardie. UFR Histoire-Géographie. Campus - 80025 Amiens Cedex.
** Institut de Géographie Alpine. 17, rue Maurice Gignoux - 38031 Grenoble.
*** Institut de Recherches Interdisciplinaires Géologie et Mécanique (I.R.I.G.M.). B.P. 53 X - 38041 Grenoble Cedex.

It seems that the reoccupation of the upper parts of the rock glaciers by real glaciers some 100 m thick during the «Little Ice Age» is responsible for the melting of the permafrost ice or its thermal modifications. In that case, the ice masses of the distal ends would be relics, having persisted there for hundreds of years. The manner of the decay of the ice pockets remains unknown.

Les glaciers rocheux du Marinet sont situés à 44°30'N, en face Nord de l'Aiguille de Chambeyron, en Haute-Ubaye (photo 1, fig. 1). L'intérêt s'est porté très tôt sur les glaciers qui les surmontent, puis, à partir de 1972 l'attention s'est reportée sur les glaciers rocheux proprement dits (V. Guiter, 1972). Depuis 1976, Marinet fait l'objet d'une surveillance systématique et de mesures répétées tant sur les glaciers (A. Assier, 1985) que sur les glaciers rocheux (M. Evin, 1987). Dans les années 80, des campagnes de mesures variées y ont été menées à bien : hydrologie, chimie des eaux, balisages, mesures de vitesses dans les zones radicales, mesures géophysiques sur les principales formes, palynologie dans la tourbière qui les précède, mesures d'orientation des blocs,...

Ils se trouvent donc actuellement parmi les mieux connus des Alpes françaises, avec le glacier rocheux du Combeynot, dans la combe de Laurichard, près du col du Lautaret (B. Francou et L. Reynaud, 1990 - B. Francou, 1981).

PRESENTATION

1. Description

Deux ensembles s'individualisent :

Le premier, à l'W (photos 1 et 2) comprend une langue spatulée éloignée de près de 1200 m de la paroi. Nous l'avons appelé Marinet I (MA I). Un diverticule épais s'en est détaché en rive droite : Marinet Ib (MA Ib).

L'ensemble Est comporte trois glaciers rocheux: le plus occidental, très raide, a été baptisé «Le Mur» en raison de sa pente. La langue centrale (photos 1 et 3) a reçu le nom de Marinet II (MA II). Plus à l'Est, deux lobes coalescents complètent l'ensemble.

Les glaciers rocheux de Marinet sont surmontés, à l'amont, de glaciers (fig. 1) ou de glacierets résiduels dont les fronts s'achèvent vers 2740 m, sous les blocs. Ces glaciers ont été plus épais et plus étendus aux siècles passés. Ils sont, actuellement, couverts en partie de débris rocheux, mais les limites de leur front sont facilement identifiables sur le terrain. Dans la zone de rupture, intermédiaire entre le glacier et le glacier rocheux, «rooting zone» de D. Barsch (1988), on trouve des secteurs encombrés de glace morte à topographie confuse, surtout au pied du glacier occidental (fig. 1).

Le matériel rocheux consiste principalement en calcaires gris et «Marbres de Guillestre» de la nappe des Aiguilles de Chambeyron pour Marinet I. L'ensemble de Marinet II s'étale sous des parois calcaires (calcaires en plaquettes de la Nappe des Aiguilles de Chambeyron). Des mesures effectuées au Laboratoire de Géomorphologie du C.N.R.S. de Caen (M. Evin, 1988) ont montré que ces calcaires étaient macro-gélifs et se brisaient en plusieurs gros fragments sous l'action répétée d'un petit nombre de cycles gel-dégel (87 alternances). Bloc à bloc, ou par paquets écroulés, ils ont largement contribué à la constitution de la couverture de débris des glaciers et des glaciers rocheux.

Là où le glacier mince stationne encore, les glaciers rocheux ne semblent pas reliés à la paroi (présence topographique d'une «rooting zone»). Là où les glaciers se sont retirés ou n'ont pas existé (au moins à la Petite Période Glaciaire), des éboulis gonflés de glace (amont du Mur) ou des cordons longitudinaux contenant de la glace se raccordent aux éboulis et aux cônes de névé pérenne de pied de paroi (rive gauche de Marinet, veine gris foncé, photo 2).

Une importante moraine frontale recouvre le principal verrou de quartzite (V de la fig. 1) à Marinet I. Sa position perchée à 2820 m d'altitude témoigne de l'épaisseur atteinte par le glacier qui s'écoulait de part et d'autre du verrou, sur une faible distance. Le front actuel n'est plus qu'à 2740 m, dans un creux prononcé derrière le verrou (fig. 1 : 8), ce qui permet de calculer une perte d'épaisseur d'une centaine de mètres.

A l'aval de ce point encore occupé par les glaciers, vers 2700-2650 m; on passe à des formes relativement organisées en bourrelets et sillons longitudinaux, alternativement développés dans des blocs de calcaires gris sombre, gris clair et noduleux rose («Marbre de Guillestre»), à Marinet I, en calcschiste grisâtre à Marinet II. La pente modérée (18° à 24°) reste inférieure à celle des éboulis voisins (30°). Lorsque les glaciers rocheux atteignent le plancher du cirque, des structures de compression voient le jour et l'on trouve les rides et les sillons arqués et concentriques caractéristiques de la topographie de surface des glaciers rocheux, particulièrement nets à Marinet I et Ib (photo 1). Dans ces secteurs, les pentes s'abaissent à 11°-14°.

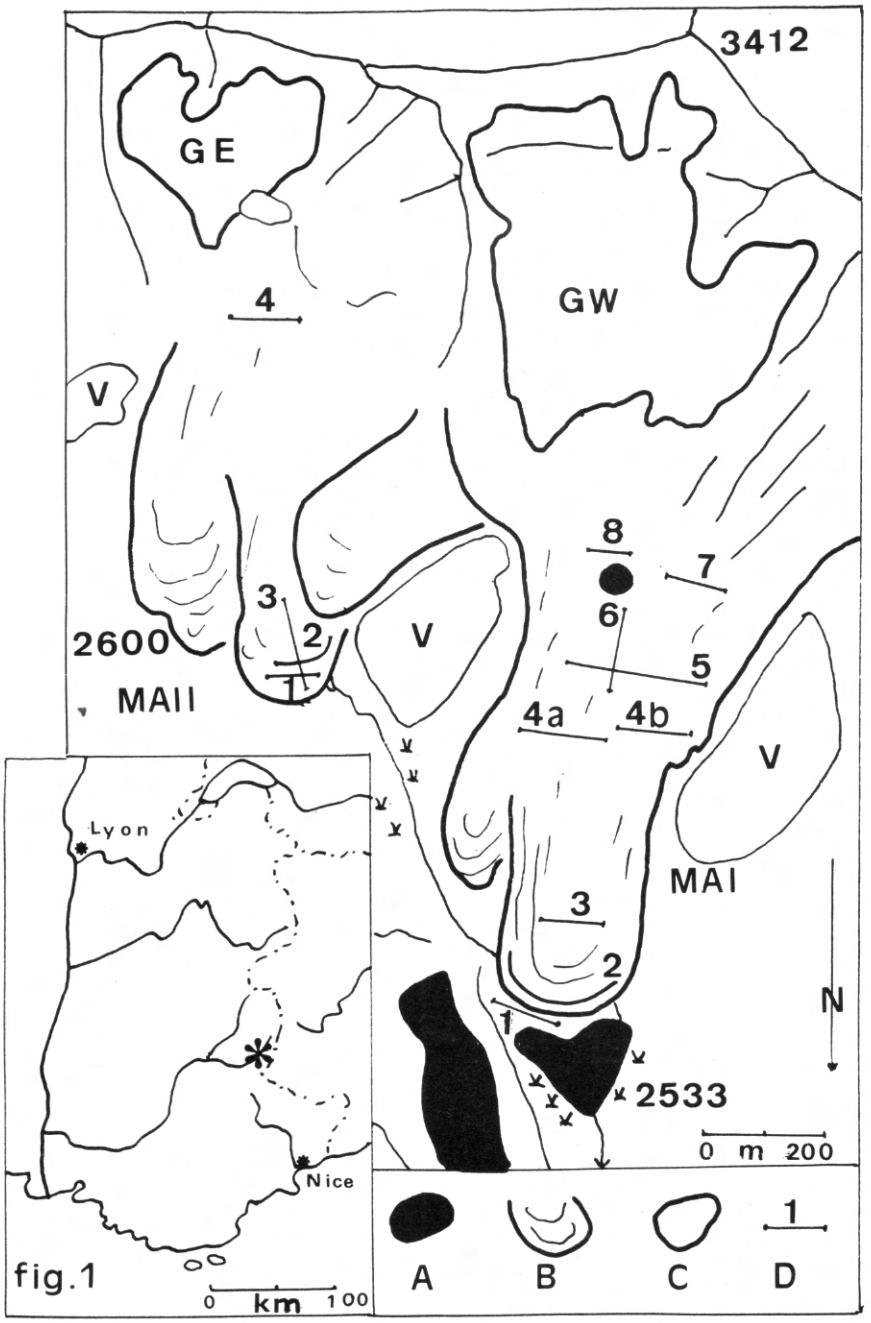


Fig. 1.- Carte de localisation des glaciers rocheux de Marinet et emplacements des sondages électriques.
A : lacs
B : glaciers rocheux
C : glaciers
D : emplacement des sondages électriques.
- 1,2,3,... numéros des sondages
- MA I : glacier rocheux de Marinet I (Ib : lobe latéral E).
- MA II : glacier rocheux de Marinet II
- M : glacier rocheux dit «le Mur»
- GW : Glacier Occidental de Marinet
- GE : Glacier Oriental de Marinet
- 3412 m : sommet de l'Aiguille de Chambeyron
- V : verrou de quartzite

Fig. 1.- Sketchmap of the Marinet rock glaciers and location of the electrical resistivity soundings.
A : lakes
B : rock glaciers
C : glaciers
D : location of the electrical resistivity soundings
- 1,2,3,... number of the soundings
- MA I : the Marinet I rock glacier
- MA II : the Marinet II rock glacier
- M : the «Mur» rock glacier
- GW : the Western Glacier
- GE : the Eastern Glacier
- 3412 m : the Aiguille de Chambeyron summit
- V : quartzitic rock bar.

