

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 82 (1992-1993)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Glaciers rocheux fossiles dans les Préalpes vaudoise  
**Autor:** Schœneich, Philippe  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-280163>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Glaciers rocheux fossiles dans les Préalpes vaudoises

PAR

PHILIPPE SCHÖENEICH<sup>1</sup>

*Summary.*—SCHÖENEICH P., 1992. Fossil rock-glaciers in the western swiss Prealps. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 82.1: 35-55.

Fossil rockglaciers and incipient creep features have been recognized at different altitudes and expositions in the Western Swiss Alps. Interpretation is made by means of the distribution model of KELLER et HÖLZLE (altitude of permafrost as fonction of exposition and slope shape). This model allows the classification of the fossil landforms in three generations, and the calculation for each group of a “permafrost boundary depression”. Dating of the two last generations of rockglaciers is attempted by correlation with Lateglacial stages, but is still very uncertain.

*Résumé.*—SCHÖENEICH P., 1992. Glaciers rocheux fossiles dans les Préalpes vaudoises. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 82.1: 35-55.

Des glaciers rocheux fossiles et des formes de reptation considérées comme des glaciers rocheux embryonnaires ont été reconnus à différentes altitudes et expositions dans les Préalpes vaudoises (Suisse). L'interprétation est faite à l'aide du modèle de distribution de KELLER et HÖLZLE (altitude du permafrost en fonction de l'orientation et de la position dans le versant). Ce modèle a permis de classer les formes fossiles en trois générations, et de calculer pour chacune d'elles l'abaissement de la limite du permafrost. La datation des deux groupes les plus récents a été tentée par corrélation avec des stades tardiglaciaires; elle reste très incertaine.

---

<sup>1</sup>Institut de Géographie de l'Université de Lausanne, BFSH-2, CH-1015 Lausanne

## 1. INTRODUCTION

Les glaciers rocheux sont définis comme «*des corps de sédiments gelés en permanence, contenant de la glace intersticielle et/ou des lentilles de glace, soumis à des mouvements de reptation causés par la déformation de la glace qu'ils contiennent*» (BARSCH 1988). Ils sont un des phénomènes les plus typiques du permafrost de montagne, et se traduisent dans le terrain par des accumulations bombées de gros blocs, au micro-relief marqué de crêtes et de sillons.

La recherche sur les glaciers rocheux s'est surtout concentrée sur les glaciers rocheux actifs, et partant sur les régions où ceux-ci sont fréquents, soit les parties internes et orientales des Alpes. Ce n'est que ces dernières années que l'attention s'est portée sur les formes fossiles de basse altitude rencontrées hors des zones de distribution actuelle du permafrost, pourtant très nombreuses dans certaines régions (DE JONG et KWADIJK 1988, URDEA, SOLLID et SOERBEL, SMIRAGLIA, DRAMIS et KOTARBA, tous à paraître). Leur intérêt pour la reconstitution paléoclimatique a été démontré en particulier par KERSCHNER (1978, 1983, 1985).

Dans les Préalpes vaudoises, de nombreux glaciers rocheux fossiles ou formes associées ont été reconnus à des altitudes de 1500-2000 m. On trouve tous les types morphologiques, du «protalus rampart» jusqu'au glacier rocheux multilobé de grande taille. Ils sont presque tous situés sur la feuille «Les Mosses» de la carte nationale au 1:25'000.

## 2. DESCRIPTION

### 2.1. Critères d'identification

WARHAFTIG et COX (1959) ont décrit avec beaucoup de détail le microrelief des glaciers rocheux. Bien qu'ils aient décrit des glaciers rocheux actifs, les mêmes formes, parfois même plus accentuées, se retrouvent sur les glaciers rocheux fossiles, et en constituent les principaux critères d'identification. En ajoutant nos observations personnelles, on obtient la liste suivante (fig. 1):

- situation à l'aval d'une zone d'alimentation en débris rocheux (éboulis ou accumulation morainique);

- micro-relief de crêtes et de sillons longitudinaux dans la partie radicale, résultant de l'incorporation de masses de neige par les avalanches et de mouvements de cisaillement longitudinaux;

- micro-relief de crêtes arquées concentriques discontinues dans les zones de compression, essentiellement dans la partie frontale;

- crête externe souvent continue et plus haute, du fait d'un pourcentage de glace plus faible en périphérie du glacier rocheux (et donc perte de volume moins importante lors de la fusion);

- front raide, bien délimité;
  - pente extérieure souvent couverte de végétation, du fait de l’affleurement au front des couches plus fines du noyau du glacier rocheux;
  - surface intérieure couverte d’un chaos de gros blocs, avec pédogenèse souvent très maigre voire absente;
  - présence de dolines thermokarstiques, rarement occupées par des lacs;
  - présence au fond des dolines et des sillons d’un «openwork» de gros blocs sans matrice;
  - absence totale de drainage superficiel.
- Tous ces caractères ne sont pas toujours réunis, surtout lorsque les roches constitutives sont très altérables.

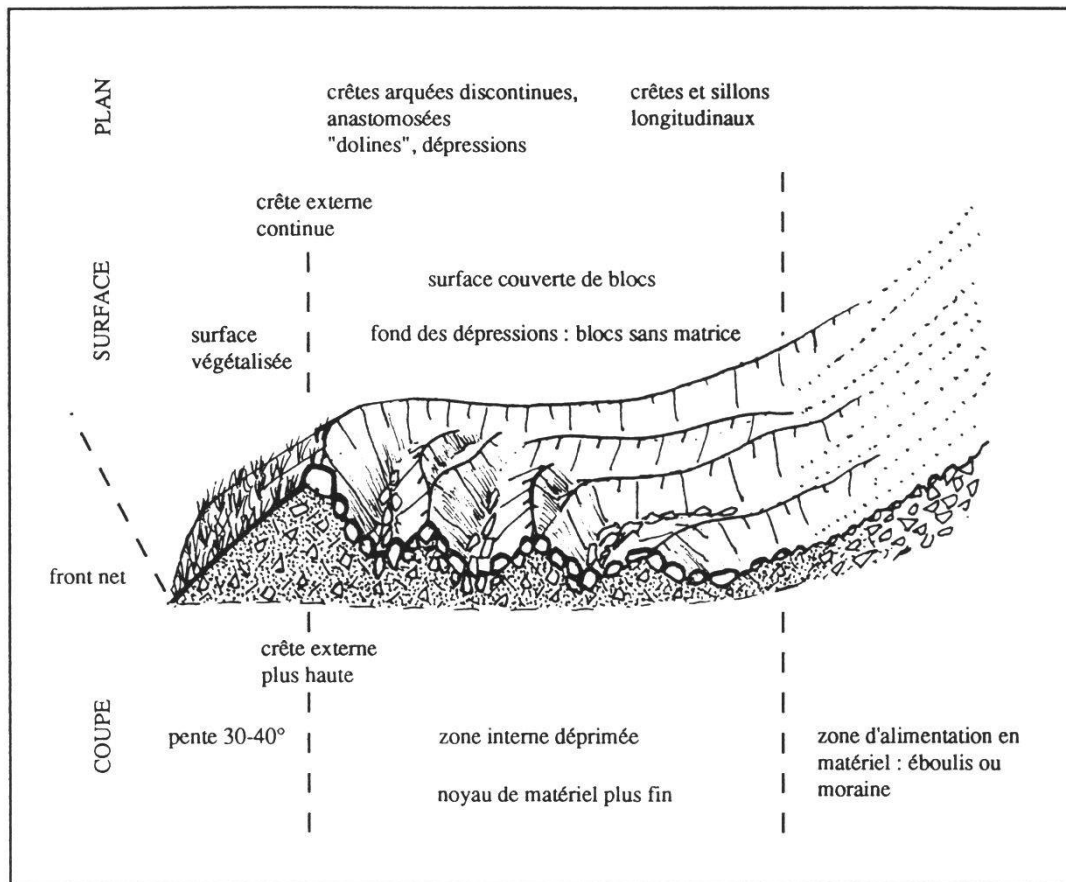


Figure 1.– Caractéristiques géomorphologiques des glaciers rocheux fossiles.

