

HYDROLOGIE LIÉE AUX GLACIERS ROCHEUX, HAUT-VAL DE RÉCHY (NAX, VS)¹

Par Geneviève Tenthorey²

ZUSAMMENFASSUNG

Die Felsengletscher sind die häufigsten Formen in der periglazialen Landschaft der Walliser Alpen. Sie beinhalten ein grosses Wasserreservoir, weil sie den Regen und den schmelzenden Schnee auffangen, wie ein Schwamm. Das Eis im Inneren des Felsengletschers, welches manchmal in sehr grossen Mengen anzutreffen und wahrscheinlich fossil ist, hat keinen grossen Einfluss auf die Produktion von Quellwasser an der Frontseite des Felsengletschers.

INTRODUCTION

L'examen des processus et des formes du relief montre une concentration de formes actives intéressantes à partir de 2600 m d'altitude, là où se situe le pergélisol discontinu. Cette zone est appelée périglaciaire, au sens donné par HARRIS *et al.* (1988), où les processus et les formes de relief sont associés au froid, en milieu non glaciaire. La littérature sur ce sujet est abondante. Outre de très nombreux articles, des traités sur la question sont devenus des «classiques» en la matière, notamment ceux de WASHBURN, 1979, de PISSART, 1987 et de HARRIS *et al.*, 1988. Par contre, les informations concernant l'hydrologie de ces régions, particulièrement dans les montagnes, sont rares et ponctuelles. Les quelques chercheurs ayant approché le sujet notent tous que les sources se trouvent généralement au front de grandes formations composées de blocailles, appelées glaciers rocheux (JOHNSON, 1981, EVIN et ASSIER, 1983, HAEBERLI, 1985, BAJEWSKY et GARDNER, 1989, GIARDINO *et al.*, 1992). Or, dans le Haut-Val de Réchy, ces formations sont abondantes et sont toutes pourvues d'une ou plusieurs sources.

¹ Résumé de la deuxième partie de la thèse intitulée «Paysage géomorphologique du Haut-Val de Réchy (Valais, Suisse) et hydrologie liée aux glaciers rocheux»

² Institut de Géographie, Péroles, 1700 Fribourg

Pour mieux cerner le sujet et pousser les investigations plus à fond, seule l'hydrologie, en relation avec les trois glaciers rocheux de la zone périglaciaire a été considérée en détail. Des observations hors de la zone périglaciaire ont également apporté des informations concernant l'hydrologie en relation avec les autres glaciers rocheux du Haut-Val.

Les questions auxquelles j'ai essayé de répondre sont principalement celles-ci :

- Provenance de l'eau des sources

Vient-elle de la glace existant dans le glacier rocheux ? des névés pérennes ? des précipitations ? etc.

- Régime des torrents formés par l'eau de ces sources

L'écoulement est-il continu ou non ? quel est le régime des torrents provenant des glaciers rocheux ? etc.

- Bilan hydrique approximatif d'un bassin-versant en zone périglaciaire alpine

Peut-on estimer la production en eau d'une région alpine caractérisé par un pergélisol discontinu ? etc.

Ces questions ont rarement été posées et les chercheurs nommés ci-dessus ont commencé à donner des réponses aux deux premières questions mais, à notre connaissance, il n'y a jamais eu de recherche concernant un bilan hydrique dans des régions périglaciaires alpines.

De nombreuses méthodes ont été utilisées dans le cadre de cette étude, la plus originale étant la mesure en continu de débits et de paramètres climatiques, durant toute l'année (de 1989 à 1991).

La présence sur le terrain à toutes les saisons, la mise en place de matériel sophistiqué à haute altitude (entre 2600 et 2800 m), ont donné à cette étude un caractère pionnier dont les inconvénients sont les nombreux problèmes logistiques. Ils sont largement compensés par la récolte de données nouvelles, permettant un éclairage inédit sur les questions posées ci-dessus.

APPROCHE GLOBALE DE L'ETUDE DU PERGELISOL

Le pergélisol est le sol qui se maintient à une température égale ou inférieure à 0°C pendant au moins deux ans (HARRIS *et al.*, 1988). Il se trouve dans la zone périglaciaire, caractérisée par une température moyenne annuelle de l'air de -15 à -1°C (WITTOW, 1984). Seul le pergélisol alpin discontinu est considéré ci-après. Il s'agit d'un pergélisol existant dans certaines parties du sous-sol d'une région montagneuse de moyenne et basse altitude, où l'on trouve également des zones non pergélisolées (HARRIS *et al.*, 1988).

Dans les Alpes suisses, les formes les plus importantes (en taille et en nombre) du domaine périglaciaire, sont les moraines et les éboulis flués, communément appelés glaciers rocheux. Peu connus il y a une vingtaine d'années, les glaciers rocheux sont aujourd'hui à la mode et les articles sur le sujet foisonnent, souvent descriptifs ou spéculatifs (BUTLER, 1984, GIARDINO, 1983, GORBUNOV, 1978, JOHNSON, 1984, LUKMAN et CROCKETT, 1978, SMIRAGLIA, 1985, etc.).

Peu adapté aux exigences nouvelles des sciences de la terre tournées vers la compréhension des processus, le terme «glacier rocheux» est toutefois largement reconnu. EVIN (1988) le définit comme suit : "Glacier rocheux : terme large, à valeur surtout descriptive. Il s'agit d'une forme d'accumulation en langue ou en lobe comportant un front raide, et accidenté de structures de surface caractéristiques traduisant un fluage lié à la présence actuelle ou passée de glace interstitielle ou d'origines diverses".

La fréquente localisation des glaciers rocheux en aval des glaciers est un argument important pour certains auteurs, qui, comme JOHNSON (1987, *in* WHALLEY et MARTIN, 1992), leur attribuent une origine glaciaire (Figure 1).

D'autres auteurs, comme BARSCH et KING (1989, *in* WHALLEY et MARTIN, 1992), ne trouvant pas de glace de glacier à l'intérieur des glaciers rocheux, les qualifient de formations purement périglaciaires (Figure 2).