Photo 1 - Vue générale des glaciers et des glaciers rocheux de Marinet depuis l'Aiguille Large de Marinet (Cliché Camus, 1980).

Plate 1 - The Marinet glaciers and rock glaciers from the Aiguille Large of Marinet.

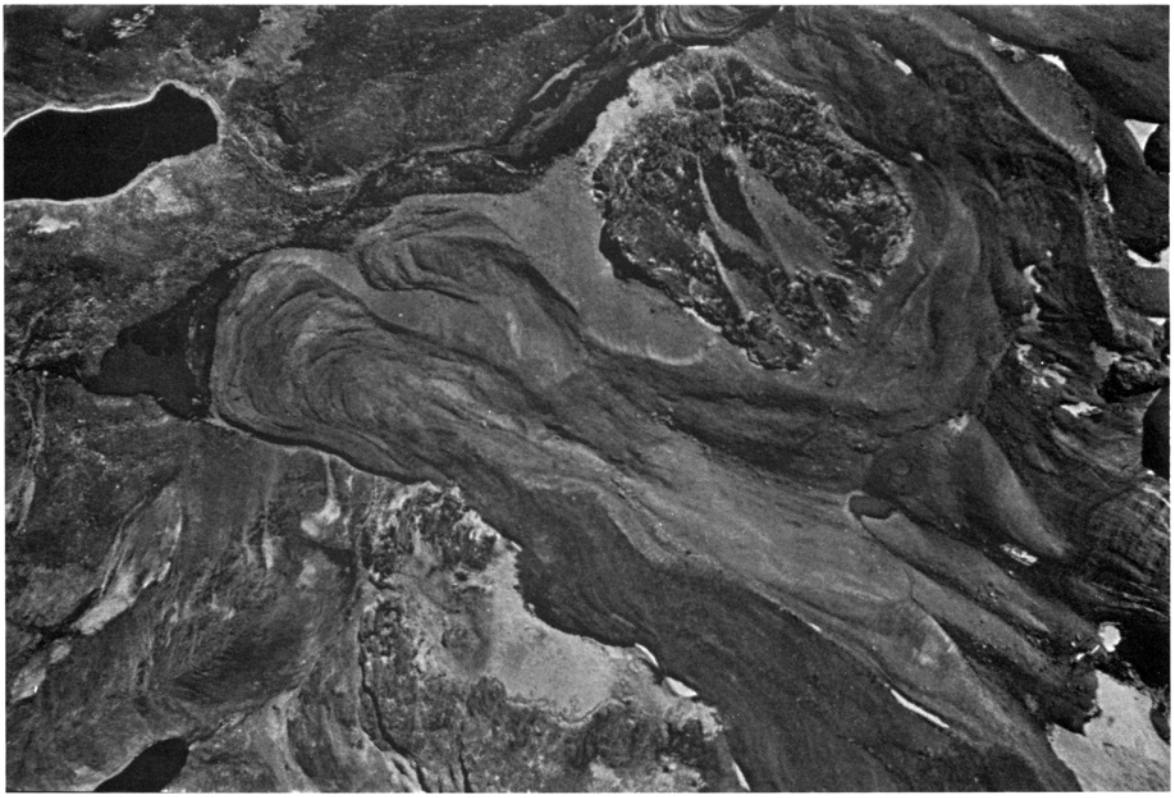


Photo 2 - Vue aérienne des glaciers rocheux de Marinet I (le Nord est à droite).

Plate 2 - Aerial view of the Marinet I rock glaciers (the North is on the right).

Ces accumulations sont bordées par un rempart latéral très marqué qui, en rive gauche de Marinet I est continu depuis la paroi de l'Aiguille de Chambeyron. A l'approche du front, la hauteur de ce rempart augmente (15 à 20 m à Marinet I et Ib). Les fronts sont raides et instables, couronnés de gros blocs, tandis que réapparaît le matériel fin sous-jacent. Des tensions importantes ont encore lieu dans ces fronts : témoin l'éjection d'un bloc métrique entre 1980 et 1984 à Marinet I.

Fait unique à notre connaissance, les deux glaciers rocheux principaux de Marinet se sont immobilisés dans des zones lacustre (Marinet I) ou de remblaiement lacustre (Marinet II). Une bonne partie du front de ce dernier a ainsi disparu dans le remblaiement silto-argileux qui a été soulevé d'environ 3-5 m et exondé (photo 4). Des sondages géoélectriques ont montré qu'un surcreusement de 15 m existait sous le petit lac de Marinet I, à 2533 m d'altitude. Les glaciers rocheux de Marinet se sont immobilisés dans des lacs comblés ou en voie de comblement à lits alternativement graveleux et silto-argileux.

2 . Les documents anciens

Marinet a toujours attiré les chercheurs et gagné la faveur des touristes en raison de la beauté de ses paysages et de l'attrait qu'exerçaient les glaciers, déjà méridionaux.

a . Les cartes

La cartothèque de l'Institut Géographique National (I.G.N.) à Saint-Mandé possède, parmi bien d'autres, un document exceptionnel, datant de 1778. Il s'agit des Minutes de Bourcet, où sont mentionnés les «Lacs et glacières de Chillœul» (du nom du plateau voisin de Chillol à l'Ouest (photo 5).

Nous pouvons reconstituer les glaciers de Marinet et leur évolution à partir du cadastre de 1842 qui présente une bande de glace dont le front atteignait 2700 m. Cela peut être exact, mais la forme en une masse de glace unique au front rectiligne est sujette à caution et pas du tout en accord avec la topographie du réceptacle. Glaciers proprement dit et névés, «les glacières» ont dû être comptabilisés de la même façon. Les minutes de la carte d'Etat-Major datant de 1854 montrent un glacier unique avec quelques indentations. Elles ont surtout le mérite de figurer en hachures assez grossières les accumulations frontales, dans la même localisation que de nos jours : le glacier rocheux de Marinet I atteint indubitablement le lac !

Avec les levés de 1895 pour la carte en courbes de niveau, commence la cartographie moderne. Les deux glaciers, reliés entre eux par des névés pérennes aux racines, émettent chacun une petite langue qui descendait vers 2620 m (document publié dans M. Evin et J.L. de Beaulieu, 1985), à mi-hauteur du verrou de quartzite. A l'aval s'individualisent nettement d'importantes accumulations à Marinet I et Ib, celles de Marinet II étant moins bien figurées.

A partir de 1920 (plan du Garde Général des Eaux et Forêts Genêt et Pl. VIII de Mougin, 1927), l'intérêt se porte surtout sur les glaciers.

b . Les clichés

Nous avons patiemment recherché les clichés anciens, principalement dans la vallée de l'Ubaye ou dans les collections publiques.

Le cliché le plus ancien date du 9 septembre 1898 (Collection de Cessole, Musée Masséna, Nice). Il montre un glacier encore épais et noir vers le front qui atteint environ 2680 m d'altitude et *recouvre* le glacier rocheux. Les racines du glacier rocheux de Marinet Ib sont ébréchées par l'exutoire du glacier. Les parois de l'Aiguille de Chambeyron sont tapissées de cônes de neige blanche et crevassée (zone d'accumulation), sauf à l'Ouest où neige et débris se mélangent.

Les clichés plus récents (voir bibliographie) montrent une décrue, continue dans son ensemble, saccadée dans ses modalités. La photo 6 (Collection privée) permet de voir les masses de glace morte qui noyauteraient la moraine de Marinet I, dans l'enracinement, le glacier fort sale et à zone d'accumulation restreinte en 1923, ainsi que des formes de cryokarst (petits lacs).

ETUDES ET MESURES

1 . Evolution des glaciers situés à l'amont

Depuis les comptes rendus de W. Kilian (1901) et l'affolement qui a gagné les observateurs d'une décrue brutale à la charnière des XIX° et XX° siècles, les glaciers de Marinet ont, certes, reculé (front actuel de Marinet I à 2750 m, glacier assez épais et très couvert ; front actuel de Marinet II vers 2800 m, glacier mince et peu couvert), mais ils ont surtout perdu de l'épaisseur, plus particulièrement au cours des années 1980 où les bilans ont presque toujours été déficitaires. Le stock de glace a été attaqué sur 5-10 m d'épaisseur dans la partie frontale de Marinet I. La perte d'épaisseur à Marinet II est de 7 m en 20 ans (1964-1984), puis 6 m en 4 ans (1984-1988) (A. Assier, 1985).

