

ALAIN ASSIER (\*)

## L'EVOLUTION DES GLACIERS DU MASSIF DE CHAMBEYRON (UBAYE, ALPES DU SUD FRANÇAISES) EN LIAISON AVEC LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DES 10 DERNIERES ANNEES

**Abstract:** ASSIER A., *The evolution of cirque glaciers (Massif de Chambeyron, France), with respect to the climatic change during the last ten years.* (IT ISSN 0391-9838, 1992).

Located in the upper Ubaye Valley, the Massif of Chambeyron shelters the four most southern glaciers in the French Alps (0,5 Km<sup>2</sup> together).

The submediterranean climate, dry in winter (accumulation season), hot in summer (ablation season) has not been favourable to the glaciers during the last ten years. Measurements were performed on the two Marinnet cirque glaciers:

- a cross profile on the Eastern glacier which shows an important lowering of the glacial level (4,04 m between 1984 and 1988),
- by the means of theodolite measurements a study gives valuable information on the surface velocities of the Western Marinnet glacier. The velocities decrease from 4,17 m/year in 1984 to 2,04 m/year in 1990 and 4 to 6 m of glacier ice melted during the same time.

The front as in slight retreat. On a morphological point of view, the glacial retreat allows the appearing of rock bars. On another hand, the surface of the glacier becomes more and more debris-covered near the front. Another consequence of the climatic warming consists in thermal changes in the basal ice of polythermal glaciers (i.e. cold basal ice). Cracks appeared last years on the steep Pointe de Chauvet glacier generating the fear of a fall down like the one which happened in 1989 at the upper Coolidge glacier (Viso).

**KEY WORDS:** Cirque glaciers, Topographic survey, Climatic change, Glacier retreat, Southern French Alps.

**Résumé:** ASSIER A., *L'évolution des glaciers du massif de Chambeyron (Ubaye, Alpes du Sud françaises) en liaison avec les changements climatiques des 10 dernières années.* (IT ISSN 0391-9838, 1992).

Situé en Haute Ubaye, près de la frontière italienne, le massif de Chambeyron (44°33' N, 6°52' E) abrite aujourd'hui le groupe glaciaire le plus méridional des Alpes françaises. La superficie des 4 glaciers de Marinnet et de Chauvet est légèrement supérieure à 50 hectares, le glacier occidental de Marinnet fournissant la moitié du total. Le climat en haute Ubaye n'est pas favorable au développement d'un englacement important: faibles précipitations hivernales, longues périodes chaudes et sèches en été. Les 10 dernières années ont été particu-

lièrement néfastes à l'alimentation des glaciers. Des mesures effectuées sur les 2 glaciers de Marinnet permettent d'apprécier leur réaction à l'évolution récente du climat:

- le levé d'un profil en travers au glacier E de Marinnet indique une perte moyenne d'épaisseur de 4,07 m entre 1984 et 1988 alors que celle-ci n'avait atteint que 4,86 m durant les 20 années précédentes. Vers le front du glacier la perte d'épaisseur est plus forte encore
- la vitesse d'écoulement de la glace au glacier W de Marinnet, mesurée grâce à des balises, a diminué de moitié, passant de 4,17 m/an à 2,04 m/an entre 1984 et 1990. La perte d'épaisseur atteint de 4 à 6 m. Morphologiquement, la décrue se manifeste essentiellement par l'apparition de pointements rocheux. Le recul des fronts est modéré, mais difficile à mesurer car les glaciers se chargent de plus en plus en débris rocheux.

Autre conséquence du réchauffement contemporain, depuis 1989 d'importantes fissures sont apparues sur le glacier de versant très incliné de la Pointe de Chauvet. Elles rappellent celles observées avant la chute du glacier Coolidge supérieur au Viso. La passage d'une glace légèrement froide à une glace tempérée à la base de ce glacier constitue un important facteur de déséquilibre et de risque potentiel.

**MOTS CLES:** Glaciers de cirque, Mesures au théodolite, Changement climatique, Retrait glaciaire, Alpes du Sud Françaises.

**Riassunto:** ASSIER A., *L'evoluzione dei ghiacciai di circo del Massiccio di Chambeyron (Francia) in relazione alle variazioni climatiche degli ultimi 10 anni.* (IT ISSN 0391-9838, 1992).

