

Indicateurs particuliers du permafrost

Les glaciers rocheux et leurs mouvements¹

Les glaciers rocheux sont d'importants indicateurs de la présence de permafrost dans les régions de montagne. Des variations de leur dynamique renseignent sur leur fonctionnement actuel et permettent des prévisions sur leur développement futur.

Postés devant le glacier rocheux de Muragl, en Haute Engadine, nous expliquons à un groupe d'étudiants comment ces formations typiques de la haute montagne voient le jour. Des promeneurs se joignent au groupe et écoutent attentivement. Soudain, une interpellation étonnée : « Incroyable ! Ça fait trente ans qu'on vient ici, et nous n'avions jamais remarqué ce glacier rocheux ! » Et pourtant, avec son front haut de 40 m, le glacier rocheux de Muragl est vraiment un cas exemplaire – même si au premier regard, il peut avoir l'apparence d'un tas de cailloux déstructuré. Les connaisseurs remarqueront la forme typique de la langue avec son front raide ainsi que les

¹ Traduction et adaptation française: Reynald Delaloye, Département de Géosciences, Université de Fribourg

Le glacier rocheux actif de Muragl, en Haute Engadine: une morphologie parlante



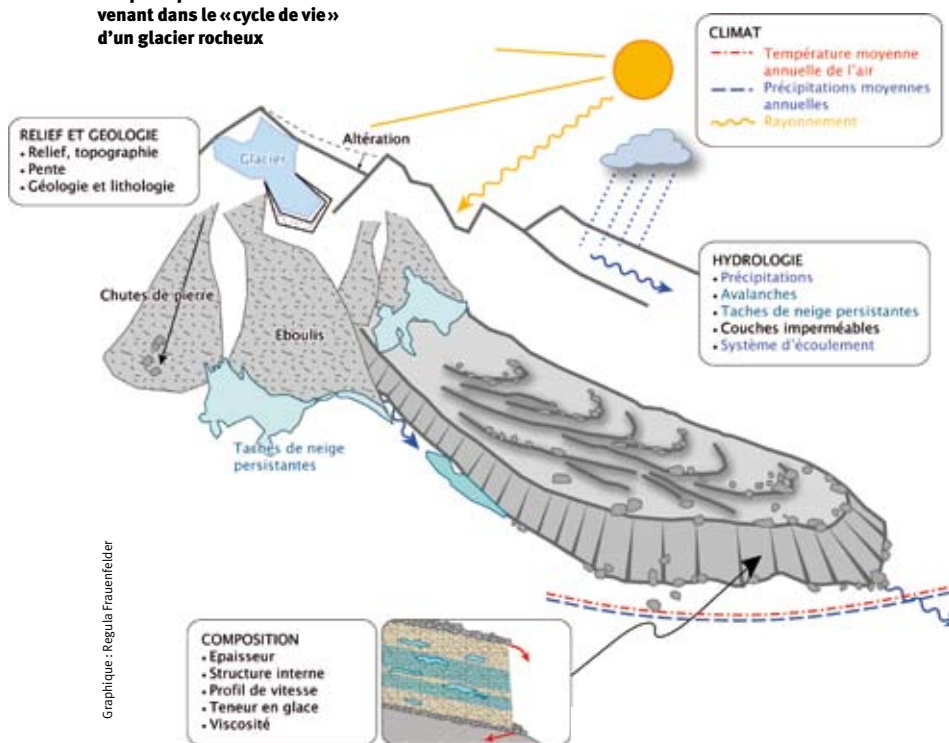
Photo: Regula Frauenfelder

structures de déformation (rides et sillons) dues au mouvement du glacier rocheux. Notons toutefois que la terminologie d'usage est un peu maladroite, car les « glaciers rocheux » n'ont pas grand-chose à voir avec les glaciers que nous connaissons tous. En son sein, un glacier rocheux contient certes une quantité considérable de glace, mais elle est surtout présente sous forme de lentilles ou cimente les sédiments entre eux.