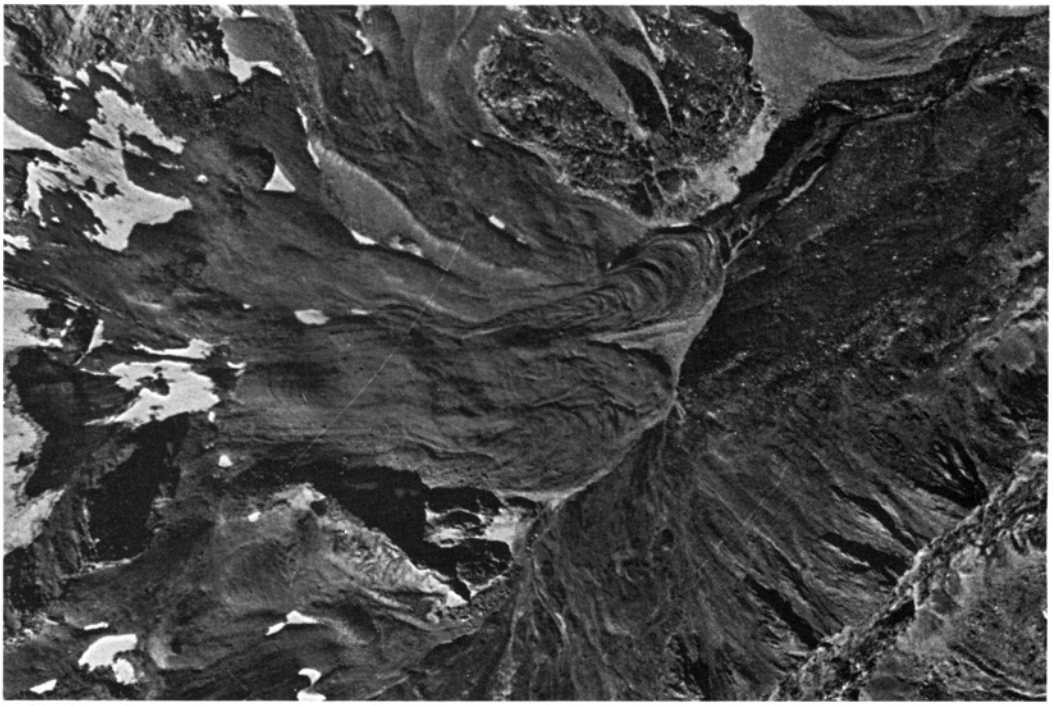


Photo 3 - Vue aérienne des glaciers rocheux de Marinet II (le Nord est à droite).

Plate 3 - Aerial view of the Marinet II rock glaciers (The North is on the right).

Photo 4 - Minutes de Bourcet (1778). Le lac de Marinet est à peu près au centre du cliché.

Plate 4 - Minutes de Bourcet (1778). The lake of Marinet is in the middle of the photograph.

Si l'on s'en tient strictement aux limites thermiques, les fronts des glaciers de Marinet se situent hors de la zone de pergélisol (température moyenne annuelle de l'air voisine de -1°5C à -2°C - W. Haeberli, 1985 ; D. Barsch, 1988). A Marinet II le manque d'encaissement au front, l'altitude plus basse des crêtes encadrantes sont défavorables ; à Marinet I, l'encaissement de 100 m derrière un verrou et l'ombre portée de l'Aiguille de Chambeyron (3412 m) permettent une meilleure conservation des glaces enfouies, quelle que soit leur origine, et un recul ralenti du glacier dans un micro-climat froid.

2 . Les types de glace rencontrés aux racines de Marinet I

L'enracinement est un site privilégié pour mieux saisir les origines de la glace qui peut s'incorporer au glacier rocheux, situé immédiatement à l'aval.

On trouve tout d'abord, reposant en surface, des noyaux de *glace* coupés du *glacier* lors du rapide retrait du début du siècle. Ils fondent lentement sous une couverture de blocs relativement mince, engendrant des glissements, des tassements, des formes de cryokarst.

Un peu partout, entre les blocs, au-dessus de 2750 m de la *glace de regel* est présente. Lorsqu'elle est enfouie, elle est décelable comme les autres glaces par mesure de la résistivité électrique (voir ci-après).

Au pied des parois, les cônes d'avalanche qui alimentaient le glacier ont disparu dans la partie W de Marinet I. On assiste, actuellement, à l'incorporation du *névé*, qui ne fond pas entièrement au cours de la saison, aux éboulis. Par tassement et fusion-regel, le mélange se compacte et se déplace vers l'aval. C'est l'un des principaux modes d'alimentation en glace des glaciers rocheux. La partie W du cirque occidental de Marinet I, précocement déglacée contribue largement à alimenter le glacier rocheux.

Les trois conditions essentielles pour la fourniture de matériel aux glaciers rocheux sont :

- l'existence d'une haute paroi délitée soumise aux alternances gel-dégel assurant un important apport en blocs,
- la formation de cônes d'avalanche, pas assez bien alimentés en neige pour donner un glacier,
- l'existence de températures moyennes assez basses pour que le mélange blocs-neige se transforme et se conserve : conditions de *pergélisol.* D'après ce que nous savons du climat et de l'activité des glaciers rocheux en haute-Ubaye (M. Evin et A. Assier, 1983b), ces conditions sont réalisées à 2850 m ± 50 m, donc à Marinet I, au-dessus du petit lac de cryokarst.

A côté des masses de glace, on trouve, dans le cirque supérieur de Marinet, du *gélisol* saisonnier ou pluri-annuel. Les matériaux fins, sables et silts, sont gelés durant une bonne partie de l'année. Il est fort probable que lors d'une succession d'années fraîches, ce gélisol ne fonde pas entièrement et contribue ainsi à créer un nouveau pergélisol qui cimente les éboulis en bordure des taches de neige pérenne. Ces névés permanents sont d'ailleurs un indicateur de la proximité du pergélisol plus ou moins discontinu (W. Haeberli, 1985).

Ainsi, la cryosphère dans la zone radicale du glacier rocheux de Marinet I est-elle extrêmement riche d'éléments variés, dont certains (glace de regel enfouie, pergélisol) ne sont détectables que par des méthodes indirectes : mesures en hiver des températures à la base du manteau neigeux «B.T.S. system» ou méthodes géophysiques.

3 . Mesures diverses effectuées sur les glaciers rocheux et les glaciers de Marinet.

a . Les mesures permettant de mettre en évidence le mouvement

Faute d'avoir eu les moyens de réaliser une restitution photogrammétrique d'ensemble, nous avons effectué des mesures au théodolite à l'amont (mesures de déplacements) et divers balisages à l'aval.

- Les mesures au théodolite

Elles portaient essentiellement sur les vitesses d'écoulement au front du glacier couvert : 3 à 6 m/an selon les endroits et les années (A. Assier, 1986), mais aussi en partie, sur la couverture morainique située à l'aval et en rive gauche du glacier couvert (fig. 1. - amont du 7). Le front du glacier est bien délimité et s'achève en biseau sur des sédiments gelés. Les bandes longitudinales diversement colorées - gris foncé, gris clair, rose - en accord avec la lithologie de l'Aiguille de Chambeyron sont en fait noyautées de glace (dont la nature reste à préciser grâce à de nouveaux sondages). Sur ces bourrelets longitudinaux les vitesses vers l'aval sont faibles en raison de la pente modérée, voire même d'une contrepente du lit rocheux, liée à un surcreusement à l'amont du lac de cryokarst : de l'ordre de 10 à 30 cm/an, vitesses conformes à celles mesurées ailleurs sur des glaciers rocheux sud alpins (M. Evin et A. Assier, 1982 - M. Evin et A. Assier, 1983b).

- Les balisages

Un grand alignement transversal a été réalisé en

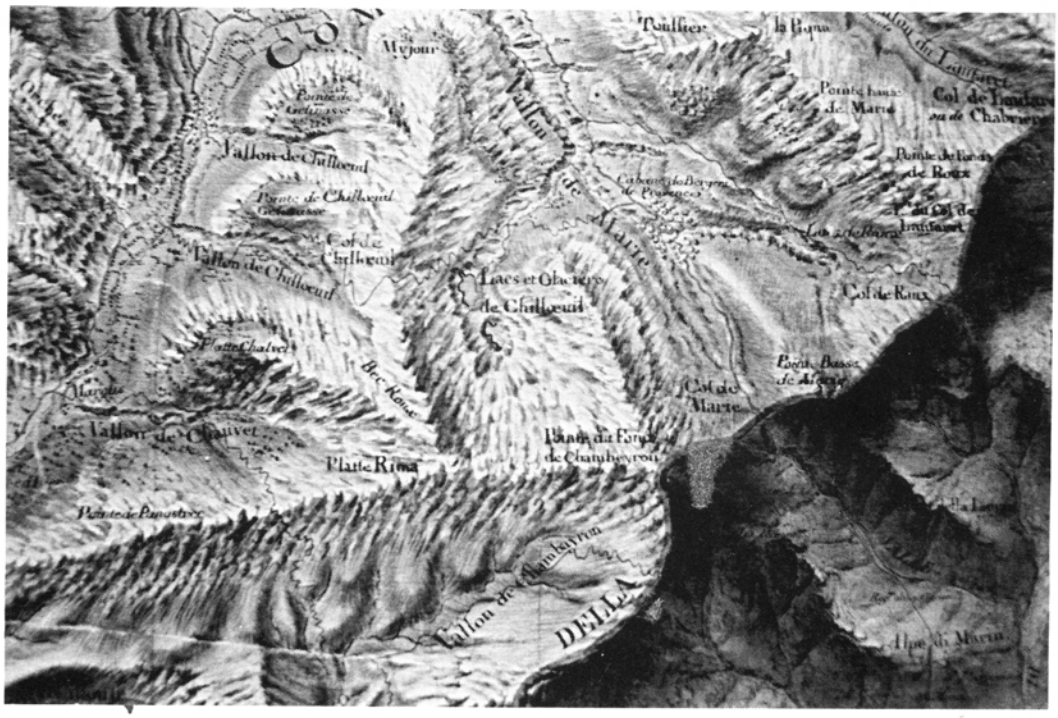


Photo 5 - Le front du glacier rocheux de Marinet II a bousculé les argiles lacustres. En haut, à droite, glacier rocheux du «Mur».