Ubicato nell'alta V. Ubaye, il Massiccio di Chambeyron ospita i quattro ghiacciai più meridionali delle Alpi Francesi (nell'insieme 0,5 km<sup>2</sup>). Il clima submediterraneo, secco in Inverno (stagione di accumulo) e caldo in Estate (stagione di ablazione) non è stato favorevole per questi ghiacciai negli ultimi 10 anni. Misure topografiche di dettaglio sono state eseguite sui due ghiacciai di circo Marinnet. Un profilo trasversale eseguito sul ghiacciaio orientale mostra un importante abbassamento della superficie (4,07 m tra il 1984 ed il 1988). Misure topografiche ripetute hanno permesso di verificare una diminuzione della velocità superficiale tra il 1984 (4,17 m/anno) ed il 1990 (2,04 m/anno) sul Ghiacciaio Marinnet occidentale. Nello stesso periodo si è verificato un abbassamento della superficie glaciale compreso tra 4 e 6 m. Il ritiro della fronte è moderato, ma è difficilmente misurabile. Infatti, la superficie glaciale nei pressi della fronte viene sempre più coperta da detriti. D'altro canto, il dimagrimento del ghiacciaio determina l'affioramento di spuntini rocciosi. Nel 1989 si è osservata la comparsa di alcuni crepacci nel Ghiacciaio di Pointe de Chauvet che richiamano quelli osservati sul ghiacciaio Coolidge (M. Viso) prima che si verificasse il distacco di un'ampia porzione del ghiacciaio. Un'altra conseguenza del riscaldamento climatico è infatti rappresentata dalle variazioni alla base di ghiacciai politermici. Il passaggio da un ghiacciaio leggermente freddo alla base ad un ghiacciaio temperato costituisce un importante fattore di disequilibrio e di rischio potenziale.

**TERMINI CHIAVE:** Ghiacciai di circo, Misure topografiche, Variazioni climatiche, Variazioni glaciali, Alpi Francesi meridionali.

(\*) Institut de Géographie Alpine, 17 rue Maurice Gignoux - F 38031 Grenoble.

Comunicazione presentata al VI Convegno Glaciologico Italiano, Gressoney, 26-28 Settembre 1991. (Communication presented at the 6th Italian Glaciological Meeting, Gressoney, 26-28 September, 1991).

Nous n'aurions pu mener à bien ce travail sans l'aide amicale et bénévole de P. Chondroyannis et H. Véry (O.N.F.) qui ont sacrifié une partie de leurs loisirs à réaliser les mesures au théodolite.

Que les habitants de la vallée de l'Ubaye, amoureux de leurs montagnes... et glaciers soient aussi remerciés pour leur participation à plusieurs campagnes de terrain.

## PRESENTATION

Le massif calcaire de Chambeyron (44°33' N; 6°52' E) se situe dans les Alpes sud-occidentales françaises, en haute Ubaye (bassin versant de la Durance), tout près de la frontière italienne. Il abrite aujourd'hui les glaciers les plus méridionaux des Alpes françaises (fig. 1). Ce sont:

- sur le versant Nord de l'Aiguille de Chambeyron (3 412 m) les deux glaciers de Marinnet: occidental (25 hectares) et oriental (8 ha) (fig. 2),
- à l'ouest de l'Aiguille de Chambeyron: les glaciers du Fond de Chauvet (15 ha) et de la Pointe de Chauvet (5 ha).

La superficie réduite de ces quatre glaciers tient au fait que l'altitude des sommets n'est que faiblement supérieure à l'altitude de la limite climatique d'enneigement qui est régionalement très élevée (environ 3 200 m). En effet, la haute Ubaye est soumise à un climat de marge méditerranéenne à tendance continentale. Il est caractérisé par:

- des précipitations annuelles modérées: 900 mm/an à Maljasset (1 903 m - 5 km des glaciers),
- des hivers froids et peu enneigés (*continentalité*),
- des étés chauds avec de longues périodes ensoleillées (*influence méditerranéenne*),
- un maximum de précipitations en Automne et secondairement au Printemps.

## EVOLUTION RECENTE DU CLIMAT

A défaut d'enregistrements météorologiques in situ qui seraient pourtant d'un grand intérêt, nous avons choisi les stations d'altitude les plus proches possible des glaciers:

- le poste météorologique de Saint Véran (2 010 m), situé à 16 km des glaciers fournit des relevés de précipitations et de températures depuis 1945,
- la station de Maljasset (1 903 m), située à 5 km des glaciers nous renseigne sur les valeurs des précipitations depuis 1972 et des températures depuis 1975.

Pour cette étude concernant les variations glaciaires nous avons choisi d'utiliser les températures moyennes des mois de la saison d'ablation (Juin à Septembre) et les précipitations cumulées de la saison d'accumulation (Octobre à Mai) (fig. 3). La corrélation entre les valeurs relevées dans les deux stations est excellente, le coefficient de corrélation se fixant à 0,95 pour les précipitations et 0,93 pour les températures, pour la période commune de fonctionnement de ces deux stations.