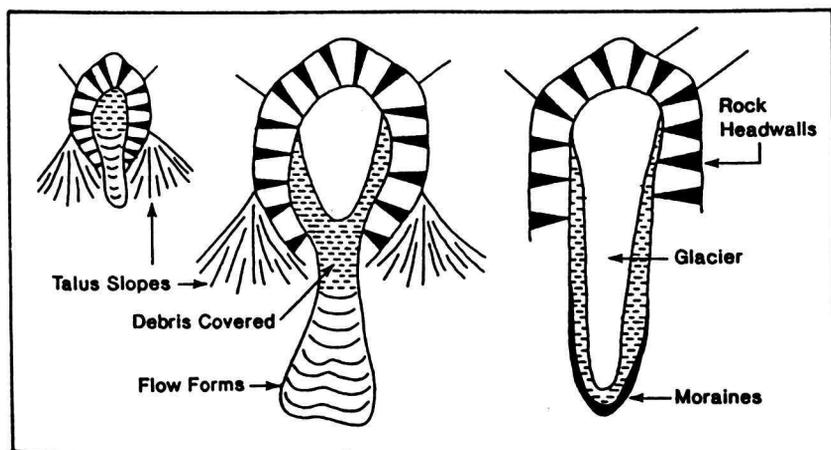


Fig. 1. Modèle de développement de glacier rocheux issu des débris d'un appareil glaciaire, d'après JOHNSON, 1987 (*in* WHALLEY et MARTIN, 1992).

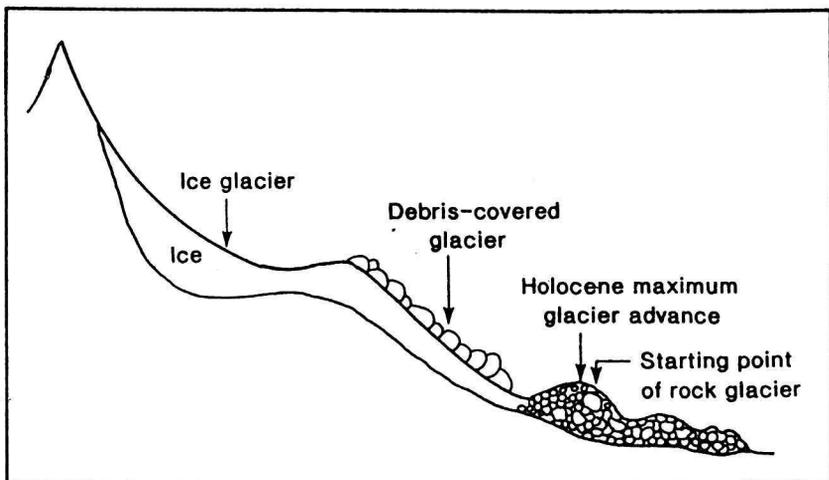


Fig. 2. Glacier rocheux se développant depuis une 'zone de racines' dans le permafrost au front d'un glacier, d'après BARSCH et KING, 1989 (in WHALLEY et MARTIN, 1992).

Comme EVIN (1983, *in* WHALLEY et MARTIN, 1992), je pense que, vu l'évidence de certaines formes morainiques (moraines latérales, de poussées) trouvées dans certains glaciers rocheux et les grandes variations de leurs épaisseurs, l'origine des glaciers rocheux est mixte, glaciaire/périglaciaire (Figure 3).

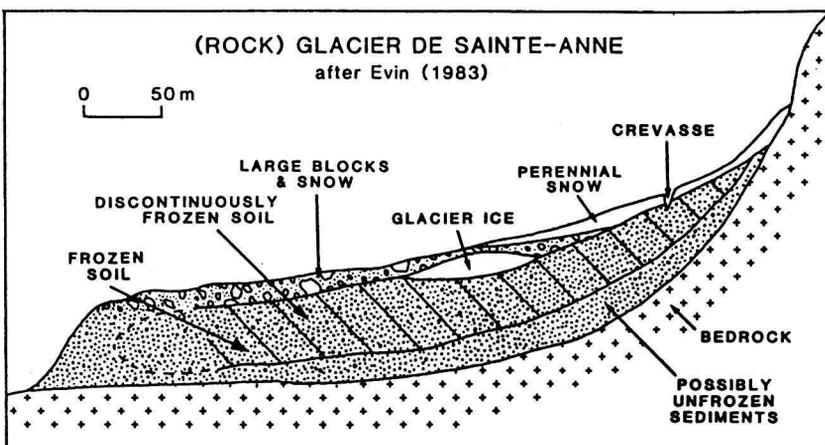


Fig. 3. Section à travers un glacier rocheux dans les Alpes maritimes françaises, d'après EVIN, 1983, (*in* WHALLEY et MARTIN, 1992).

Les glaciers rocheux de Réchy contiennent de la glace intersticielle plutôt que de la glace pure, contrairement à des glaciers rocheux décrits ailleurs (HAEBERLI *et al.*, 1988, HUMLUM, 1988, LLIBOUTRY, 1961, POTTER, 1972), qui eux, contiennent de la glace pure. La structure schématique d'un glacier rocheux du Haut-Val, vérifiée par des sondages géophysiques et admise largement par les auteurs périglaciologistes est la suivante (Figure 3) :

- une couche active sommitale de quelques mètres d'épaisseur, composée la plupart du temps de gros blocs;
- une couche plus importante (généralement plus de 10 m d'épaisseur) de matériaux rocheux gelés avec des lentilles de glace pure plus ou moins épaisses (quelques dm à plusieurs dizaines de m), formant le corps du glacier rocheux;
- une couche de matériaux rocheux non gelés;
- la roche en place.

Une classification a été établie selon la quantité de glace présente dans la masse, selon la classification d'HAEBERLI (1985) :

- glacier rocheux actif = présence de pergélisol, de glace interstitielle, parfois de glace pure, et mobilité;
- glacier rocheux inactif = présence de glace possible et immobilité;
- glacier rocheux fossile = la glace a fondu et la forme est effondrée (Figure 4).

Cette évolution de la «vie» à la «mort» d'un glacier rocheux est particulièrement importante pour l'étude du comportement de l'eau en région périglaciaire. En effet, le passage de l'eau à travers la formation ne s'effectue pas de la même manière si la quantité de glace interne est importante ou non. De même, l'espace interstitiel disponible dans les matériaux pour le stockage de l'eau météorique peut varier de manière importante entre un glacier rocheux actif (où la glace occupe l'espace interstitiel disponible) et un glacier rocheux fossile de même taille (où la glace a fondu, libérant de l'espace pour le stockage de l'eau). Ces facteurs sont essentiels pour la compréhension du comportement des sources au front des glaciers rocheux. C'est donc d'après cette classification que j'ai choisi de caractériser les glaciers rocheux de Réchy.