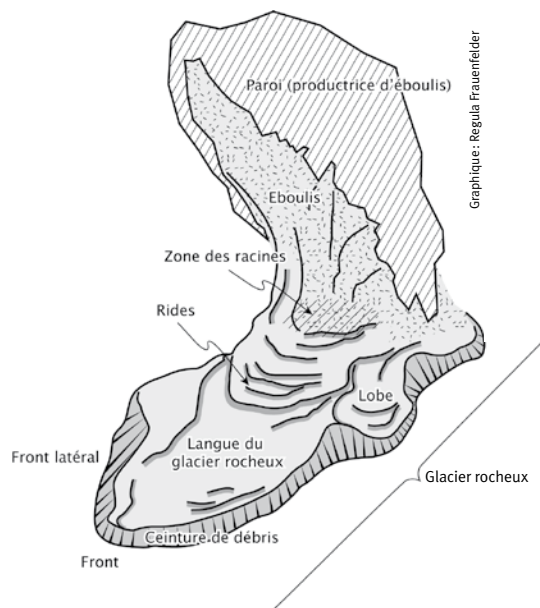
Le « cycle de vie » d'un glacier rocheux

Pour qu'un glacier rocheux puisse se former et se développer, il a besoin de permafrost, de débris rocheux et d'une certaine pente. Ce n'est qu'en présence de ces éléments qu'une accumulation d'éboulis infiltrée de glace peut se former et, si son épaisseur est suffisante, se mettre en mouvement. Pour générer la morphologie imposante d'un glacier rocheux tel que celui de Muragl, il a fallu

Les principaux facteurs intervenant dans le « cycle de vie » d'un glacier rocheux



Graphique: Regula Frauenfelder



Graphique: Regula Frauenfelder

Anatomie d'un glacier rocheux



Près de l'Augstbordpass, dans la vallée de Zermatt, en Valais, les glaciers rocheux actifs sont nombreux

Photo : Isabelle Roer

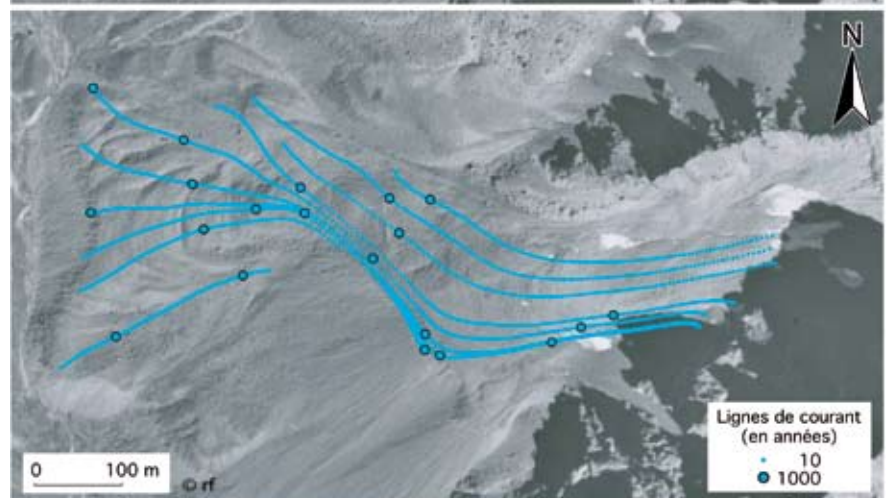
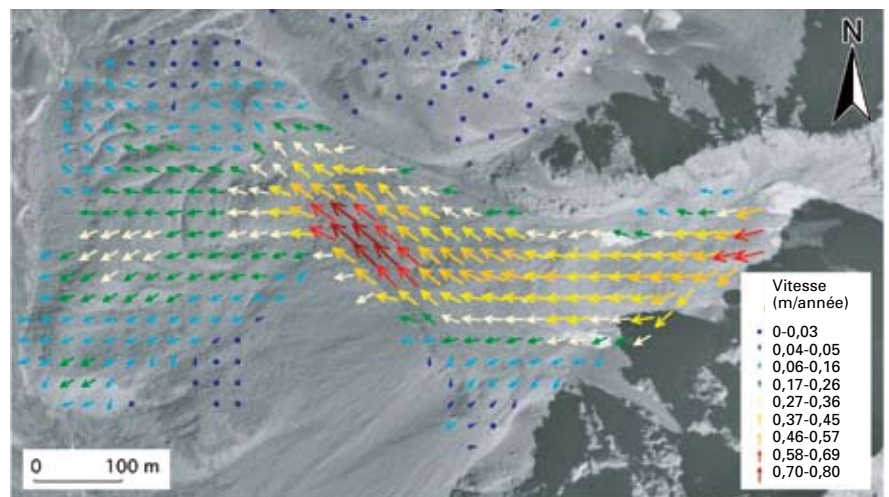
plusieurs milliers d'années, qui plus est avec un certain type de climat : suffisamment froid pour que la glace soit préservée dans le sol et suffisamment sec pour empêcher la formation d'un glacier. On trouve en Suisse beaucoup de glaciers rocheux, en particulier dans les vallées internes et sèches des Grisons et du Valais. Dans les régions plus humides comme l'Oberland bernois, ils sont plus rares, car les zones favorables à leur formation sont en grande partie occupées par des glaciers. Si le glacier rocheux atteint dans son cheminement une zone dépourvue de permafrost ou si le climat se réchauffe, sa glace fond plus ou moins rapidement. Dans le second cas, il devient le témoignage d'une ancienne extension du permafrost.