L'examen des courbes climatiques à Saint Véran et Maljasset montre que la *décennie 1981-1990 a été la plus défavorable aux glaciers depuis 45 ans*. En effet, un déficit des précipitations en saison d'accumulation se combine systématiquement et durablement avec un relèvement des températures en saison d'ablation.

Pour l'accumulation, entre 1981 et 1990, la perte n'est que modérée par rapport à la décennie précédente, elle-même déjà déficitaire (sauf les années 1977 et 1978 très enneigées): -10% à Saint Véran.

Par contre, l'augmentation des températures en saison d'ablation est notable: +1 °C entre 1981 et 1990 par rapport à la précédente décennie. C'est donc au niveau des températures que se produit le véritable changement climatique dans les Alpes du Sud. Il semble d'ailleurs que cette tendance se poursuive, l'été 1991 ayant été chaud et sec.

## EVOLUTION RECENTE DES GLACIERS

### *Modification de la répartition neige-glace à la surface des glaciers.*

Des petits glaciers, comme ceux du massif de Chambeyron, présentent un développement altitudinal (maximum 300 m) qui est plus faible que l'amplitude des variations interannuelles d'altitude de la limite temporaire d'enneigement en fin de saison d'ablation (transient snow line) (HAEBERLI, 1984). Il en résulte que, suivant les années, les glaciers peuvent être entièrement enneigés ou déneigés.

Lorsque nous avons commencé nos observations des glaciers de Chambeyron en 1981, leur surface était presque entièrement couverte par le névé de l'année, excepté pour le plus vaste glacier: le glacier occidental de Marinnet où le secteur frontal, couvert de blocs, était exempt de neige.

*Cette situation*, héritée de la période humide et froide de 1978-1980 *ne s'est jamais reproduite au cours des dix dernières années*. Au contraire, la limite temporaire d'enneigement n'a cessé de s'élever sur les glaciers, exhumant la glace vers le front et révélant, plus haut, la position de la ligne de névé (firn line). A partir de 1988, la ligne de névé avait complètement disparu des glaciers (à l'exception encore du glacier occidental de Marinnet). Toute la masse du glacier est alors constituée de glace.

Ce relèvement constant de la limite d'enneigement, puis de la ligne de névé permet d'affirmer que *le bilan de masse des glaciers du massif de Chambeyron a été constamment négatif depuis 10 ans* (méthode dite de reconnaissance de la ligne de névé; PATERSON, 1981).

Il n'est pas possible, en revanche, de proposer une quantification des variations inter-annuelles du bilan de masse par cette méthode. En effet, il existe sur les petits glaciers des variations locales du bilan de masse qui font qu'on ne peut pas attribuer de valeur altitudinale à la ligne séparant la zone d'accumulation de la zone d'ablation (BRATHWAITE, 1984). Sur le petit glacier oriental de Marinnet (8 ha), par exemple, le dernier secteur à avoir été couvert de névé se situait paradoxalement au front du glacier, pour des raisons déjà expliquées par ailleurs (ASSIER, 1985).

### *Variations de l'épaisseur des glaciers.*

A défaut de mesure de bilan, il nous a été possible d'apprécier les variations d'épaisseur aux deux glaciers de Marinnet.

a. Au glacier oriental de Marinnet nous avons repris en 1984, 1985, et 1988 le levé au théodolite d'un profil en travers établi pour la première fois, par les Eaux et Fo-

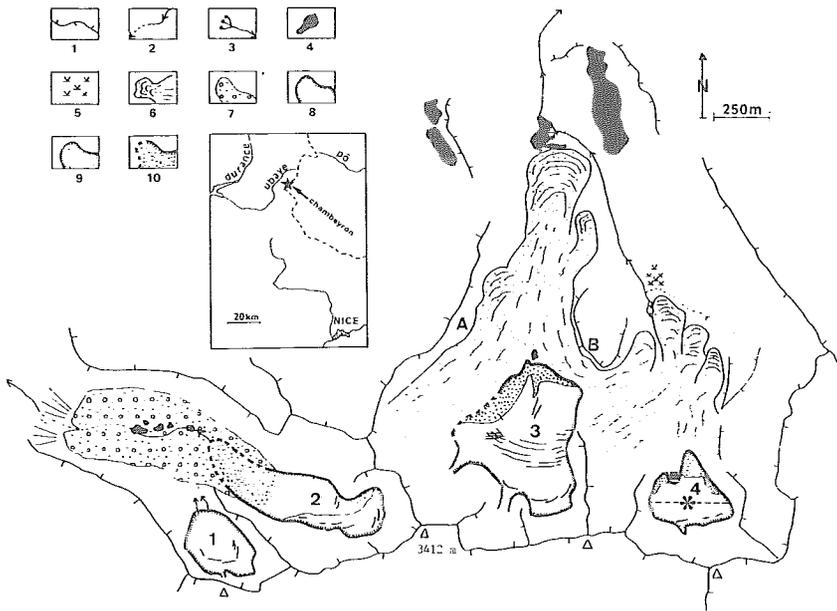


FIG. 1 - Les glaciers du Massif de Chambeyron. 1) Lignes de crête. 2) Ruisseaux. 3) Sources. 4) Lacs. 5) Tourbières. 6) Glaciers rocheux. 7) Cryokarst. 8) Glaciers. 9) Glaciers couverts. 10) Glacier noir.