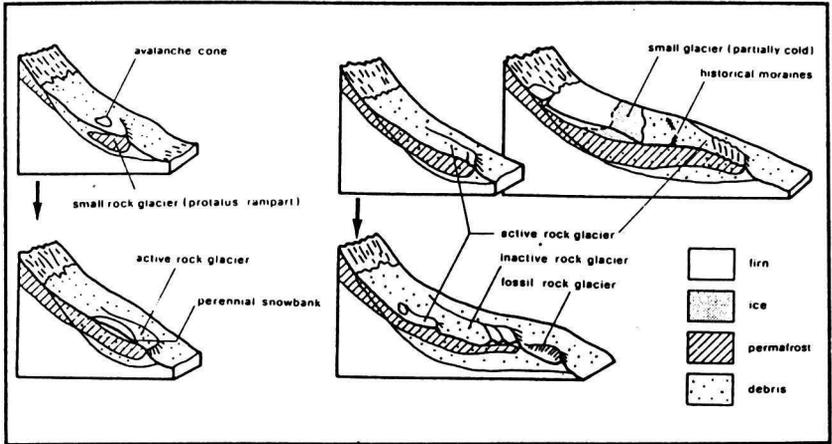


Fig. 4. Différents stades d'évolution des glaciers rocheux (HAEBERLI, 1985).

Divers indicateurs (sondages géophysiques) ont permis de déterminer deux glaciers rocheux actifs (riches en glace), deux inactifs (pauvres en glace) et six fossiles (sans glace) :

Glaciers rocheux actifs

- situation en zone périglaciaire (présence de névés pérennes importants, aux racines de la forme),
- présence de glace,
- aspect de fraîcheur de la forme: végétation rare ou absente, matériel fin, gelé apparaissant sur les talus d'escarpement, blocs de surface éboulés au front et latéralement,
- températures des sources provenant des glaciers rocheux, en août, généralement inférieures à 1 °C.

Glaciers rocheux inactifs

- situation en zone périglaciaire, avec de petits névés pérennes aux racines de la forme,
- présence de glace, mais en plus faible quantité,
- présence de gazon alpin discontinu sur les glaciers rocheux de calc-schistes,
- dégradation de la forme : ravinement du front, etc.,
- température des sources, en août, située entre 2 et 3 °C.

Glaciers rocheux fossiles

- situation hors de la zone périglaciaire,
- absence, ou faible quantité de glace possible,

- présence de végétation continue sur les glaciers rocheux de calc-schistes et de petits arbres et buissons sur les glaciers rocheux de gneiss et de quartzites (manque de terre fine),
- effondrement de la forme : profondes dépressions thermokarstiques fossiles,
- température des sources, en août, supérieures à 3 °C.

	Glaciers Rocheux (GR) actifs	Glaciers Rocheux (GR) inactifs	Glaciers Rocheux (GR) fossiles
Localisation	en zone périglaciaire périglaciaire	en limite de zone périglaciaire	hors de la zone
Présence de glace	riche en glace	pauvre en glace	absence ou faible quantité de glace
Végétation	absente ou rare d'arbres	discontinue	continue ou présence
Aspect de la forme	frais	dégradé	effondré
Température des sources, en août	< 1 °C	entre 2 et 3 °C	> 3 °C
Dans le secteur d'étude (cf Figure 5)	G.R. Becs de Bosson G.R. Tsavolire	G.R. Maya 1 G.R. Maya 2	G.R. Brechette G.R. Gautier G.R. Col de Cou 1 G.R. Col de Cou 2 G.R. Brinta G.R. Tsa

Tableau 1. Observations et mesures de terrain permettant de classer les différents glaciers rocheux en actifs - inactifs - fossiles.

Le Tableau 1 résume la classification des glaciers rocheux suivant leur degré d'activité, tels qu'ils se présentent dans le Haut-Val de Réchy.

TRACAGES D'EAU SUR LES GLACIERS ROCHEUX

Le Haut-Val de Réchy est particulièrement intéressant à étudier du point de vue hydrologique puisqu'il ne comporte aucun glacier qui pourrait interférer avec le processus périglaciaire. Des mesures sismiques et électriques ont donné une connaissance quantitative et qualitative de la présence de pergélisol dans les glaciers rocheux. Dans les trois glaciers rocheux actifs et inactifs étudiés (Figure 6), entre un et quatre mètres sous la couverture sommitale de blocs, se trouvent des matériaux détritiques gelés, dont les interstices sont plutôt pauvres en

glace, en comparaison avec d'autres glaciers rocheux étudiés par différents auteurs. Il existe même des zones sans pergélisol aux racines du glacier rocheux des Becs de Bosson, correspondant au point d'infiltration des eaux de fonte des névés pérennes dans la formation.