Plate 5 - The snout of the Marinet II rock glacier has folded the lacustrine clays (on the right, in the upper part, «le Mur» rock glacier).

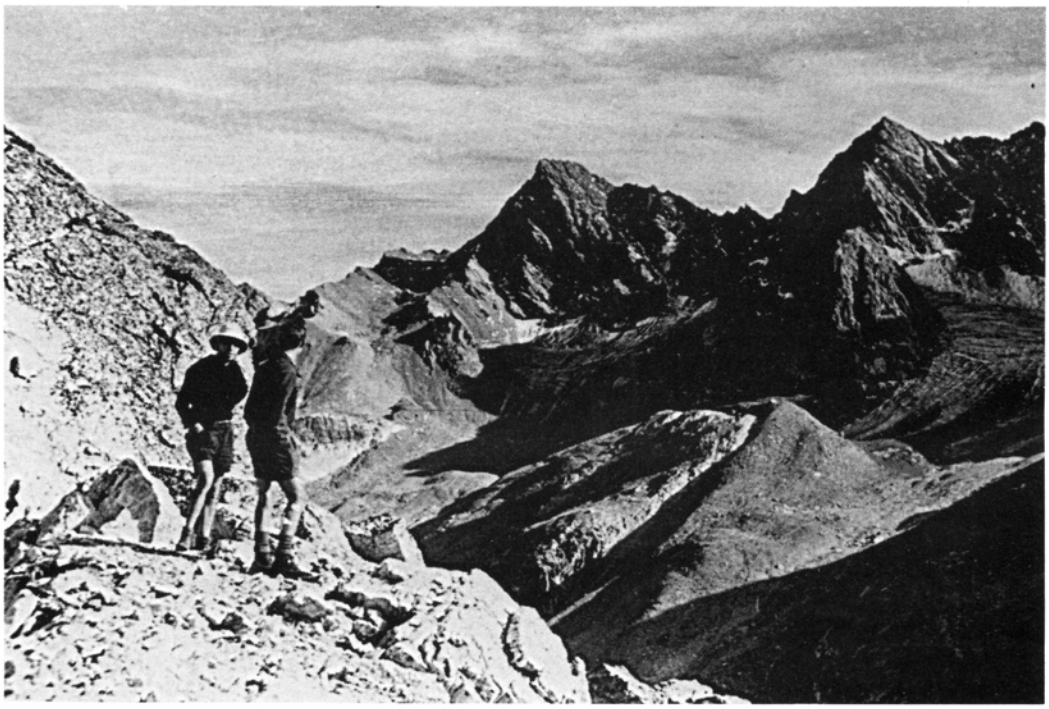


Photo 6 - Les glaciers de Marinet (1923). Ils sont partiellement recouverts de blocs et des formes de cryokarst se remarquent non loin du front du glacier occidental (à droite).

Plate 6 - The Marinet rock glaciers (1923). They are partially covered with blocks and cryokarst features are visible near the snout of the Western Glacier (on the right).

1979, dans un secteur à pente faible, à l'amont de la langue à bourrelets arqués. Aucun déplacement notoire n'a été relevé à ce jour, le glacier rocheux semblant immobilisé au front (Marinet I, Ib et II). Cependant, des tensions existent et une bonne partie des blocs marqués au sommet du front a dégringolé dans les cinq années suivant leur repérage. La base du front est immobilisée depuis longtemps comme en témoignent les blocs enchassés dans la pelouse et couverts d'inscriptions réalisées par des bergers dont une de 1894. La valeur de cette inscription a paru telle aux yeux de certains que la pierre, pourtant de dimensions respectables, a été subtilisée entre 1989 et 1990 !

Une autre preuve d'un mouvement passé est donné par le bousculement des argiles frontales, épaisses d'une quinzaine de mètres qui ont été déformées et ondulées dans leur partie superficielle, puis exondées de 3 m environ (M. Evin et J.L. de Beaulieu, 1985).

b. Rappel de quelques autres mesures

Les glaciers rocheux de Marinet ont fait l'objet de nombreuses mesures depuis 1979 :

- colorations à la fluorescéine pour repérer les trajets des eaux proglaciaires et les vitesses d'écoulement sous les glaciers rocheux (M. Evin et A. Assier, 1983a),
- levé d'un profil transversal au glacier oriental de Marinet pour quantifier la perte d'épaisseur depuis 1964 (A. Assier, 1985), avec l'aide de personnels de l'Office National des Forêts (O.N.F.),
- analyse chimique des eaux issues des glaciers rocheux (M. Evin, 1984),
- sondage palynologique permettant de préciser les phases de la mise en place du glacier rocheux (M. Evin et J.L. de Beaulieu, 1985),
- mesure des températures des sources des glaciers rocheux, ces températures étant indicatrices de la présence de pergélisol (M. Evin, 1984).

4. Mesures de résistivité électrique effectuées sur les glaciers rocheux de Marinet.

a. Les mesures

Deux campagnes de mesures ont été entreprises au cours des étés 1986 et 1988. En 1986, nous avons réalisé une investigation complète de Marinet I et Marinet II par sondages électriques ; en 1988 une mesure de vérification du sondage aval de Marinet I (MAI 2 - fig. 1).

Le matériel utilisé est un appareil portatif conçu pour travailler dans les milieux à haute résistivité, le BM 1, fabriqué par Maatel à Grenoble.

Les sondages ont été réalisés selon le dispositif de Schlumberger avec AB/2 ≤ 150 m, quand les conditions topographiques le permettaient, soit transversalement, soit longitudinalement (fig. 1).

Le procédé est simple dans son principe en ce sens qu'il joue sur les grandes différences de résistivité qui existent entre des matériaux non-gelés ou diversement gelés. Près de 100 sondages électriques ont été réalisés à ce jour, dans la chaîne alpine, par notre équipe (M. Evin et al. 1987 - M. Evin et al. 1990a, b et c) ; une grande partie de ces travaux est encore inédite. Ils nous ont permis d'affiner la méthode et de proposer une échelle de résistivité pour les accumulations gelées en fonction de leur teneur en glace. Une expérimentation est actuellement en cours à Grenoble pour mesurer la résistivité des graviers, sables et silts gelés, en fonction de la température, ce qui permettra d'affiner encore la méthode géophysique.

Le pergélisol a une résistivité intermédiaire entre celle de sédiments non-gelés et celle de la glace pure. Elle varie beaucoup selon le pourcentage de glace, sa nature ainsi que sa température. Les valeurs mesurées dans les glaciers rocheux sont :

- de 10 000 à 280 000 Ω m selon des sondages effectués de 1952 à 1960 lors de la construction de Grande Dixence en Suisse (W. Fisch et al. 1978),

- de 50 000 à 750 000 Ω m pour les glaciers rocheux de Gruben et Murtèl I, en Valais et en Engadine (L. King et al. 1987). Ces valeurs correspondent à du pergélisol riche en glace (50 à 70%) à des températures voisines de -1°C (W. Haeberli, 1985).

Le matériel non-gelé (couche active, éboulis) présente des résistivités de 1 000 à 20 000 Ω m (valeurs mesurées par notre équipe, en 1986 dans des sables, des éboulis,...). Les valeurs usuelles se situent entre 2 000 Ω m et 8 000 Ω m.

Les valeurs données dans la littérature pour la glace pure vont de 2 M Ω m pour la glace fondante à 10-50 et même 100 M Ω m selon les auteurs et les sites de sondage (L. King et al., 1987). Nous avons nous-mêmes mesuré des valeurs de plusieurs millions d'Ω m sur les cônes de glace couverts de débris du Viso au cours de l'été 1989.

Sur les glaciers rocheux de Marinet dix sondages ont été réalisés (fig. 1), plus un dans la tourbière de Marinet I pour en préciser la profondeur. Ce dernier étant mis à part, les autres sondages concernent tous en surface un sol grossier constitué d'éboulis non-gelés. Installer les électrodes et faire passer le courant