A, B) Stations de visée au théodolite. \*) Profil en travers. Verrou (mesure d'épaisseur). Glaciers: 1) de la Pointe de Chauvet; 2) du Fond de Chauvet; 3) Marinnet Occ.; 4) Marinnet Oriental.

FIG. 1 - The Massif de Chambeyron glaciers. 1) Crest-line. 2) Streamlets. 3) Sources. 4) Lakes. 5) Peat bog. 6) Rock glaciers. 7) Cryokarst. 8) Glaciers. 9) Debris-covered glaciers. 10) Heavily debris-covered glaciers. A, B) Topographic stations. \*) Cross profile. ■) Thickness measurements site 1984-1991.

Glaciers: 1) Pointe de Chauvet; 2) Fond de Chauvet; 3) and 4) Marinnet W and E.



FIG. 2 - Glaciers et glaciers rocheux de Marinnet.

FIG. 2 - The Marinnet glaciers and rock glaciers.

rêts, en 1964, à l'altitude moyenne du glacier (2 880 m) (fig. 1).

Ces mesures mettent en évidence un abaissement de la surface du glacier qui dépasse 6 m entre 1984 et 1988, vers le milieu du profil. La moyenne s'établit sur l'ensemble du profil à  $-4,07$  m (soit une perte de 1 m/an). Entre 1964 et 1984, la perte d'épaisseur n'avait été que de 4,86 m en moyenne ( $-0,24$  m/an) (fig. 4, tab. 1). On peut noter, de plus, que la perte d'épaisseur est nettement moindre vers l'extrémité ouest du profil située à l'ombre des parois et où la glace est recouverte par un épais manteau de blocs réduisant l'ablation. Morphologiquement, cette

évolution différentielle conduit à l'incorporation de glace morte dans les dépôts morainiques latéraux, ce qui est le cas pour la plupart des glaciers du massif de Chambeyron.

Nous avons aussi mesuré, depuis 1984, le niveau du glacier oriental de Marinnet le long d'un verrou rocheux situé plus bas que le profil en travers à 2 830 m (fig. 1). La perte d'épaisseur est continue et considérable (tab. 2).

La fonte du névé situé au front du glacier vers 2 780 m a laissé apparaître en 1988 un large pointement rocheux abondamment strié, qui est maintenant exhumé sur plus de 7 m de hauteur. Au glacier oriental de Marinnet, la décrue contemporaine se caractérise donc par une forte diminu-

TABLEAU 1 - Profil en travers sur le glacier oriental du Marinnet: données.

TABLE 1 - Cross profile on the Eastern Marinnet glacier: data.

Distance horizontale a la Croix est	Niveau / a la Croix est (1964)	Niveau / a la Croix est (1984)	Niveau / a la Croix est (1985)	Niveau / a la Croix est (1988)
80 m	-29,5 m	-33,0 m	-35,2 m	-38,0 m
100 m	-31,0 m	-34,6 m	-36,3 m	-38,7 m
120 m	-31,5 m	-35,0 m	-36,7 m	-40,0 m
140 m	-31,2 m	-35,5 m	-37,5 m	-41,8 m
160 m	-30,0 m	-35,6 m	-37,6 m	-41,0 m
180 m	-28,6 m	-35,5 m	-36,0 m	-40,7 m
200 m	-27,3 m	-34,3 m	-35,0 m	-38,5 m
220 m	-26,2 m	-33,0 m	-34,3 m	-36,4 m
240 m	-24,0 m	-31,5 m	-32,0 m	-33,6 m
260 m	-22,0 m	-28,0 m	-29,0 m	-31,0 m
280 m	-18,0 m	-22,8 m	-24,0 m	-26,1 m
300 m	-14,0 m	-17,5 m	-19,0 m	-20,4 m
320 m	-9,5 m	-12,5 m	-14,0 m	-14,5 m
340 m	-5,0 m	-7,0 m	-7,0 m	-7,0 m

tion d'épaisseur, l'enfouissement de glace morte sur les bords du glacier, l'apparition de pointements rocheux. Par contre, le faible recul du front n'est pas spectaculaire. En outre, l'augmentation générale et rapide de la quantité de débris rocheux à la surface du glacier est le signe d'une

TABLEAU 2 - Glacier oriental de Marinnet: variations d'épaisseur le long du verrou (1984-91): 1: perte d'épaisseur cumulée - 2: perte d'épaisseur annuelle.