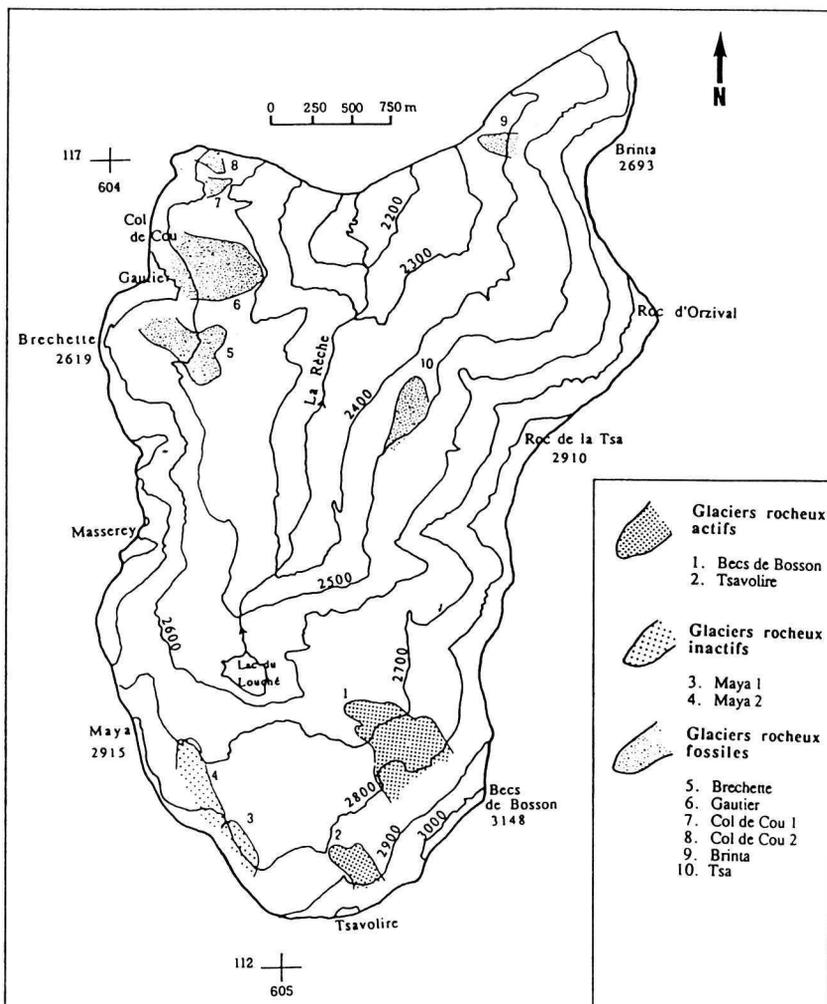


Fig. 5. Localisation des glaciers rocheux dans le Haut-Val de Réchy.

Connaissant les principales caractéristiques structurales de ces glaciers rocheux, il est plus aisé de choisir les points d'injection idoines pour effectuer les traçages d'eau. Ceux-ci sont nécessaires pour tenter de distinguer les différents itinéraires d'écoulement dans les glaciers

rocheux, et suivre le cheminement de l'eau jusqu'à la limite de la zone de pergélisol discontinu. Cette méthode a l'avantage d'explorer l'intérieur de formations difficilement accessibles. Leur hydrologie traduit significativement les particularités de chaque formation.

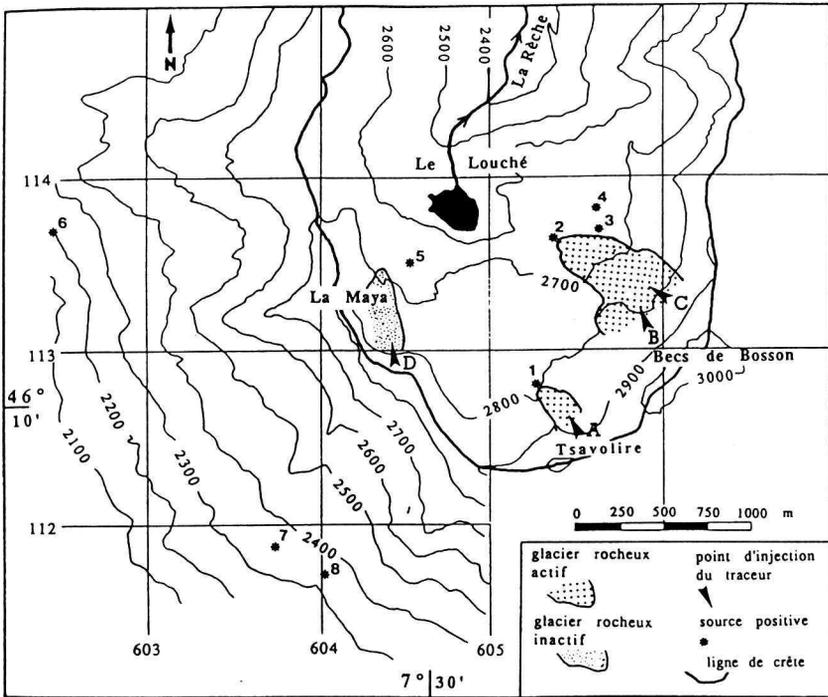


Fig. 6. Plan de situation des sources étudiées en relation avec les glaciers rocheux : 1. Source front glacier rocheux de Tsavolire; 2. Source front glacier rocheux des Becs de Bosson; 3. Source latérale du glacier rocheux des Becs de Bosson; 4. Zone de sources provenant du glacier rocheux des Becs de Bosson; 5. Source latérale du glacier rocheux de la Maya, 6. Source de Loveignoz; 7. Source O. Maya; 8. Source l'A Vieille. A) Injection des traceurs (fluorescéine et éosine) au glacier rocheux de Tsavolire; B) Injection de fluorescéine au glacier rocheux des Becs de Bosson; C) Injection de NaCl au glacier rocheux des Becs de Bosson; D) Injection des traceurs (fluorescéine et éosine) au glacier rocheux de la Maya.

L'eau de la zone périglaciaire du Haut-Val provient essentiellement des sources frontales ou latérales des glaciers rocheux. Les traçages d'eau ont permis de mettre en lumière l'alimentation des sources des glaciers rocheux par l'eau de fonte des névés pérennes et de la glace des éboulis en amont. La quantité d'eau que cela représente par rapport à d'autres apports (eaux de pluie, fonte de la neige, etc.) n'a pas été établie ici. Le temps de traversée des glaciers rocheux est très variable,

allant par exemple de 60 minutes à un mois, sur une distance de moins d'un kilomètre à vol d'oiseau.

Les cheminements de l'eau à travers ces formations sont multiples:

Ecoulement superficiel supra-formation

Ce type d'écoulement se retrouve logiquement sur les deux glaciers rocheux actifs, car il nécessite une surface continue imperméable, un «lit», constitué ici par la masse interne gelée du glacier rocheux (pergélisol, glace, part de la couche active gelée). Ce cheminement de l'eau se fait de manière simple et continue sur le glacier rocheux compact de Tsavolire, alors que l'eau arrive par vagues à celui, plus grand et plus affaissé, des Becs de Bosson. Cette différence pourrait s'expliquer par une «table de contact» blocs/masse gelée, creusée plus profondément et de manière plus complexe sur le glacier rocheux des Becs de Bosson.

Ecoulement interstitiel intra-formation

Le glacier rocheux inactif de la Maya n'a pas de circulation d'eau superficielle. Le temps de transit d'une dizaine de jours environ est caractéristique d'un écoulement interstitiel. Cette forme de cheminement paraît logique dans cette formation pauvre en pergélisol et comprenant des affaissements de thermokarst : la glace ayant fondu, la masse perd son imperméabilité et l'eau peut percoler à travers les sédiments dégelés. Ce type d'écoulement et le précédent (supra-formation) s'excluent. Ils constituent donc des indicateurs pertinents pour établir la richesse en pergélisol des glaciers rocheux.