Plusieurs classifications ont été proposées. WARHAFTIG et COX (1959) ont distingué les types en fonction de la forme générale en plan et de la situation :

- lobé: plus large que long, en général au pied d’un voile d’éboulis, souvent sur un flanc de vallée;
- en langue: plus long que large, souvent alimenté de plusieurs cotés et s’écoulant dans le fond d’un vallon ou d’un cirque;
- en spatule: idem, mais le front s’étalant en spatule, généralement en situation de piémont.

Les trois types sont présents dans les Préalpes. Quelques petites formes sont en outre décrites comme des glacier rocheux élémentaires monolobés.

Partant des processus, on classe habituellement les glaciers rocheux en trois catégories: actifs (présentant des mouvements), inactifs (contenant toujours de la glace mais ne présentant plus de mouvement) et fossiles. Les formes des Préalpes sont toutes fossiles, i.e. qu'elles ne contiennent plus de glace et sont situées bien en dessous de la limite actuelle du permafrost.

BARSCH (1988) distingue, selon l'origine du matériel, entre «talus rockglaciers», alimentés directement par des éboulis, et «débris rockglaciers», formés à partir de sédiments morainiques. Les formes décrites ici sont toutes des «talus rockglaciers». Un seul cas, marginal, de moraine déformée en glacier rocheux a été repéré (en bordure du Larzey).

La question de l'origine de la glace a souvent été discutée. Selon la théorie classique (WARHAFTIG et COX 1959, HAEBERLI 1985, BARSCH 1988, p. ex.), les glaciers rocheux résultent d'un processus de «cohesive flow» qui n'est possible que dans une masse de sédiments gelés, excluant les glaciers «noirs», avec un noyau de glace de glacier couvert de débris. On admet cependant que la glace ne résulte pas uniquement du regel de l'eau intersticielle, mais peut provenir aussi de l'incorporation de névés et de neige par les avalanches. Or, si la plupart des glaciers rocheux lobés en pied d'éboulis correspondent bien à la théorie classique, les glaciers rocheux en langues apparaissent souvent intimement liés à des formes glaciaires comme des moraines latérales, et il existe probablement des formes de transition. Toutefois, le micro-relief caractéristique de crêtes et sillons arqués ne peut se former qu'en conditions de permafrost, ce qui est important pour l'interprétation paléoclimatique des formes fossiles.

Le tableau 1 donne les principales caractéristiques des formes observées.

Tableau 1.—Altitude et orientation des glaciers rocheux fossiles des Préalpes vaudoises (PM= nappe des Préalpes Médiannes).

Nom	Orient.	Altitude max.-min.	Unité tectonique	Type	Génér.
Larzey 1	SE	1720-1660	moraine	lobé	1
Larzey 2	E	1850-1700	PM rigides	langue	2
Bois des Arlettes	NW	1750-1560	PM rigides	lobé	2
Gros Jable	S	2000-1950	PM rigides	lobé	2
La Plâne	N	1600-1510	PM rigides	spatule	2
Coumatta	NE	1850-1750	PM rigides	lobé	2
Videmanette	SE	2100-1950	PM rigides	lobé	2
Lac Lioson	N	1920-1850	Niesen	lobé	3
Seron	N	2050-1940	Niesen	(lobé)	3
Iserin	SE	1740	Niesen	lobé	1
Les Fleuries	S	2050	Niesen	lobé	3
Marnex	SW	1900	Niesen	monolobé	2
Métraille	SE	2100	Niesen	monolobé	3
Chersaule	S	1700	Niesen	monolobé	1
Mayen	S	1830	PM plast.	monolobé	1
Petit Jable	S	1800	PM rigides	monolobé	1

## 2.2. Les glaciers rocheux du Mont d'Or

*Le Larzey*: le Mont-d'Or présente sur son flanc est un profond cirque glaciaire, installé à la faveur d'un décrochement de la barre calcaire. Au débouché de ce cirque, au lieu dit Le Larzey, s'étale une énorme masse de dépôts quaternaires au relief très tourmenté (fig. 2). Sur le bord externe de l'accumulation, on reconnaît un vallum morainique parfaitement net et complet, marquant le seul stade reconnaissable d'un glacier provenant du cirque. La partie centrale de la moraine latérale droite semble avoir flué pour former un petit glacier rocheux (un «débris rock-glacier» au sens de BARSCH 1988). A l'intérieur de l'arc morainique, la partie centrale et amont présente la morphologie typique d'un glacier rocheux fossile en forme de langue, avec un micro-relief de sillon et de crêtes longitudinales à l'amont, au débouché du cirque, et une succession de crêtes arquées séparées par des dépressions subcirculaires dans la partie basse. Ces dépressions peuvent atteindre une profondeur de plusieurs dizaines de mètres, alors que la hauteur du front totalise 40-50 m. Le matériel est très grossier, avec des blocs de calcaires de plusieurs m<sup>3</sup>. L'alimentation de ce glacier rocheux se faisait d'une part depuis le fond du cirque et d'autre part par les parois dominant la rive droite du glacier rocheux.

Entre ce glacier rocheux et le vallum morainique, on trouve une zone déprimée présentant un micro-relief semblable, mais beaucoup moins accentué. Il pourrait s'agir d'un glacier rocheux plus petit, descendant du flanc gauche du cirque, ou plus probablement de dépôts résiduels d'un glacier couvert. Un sondage carotté effectué au centre de ce dépôt a révélé une masse de graviers sablo-limoneux contenant des cailloux. Le fond rocheux, de la cornieule, a été touché à 46 m de profondeur. Le matériel traversé, pourrait correspondre, selon la description géotechnique, autant au matériel formant le coeur d'un glacier rocheux qu'à de la moraine. Seule une description sommaire des carottes ayant été conservée, il n'est malheureusement pas possible de préciser ce point.

*Bois des Arlettes*: sur le flanc ouest du Mont-d'Or, toute la zone du Bois des Arlettes représente également un glacier rocheux fossile (fig. 3). Plusieurs cordons morainiques sont ici reconnaissables en aval et en bordure du glacier rocheux. Le glacier rocheux lui-même peut être divisé en deux parties: la partie sud-ouest présente une morphologie caractéristique de crêtes et sillons arqués concentriques. La topographie de la partie nord-est par contre est totalement désorganisée en une juxtaposition de dolines et de buttes coniques: cette partie recouvre du gypse, et le micro-relief est celui d'un karst à pyramides. Ce karst est cependant recouvert d'au moins 10-20 m de débris rocheux et le gypse n'affleure nulle part. L'épaisseur et la limite latérale franche de la couverture de blocs, la nature du matériel, ainsi que la continuité avec la partie sud-ouest ne laissent cependant guère de doute sur l'origine de l'accumulation: il s'agit bien d'un glacier rocheux fossile, totalement remodelé par le karst. Plusieurs explications peuvent être avancées:

- le karst s'est développé après la mise en place du glacier rocheux, ce qui est parfaitement possible vu la très grande vitesse d'évolution des karsts gypseux;