TABLE 2 - Eastern Marinnet glacier: thickness variations on the rock bar. 1) Ice thickness changes (1984-1991). 2) Annual thickness change.

année	1	2
1984	-0	-0
1985	-0,40 m	-0,40 m
1986	-2,00 m	-1,60 m
1987	—	—
1988	-5,40 m	-1,70 m
1989	-6,70 m	-1,30 m
1990	-7,90 m	-1,20 m
1991	-9,40 m	-1,50 m

dynamique glaciaire considérablement ralentie.

b. Nous avons implanté en 1984 sur le glacier occidental de Marinnet un réseau de balises destinées à mettre en évidence les déplacements de la surface du glacier ainsi que des moraines qui l'encadrent (ASSIER, 1986) (fig. 5).

La figure 6 montre le déplacement entre 1984 et 1990, dans les plans horizontal et vertical de 4 balises implantées sur la partie frontale du glacier couverte de blocs, entre 2 780 et 2 800 m. La composante des déplacements horizontaux et verticaux représentée par un vecteur détermine une pente de déplacement des balises nettement plus forte que la pente topographique du glacier. La com-

paraison des valeurs permet de déduire la perte d'épaisseur pour chacune des balises (tab. 3):

TABLEAU 3 - Glacier occidental de Marinnet: variation d'épaisseur. 1) Angle de déplacement vertical. 2) Pente topographique du glacier. 3) Perte d'épaisseur.

TABLE 3 - Western Marinnet glacier: Thickness variations: 1) Vertical displacement slope. 2) Topographical glacier slope. 3) Thickness changes (m).

	1	2	3
Balise N° 2	37,5°	23°	-4,80 m
Balise N° 3	40°	21°	-5,20 m
Balise N° 4	26,4°	13°	-4,00 m
Balise N° 5	28,2°	15°	-6,60 m

La perte d'épaisseur est comparable à celle mesurée au glacier oriental de Marinnet malgré l'altitude plus basse de 100 m et l'éloignement de la base des parois qui est 4 fois plus grand ici (insolation prolongée). Il faut y voir l'effet protecteur joué par la couverture de débris qui dépasse 10 cm d'épaisseur en moyenne dans les secteurs mesurés. SMALL & CLARK (1974) ainsi que SMIRAGLIA (1989) proposent une réduction de l'ablation de l'ordre de 35% par rapport à la glace vive pour une épaisseur de 6 cm de débris sur la glace. La diminution de l'ablation augmente ensuite rapidement pour atteindre 50% quand la couverture rocheuse atteint 10 cm (ØSTREM, 1959).

De fait, au glacier occidental de Marinnet les secteurs frontaux où la glace est couverte de débris constituent des amas accusant un relief de plus de 10 m par rapport à la glace vive voisine. L'inversion de relief s'accroît d'année en année, le glacier blanc se trouvant mis en creux à l'amont des amas de débris frontaux.

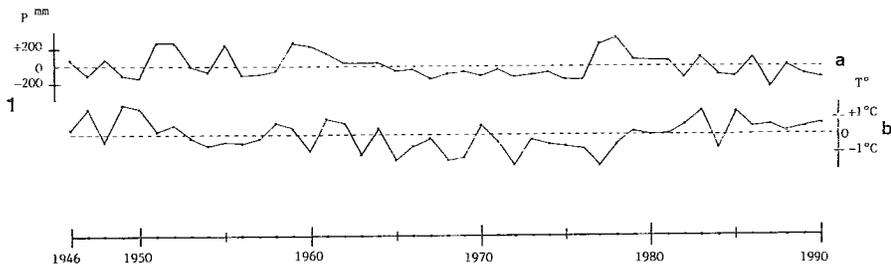


FIG. 3 - Courbes climatiques.  
 a) Précipitations (Oct.-Mai) - b) Températures (Juin-Sept.) - 1) Saint Véran (2 010 m). Écarts à la moyenne (1946-1990). 2) Maljasset (1 903 m). Écarts à la moyenne (1972-1990).

FIG. 3 - Climatic curves.  
 a) Precipitations (Oct.-May) - b) temperatures (June-Sept.) - 1) Saint Véran (2 010 m). Average deviation 1946-1990. 2) Maljasset (1 903 m). Average deviation 1972-1990.