Différents degrés d'activité

Selon leur teneur en glace et leur vitesse, les glaciers rocheux sont répartis entre formes actives, inactives et reliques (ou

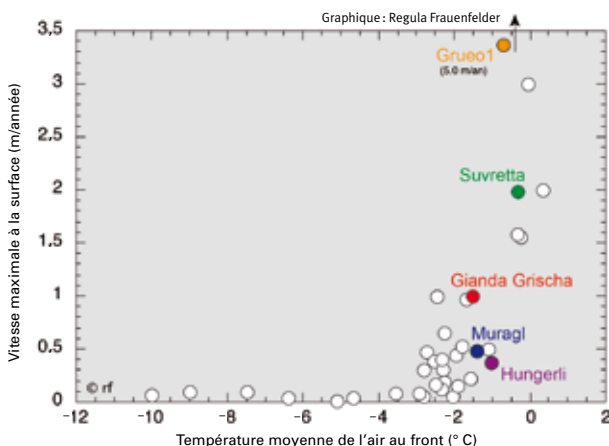
fossiles). Souvent, les différentes formes s'emboîtent dans une sorte de cascade allant d'un glacier rocheux actif dans le haut jusqu'à une formation relique dans les zones plus basses. Cet agencement reflète les variations de l'extension du permafrost dans les Alpes depuis la dernière glaciation. Un front raide (>35°) avec des blocs instables et peu de végétation

indique qu'un glacier rocheux est actif. A l'inverse, les formes inactives, qui contiennent encore de la glace mais ne se déplacent plus, sont caractérisées par un front moins incliné, des blocs stabilisés et une couverture végétale sporadique. Les glaciers rocheux fossiles ont souvent une structure affaissée due à la fonte de



Relation entre la vitesse maximale mesurée en surface et la température moyenne annuelle de l'air au front du glacier rocheux. Cette température est proche de celle du permafrost, qui n'est généralement pas

connue. Les points correspondant à des températures inférieures à -4°C désignent des glaciers rocheux du Spitzberg (Norvège), alors que les autres se trouvent tous dans les Alpes



Le glacier rocheux de Gianda Grischa, sur le flanc ouest du Piz Julier en Haute Engadine : en haut, la vitesse horizontale

moyenne entre 1971 et 1998 ; en bas, le temps nécessaire à une pierre pour être transportée de la zone supérieure jusqu'au front du glacier rocheux, si elle

se déplace constamment à la vitesse indiquée dans le graphique supérieur

Photo : © swisstopo ; graphique : Regula Frauenfelder

la glace. Mais dans le paysage, les fronts marginaux, de même que la morphologie de sillons et de rides, restent clairement visibles. La couverture végétale est plus dense et peut même comprendre de petits arbres.

Le mouvement des glaciers rocheux

Aujourd'hui la question se pose de savoir comment les glaciers rocheux réagissent au changement climatique. Pour quantifier les mouvements d'un glacier rocheux, on mesure directement, à l'aide du GPS ou d'un tachéomètre², le déplacement vertical et horizontal de blocs, ou bien l'on procède à la comparaison de prises

² Un tachéomètre est un outil de mesure géodésique, à l'aide duquel l'angle et la distance d'un point de visée ou d'un réflecteur sont mesurés simultanément.

Le glacier rocheux actif de Suvretta, sur le flanc oriental du Piz Julier, en Haute Engadine. On voit bien les traces de petites laves torrentielles latérales



Photo: Regula Frauenfelder

de vue aériennes (orthophotos et modèle d'altitude). Les plus longues séries remontent à quelque quarante ans, ce qui, en regard d'un âge plurimillénaire, reste un intervalle plutôt court. Elles permettent toutefois d'apprécier convenablement la dynamique du glacier rocheux.