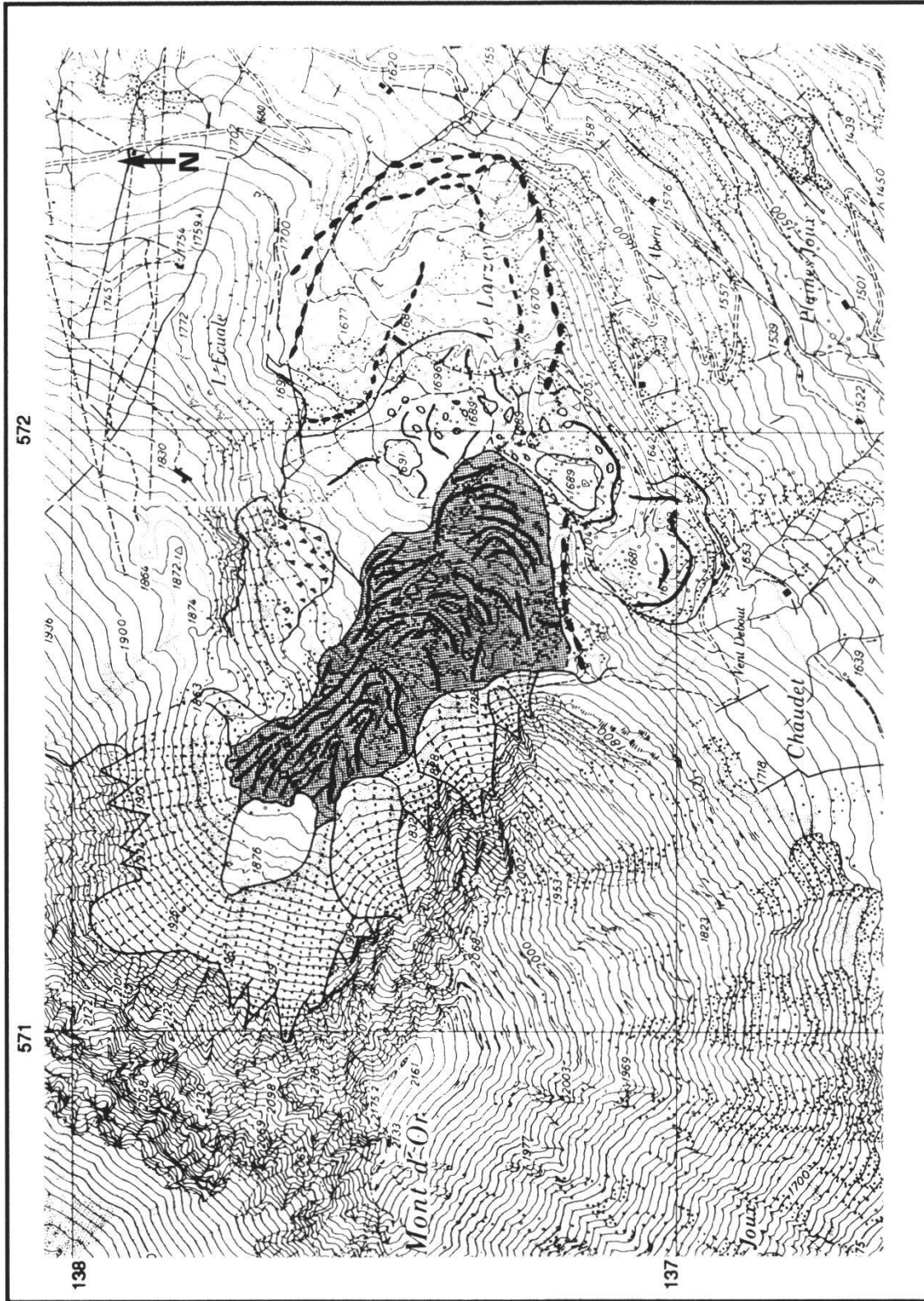


Figure 2.—Le Larzey. En grisé, le glacier rocheux fossile, occupant tout le cirque au pied des éboulis du Mont d'Or. En avant, une accumulation chaotique entourée de plusieurs cordons morainiques (gros pointillé). La moraine latérale droite est partiellement remaniée par un petit glacier rocheux. (Fond de carte reproduit avec l'autorisation du Service du cadastre et du registre foncier - Vaud du 13.11.91).

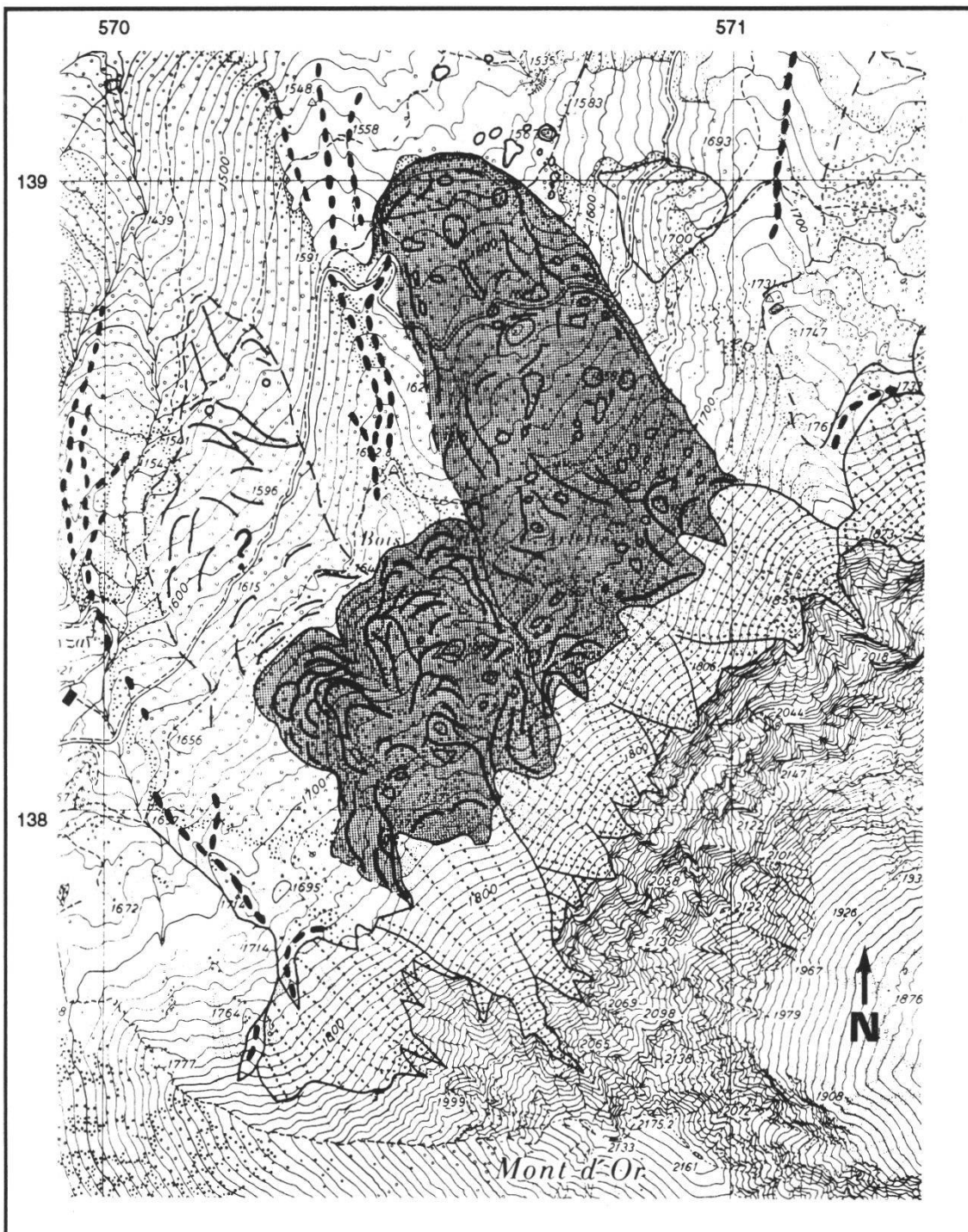


Figure 3.—Les glaciers rocheux fossiles du Bois des Arlettes, au pied des importants éboulis de la face nord-ouest du Mont d'Or. A gauche un glacier rocheux multilobé dont les formes sont bien conservées; à droite une accumulation due certainement aussi à un glacier rocheux, mais dont les formes sont totalement oblitérées par le karst gypseux sous-jacent. Des cordons morainiques latéraux témoignent de stades glaciaires antérieurs aux glaciers rocheux. (Fond de carte reproduit avec l'autorisation du Service du cadastre et du registre foncier - Vaud du 13.11.91).

–le karst gypseux est antérieur au glacier rocheux: dans ce cas il faudrait admettre que les dolines étaient comblées par la neige ou la glace, permettant le passage du glacier rocheux. Lors de la fusion, le matériel rocheux se serait effondré dans les dolines libérées de leurs culots de glace.

Nous ne disposons d'aucune coupe dans ces dolines qui permettrait de trancher la question.

### 2.3. La chaîne Rubli-Gummfluh

*Gros Jable*: au-dessus de l'alpage de Gros-Jable, sur un replat structural calcaire au pied de la face sud de la Gummfluh, s'est accumulé un glacier rocheux très court, mais large, occupant tout le pied d'un important voile d'éboulis, orienté plein sud (fig. 4). Le micro-relief présente une série de crêtes et de sillons transversaux, légèrement ondulés, arqués sur les bords. La crête externe est plus haute et présente une pente extérieure enherbée. Il s'agit ici d'un glacier rocheux lobé, dont l'extension a probablement été limitée du fait de l'orientation défavorable. Plus bas, à hauteur des chalets d'alpage, deux complexes morainiques très bien conservés témoignent d'un stade glaciaire antérieur au glacier rocheux.

*Petit-Jable*: à l'ouest de Gros-Jable, un glacier rocheux élémentaire, à lobe unique mais front très élevé, s'est développé à une altitude plus basse (fig. 4).