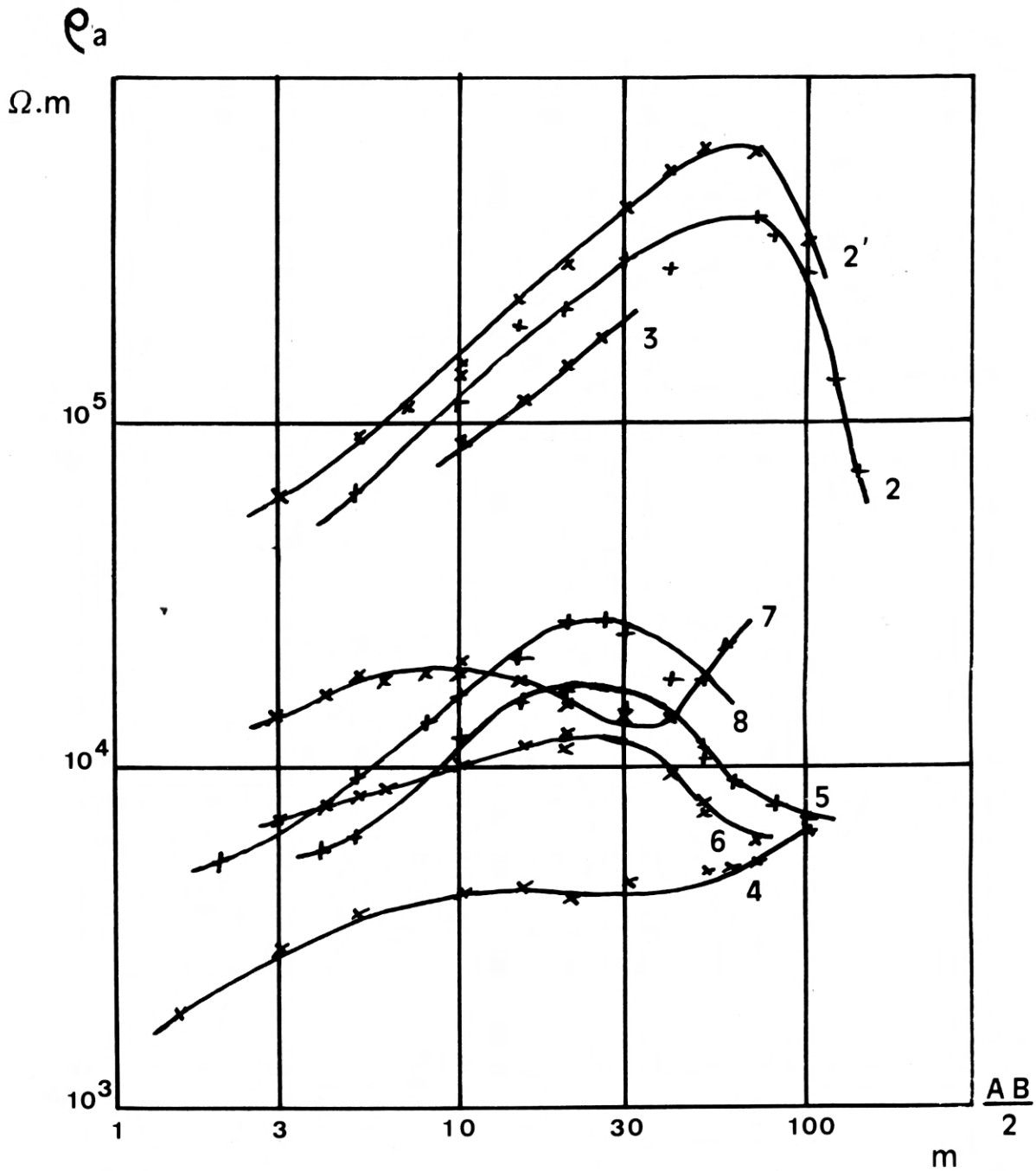


Fig. 2.- Répartition du pergélisol dans les glaciers rocheux de Marinet.

1 : glace de glacier
2 : sédiment gelé riche en glace (pergélisol)
3 : sédiment gelé modérément riche en glace
4 : pas de sondage électrique
5 : sondage (pas de glace détectée ou pergélisol contenant très peu de glace)
6 : glace d'origine indéterminée
7 : marécages, tourbières
8 : argiles lacustres bousculées

Fig. 2.- Distribution of permafrost in the Marinet rock glaciers.

1 : glacier ice
2 : perenially frozen ice rich sediment (permafrost)
3 : perenially frozen moderatly ice rich sediment
4 : No electrical sounding
5 : electrical sounding (no ice detected or very ice poor sediment)
6 : unknown origin ice
7 : swamps, bogs
8 : folded lacustrine clays

dans un tel milieu n'est pas chose aisée. Cependant les résultats obtenus sont satisfaisants et les courbes de sondage obtenues, tracées en termes de résistivité apparente ρ_a en fonction du demi-écartement des électrodes AB/2, peuvent être interprétées au moins de manière semi-quantitative.

b. Les résultats et leur interprétation

La figure 4 présente quelques-unes des courbes obtenues sur le site du glacier rocheux de Marinet I.

Nous nous attarderons tout d'abord sur le sondage frontal MA I 2 réalisé en 1986 et qui a été reproduit en un site très voisin en 1988 (MA I 2'). Il s'agit d'une forme de tricouche caractéristique :

- *première couche* : elle est épaisse de 1,5 à 2 m (la sismique indique la présence d'une masse plus compacte à 2 m de profondeur). Il s'agit de la couche active dégelée en été du glacier rocheux, en matériel très grossier, à structure openwork, et à résistivité très élevée pour une couche non-gelée : 15-25 000 Ω m ;

- *deuxième couche* : il s'agit d'un «mélange» très riche en glace ou même d'un noyau de glace massive (1 à 1,5 M Ω m), épais d'une vingtaine de mètres ;

- *troisième couche* : avec 4 points de descente sur la courbe, on peut estimer que le substrat à moins de 10 000 Ω m de résistivité n'est pas loin (lit rocheux).

Si l'on examine maintenant les sondages de la partie centrale (4, 5 et 6) on s'aperçoit que les courbes sont très différentes :

- le sondage 4 donne des résistivités inférieures à 10 000 Ω m qui ne peuvent être attribuées à une couche comportant même un très faible pourcentage de glace ;

- les sondages 5 et 6 en forme de tricouches montrent une partie ascendante avec une résistivité de deuxième couche nettement plus faible qu'au sondage 2 (90 000 Ω m à MA I 5 et encore moins à MA I 6). Il ne peut s'agir ici tout au plus que d'un pergélisol peu riche en glace. Rien à voir donc avec le matériau trouvé dans la zone frontale.

Si nous remontons maintenant vers les racines du glacier rocheux, nous retrouvons avec les sondages MA I 8 et MA I 7, des matériaux plus franchement gelés. A MA I 8, ceux-ci, épais d'une dizaine de mètres, ont une résistivité comparable à celle trouvée à MA I 5 et correspondent à un pergélisol pauvre en glace. Mais la coupe la plus complexe est fournie par le sondage MA I 7 :

- *première couche* : 3 m à 14 000 Ω m, soit une couche active dégelée, à résistivité élevée en raison de la taille des blocs et de l'importance des vides ;

- *deuxième couche* : 4 à 7 m à 30 Ω m - 50 000 Ω m. Il s'agit de débris gelés mais la teneur en glace reste faible ;

- *troisième couche* : environ 20 m à 8 000 Ω m. Epaisse couche dégelée peut-être saturée en eau dont la température doit être proche de celle de la glace fondante ;

- *quatrième couche* : à 30 m de profondeur, on retrouve une couche constituée de pergélisol plus riche en glace (que l'on peut aussi supposer à température plus basse), à plus de 300 000 Ω m, voire de glace massive plus ou moins pure. Il faudrait un sondage plus long pour en préciser la nature et l'épaisseur.

Avec ce sondage on est proche de la zone radicale («rooting zone») où pergélisol et glaces d'autres origines s'entremêlent. On passe ici du système glaciaire au système périglaciaire, d'où la complexité et la variété des couches rencontrées.

Mais le point principal à retenir de cette prospection est qu'elle montre clairement à 2 550 m d'altitude, juste en arrière du front du glacier rocheux de Marinet I, la présence d'une importante masse de glace plus ou moins pure et coupée de ses racines. Ceci se confirme à Marinet II où on trouve, de manière un peu moins nette il est vrai, une masse de glace à résistivité très élevée (600 000 Ω m) dans la partie frontale, alors que vers la zone radicale le sondage MA II 4 correspond à un sous-sol non-gelé.

Fait surprenant donc a priori, les glaciers rocheux de Marinet possèdent, très proche de leur front, des amas de pergélisol très riche en glace, voire de glace massive, alors que le corps du glacier rocheux est dégelé ou ne contient plus qu'une très petite quantité de pergélisol probablement proche du point de fusion.

Ce résultat confirme ce que l'on a pu observer à Chambeyron, en Ubaye, au Viso : le pergélisol interne des glaciers rocheux se forme en grande partie, à l'amont des glaciers rocheux, par enfouissement sous les débris de névés qui n'ont pas entièrement fondu au cours de l'été. Si les conditions sont assez rigoureuses (et la masse de débris assez importante) toute l'accumulation se gorge de glace, se gonfle,