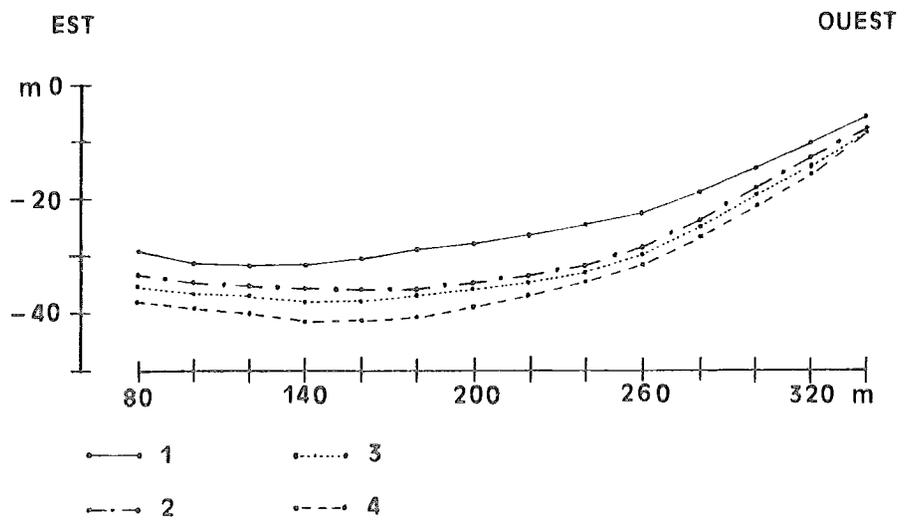
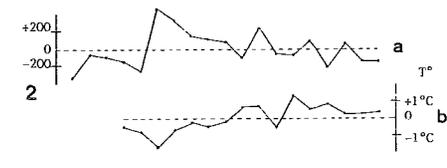


FIG. 4 - Profil en travers (Glacier oriental de Marinét): 1) 1964; 2) 1984; 3) 1985; 4) 1988.

FIG. 4 - Cross profile on the Eastern Marinét glacier: 1) 1964; 2) 1984; 3) 1985; 4) 1988.

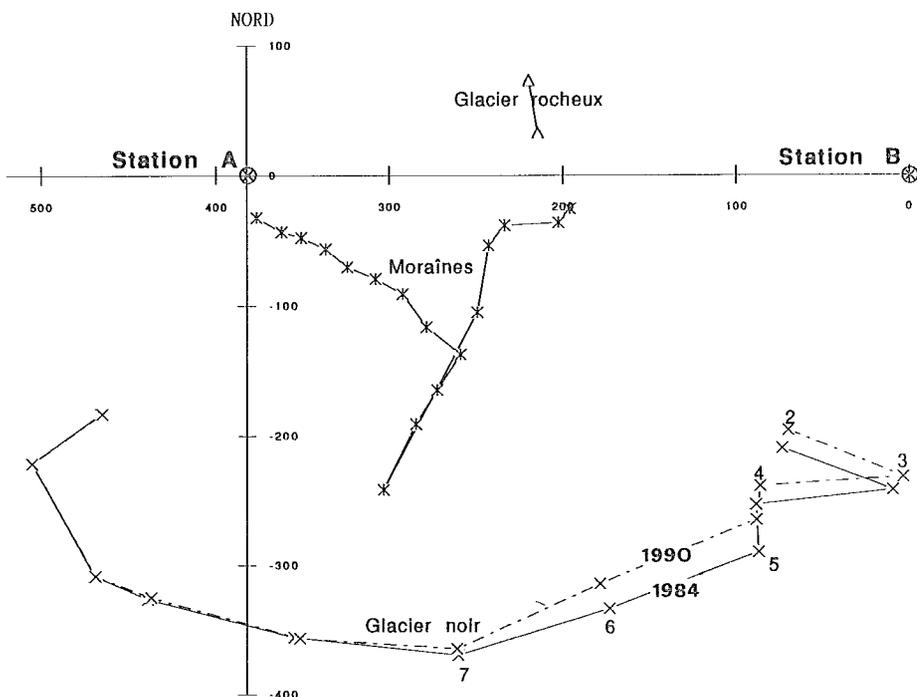


FIG. 5 - Mesures au théodolite (Glacier occidental de Marinét): plan des balises et déplacements horizontaux (1984-1990) sur le glacier noir.

FIG. 5 - Theodolite measurements on the Western Marinét glacier. Sketchmap of the marked blocks and horizontal displacements (1984-1990) on the debris-covered glacier.

*Variations des vitesses superficielles au glacier occidental de Marinnet.*

Outre la perte d'épaisseur, le réseau de balises implanté en 1984 permet d'appréhender les vitesses d'écoulement superficiel sur la partie couverte du glacier (fig. 5).

Entre 1984 et 1990, l'évolution biennale des vitesses s'établit comme suit (tab. 4).

TABEAU 4: Déplacements mesurés sur le glacier couvert de Marinnet occidental (1984-1990).