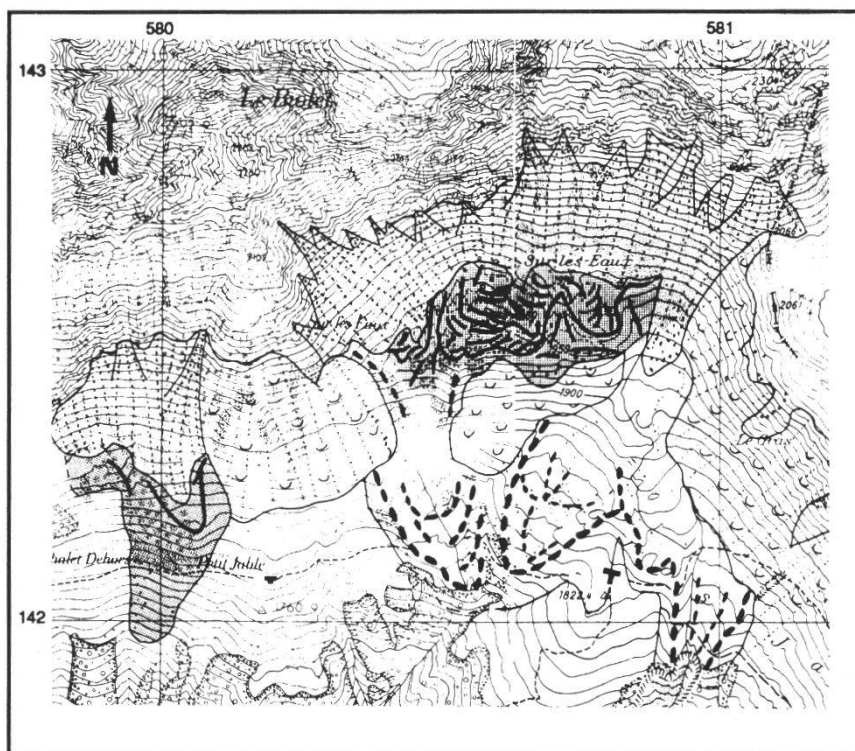


Figure 4.–Le glacier rocheux de Gros Jable, orienté plein sud, au pied d'un important voile d'éboulis. Il est encadré par un complexe morainique très bien conservé. A gauche, à Petit Jable, une forme interprétée comme un glacier rocheux élémentaire, monolobé. (Fond de carte reproduit avec l'autorisation du Service du cadastre et du registre foncier - Vaud du 13.11.91).

*Obers Meiel*: à l'est du Col de Jable, au-dessus de l'alpage de Obers Meiel, des crêtes rectilignes suivent le pied des éboulis de la Gummfluh et représentent probablement des «protalus rampart». Selon certains auteurs, ceux-ci doivent être considérés comme des formes périglaciaires, et seraient l'une des formes de départ des glaciers rocheux lobés.

*La Plâne*: au nord du chaînon de la Gummfluh, une importante accumulation quaternaire s'étale en «spatule», formant un arc parfait et complet dans le fond d'un vallon encaissé orienté plein nord, au pied d'un énorme cône d'éboulis calcaires (fig. 5). Sur les deux côtés, les bords présentent une morphologie de moraine latérale. Mais tout le centre présente un microrelief peu marqué, mais néanmoins visible, de crêtes et sillons longitudinaux, puis obliques par rapport aux «moraines», enfin de bosses et de dépressions vers le front. Cette topographie caractéristique, de même que la raideur de la pente extérieure du front, nous font pencher pour un glacier rocheux fossile. Il est possible cependant que celui-ci se soit formé à partir d'un glacier couvert.

Au pied du talus frontal, une source très froide alimente un petit lac.

*La Pierreuse*: au pied de l'immense cône d'éboulis de la Pierreuse, symétrique de celui de la Plâne, un petit lobe peut être interprété comme une forme élémentaire de reptation de l'éboulis (fig. 5).

*Coumatta*: au sud du Col de Base, des crêtes et sillons transversaux, représentant une forme de transition entre le «protalus rampart» et un glacier rocheux lobé, bordent le pied d'un éboulis calcaire orienté au nord-est (fig. 5).

*La Videmanette*: au pied sud du Rubli, juste sous la Videmanette, un petit glacier rocheux lobé, au micro-relief très joliment développé, occupe le sommet d'un vallon (fig. 6). Il est alimenté par les éboulis du Rubli et du Rocher à Pointes. Il est bordé par une moraine latérale.

#### 2.4. La chaîne Chaussy-Palette

*Lac Lioson*: le lac Lioson occupe une dépression glacio-karstique au fond d'un vaste cirque glaciaire, origine du glacier de l'Hongrin (fig. 7). Le lac est bordé côté montagne par un petit glacier rocheux lobé fossile. Du fait de la nature du matériel, des conglomérats et grès grossiers de flysch très altérables, la surface est entièrement couverte d'un sol et colonisée par une végétation de pâturage. Le micro-relief de crêtes et sillons ne laisse cependant aucun doute sur l'origine de l'accumulation.

Le glacier rocheux semble occuper tout l'espace intérieur d'un vallum morainique dont il ne reste que la moraine latérale gauche bien développée. Il faut noter cependant qu'à l'aval du lac, les dépôts morainiques permettent de reconstituer une quinzaine de positions successives de retrait du glacier de l'Hongrin.

*Seron*: sur l'alpage de Seron, on trouve plusieurs formes incertaines. Une moraine à gros blocs, prolongée par deux traînées de blocs pourrait bien témoigner d'un éboulement sur glace ou sur névé, alors qu'à l'intérieur de cet arc morainique, une topographie toute de bosses et de dolines pourrait



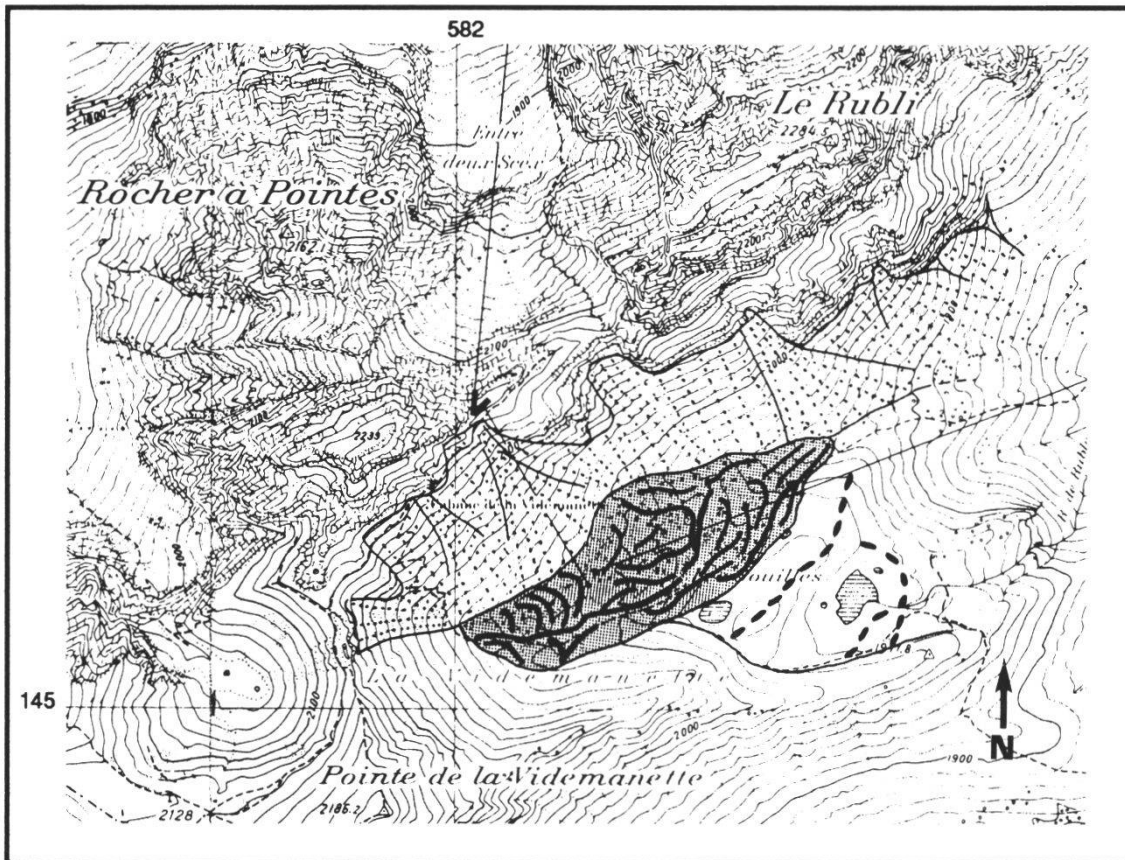


Figure 6.—Le glacier rocheux fossile de la Videmanette, au pied d'un éboulis orienté au sud-est. Les formes révèlent cependant une direction d'écoulement au nord-est. Il est entouré par un cordon morainique. (Fond de carte reproduit avec l'autorisation du Service du cadastre et du registre foncier - Vaud du 13.11.91).

indiquer un glacier rocheux fossile, éventuellement formé aux dépens d'un glacier couvert. Comme au Lac Lioson, les dépôts sont entièrement colonisés par la végétation.