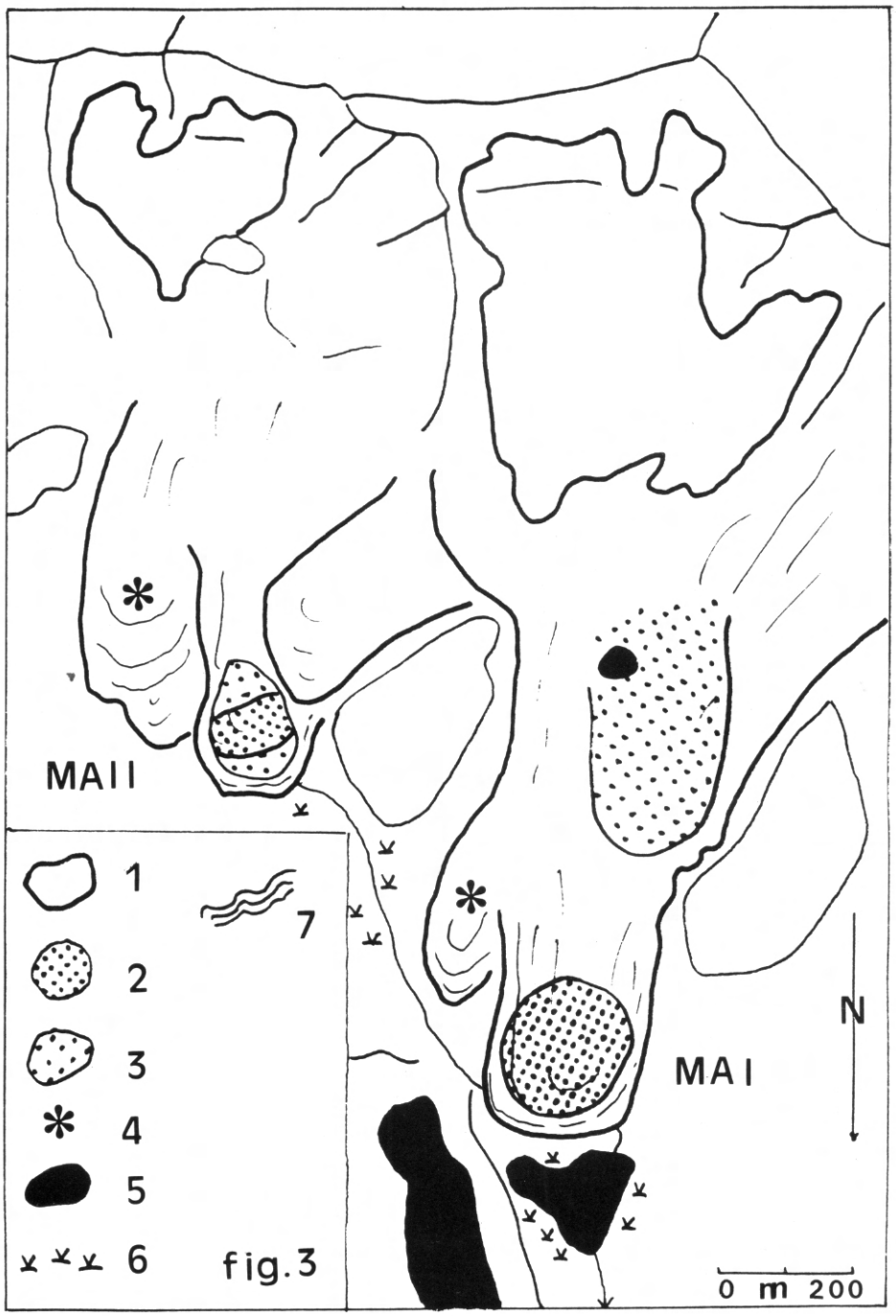


Fig. 3.- Coupe des glaciers rocheux de Marinet I et Marinet II montrant la répartition du pergélisol.

1 : glace de glacier
2 : sédiment gelé riche en glace (pergélisol)
3 : sédiment gelé modérément riche en glace
4 : pas de sondage électrique
5 : sondage (pas de glace détectée ou pergélisol contenant très peu de glace)
6 : glace d'origine indéterminée
7 : marécages, tourbières
8 : argiles lacustres bousculées

Fig. 3.- Section across the Marinet and the Marinet II rock glaciers showing permafrost distribution.

1 : glacier ice
2 : perenially frozen ice rich sediment (permafrost)
3 : perenially frozen moderatly ice rich sediment
4 : No electrical sounding
5 : electrical sounding (no ice detected or very ice poor sediment)
6 : unknown origin ice
7 : swamps, bogs
8 : folded lacustrine clays

puis le réservoir ainsi constitué se met à fluer. A Martinet I, la masse de pergélisol déborde du cirque supérieur, à l'W du lac de cryokarst (profils 5 et 7, fig. 1). A l'E de ce lac, les conditions sont défavorables pour le pergélisol : peu d'alimentation venant des parois, présence d'un glacier à l'amont, altitude faible (2740 m). Le pergélisol reste actuellement profondément enfoui (cf. L. LLiboutry, 1960, formation des «glaciers enterrés») et ne s'exprime pas par le fluage des glaciers rocheux.

On peut interpréter la glace de la deuxième couche du sondage MA I 7 comme le gel saisonnier ou pluri-annuel s'exerçant sur le matériel morainique laissé en place lors du retrait du glacier. Lorsqu'il y a moins d'un siècle le glacier occupait ce site, il reposait sur une trentaine de mètres de sédiments soit dégelés, soit à faible teneur en glace et à température proche de 0°C. Ce fait est tout à fait en accord avec l'existence d'un glacier épais d'une centaine de mètres à la Petite Période Glaciaire sous lequel ces sédiments ont pu subsister.

Le pergélisol profond que l'on rencontre à -30 m (MA I 7) est un héritage. Peut-on raccorder cette masse gelée profonde avec le noyau frontal ? Cela paraît difficile à cause de la très grande différence de résistivité.

A Marinet II, comme à Marinet I, l'extension d'un glacier partiellement tempéré (froid sur ses marges, voir M. Evin, 1987), assez épais et recouvrant le glacier rocheux jusque vers 2650 m a soit fait fondre, soit plus probablement modifié les conditions thermiques du pergélisol (réchauffement de la partie supérieure jusqu'aux alentours de 0°C), ne laissant en place que le noyau frontal très riche en glace. Nous avons une preuve supplémentaire que le glacier était partiellement tempéré à sa base puisqu'il a laissé à Marinet II des moraines moulurées («fluted moraines»), signe de glissement et de déformation à la base de sédiments non gelés (W. Haeberli, 1979).

Non recouvert par un glacier, le noyau gelé situé à proximité du lac à Marinet I et à 2600 m à Marinet II n'a pas subi de modifications aussi radicales que le pergélisol qui a été recouvert par la masse glaciaire et a subi les attaques des eaux de fusion glaciaire. Malgré une altitude relativement basse, les fronts des glaciers rocheux se trouvent encore dans des conditions très favorables à l'existence du pergélisol (micro climat froid au fond du cirque de Marinet ?), la couche active étant, pour l'instant, d'épaisseur réduite (1,5 à 2 m). Nous ne pouvons pas encore apporter de précisions quant au réchauffement actuel du climat et à ses effets sur le pergélisol.

DISCUSSION

L'étude approfondie du cirque de Marinet et les mesures qui y ont été réalisées nous permettent de mieux connaître la structure interne des glaciers rocheux, éclairent les liens existant entre glacier et glacier rocheux, posent la question de la mise en place de ces formes, en grande partie héritées.

1. La structure interne des glaciers rocheux de Marinet est originale

Parmi les nombreuses formes que nous avons sondées, certaines ne contenaient plus de glace, d'autres étaient entièrement gelées. Trois exceptions se présentent : les deux glaciers rocheux de Marinet et celui de Sainte-Anne en Queyras (M. Evin et al. 1990c). Dans les trois cas nous avons la preuve que les glaciers rocheux ont été réoccupés par un glacier, dans leur partie haute, à la Petite Période Glaciaire. Il semble que l'on puisse invoquer la présence d'un glacier plus ou moins étendu pour expliquer la fusion ou la modification des conditions thermiques du pergélisol dans la partie centrale des glaciers rocheux.

2. Les liens glacier-glacier rocheux

Si la question a été brûlante au cours des années 80, il semble bien qu'en 1988 «the highly contentious problems concerning relationship between glaciers and rockglaciers seems to be solved» (D. Barsch, 1988, p. 86).

L'analyse approfondie de la question à Marinet, grâce aux clichés anciens montrant un glacier encore épais en 1898 et aux sondages électriques permet de préciser les relations glacier/glacier rocheux. Le glacier rocheux existait bien avant la Petite Période Glaciaire. Sa langue était descendue jusque vers 2550 m d'altitude venant se bloquer dans un surcreusement voisin du lac. Là où le glacier a stationné longtemps au cours de cette période, il a modifié les caractéristiques du pergélisol. Il reste du pergélisol ancien assez riche en glace profondément enfoui. Nous en ignorons l'épaisseur exacte qui peut être grande en raison de la possibilité de surcreusement du cirque supérieur. Ce pergélisol profond est surmonté du pergélisol modifié pauvre en glace et/ou «tiède» (ou de zones dégelées).

3. Les modalités de la mise en place

Nous avons proposé un âge au moins Subboréal (antérieur à 2800 BP) pour la mise en place des glaciers rocheux de Marinet (M. Evin et J.L. de Beaulieu, 1985).

Les phases climatiques qui voient la mise en place de glaciers rocheux présentent des caractéristiques différentes de celles favorables à l'installation de glaciers. Dans un contexte général de montagne sèche, lorsque l'apport en neige est suffisant, même s'il existe un important apport en blocaille, il se forme un glacier, couvert de débris vers le front. Si les précipitations diminuent, il n'y a plus assez de neige pour former un glacier, et si dans le même temps les températures s'abaissent, le peu de neige qui tombe subsiste grâce à la rigueur des températures. Elle s'enfouit sous les blocs formant le mélange neige/blocs caractéristique du pergélisol plus ou moins riche en glace, le plus souvent au pied des couloirs et des hautes parois qui fournissent les deux constituants. Dans ces montagnes à influence méditerranéenne, l'amplitude thermique reste forte, favorisant les alternances gel-dégel et le regel durant la nuit des eaux de fusion diurnes. Le glacier rocheux s'enrichit ainsi de différents types de matériaux gelés : neige compactée, glace de fusion-regel, lentilles de glace de ségrégation, sables et silts gelés,...