TABLE 4 - Western Marinnet glacier: surface displacements on the debris-covered glacier (1984-1990).

	1984/1986	1986/1988	1988/1990
Balise N° 2	5,97 m	4,35 m	3,73 m
Balise N° 3	6,07 m	3,26 m	2,48 m
Balise N° 4	6,72 m	4,42 m	3,50 m
Balise N° 5	11,94 m	7,24 m	5,70 m
Moyenne	7,68 m	4,82 m	3,85 m

Entre 1984 et 1990, la vitesse d'écoulement de la glace en surface a diminué de moitié, le fléchissement se produisant principalement entre 1986 et 1988, pour s'atténuer ensuite.

Morphologiquement cette forte diminution de la dynamique glaciaire se traduit par une augmentation très visible de la quantité de débris couvrant le glacier, surtout vers son front. Ce ralentissement n'est cependant pas suffisant pour restreindre de façon significative le nombre de crevasses qui découpent le glacier.

**POSSIBLE VARIATION THERMIQUE A LA BASE DES GLACIERS: L'EXEMPLE DU GLACIER DE LA POINTE DE CHAUVET**

Ce glacier, situé en face nord de la Pointe de Chauvet (3 325 m) entre 3 070 m et 3 210 m est un des glaciers

les plus élevés des Alpes du Sud. En 1927 (MOUGIN, 1927) des séracs s'en détachaient encore pour se fracasser sur le glacier du Fond de Chauvet situé en contrebas. Son épaisseur a fortement diminué et il ne s'agit plus que d'une mince plaque de neige et de glace de 5 ha, fortement inclinée (35°) et d'une dizaine de mètres d'épaisseur.

Depuis l'été 1989, la rimaie s'est largement ouverte et un réseau de fractures en échelons affecte la partie droite du glacier. Plusieurs éléments peuvent concourir à cette augmentation des tensions au glacier de la Pointe de Chauvet:

- l'amenuisement récent du glacier permet maintenant aux fluctuations saisonnières de températures dans la glace (10 à 15 m; PATERSON, 1981) d'atteindre la base du glacier qui dépasse le point de fusion en fin de saison d'ablation.
- On sait que la température de la glace à 10-15 m de profondeur est plus élevée de 3 à 4 °C que celle de la moyenne annuelle de l'air (MAAT) au même endroit (HAEBERLI, 1983). Or, la MAAT à l'altitude moyenne de ce glacier se situait vers -4 °C - -5 °C. Il est donc possible que le glacier de la Pointe de Chauvet ait été légèrement froid à sa base (i.e. polythermal HAEBERLI, 1991).
- On constate (ASSIER, 1991) que la température moyenne annuelle de l'air a augmenté de plus de 1 °C depuis 10 ans, en haute Ubaye. En outre, le relèvement des températures hivernales depuis 1988 est brutal et très marqué (+ 2 °C). La pénétration de l'onde de froid hivernal dans la glace est donc plus faible qu'auparavant.
- La conjugaison de ces facteurs géométrique et thermiques a pu entraîner une modification thermique brutale du glacier. La substitution d'une glace tempérée à de la glace froide à la base du glacier rend possible l'apparition d'une pellicule d'eau à l'interface glace/roche et une accélération subite du glissement. Les fissures repérées seraient donc le signe de cette modification thermique et pourraient précéder l'écroulement de tout ou partie du glacier, rappelant la chute du gla-

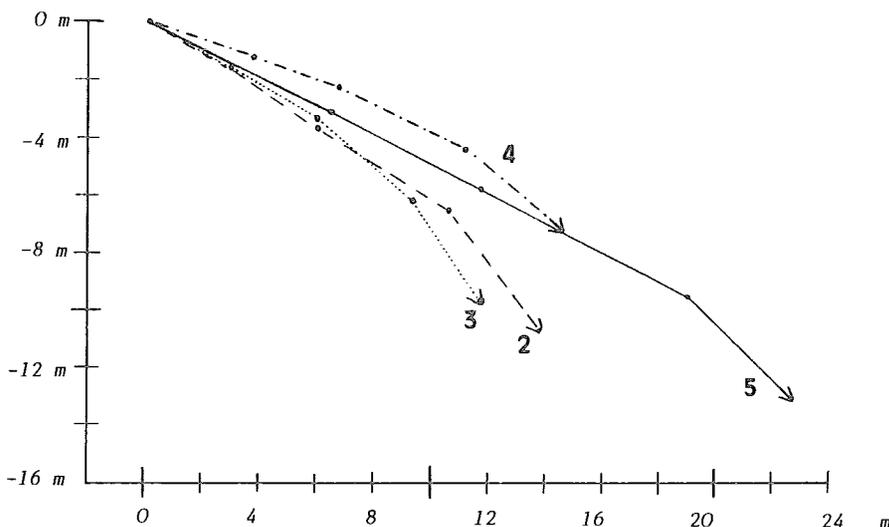


FIG. 6 - Déplacements des balises 2, 3, 4, 5 au glacier occidental de Marinnet (1984-1990). x) déplacements horizontaux. y) déplacements verticaux.