*Iserin:* au pied du flanc sud-est de la Palette, une accumulation présentant des sillons concentriques borde le pied de l'éboulis. La surface est faite de gros blocs, alors qu'au front, des niches de source mettent à jour un matériel plus fin semblable à de la moraine. On pourrait avoir là la stratification typique d'un glacier rocheux.

*Marnex, Métreille, Chersaule:* un certain nombre de formes élémentaires de reptation sont visibles essentiellement sur le flanc sud de la chaîne Chaussy-Palette. Il s'agit pour la plupart de formes simples à lobe unique fermant une petite dépression (fig. 8). Elles sont colonisées par la végétation, mais dans le fond de la dépression affleurent souvent des blocs sans matrice.

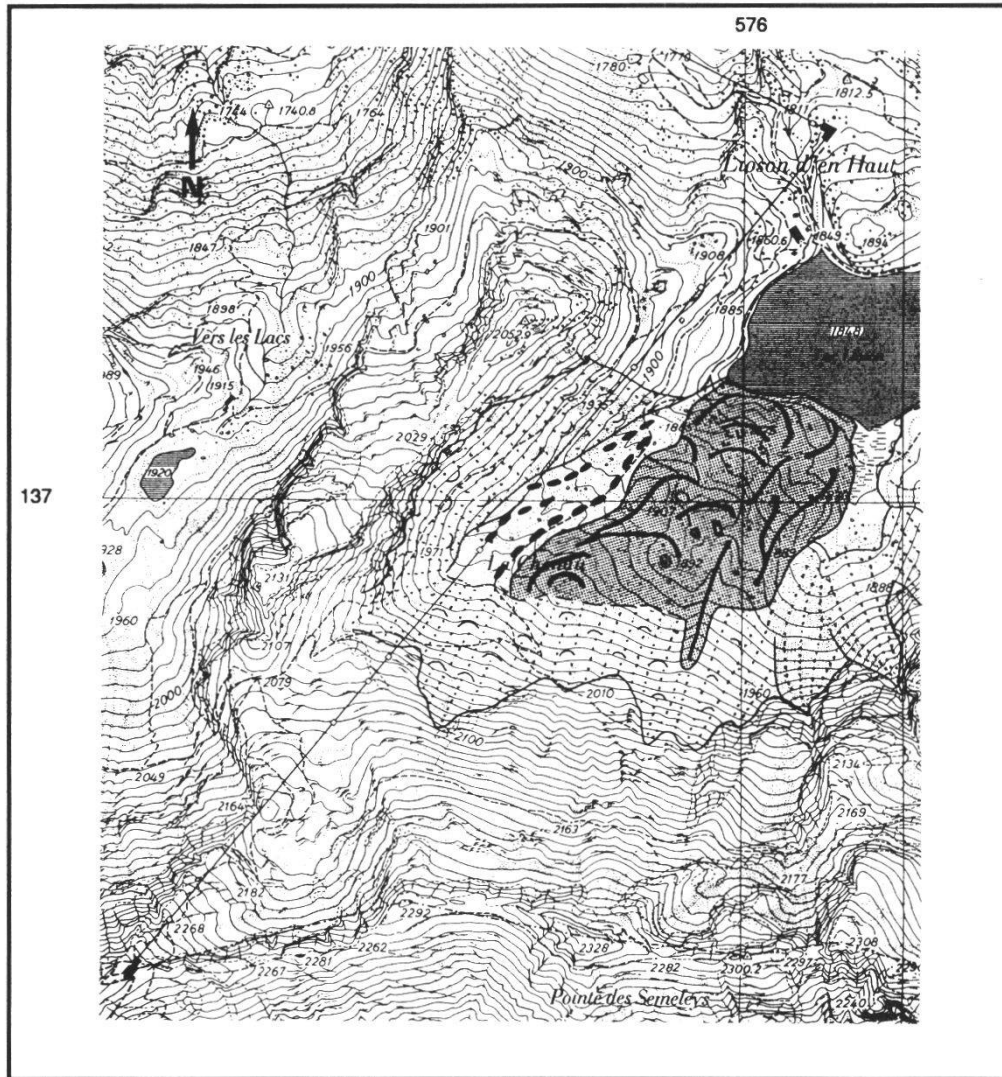


Figure 7.—Le glacier rocheux fossile du Lac Lioson. A gauche deux moraines latérales de stades glaciaires antérieurs. (Fond de carte reproduit avec l'autorisation du Service du cadastre et du registre foncier - Vaud du 13.11.91).

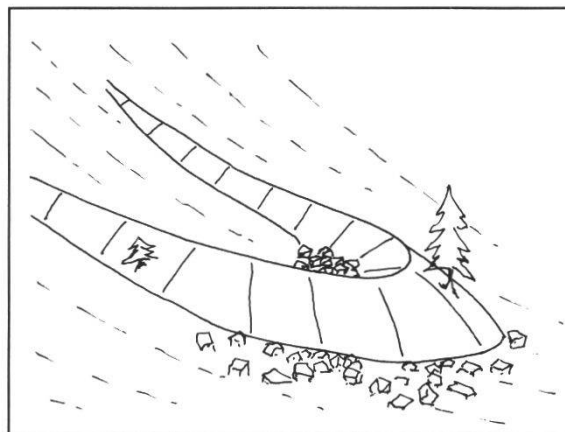


Figure 8.—Représentation schématique des formes élémentaires monlobées de la chaîne du Chaussy (Métraille, Marnex, Chersaule).

### 2.5. *Les chaînes des Tours d'Aï, des Rochers de Naye et du Vanil Noir*

Des formes de glaciers rocheux s'observent aussi dans les massifs formés par les Préalpes médianes plastiques. Elles sont cependant souvent mal développées et incertaines. Nous n'en mentionneront que quelques-unes, l'ensemble nécessite des investigations plus détaillées.

*Mayen*: en face des chalets de Mayen, un petit ensemble de crêtes discontinues concentriques pourrait être un petit glacier rocheux lobé, formé aux dépens de la moraine latérale gauche.

*Planachaux*: une curieuse forme de reptation se développe sur un éboulis, formée d'un lobe unique prolongé à l'amont par deux levées très étirées. Il n'est pas certain qu'il s'agisse d'une forme périglaciaire.

*Rochers de Naye*: une accumulation bombée d'origine mal déterminée barre presque complètement le vallon descendant sur le col de Jaman. Le microrelief n'est pas caractéristique d'un glacier rocheux, sauf en bordure amont. Il pourrait s'agir aussi d'un éboulement, mais dans ce cas on s'explique mal le faible étalement du matériel et son front raide. Nous l'interprétons comme un glacier rocheux mal développé, incertain.

*Teysachaux*: un bombement au pied de l'éboulis du versant nord de la Dent de Lys peut être interprété comme une forme élémentaire de reptation.

### 2.6. *Répartition géologique*

La plupart des formes recensées se localisent au pied des barres calcaires de la nappe des Préalpes Médiannes Rigides (Mont-d'Or, Rubli-Gummfluh). Cette unité tectonique forme des reliefs à hautes parois calcaires, livrant des éboulis abondants de blocs anguleux de taille moyenne à grande. Un tel matériel est idéal pour le développement de glaciers rocheux. D'autre part, ces barres massives ne sont guère propices au développement de cirques glaciaires, et les glaciers y ont été par conséquent petits, voire absents, laissant la «place» libre aux phénomènes périglaciaires. Deux glaciers rocheux se sont développés sur un substratum de gypse et de cornieule.