Jusqu'il y a peu, on était parti de l'idée qu'une modification des conditions climatiques produisait son effet de manière décalée, car l'épaisse couche de blocs qui couvre le glacier rocheux protège la glace de la fonte et agit comme tampon. Mais les données récentes montrent qu'il existe de fortes variations spatio-temporelles des mouvements, et que celles-ci découlent d'une relation directe entre l'augmentation des températures et la déformation des matériaux gelés. Parmi les autres facteurs d'influence, on notera la durée et l'épaisseur du manteau neigeux tout comme la présence d'eau non gelée pendant l'été. Dans le détail, le rôle joué par ces facteurs dans le fonctionnement complexe d'un glacier rocheux demeure encore mal compris.

Des glaciers rocheux « froids » et « tempérés »

Les mesures de terrain et les modélisations numériques montrent que selon son état thermique, un glacier rocheux réagit très différemment aux variations

de température. Alors que les glaciers rocheux « froids » restent relativement inertes et ne réagissent que très lentement, les glaciers rocheux « tempérés » (température de la glace proche de 0° C) connaissent parfois de très fortes accélérations lorsque la température s'élève. En vertu de lois physiques, les vitesses de déformation n'augmentent pas de manière linéaire en réponse à une élévation de température, mais suivent une courbe exponentielle.

Ainsi, à la fin des années 1990, une augmentation marquée de la vitesse a été observée sur de nombreux glaciers rocheux répartis sur l'ensemble de l'espace alpin, avec un maximum atteint lors de l'été 2003. Durant l'été plus frais de 2004, le niveau était encore élevé mais une tendance à la baisse a commencé à s'esquisser. Dans certains cas, le développement d'instabilités de type glissement de terrain a été observé ces dernières années dans la partie frontale de glaciers rocheux, sans toutefois que l'on puisse en déduire que le réchauffement seul en est responsable. La poursuite d'un monitoring est ici d'une grande importance.

Le glacier rocheux actif de Gianda Grischa, sur le flanc ouest du Piz Julier, en Haute Engadine



Développement d'une instabilité de type glissement dans la partie terminale du glacier rocheux Grueo1 dans le Grübträlli,

vallée de Tourtemagne, Valais. Photos aériennes prises en 1975, 1993 et 2001



Photos 1975 et 1993: © swisstopo. Photo 2001: HRSC-Befliegung, © GRK 437, Université de Bonn. Traitement: Isabelle Roer

Phases de réaction à des températures plus élevées

Selon les observations de terrain et les simulations numériques, les glaciers rocheux peuvent réagir de différentes manières à une élévation de la température :

– De nombreux glaciers rocheux réagissent par une vitesse de déformation accrue.

– La quantité de matériel transportée par un glacier rocheux jusqu'à son front augmente lorsque sa progression s'accélère. Ceci peut conduire à l'accumulation d'un volume considérable de débris rocheux au front. Dans les cas où la langue d'un glacier rocheux se trouve dans un terrain très raide, le risque de déclenchement d'une lave torrentielle s'accroît.

– Une augmentation de la vitesse peut conduire à un déséquilibre entre le transport de masse dans le corps du glacier rocheux et l'apport de matériaux rocheux provenant des parois de l'amont. Un déficit d'alimentation en débris peut rendre inactifs des glaciers rocheux auparavant actifs.

– Le réchauffement du corps d'un glacier rocheux se poursuivant, tôt ou tard, la glace interne commence à fondre. Une fois la glace disparue, le glacier

rocheux ne se différencie physiquement plus d'un éboulis.

Indicateurs de permafrost

Les glaciers rocheux sont des indicateurs importants de la présence de permafrost en haute montagne. En raison de la diversité des réactions possibles à une élévation de température, l'observation à long terme de ces réservoirs de matériaux meubles dans des régions densément habitées comme les Alpes suisses est importante. C'est pourquoi elle est un élément central du monitoring du

permafrost (PERMOS). L'on constate actuellement une forte variabilité des taux de déformation et parfois, des glaciers rocheux entiers se déstabilisent. Dès lors, ces formations caractéristiques de la haute montagne périglaciaire seront suivies d'encore plus près dans le futur. ▲

Regula Frauenfelder³ et Isabelle Roer⁴

³ Institut de Géosciences, Université d'Oslo, Norvège

⁴ Institut de Géographie, Université de Zurich



Photo : Regula Frauenfelder

Un impressionnant glacier rocheux actif dans le Val Tschitta, Oberhalbstein, Grisons

Ce glacier rocheux dans le Hungerlitälli, en Valais, est relique, c'est-à-dire qu'il ne contient plus de glace et ne se déplace plus. Le front est à 2580 m



Photo : Regula Frauenfelder



Photo : Isabelle Roer