Ecoulement sub-formation

Le transit de plus d'un mois minimum à travers le glacier rocheux actif des Becs de Bosson est un indicateur de l'existence d'une nappe d'eau sous la formation. Une telle nappe ne semble pas exister sous le glacier rocheux actif de Tsavolire (pas d'évidence par les traçages, source temporaire seulement). Il semblerait que la taille de la formation et la richesse en glace soient des facteurs importants de la présence ou non d'un écoulement sub-formation (grande taille = probabilité plus élevée de l'existence d'une nappe - beaucoup de glace = nappe inexistante ou limitée).

Synthèse

Ces résultats proviennent de traçages sur trois glaciers rocheux seulement, mais les données existantes dans la littérature étant rares, il peut être utile d'établir ici une première classification. On pourra s'y référer lors d'études ultérieures sur d'autres glaciers rocheux alpins et compléter, modifier le schéma en fonction de nouvelles données concernant la circulation de l'eau dans les glaciers rocheux.

A Réchy, deux facteurs influencent grandement le type d'écoulement à travers les glaciers rocheux (Tableau 2):

1. la taille du glacier rocheux
2. sa richesse en glace

BILAN HYDRIQUE DU MICRO-BASSIN-VERSANT DES BECS DE BOSSON

Le petit bassin-versant des Becs de Bosson est bien circonscrit et l'eau qui s'en écoule ne disparaît dans aucune perte connue. Il est occupé par le plus grand glacier rocheux actif du Haut-Val qui alimente le lac du Louché et donne naissance à la rivière principale du vallon, la Rèche. C'est là que deux stations de climatologie (températures de l'air, du sol et précipitations pluvieuses) et deux stations de mesures de débits (sondes limnimétriques) ont été installées (Figure 7). Les autres données importantes comme les précipitations neigeuses et le taux d'évaporation ont été tirées de la littérature.

Types de glaciers rocheux	Types d'écoulements
<u>Glaciers rocheux actifs</u> >300 m long (Becs de Bosson)	écoulement superficiel supra-formation + écoulement sub-formation
<300 m long (Tsavolire)	écoulement superficiel supra-formation seulement
<u>Glacier rocheux inactif</u> >300 m long (Maya)	écoulement interstitiel intra-formation + évent. écoulement sub-formation

Tableau 2. Types d'écoulement des eaux à travers différents types de glaciers rocheux dans le Haut-Val de Réchy.

Notre but a été d'établir un bilan hydrique de ce sous-bassin-versant.

Les mesures obtenues permettent d'avoir une vue assez claire de la situation hydro-climatique de la zone périglaciaire du Haut-Val à un moment donné, entre octobre 1988 et septembre 1991. L'année hydrologique 1990/91 a fourni les données les plus continues et les plus fiables.

Le climat est plus sec que celui donné par la littérature : entre 1200 et 1400 mm de hauteur d'eau contre 1760 mm, selon le gradient des précipitations moyennes pour la région valaisanne (BAUMGARTNER *et al.*, 1983). Les précipitations neigeuses représentent, en moyenne, un peu plus de la moitié de la hauteur d'eau totale annuelle. Les moyennes annuelles de température de l'air sont légèrement au-dessous de zéro (-1,45 °C, pour l'année hydrologique 1990/91). Ces conditions d'aridité relative et de fraîcheur correspondent aux critères d'HAEBERLI (1985) pour l'établissement d'une zone de pergélisol discontinu :

- température moyenne annuelle de l'air d'environ - 2 °C;
- précipitations totales annuelles de moins de 2500 mm, voire même d'après la littérature, de moins de 1500mm.

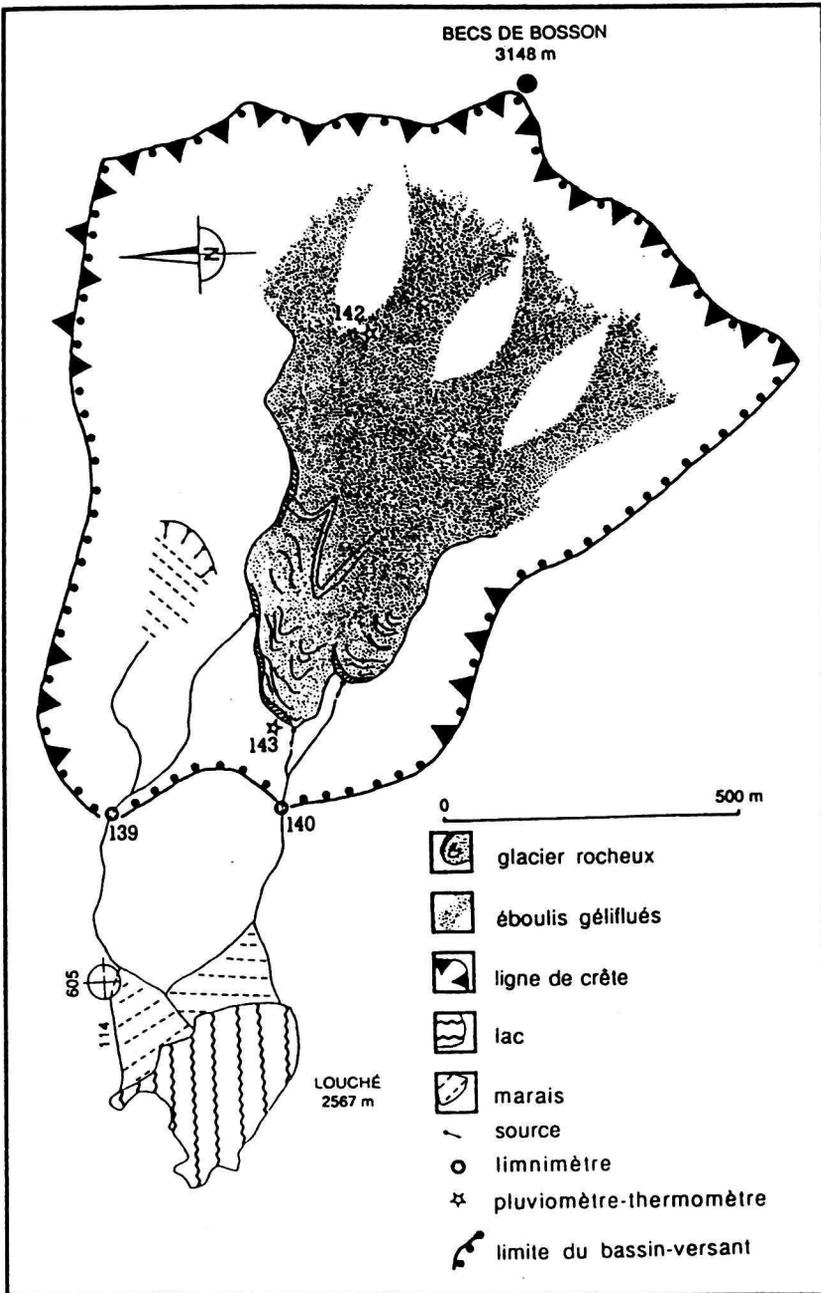


Fig. 7. Délimitation du bassin-versant des BeCS de Bosson et localisation des instruments de mesure : Nos 139 et 140, limnimètres; Nos 142 et 143, stations météorologiques (température de l'air et du sol, précipitations pluviales).