D'autres formes se localisent dans la nappe du Niesen. Cette nappe est formée de flysch souvent conglomératique et très fissuré, livrant lui aussi un matériel abondant. Les éboulis sont cependant rarement francs, et contiennent généralement une matrice fine abondante donnant lieu à des phénomènes de solifluxion. Du fait de la très forte altérabilité de ces roches, les glaciers rocheux y sont recouverts d'un sol épais et d'une riche végétation de pâturage. On peut cependant supposer que sous un climat plus froid ces matériaux résistaient mieux et étaient plus favorables à la formation de glaciers rocheux. Par contre, cette chaîne est marquée par de profonds cirques glaciaires, occupés au Tardiglaciaire par des glaciers, limitant ainsi l'extension des glaciers rocheux.

Enfin, quelques formes isolées se rencontrent dans les chaînons de la nappe des Préalpes Médiannes Plastiques. Ce sont toutes des formes élémentaires ou incertaines.

## 3. SIGNIFICATION PALÉOCLIMATIQUE

3.1. *Altitude du permafrost*

La plupart des glaciers rocheux actifs actuels des Alpes se situent dans la ceinture de permafrost discontinu. On peut donc admettre que la présence de glaciers rocheux fossiles indique l'existence passée d'un permafrost au moins discontinu (BARSCH 1978). KELLER et HÖLZLE (1992) ont défini un modèle de répartition du permafrost «probable» et «possible» (correspondant aux ceintures de permafrost respectivement discontinu et sporadique) en fonction de l'orientation, de l'altitude et de la position par rapport au versant (fig. 9), basé sur les observations de HAEBERLI (1975) et sur plus de 800 mesures de température basale de la couche neigeuse aux Grisons et plus particulièrement en Engadine. En admettant que les différences d'altitude en fonction des versants restent constantes, on peut donc adapter le modèle à une situation climatique plus froide, et définir ainsi un «abaissement de la limite du permafrost» (cf. KERSCHNER 1983 b, 1985). Il est alors possible aussi de tester la contemporanéité des divers glaciers rocheux fossiles répertoriés.

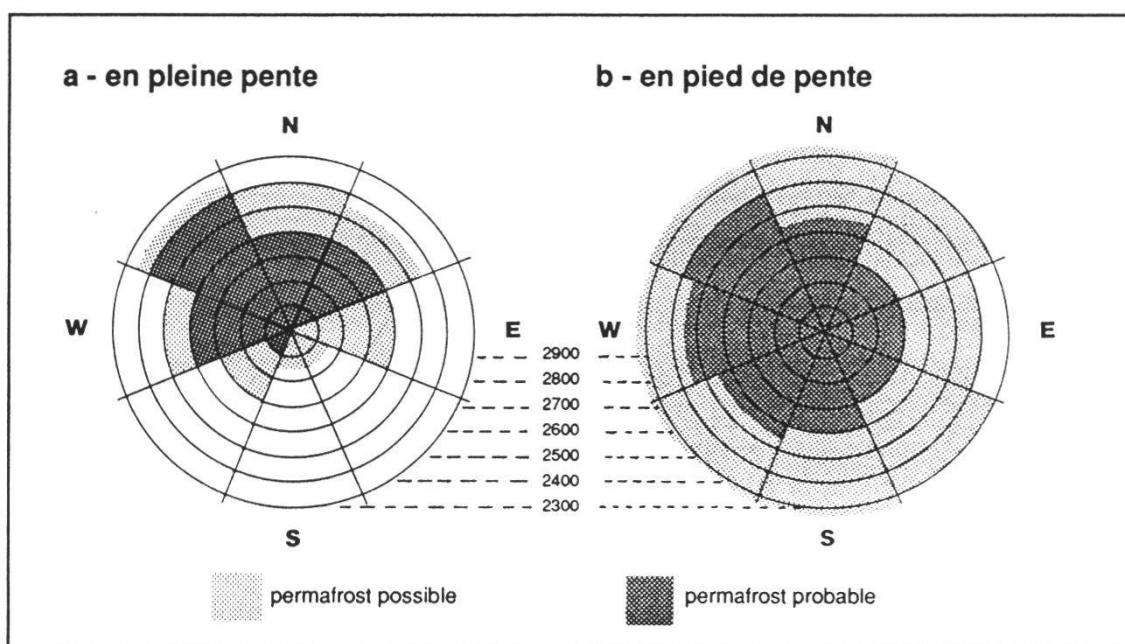


Figure 9.—Modèle de répartition du permafrost en Engadine, en fonction de l'altitude, de l'orientation et de la position par rapport au versant (selon KELLER et HÖLZLE 1992).

L'application de cette méthode nécessite la calibration préalable du modèle pour la situation actuelle. Les Préalpes étant situées en-dessous de la ceinture de permafrost discontinu, on doit pour cela recourir aux données des régions voisines. Un seul glacier rocheux actuel, inactif, est connu dans les Alpes vaudoises, à côté du glacier des Martinets, à une altitude de 2200 m en exposition nord. D'autre part, une moraine historique à noyau de glace

subsiste sous le glacier de Pierredar, par même altitude et exposition. Dans les massifs proches des Alpes bernoises, les données manquent. Selon la carte de BARSCH (1978), basée sur l'inventaire des glaciers rocheux des Alpes suisses, la limite inférieure des glaciers rocheux actifs serait semblable ou légèrement plus basse dans nos régions qu'en Engadine. En l'absence de données plus précises, nous avons adopté les limites définies en Engadine comme niveau de référence (les valeurs d'abaissement des isothermes ainsi calculées seront donc peut-être légèrement surévaluées).

Si l'on reporte tous les glaciers rocheux fossiles sur un graphique en secteur (fig. 10), on constate que toutes les formes majeures peuvent correspondre à un même état climatique, correspondant à un abaissement de la limite du permafrost de l'ordre de 900-1000 m. Seules quelques formes élémentaires à lobe unique exigeraient un climat plus froid. Quelques formes, en particulier le glacier rocheux du Lac Lioson, n'exigeraient qu'un abaissement de l'ordre de 700 m, et n'appartiennent probablement pas à la même génération. On aurait donc trois générations de glaciers rocheux, la deuxième étant de loin la plus importante. Au vu des remarques faites ci-dessus, ces résultats doivent toutefois être considérés comme provisoires.

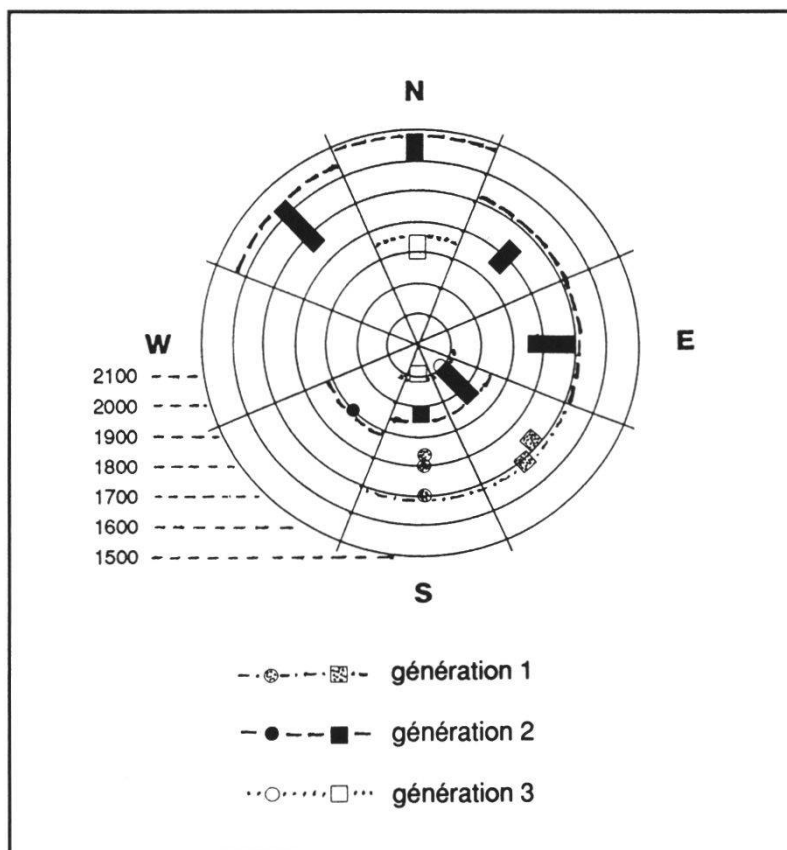


Figure 10.—Répartition des formes fossiles des Préalpes vaudoises et définition des générations de glaciers rocheux.