L'histoire climatique post-würmienne nous propose peu de périodes favorables au développement de grands glaciers rocheux. Les oscillations fraîches, mais plutôt humides de l'Holocène semblent peu propices. Le dernier épisode très froid et très sec est le

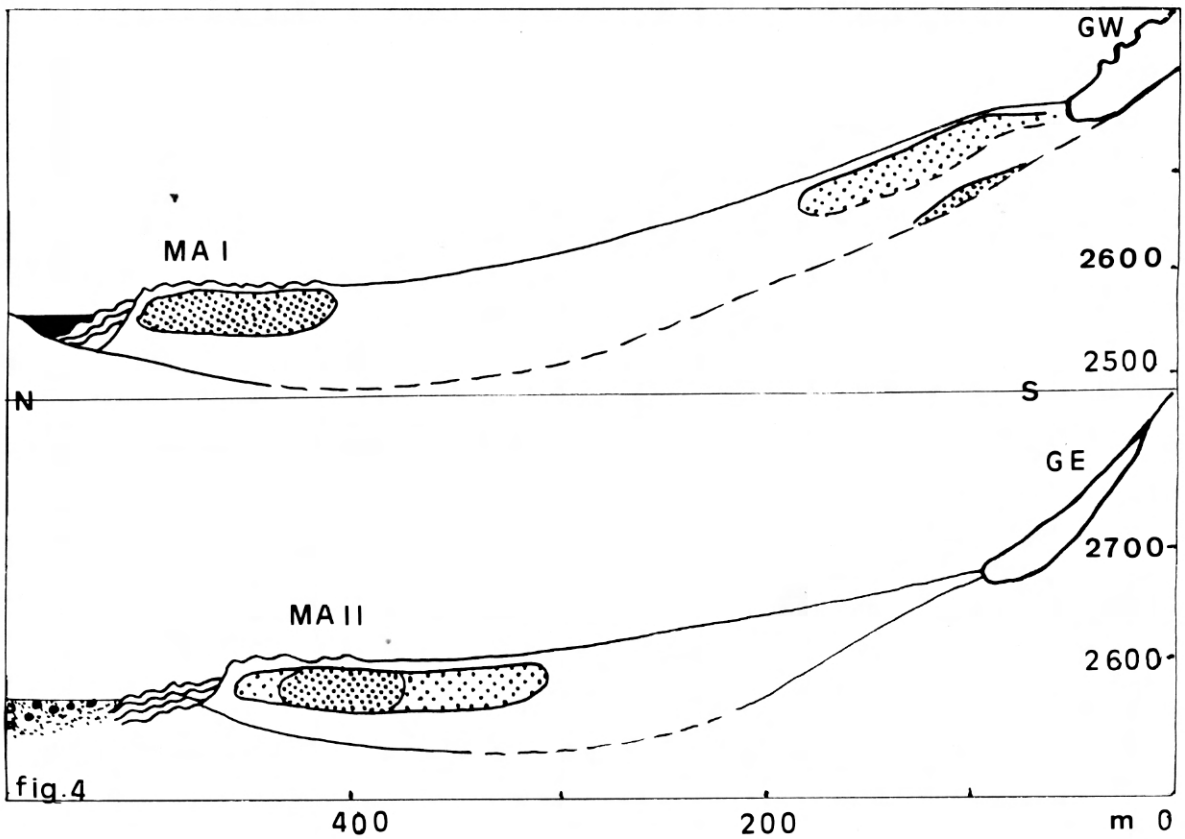


Fig. 4.- Courbes de résistivité électrique sur le glacier rocheux de Marinet I :
- MAI 2 (partie inférieure du glacier rocheux) avec des valeurs élevées de résistivité (glace massive ?) et une nette partie descendante.
- MAI 8 (partie supérieure) avec du pergélisol pauvre en glace
- MAI 4 dans la partie centrale, sans glace (ou avec pergélisol «tiède»)
- MAI 7 (zone radicale). Site le plus complexe avec pergélisol modérément riche en glace puis pergélisol profond riche en glace (partie ascendante).

Fig. 4.- Electrical resistivity curves on Marinet I rock glacier :
- MAI 2 (lower part of the rock glacier) with very high values of resistivity (massive ice ?) and a clear descending part.
- MAI 8 (upper part) with permafrost poor in ice
- MAI 4 in the central part, with no ice (or «warm» permafrost)
- MAI 7 (upper part). The most complex site with permafrost moderatly rich in ice and deeper permafrost rich in ice (ascending part).

Dryas récent (11 000 - 10 300 BP) qui a vu se mettre en place bon nombre de glaciers rocheux dans les Alpes du Sud (J.L. Borel et al. 1988). Après l'Optimum Atlantique qui a vu la fusion des glaciers sud alpins jusque vers 3 000 m d'altitude (M. Jorda, 1980), la transition Atlantique-Subboréal (5 000-3 700 BP) a été marquée par un climat plus frais, à léger déficit hydrique, au cours de laquelle se sont mis en place dans les Alpes du Sud les petits glaciers rocheux, les plus hauts (altitude supérieure ou égale à 2800 m) : (J.L. Borel et al; 1988).

Il semble donc raisonnable de proposer la mise en place des grands glaciers rocheux comme ceux de Marinet (1 km de long, fronts à 2500-2600 m) au Dryas récent, cette mise en place pouvant survenir en fin de phase glaciaire. L'abaissement des températures estivales de 1°5C à 2°C par rapport à la période précédente (J.L. Borel et al. 1988) a permis la conservation de la glace sous toutes ses formes au-dessus de 2500 m. Il est possible que la glace, que l'on retrouve actuellement dans le noyau frontal n'ait pas entièrement fondu durant l'Optimum Atlantique. Le rafraîchissement du Subboréal a pu s'accompagner de la réactivation partielle des glaciers rocheux, ce qui expliquerait la coexistence de deux noyaux gelés de nature différente (pourcentage de glace et/ou température de la glace) à Marinet II (fig. 2 et 3).

4. Les héritages morphoclimatiques

Dans le cirque de Marinet, depuis la fusion des grands glaciers tardiglaciaires, les glaciers de cirque ont été réduits, comme ailleurs dans les Alpes du Sud (M. Jorda, 1980-1983). Ils ont fluctué durant tout l'Holocène dans les mêmes limites qu'à la Petite Période Glaciaire.

Nous pensons que le Glacier Occidental de Marinet n'a pas toujours occupé l'W du cirque. Il est probable que les bandes de débris riches en glace qui s'étirent depuis les parois de l'Aiguille de Chambeyron (photo 2) n'ont pas été recouvertes par le glacier durant tout ou au moins une bonne partie de l'Holocène. Les formes tour à tour juxtaposées (phase de récession glaciaire) et superposées (phase de progression glaciaire) que sont le glacier et le glacier rocheux ont pu coexister, chacune ayant son rythme particulier, conditionné par le délicat équilibre entre les températures et l'abondance des précipitations.

L'essentiel des glaciers rocheux se présente à la fois comme une forme héritée et entretenue. Le noyau gelé frontal et le pergélisol profonds riches en glace (1,5 Ω m) correspondent à des périodes froides passées : il s'agirait d'un héritage climatique. Le pergélisol détecté à l'amont (MA I 5) peut être qualifié de néo-pergélisol. Assez peu riche en glace (90 000 Ω m) il a pu se créer au Subboréal et/ou à la fin de la Petite Période Glaciaire.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les nombreuses personnes qui nous ont aidés durant une décennie : habitants de la Vallée, services administratifs, chercheurs et plus particulièrement P. Chondroyannis et H. Very (O.N.F.) qui ont sacrifié une partie de leurs loisirs à réaliser des levés au théodolite.

BIBLIOGRAPHIE

A. Cartes anciennes

- Minutes de Bourcet (1778) «Lacs et glacières de Chillœul». Archives I.G.N.
- Cadastre. Commune de Saint-Paul sur Ubaye (1842).
- Minutes de la carte dite d'Etat-Major à 1/40 000. Coupure l'Arche (1854), archives I.G.N.
- Minutes à 1/10 000 de 1893-94, coupure l'Arche. Carte en courbes de niveau (carte de 1896), archives I.G.N.
- Plan du Garde Général Genêt (Eaux et Forêts, rapport interne) archives O.N.F. (Digne).
- Planche VIII «Les glaciers de Marinet», dans Etudes glaciologiques, t VI., P. Mougin, 1927. Archives I.G.N.

B . Clichés anciens

Collection de Cessole, Musée Masséna. Nice.
- Panorama des glaciers de Marinet et de Chauvet (1898)

- Le glacier N de Marinet le 9 septembre 1898 (cliché n° 1217)
Clichés de W. Kilian. Annuaire du C.A.F. (Club Alpin Français), 1901.
Cliché Helbronner (1920) - ouvrage cité.
Cliché 1923. Collection privée (Vallée de l'Ubaye).
Clichés Eaux et Forêts 1924.
Clichés 1937. Collection J. Demangeot.
Cliché M. Evin : 4 août 1959.

C. Articles et ouvrages

Assier (A.), 1985 : Les variations récentes d'un glacier de cirque des Alpes sud-occidentales françaises : l'exemple du glacier oriental de Marinet (Haute-Ubaye). *Communication à la Société Hydrotechnique de France (S.H.F.), section glaciologie*, Grenoble, Mars 1985.

Assier (A.), 1986 : Mesures de vitesses d'écoulement de la glace et de déformation des moraines du glacier

occidental de Marinet (Haute-Ubaye). *Communication à la S.H.F., Section Glaciologie*, Grenoble, Mars 1986.

Barsch (D.), 1988 : Rockglaciers, in M.J. Clark ed. Chichester etc... *J. Wiley and sons. Advances in Periglacial Geomorphology*, pp. 69-90.