Les torrents du bassin-versant étudié, issus du glacier rocheux des Becs de Bosson, ne tarissent pas en hiver. L'écoulement est de type glaciaire, avec un maximum en juillet. Le fort débit dès début juin et un débit moyen se maintenant jusqu'en novembre sont moins typiquement «glaciaire» et pourraient être des caractéristiques de torrents issus de glaciers rocheux actifs. La question reste ouverte jusqu'à ce que d'autres études de débits de ce genre apportent des éléments de comparaison. Durant l'année hydrologique 1990/91, le débit annuel total des deux torrents a représenté environ 927'000 m³.

BILAN

L'écoulement pérenne:

Conjointement aux mesures, des visites régulières hivernales ont montré que les sources ne tarissent pas malgré des températures moyennes annuelles négatives. C'est là un indice d'écoulement subformation, de type nappe souterraine.

L'écoulement glaciaire:

En juin et juillet, les pluies n'ont quasiment aucune influence sur la courbe des débits. Le maximum de la courbe, en juillet, est particulièrement clair pour le torrent où les traçages ont montré un écoulement supra-formation. Cependant, l'ensemble de la courbe diffère de celle d'un torrent provenant d'un bassin-versant contenant des glaciers. La saison d'été avec de forts débits débute plus tôt (mi-mai) et un débit moyen se maintient jusqu'en novembre. De plus, les écoulements hivernaux (+20 %) sont plus importants que ceux de torrents glaciaires (1 %, selon BEZINGE, 1978). De futures études diront si ces caractéristiques sont typiquement «périglaciaires», représentatives de torrents issus de glaciers rocheux actifs.

L'eau disponible:

L'eau disponible pour le réseau hydrologique, provenant du bassin-versant des Becs de Bosson est d'environ 1000 mm de hauteur d'eau/an: ce bilan étant comparable à celui d'un autre bassin-versant (les Fontanesses, au Val d'Hérens) contenant un glacier rocheux actif, il est logique de formuler l'hypothèse que ces résultats reflètent bien la situation de l'ensemble des régions périglaciaires du Valais central.

Il existe une nappe d'eau sous (et peut-être dans) le glacier rocheux qui stocke (en été) et redistribue (en hiver) plus de 23% de l'apport annuel: ce pourcentage représente la part des débits hivernaux dont l'alimentation ne peut venir que d'une nappe, puisqu'il n'y a quasiment ni fonte de neige, ni pluies à cette époque de l'année et que la fonte de la glace interne du glacier rocheux par géothermie, si elle existe, ne représenterait qu'une part négligeable du volume d'eau.

La glace interne du glacier rocheux participe faiblement à l'alimentation des torrents :

Un faisceau d'observations indique que la fonte de cette glace ne représente pas un grand volume d'eau :

- le bilan hydrique est plus ou moins équilibré et les précipitations peuvent suffire à l'alimentation des torrents, sans besoin d'apport provenant de la fusion d'une glace fossile;
- les écoulements hivernaux ne peuvent pas provenir de la fonte de la glace (sauf par réchauffement géothermique);
- une grande part des écoulements estivaux supra-formation vient de la fonte des névés pérennes;
- la fonte de la neige explique les forts débits à la fin du printemps et au début de l'été;
- les pluies influencent grandement les débits à la fin de l'été et en automne;
- la fonte de la glace à la base du glacier rocheux par géothermie, si elle existe, représenterait environ 0,2 mm de hauteur d'eau par an (ou 200 m³), ce qui est négligeable dans l'ensemble du bilan.
- un enrichissement, puis une fonte importante du volume de la glace interne devrait se répercuter sur la couverture extérieure de blocs par un déplacement des matériaux. Cela n'est pas visible.
- une étude similaire faite dans un bassin-versant dont le torrent principal provient d'un glacier rocheux actif a montré que les écoulements dépendaient étroitement des précipitations annuelles (BEZINGE, 1978).

Seul le régime de type glaciaire des torrents plaide en faveur d'une participation de la glace interne du glacier rocheux à l'alimentation des sources. Mais cette année-là (1990/91), le torrent du front de la formation à régime glaciaire le plus typique, a fortement été alimenté par la fonte des névés pérennes contenant de la glace.

Les mesures de précipitations, de températures et de débits durant une dizaine d'années pourront apporter une réponse plus précise à cette question, si l'on compare, comme l'a fait BEZINGE (1978), les différences de débits entre les années chaudes et sèches et les années pluvieuses. Si les débits baissent durant les étés secs et chauds, la preuve

sera faite que la glace interne du glacier rocheux ne participe que marginalement au bilan hydrique, contrairement aux glaciers qui fondent alors spectaculairement.

En conclusion, les résultats obtenus indiquent que le glacier rocheux actif des Becs de Bosson est situé en limite inférieure d'une zone de pergélisol discontinu. La plupart des écoulements transitent par cette formation et les seules sources existantes sont en relation avec elle. Pourtant, l'importante quantité de glace qu'elle contient, équivalente au volume d'eau annuel d'output de ce bassin-versant (d'après les sondages géophysiques), participe vraisemblablement peu du point de vue quantitatif à l'activité hydrologique de ce bassin-versant. Il semble que ce soient surtout les névés pérennes et la nappe d'eau souterraine qui constituent le stock actif du bilan hydrique de ce bassin-versant.