### 3.2. Position par rapport aux stades glaciaires

Les principaux glaciers rocheux fossiles observés s'inscrivent à l'intérieur d'arcs morainiques. Il est donc intéressant de calculer l'abaissement de la ligne de névé correspondant à ces stades, et de les situer chronologiquement dans la séquence de retrait tardiglaciaire.

L'abaissement de la ligne de névé se calcule classiquement par rapport au stade de 1850. La région étant aujourd'hui totalement déglacée, nous avons dû recourir à une référence régionale établie sur la base de tous les glaciers des Alpes calcaires romandes et du proche Oberland bernois. Les résultats obtenus par rapport à cette référence, avec un AAR de 67 % (rapport de la surface d'accumulation sur la surface totale du glacier), sont donnés dans le tableau 2. La fourchette des valeurs de dépression reflète la dispersion de l'échantillon de référence, due aux situations d'encaissement très diverses des glaciers.

Tableau 2.—Altitude et dépression de la ligne de névé quelques stades morainiques entourant des glaciers rocheux.

Cirque	Orientation	Ligne de névé	Dépression
Lac Lioson	N	1935	385-625
Larzey	E	1740	} 705-945
La Plâne	N	1615	
Gros Jable	S	1930	

Si le modèle de déglaciation de MAISCH (1981) a été maintes fois confirmé dans les Alpes centrales et orientales, les travaux de DORTHE-MONACHON (1986) et de WETTER (1987) ont montré que les corrélations sont beaucoup plus problématiques au front occidental des Alpes, au climat plus humide.

Le stade du Lac Lioson, compte tenu de ces difficultés, pourrait être corrélé avec les stades de Daun ou de Clavadel (voire de Gschnitz). Les trois autres seraient plus anciens, Steinach ou Gschnitz. Ce point nécessite des investigations plus approfondies, qui sont en cours dans le cadre d'une étude régionale du Tardiglaciaire.

La plupart de nos glaciers rocheux montrent un contraste morphologique très net avec les moraines qui les entourent. Cela suppose qu'entre le dépôt des moraines les plus proches et la formation du glacier rocheux, le glacier ait eu le temps de fondre entièrement. D'autre part, un permafrost de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur met théoriquement plusieurs siècles, voire plus de mille ans à se constituer (les éboulis peuvent toutefois geler au fur et à mesure de leur déposition), à quoi il faut ajouter la vitesse de fluage très modérée des formes périglaciaires (HAEBERLI 1985). Il est donc fort possible que les glaciers rocheux ne datent pas du stade immédiatement postérieur aux moraines, mais qu'ils ont mis un temps relativement long à se développer. Il est possible qu'un stade glaciaire d'extension plus réduite que l'actuel glacier rocheux ait existé, dont les moraines auraient été totalement remaniées ou recouvertes par le glacier rocheux.

La «datation» des moraines ne nous donne donc qu'un âge maximum pour les glaciers rocheux situés à l'intérieur. Elle semble toutefois confirmer que le glacier rocheux du Lac Lioson n'appartient pas à la même génération que ceux de La Plâne, du Larzey et de Gros-Jable.

### 3.3. Comparaison avec d'autres régions des Alpes

De nombreux auteurs ont relevé des glaciers rocheux fossiles, et les ont intégrés dans leur schéma général de déglaciation, mais seules de rares études donnent des informations suffisantes pour tenter une corrélation.

KERSCHNER (1978) a étudié des glaciers rocheux fossiles dans le Tyrol autrichien. Sur la base des relations géométriques avec les moraines des stades de Daun et Egesen il leur attribue un âge contemporain au stade d'Egesen. Grâce à l'existence dans les mêmes vallées de glaciers rocheux actifs, il peut calculer de façon fiable un abaissement de la limite du permafrost de 550-600 m, soit une valeur légèrement inférieure à notre génération 3, attribuable au Daun ou à l'Egesen. Plus tard (1983, 1985) il intègre des données de PATZELT (1983) et de KERSCHNER et BERKTOLD (1982) et calcule les abaissements des isothermes et de la température pour les stades de Daun et de Senders (équivalent de Clavadel ?).

DE JONG et KWADIJK (1988) définissent dans le Vorarlberg, soit dans une région qui, comme les Préalpes, ne comporte plus ni glaciers ni permafrost, deux générations de glaciers rocheux, qu'ils attribuent respectivement au Daun et à l'Egesen. Nous pensons que leurs conclusions sont erronées pour les raisons suivantes:

- leurs calculs sont basés sur une série d'approximations, dont certaines sont manifestement fausses, comme l'existence d'un écart constant entre la limite du permafrost et la ligne d'équilibre des glaciers;

- selon leurs conclusions, l'altitude moyenne des glaciers rocheux à l'Egesen serait de 1630 m, alors qu'à quelques dizaines de kilomètres au sud-est, dans le Tyrol, elle serait près de 500 m plus haut selon KERSCHNER (1978). L'altitude des isothermes étant généralement considérée comme régionalement assez homogène, une telle différence paraît plus qu'improbable;

- ils raisonnent sur la base d'un modèle de déglaciation dont le stade de Clavadel est absent.

Nous pensons pour notre part que les glaciers rocheux du Vorarlberg doivent être «vieillis» et considérés comme antérieurs au Daun. Si nous reprenons leurs données et les comparons aux altitudes de référence, certes assez éloignées, de KERSCHNER (1978) ou de KELLER et HÖLZLE (1992), nous obtenons un abaissement de la limite du permafrost de l'ordre de 1200 m pour la génération I et de 1000 m pour la génération II, soit des valeurs très proches de celles des générations 1 et 2 des Préalpes vaudoises.

Dans le Haut-Valais, AUBERT (1979) a relevé 132 glaciers rocheux, dont 31 qu'il considère comme fossiles. Sur la base de l'altitude moyenne des fronts, calculée pour les diverses orientations, il estime l'abaissement de la limite du

permafrost à 300 m en moyenne pour les glaciers rocheux fossiles, et situe leur activité postérieurement à son stade des moraines intermédiaires. Les données brutes sont cependant nettement plus difficiles à interpréter et montrent :

- l'existence probable de plusieurs générations de formes fossiles;
- une très grande dispersion des altitudes des glaciers rocheux actifs;
- le recouvrement partiel des altitudes des glaciers rocheux actifs et fossiles.

Ces deux dernières caractéristiques pourraient provenir du fait qu'AUBERT ne distingue que deux classes de formes, actives et fossiles, les formes inactives étant probablement attribuées tantôt à l'une tantôt à l'autre. Ces données ne sont donc pas utilisables telles quelles, mais elles n'en constituent pas moins une base précieuse dont l'étude mériterait d'être reprise.

Plus récemment, SMIRAGLIA (à paraître) a réalisé un inventaire des glaciers rocheux actifs et fossiles du Monte Emilius au Val d'Aoste, et trouve pour ces derniers un abaissement de la limite du permafrost de 350 m. Il ne donne pas d'attribution d'âge.

Les données sont résumées dans le tableau 3. Elles permettent d'envisager au moins 3, voire 4 générations de glaciers rocheux. Des corrélations à une telle distance doivent bien entendu être considérées avec une extrême prudence.

Tableau 3.—Valeurs d'abaissement de la limite du permafrost pour différents groupes de glaciers rocheux dans les Alpes (1: ce travail, 2: selon KERSCHNER 1985, 3: selon DE JONG et KWADIJK 1988 (révisé), 4: selon SMIRAGLIA à paraître, 5: selon AUBERT 1979).