Barsch (D.), King (L.), 1989 : Origin and geoelectrical resistivity of rockglaciers in semi-arid subtropical mountains (Andes of Mendoza, Argentinia) *Z. Geomorph.* N.F. 33 (2), pp. 151-163.

Borel (J.L.), Jorda (M.), Monjuvent (G.), 1988 : Variations climatiques, morphogenèse et évolution de la végétation post-würmienne dans les Alpes françaises. Chapitre II, pp. 43-53.

Demangeot (J.), 1939 : Le relief de la Haute Ubaye. *Ann. de Géog.* 343-358.

Eaux et Forêts (1963) : Compte-rendu. Etudes glaciologiques : glaciers du Marinet (1 p). Rapport interne.

Eaux et Forêts (1964) : Les glaciers des Basses Alpes : les glaciers du Marinet. 6 p. Rapport interne.

Evin (M.), 1984 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux issues des glaciers rocheux des Alpes du Sud. *Z. Gletsch. und Glazialgeol.* (20).S. 27-40.

Evin (M.), 1987 a : Forum du Groupe Français de géomorphologie (G.F.G.), Meudon, le 25 novembre 1987. Session posters : Le glacier rocheux de Marinet I. 1 panneau 50 x 70 cm.

Evin (M.), 1987 b : Structure, répartition et âge des glaciers rocheux des Alpes du Sud. Thèse de Doctorat d'Etat. 1500 p ronéo. Non publié. Université Joseph Fourier. Grenoble I.

Evin (M.), 1988 : Structure, répartition et âge des glaciers rocheux des Alpes du Sud. Thèse de Doctorat d'Etat condensée. Université de Grenoble I, 309 p.

Evin (M.), 1988 : Répartition, morphologie et structure interne des glaciers rocheux des Alpes du Sud en fonction de la lithologie et de la fracturation. *Bull. du Centre de Géomorphologie du C.N.R.S.* de Caen (34), pp. 137-158.

Evin (M.), 1989 : «Journées-découvertes en Haute-Ubaye : le vallon de Marinet», 1 fascicule, ronéo.

Evin (M.), Assier (A.), 1982 : Mise en évidence de mouvements sur la moraine et le glacier rocheux de Sainte-Anne (Queyras, Alpes du Sud, France). Le rôle du pergélisol alpin. *Rev. Géog. Alpine.* T. LXXI (2) pp. 165-178.

Evin (M.), Assier (A.), 1983 a : Relations hydrologiques entre glacier et glacier rocheux : l'exemple du cirque de Marinet (Haute-Ubaye, Alpes du Sud). *Communication à la S.H.F., Section Glaciologie*, Grenoble, 21-22 Mars 1983.

Evin (M.), Assier (A.), 1983 b : Glacier et glaciers rocheux dans le Haut-Vallon du Loup (Haute-Ubaye, Alpes du Sud, France). *Zeit. Gletsch. und Glazialgeol.* Innsbruck. Bd. 19 (1), pp. 27-41.

Evin (M.), Beaulieu de (J.L.), 1985 : Nouvelles données sur l'âge de la mise en place et les phases d'activité du glacier rocheux de Marinet I (Haute-Ubaye, Alpes du Sud françaises), Méditerranée (4), pp. 21-30.

Evin (M.), Fabre (D.), Guigan (N.), Assier (A.), 1987 : Mesures de résistivité électriques sur quelques glaciers rocheux du Parc National du Mercantour. *Communication à la S.H.F., Section Glaciologie*, Grenoble, Mars 1987.

Evin (M.), Fabre (D.), 1989 : The Marinet rock glaciers. 2nd. Conf. on Geomorphol. Frankfurt/Main 3-6 Sept. 1989. Poster. To be published *Z. Geomorphol.*

Evin (M.), Fabre (D.), 1990 : The distribution of Permafrost in rock glaciers of the southern Alps (France). *Geomorphology* (1). Vol. 3, pp. 57-71.

Evin (M.), Fabre (D.), Assier (A.), 1990 a : Mesures de résistivité électrique sur le versant Nord-Est du Viso (Alpes Cottiennes - Italie). Relations glacier-glacier rocheux. *Communication à la S.H.F., Section Glaciologie*, Grenoble, 15-16 mars 1990.

Evin (M.), Fabre (D.), Tenthorey (G.), 1990 b : Mesures de résistivité électrique sur les glaciers rocheux de Murtèl (Engadine - Suisse). Réunion annuelle de la Commission pour l'étude des phénomènes périglaciaires du Comité National de Géographie. Fontainebleau-Avon, 13-14 janvier 1990. *Notes et comptes rendus du groupe «Régionalisation du Périglaciaire»*, Strasbourg, mai 1990, pp. 54-60.

Evin (M.), Assier (A.), Fabre (D.), 1990 c : Sondages géophysiques sur les glaciers rocheux du cirque de Sainte-Anne (Queyras), Alpes du Sud Françaises. (en cours de publication).

Fabre (D.), Evin (M.), 1988 : Permafrost in the french Alps : a geoelectrical study. *Session poster. Conf. Géotech. Canadienne.* Oct. 1988. Montréal.

Fabre (D.), Evin (M.), 1990 : Prospection électrique des milieux à très forte résistivité : le cas du pergélisol alpin. *6th. Int. Congress of the Int. Assoc. of Engineering Geol.* Amsterdam, pp. 927-934.

Fisch (W.) Sr., Fisch (W.) Jr., Haeberli (W.), 1978 : Electrical D.C. resistivity soundings with long profiles on rock glaciers and moraines in the Alps of Switzerland. *Z. Gletscher. und Glazialgeol* XIII ; pp. 239-260.

Francou (B.), 1981 : Géodynamique des éboulis et formes associées dans la combe de Laurichard (H.A.). Thèse de 3° cycle, Grenoble, 153 p. Non publié.

Francou (B.), Reynaud (L.), 1990 : Bilan de 10 années de mesures de la dynamique de surface du glacier rocheux de Laurichard (Massif du Combeynot, Alpes françaises). *Communication à la S.H.F.., section Glaciologie*, Grenoble, 15-16 mars 1990.

Guigan (N.), 1987 : Glaciers rocheux : les «givrés» du Mercantour. Terre Sauvage. N° 10. Sept. 1987, pp. 30-38.

Guiter (V.), 1972 : Une forme montagnarde : le rock glacier. *Rev. de Géog. Alpine.* 60 (3), pp. 467-487.

Haeberli (W.), 1979 : Holocene push-moraine in alpine permafrost. *Geog. Ann.* 61 (A) (1-2), pp. 43-48.

Haeberli (W.), 1985 : Creep of mountain permafrost, internal structure and debris flow of alpine rock glaciers. *Eidg. Tech. Hochschule Zürich. V.A.W. Hydr. Glaciol.* Mitt. N° 77, 142 p.

Haeberli (W.), 1989 : Glacier ice-cored rock glaciers in the Yukon Territory ? *J. of Glaciol.* (35), p. 120.

Helbronner (P.), 1921-1938 : Description géométrique détaillée des Alpes françaises, 11 vol. Gauthier-Villars ed. Paris.

Johnson (P.G.), 1980 : Glacier rock glacier transition in the Southwest Yukon Territory (Canada). *Alpine and Arctic Research.* 12 (2), pp. 195-204.

Jorda (M.), 1980 : Morphogenèse et évolution des paysages des Alpes de Haute-Provence depuis le Tardiglaciaire. *Bull. Ass. Géogr. Franç.* N° 472, pp. 295-304.

Jorda (M.), 1983 : L'évolution glaciaire d'altitude dans les Alpes françaises du Sud au cours des quinze derniers millénaires. *Coll. de Trier*, 15-17 mai 1980. Balkema. Rotterdam (409 p), pp. 35-54.

Kilian (W.), 1901 : Rapport sur les variations des glaciers français de 1900 à 1901. *Ann. du Club Alpin Français* (C.A.F.). 28° Vol.

Kilian (W.), 1902 : Observations sur le glacier de Marinet. *Rev. Glaciologia*, p. 31.

Kilian (W.), Flusin (G.), 1900 : Les glaciers de Marinet. *Annales de l'Université de Grenoble.*

Kilian (W.), Flusin (G.), 1900 : Observations sur les glaciers et l'enneigement des Alpes Dauphinoises (de 1890 à 1899). *Sté des touristes du Dauphiné.* Allier. Grenoble. 231 p. 9 pl.

Kilian (W.), Flusin (G.), Offner (J.), 1901 : Nouvelles observations sur les glaciers du Dauphiné et de la Haute Ubaye. Ann. de la *Sté. des Touristes du Dauphiné.* Allier. Grenoble. N° 27, pp. 197-238.

King (L.), Fisch (W.), Haeberli (W.), Waechter (H.P.), 1987 : Comparaison of resistivity and radio-echo soundings on rock glaciers permafrost. *Zeitsch. Gletscherk. und Glazialgeol.* Bd 23 (1), pp. 77-97.

Lliboutry (L.), 1960 : Les glaciers enterrés et leur rôle morphologique. Union de Géodésie Int. Helsinki, pp. 272-280. *AIHS publ.* N° 54.

Mougin (P.), 1927 : Les Glaciers de Marinet. *Etudes Glaciologiques.* T VI, pp. 150-156. 1 carte.

Vivian (R.), 1972 : Les glaciers de Chambeyron. *Rev. de Géog. Alpine.* LX (3), pp. 565-569. 2 pl.

Reçu après révision
le 3.1.91

CENTRE DE GEOGRAPHIE APPLIQUEE
SERVICE DE DOCUMENTATION
3, rue de l'Argonne
67083 STRASBOURG CEDEX