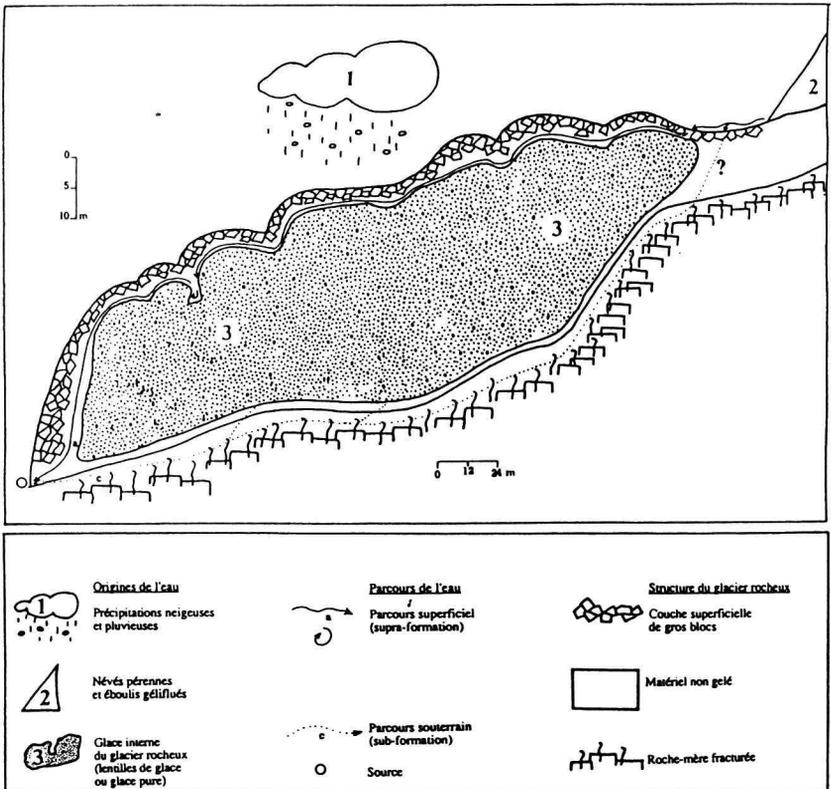


Fig. 8. Système hydrologique simplifié du glacier rocheux actif de Tsavolire, Haut-Val de Réchy (coupe longitudinale à travers la formation).

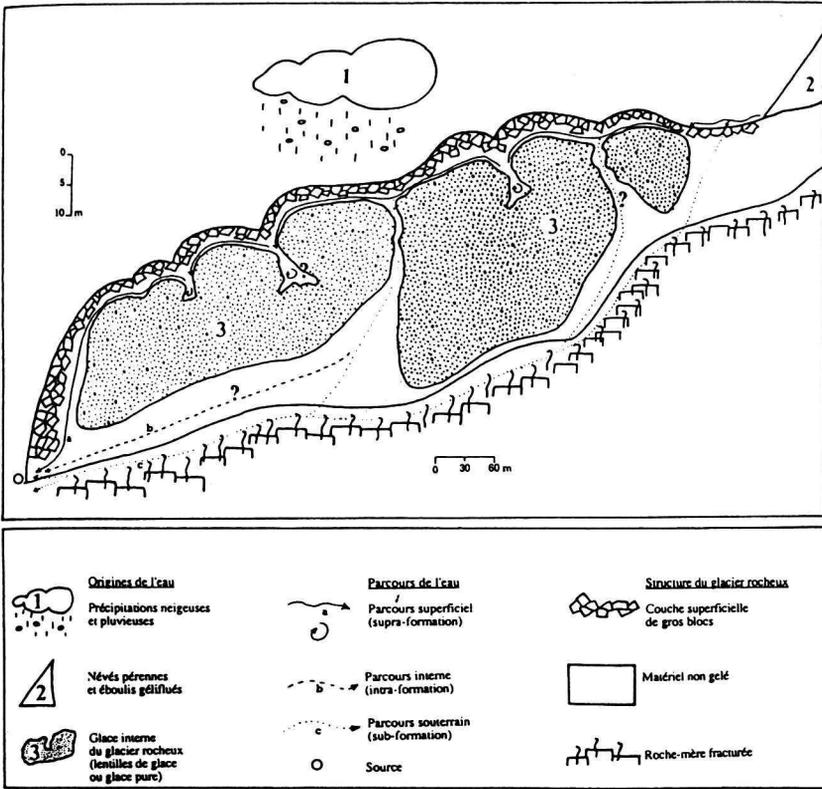


Fig. 9. Modèle simplifié de circulation hydrologique du glacier rocheux actif des Becs de Bosson, Haut-Val de Réchy (coupe longitudinale à travers la formation).

ESSAI DE MODELISATION

Le cheminement de l'eau à travers les trois glaciers rocheux investigués semble dépendre essentiellement de la quantité de matériel gelé présent dans la formation. Si la masse gelée est un bloc compact formant la quasi-totalité du glacier rocheux, l'écoulement est avant tout superficiel (Figure 8). Moins la masse gelée est homogène et importante en volume, plus les écoulements sont interstitiels (Figure 9).

Les types d'écoulement révélés correspondent à ceux d'HAEBERLI (1985) qui propose les possibilités d'alimentation des sources par des eaux ayant cheminé à la surface de la masse gelée du glacier rocheux et également par des apports d'eau provenant d'une nappe souterraine. Le modèle de GIARDINO *et al.* (1992) est incomplet, car il ne prévoit une alimentation des sources que par les eaux sub-formation.

L'évolution de l'hydrologie liée aux glaciers rocheux est évidemment fonction de l'évolution de ces formations. Si la masse de glace interne augmente de volume, les écoulements de type supra-formation se multiplieront et le régime des torrents sera de type glaciaire marqué, avec peu ou pas d'écoulement hivernal. Par contre, si la glace disparaît, l'écoulement sera de type intra- ou sub-formation et le régime des torrents sera plus régularisé, avec un débit hivernal non négligeable. Entre ces deux évolutions extrêmes, toutes sortes de possibilités complexes intermédiaires sont possibles.

CONCLUSIONS

Dans les Alpes penniques valaisannes les glaciers rocheux peuvent jouer un rôle important en tant qu'éléments de stockage du bilan hydrique des régions à pergélisol discontinu. Contrairement aux glaciers, ce n'est pas la glace interne à la formation qui est primordiale, mais la masse d'espace interstitiel dans les matériaux qui permet la rétention de l'eau issue des précipitations. En effet, la glace des glaciers rocheux étudiés à Réchy semble être fossile dans le sens qu'elle est peu alimentée et fond peu. Par contre, la nappe d'eau souterraine, lorsqu'elle existe et qu'elle est assez grande, redistribue pendant l'hiver l'eau stockée durant le reste de l'année.