Génération de glaciers rocheux	Abaissement permafrost	Abaissement température	Age probable
Préalpes 1 <sup>1</sup>	1200 m	7-8 °C	Steinach-Gschnitz?
Préalpes 2	900-1000 m	6-7 °C	Gschnitz-Clavadel?
Préalpes 3	700 m	4-5 °C	Daun-Egesen?
Tyrol <sup>2</sup>	450-550 m	3-3,6 °C	Egesen
	620-680 m	4-4,5 °C	Daun
	650 m		Senders (=Clavadel)
Vorarlberg I <sup>3</sup>	1200 m	7-8 °C	Clavadel ?
Vorarlberg II	1000 m	6-7 °C	Daun?
Monte Emilius <sup>4</sup>	350 m	2,5-3 °C	?
Haut-Valais <sup>5</sup>	(300 m)	2 °C	plusieurs générations

### 3.6. Hypothèses quant à l'évolution climatique du Tardiglaciaire

Selon KERSCHNER (1978, 1983, 1985), les glaciers rocheux sont de bons indicateurs des moyennes de température annuelles. En effet, leur existence nécessite des conditions de permafrost, soit des températures moyennes annuelles inférieures à  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Divers inventaires géomorphologiques montrent par ailleurs que les fronts des glaciers rocheux des Alpes se situent pour la plupart à la limite inférieure de la ceinture de permafrost discontinu (ou «probable» dans le modèle de KELLER et HÖLZLE 1992). Le phénomène ayant par ailleurs une inertie assez grande par rapport aux fluctuations climatiques, on peut considérer le pied des glaciers rocheux fossiles comme des indicateurs de l'altitude de l'isotherme moyen annuel  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  à l'échelle pluri-séculaire à millénaire. En appliquant un gradient thermique de  $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  de dénivellation, on peut calculer la différence de température correspondant à chaque génération de glaciers rocheux (tableau 3).

Partant de la constatation que l'abaissement des isothermes moyens annuels est plus important que celui de la ligne d'équilibre des glaciers (surtout dépendante des températures estivales), KERSCHNER (1985) en déduit l'existence à l'Egesen d'un climat plus continental, avec un contraste de température saisonnier plus accentué. Dans les Préalpes, le décalage est semblable et permettrait donc les mêmes conclusions. KERSCHNER (1983, 1985) et HAEBERLI (1982) vont même plus loin et proposent une méthode pour calculer les différences de précipitation. Les relations entre isothermes et ligne de névé étant trop mal connues dans les Alpes occidentales, nous préférons renoncer à de telles estimations.

## 4. CONCLUSIONS

Les glaciers rocheux fossiles sont des témoins très répandus des phases froides du Quaternaire. Ils contiennent une information climatique précieuse, intégrant probablement les paramètres de température moyenne à l'échelle du millénaire. Ils sont cependant encore très mal exploités dans les reconstitutions paléoclimatiques. A la lumière de nos propres observations, nous pouvons faire les conclusions et propositions suivantes:

–des glaciers rocheux ont pu exister à tous les stades du Tardiglaciaire, et plus ou moins tôt selon l'altitude moyenne des régions. Il serait donc faux de conclure à l'existence d'une «phase périglaciaire» au Würm final;

–les glaciers rocheux sont généralement datés relativement aux stades glaciaires. Or l'altitude des isothermes, dont dépend la répartition du permafrost, peut être considérée comme moins sensible aux facteurs régionaux et locaux que l'altitude de la ligne d'équilibre des glaciers. Nous proposons donc de renverser la démarche: les glaciers rocheux sont sans doute un meilleur «outil» de corrélation à distance que les stades glaciaires;

–nous proposons pour cela de généraliser la notion d'«abaissement de la limite du permafrost», sur le modèle de l'abaissement de la ligne d'équilibre

des glaciers, et d'en calculer la valeur pour les différentes générations de glaciers rocheux. Ces valeurs devraient tenir compte de l'orientation. La question de l'altitude de référence, 1850 ou actuelle, reste ouverte: la situation de 1850 serait préférable pour la corrélation avec les stades glaciaires, mais elle ne peut être définie que dans de rares cas;

–la mesure pertinente pour ces calculs nous semble être l'altitude du front des glaciers rocheux et non leur altitude moyenne.

## 5. REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement le Dr Wilfried Haerberli pour la lecture attentive du manuscrit et ses nombreuses suggestions d'améliorations, ainsi que Felix Keller pour son aide lors de l'interprétation des données.

La présente étude a été soutenue par le Fonds national de la recherche scientifique, requête n° 21-27874.89.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT D., 1979. Les stades de retrait des glaciers du Haut-Valais. Thèse, Université de Lausanne.
- BARSCHE D., 1978. Active rock glaciers as indicators for discontinuous alpine permafrost. An example from the Swiss Alps. *In Proc. Third Int. Conf. on Permafrost, Ottawa. Vol 1: 349-352.*
- BARSCHE D., 1988. Rockglaciers. *In CLARK M.J. (ed.), Advances in periglacial geomorphology. Wiley, Chichester: 69-90.*
- DE JONG M.G.G. et KWADJIK J.K., 1988. Fossil rock glaciers in Central Vorarlberg, Austria. *Arctic and Alpine Research 20/1: 86-96.*
- DORTHE-MONACHON C., 1986. Contribution à l'étude de la morphologie glaciaire de la Vallée de l'Arve (Haute-Savoie, France). Thèse, Université de Lausanne.
- DRAMIS F. et KOTARBA A., à paraître. Southernmost limit of relict rock glaciers in the Central Apennines (an example from the Maiella Mountains). *Permafrost and Periglacial Processes.*
- HAEBERLI W., 1975. Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden). *Mitt. VAW 17. Zürich.*
- HAEBERLI W., 1982. Klimarekonstruktionen mit Gletscher-Permafrost-Beziehungen. *In LESER H. (ed), Beiträge zur geomorphologischen Prozessforschung und zur Anwendung geomorphologischer Methoden. Basel, Materialien zur Physiogeographie 4: 9-17.*
- HAEBERLI W., 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of Alpine rock glaciers. *Mitt. VAW 77. Zurich.*
- KELLER F. et HÖLZLE M., 1992. Raumanalyse mit ARC/INFO im Periglazial des Oberengadins. *In KIENHOLZ H. und HAEBERLI W. (ed.), Geographische Informationssysteme in der Geomorphologie. Geographica Bernensia G 39: 43-52.*
- KERSCHNER H., 1978. Paleoclimatic inferences from late Würm rock glaciers, Eastern Central Alps, Western Tyrol, Austria. *Arctic and Alpine Research 10/3: 635-644.*
- KERSCHNER H., 1983 a. Überlegungen zum Klima während des Egesen-stadiums (Jüngere Dryas, 11'000-10'000 BP) in den Zentralen Ostalpen (Westtirol, Österreich). *In SCHRÖDER-LANZ H. (ed.), Late- and Post-Glacial Oscillations of Glaciers: Glacial and Periglacial Forms. Balkema, Rotterdam: 65-72.*

- KERSCHNER H., 1983 b. Lateglacial paleotemperatures and paleoprecipitation as derived from permafrost-glacier relationships in the tyrolean Alps, Austria. *In* Permafrost, Fourth Int. Conf., Proc. National Academy Press, Washington: 589-594.
- KERSCHNER H., 1985. Quantitative palaeoclimatic inferences from lateglacial snowline, timberline and rockglacier data, Tyrolean Alps, Austria. *Zeitschrift f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie* 21: 363-369.
- KERSCHNER H. et BERKTOLD E., 1982. Spätglaziale Gletscherstände und Schuttformen im Senderstal, Stubaiier Alpen, Tirol. *Zeitschrift f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie* 17: 125-134.
- MAISCH M., 1981. Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen zwischen Landwasser- und Albulatal. *Physische Geographie*, Vol. 3. Zurich.
- PATZELT G., 1983. Die spätglazialen Gletscherstände im Bereich des Mieslkopfes und im Arzthal, Tuxer Voralpen, Tirol. *Innsbrucker Geographische Studien* 8: 35-44.
- SMIRAGLIA C., à paraître. Observations on the rock glaciers of Monte Emilius (Valle d'Aosta, Italy). *Permafrost and Periglacial Processes*.
- SOLLID J.L. et SORBEL L., à paraître. Rock glaciers in Svalbard and Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*.
- URDEA P., à paraître. Rockglaciers and other periglacial phenomena in the southern Carpathians. *Permafrost and Periglacial Processes*.
- WARHAFTIG C et COX A., 1959. Rock glaciers in the Alaska Range. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 70: 383-436.
- WETTER W., 1987. Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen im Mont Blanc-Gebiet: untere Vallée de Chamoni-Val Montjoie. *Physische Geographie*, Vol 22. Zurich.

*Manuscrit reçu le 4 mars 1992*