FIG. 6 - Measured displacement vectors (2, 3, 4, 5) on the Western Marinnet Glacier (1984-1990). x) horizontal displacement. y) vertical displacement.

cier Coolidge Supérieur au Viso, en Juillet 1989 (DUTTO & alii, 1990).

## CONCLUSION

La décrue des glaciers du Massif de Chambeyron est constante depuis la fin des années 1920 (ASSIER, 1985), contrairement à l'évolution des autres glaciers des Alpes Occidentales (VIVIAN, 1975). Elle se poursuit avec un rythme qui s'est accru depuis dix ans en réponse, principalement, à l'élévation des températures. Depuis 1988, les trois plus petits glaciers ne stockent plus de névé et l'ablation entame une vieille glace résiduelle. Leur maintien ne résulte plus que de processus de domination des versants: avalanches, enfouissement sous les gélifracts, ombre portée par les versants, microclimat entraînant des conditions de pergélisol discontinu (EVIN & FABRE, 1990; EVIN & alii, 1990).

Certains seuils d'irréversibilité dans la décrue semblent avoir été atteints (seuil thermique au glacier de la Pointe de Chauvet). Dans le contexte climatique actuel, seul le glacier occidental de Marinnet présente quelques chances de survie à long terme, son bilan de masse pouvant redevenir positif.

## BIBLIOGRAPHIE

ASSIER A. (1985) - *Les variations récentes d'un glacier de cirque des Alpes sud-occidentales françaises: l'exemple du glacier oriental de Mari-*

- net (Haute Ubaye)*. Communication à la Société Hydrotechnique de France (S.H.F.), Section Glaciologie, Grenoble.
- ASSIER A. (1986) - *Mesures de vitesses d'écoulement de la glace et de déformations des moraines au glacier occidental de Marinnet (Haute Ubaye)*. Communication à la S.H.F., Section Glaciologie, Grenoble.
- ASSIER A. (1991) - *Les glaciers de Chauvet (Haute Ubaye): évolution et risques glaciaires*. Communication à la S.H.F., Section Glaciologie, Grenoble.
- BRAITHWAITE R.J. (1984) - *Can the mass balance of a glacier be estimated from its equilibrium line altitude?* *Glaciology* (30), 106.
- DUTTO F., GODONE F. & MORTARA G. (1991) - *L'écroûlement du glacier supérieur de Coolidge (paroi Nord du Mont Viso, Alpes Occidentales)*. *Rev. Géogr. Alpine*, 79 (2), 7-18.
- EVIN M. & FABRE D. (1990) - *The distribution of permafrost in rock glaciers of the southern Alps (France)*. *Geomorphology*, 3, 57-71.
- EVIN M., ASSIER A. & FABRE D. (1990) - *Les glaciers rocheux du Marinnet (Haute Ubaye)*. *Rev. Géomorph. Dynam.*, 39, 139-155.
- HAEBERLI W. (1983) - *Permafrost glacier relationships in the Swiss Alps. Today and in the Past*. *Permafrost 4th Int. Conf. Proceedings*. N.A.P. Washington D.C.
- HAEBERLI W. (1984) - *Global land ice monitoring: present status and future perspectives*. NRC Workshop on «Land ice/ocean interaction». Seattle, 25 pp.
- HAEBERLI W. (1991) - *Permafrost research sites in the Alps. Field Guide for the Excursion*. I.P.A. Working Group on Mountain Permafrost, 78 pp.
- MOUGIN P. (1927) - *Les glaciers de Marinnet*. *Etudes Glaciol.*, 6, 150-156.
- ØSTREM G. (1959) - *Ice melting under a thin layer of moraine and the existence of ice cores in moraine ridges*. *Geogr. Annaler.*, 41 (4).
- PATERSON W.S.B. (1981) - *The physics of glaciers*. Pergamon Press. 380 pp.
- SMALL R.J. & CLARK M.J. (1974) - *The medial moraines of the lower glacier de Tsidjiore Nouve, Valais, Switzerland*. *Journ. Glaciology.*, 13, N° 68.
- SMIRAGLIA C. (1989) - *The medial moraines of Ghiacciaio dei Forni, Valtellina, Italy: morphology and sedimentology*. *Journ. Glaciology.*, 35, N° 119.
- VIVIAN R. (1975) - *Les glaciers des Alpes Occidentales*. These Lettres. Univ. Grenoble, imp. Allier, 513 pp.