Connaissant le rôle «d'éponges» que jouent les glaciers rocheux lors de la fonte des neiges et des précipitations, ils devraient être considérés d'utilité publique et répertoriés. Il sera alors possible, lors de travaux de génie civil, de planifier une atteinte minimale, en évitant par exemple de couper la forme en deux par une route (d'alpage, de piste de ski) ou d'utiliser les matériaux comme tout-venant.

Une hausse prolongée des températures ferait probablement fondre rapidement la glace contenue dans les glaciers rocheux actifs, ce qui élèverait pendant quelques années le débit des torrents périglaciaires. Mais il semble que seul un changement important du régime des précipitations modifierait rapidement le volume d'eau des bassins-versants périglaciaires. Le régime hydrique actuel particulier, à composantes glaciaire et pluvio-nival, évoluerait ainsi vers un régime pluvio-nival prononcé. La qualité des eaux pourrait également changer dans le sens d'une élévation des températures et d'une minéralisation plus forte.

Une surveillance de ces formes majeures, dont on connaît encore peu la dynamique, s'impose dans les régions périglaciaires considérées comme zones à risques en raison du relief souvent abrupt et de l'instabilité des terrains induite par la fonte du pergélisol. En effet, comme l'a étudié ZIMMERMANN (1990), une accélération du réchauffement

amplifierait l'activité des écoulements de matériaux détritiques actuellement soudés par le pergélisol. Les coulées boueuses en résultant pourraient atteindre les routes et les villages dans les vallées à versants abrupts.

Remerciements

Ce travail a pu être effectué grâce au VAL de RECHY à qui je voue un immense et amical respect, ainsi qu'aux êtres inspirants que j'ai eu le bonheur de côtoyer durant mes années de recherche là-haut sur la montagne du dieu Poeninus : les Grands Corbeaux et leurs glissades sur les névés, l'Aigle dans son bain au milieu de la Rèche, le Campagnol des neiges et sa fleur à la bouche, les sculptures immaculées de gypse émergeant de la boue, les Cirses de la tisane quotidienne, la première Neige d'automne, les festins de Bébert et les discussions philosophiques avec Jean-Pierre au coin du feu sous le toit de tôle du Zarzé, le sourire tibétain de Monique qui m'a souvent fait penser que j'atteignais le Toit du Monde, lorsque j'arrivais au soleil couchant sur les plateaux flamboyants en amont du Louché.

Bibliographie

- BAJEWSKY I. ET J.S. GARDNER, 1989. Discharge and sediment-load characteristics of the Hilda rock-glacier stream, Canadian Rocky Mountains, Alberta. *Physical Geography*, 10, 295-303.
- BAUMGARTNER A., R. EBERHARD ET G. WEBER, 1983. Der Wasserhaushalt der Alpen. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien.
- BEZINGE A., 1978. Torrent glaciaires, hydrologie et charriages d'alluvions. *Jahrbuch der Schweiz. Naturf. Gesell.*, 152-169.
- BUTLER D.R., 1984. Reinterpretation of a late Pleistocene moraine in the Lemhi Mountains of Idaho, U.S.A. *Z. Geomorph. N. F.*, 28, 333-346.
- EVIN M ET A. ASSIER, 1983. Glacier et glaciers rocheux dans le Haut-Vallon du Loup, (Haute-Ubaye, Alpes du Sud, France). *Zeitschr. für Gletsch. und Glaz.*, 19, 27-41.
- GIARDINO J.R., 1983. Movement of ice-cemented rock glaciers by hydrostatic pressure : an example from Mount Mestas, Colorado. *Z. Geomorph. N. F.*, 27, 297-310.
- GIARDINO J.R., J.D.VITEK ET J.L.DEMORETT, 1992. A model of water movement in rock glaciers and associated water characteristics. *Periglacial Geomorphology*, Ed. J. Wiley and Sons Ltd, 159-184.
- GORBUNOV A.P., 1978. Permafrost investigations in high-mountain regions. *Arctic and Alpine Research*, Vol. 10, 2, 283-294.
- HAEBERLI W., 1985. Creep of mountain permafrost : internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, Nr 77, 142.
- HAEBERLI W, J. HUDER, H.-R. KEUSEN, J. PIKA ET H. RÖTHLISBERGER, 1988. Core drilling through rock glacier-permafrost. *Permafrost: 5th International Conference on Permafrost in Trondheim, Norway*, 1, 937-942.
- HARRIS, S.A., H.M.FRENCH, J.A. HEGINBOTTOM, G.H.JOHNSTON, B.LADANYI, D.C.SEGO ET R. O. VAN EVERDINGEN, 1988. La terminologie du pergé-

- lisol et notions connexes. *Conseil national de recherches du Canada, Ottawa*, No 142, 154.
- HUMLUM O., 1988. Rock glacier appearance level and rock glacier initiation line altitude : a methodological approach to the study of rock glaciers. *Arctic and Alpine Research*, 20, 160-178.
- JOHNSON P.G., 1981. The structure of a talus-derived rock glacier deduced its hydrology. *Can. J. Earth Sci.*, 18, 1422-1430.
- 1984. Rock glacier formation by high-magnitude low-frequency slope processes in the Southwest Yukon. *Annals of the Association of American Geographers*, 408-419.
- LLIBOUTRY L. 1961. Les glaciers enterrés et leur rôle morphologique. *Commission des neiges et glaces de l'A.I.H.S.*, 54, 272-280.
- LUCKMAN B. H. ET K. J. CROCKETT, 1978. Distribution and characteristics of rock glaciers in the southern part of Jasper National Park, Alberta. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 15 - 4, 540-550.
- PISSART A., 1987. Géomorphologie périglaciaire. *Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège*, 135.
- POTTER N.J.R., 1972. Ice-Cored rock glacier, Galena Creek, Northern Absaroka Mountains, Wyoming. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83, 3025-3058.
- SMIRAGLIA Cl., 1985. Contributo alla conoscenza dei rock glaciers della Alpi italiane. *Rivista Geografica Italiana*, An. XCII - 2, 117-140.
- WASHBURN A.L., 1973. Periglacial processes and environments. *St Martin's Press, New York*, 320.
- WHALLEY B. W., ET E. H. MARTIN, 1992. Rock glaciers : II models and mechanisms. *Progress in Physical Geography*, 16-2, 127-186.
- WHITTON J., 1984. Dictionary of physical geography. *The Penguin, London*, 591.
- ZIMMERMANN M., 1990. Periglaziale Murgänge. *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH, Zürich, Mitteilung* 108, 89-107.