



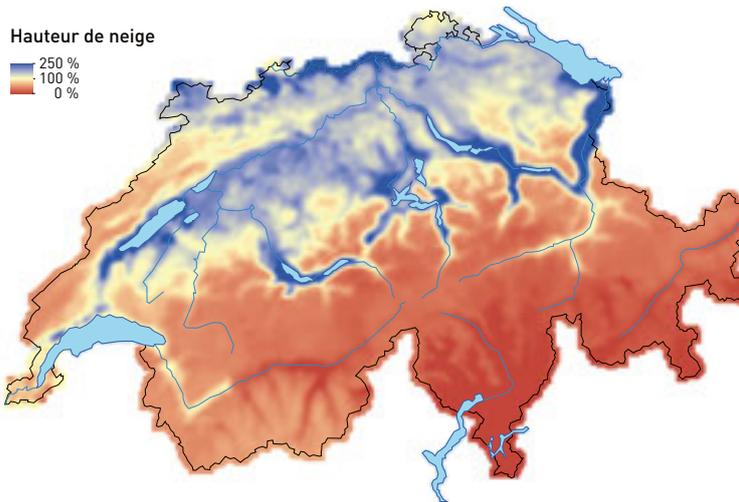
Vue depuis le col Giümela (2118m) en direction de l'W sur le Val Pontirone, une vallée latérale de la Valle di Blenio. Au début janvier 2017, il n'y avait toujours pas de neige jusque vers 2500 m sur les versants S, et jusque vers 1800 m sur les versants N. Photo: Luca Silvanti

Neige, glace et pergélisol 2016/17

Rapport sur la cryosphère pour les Alpes suisses

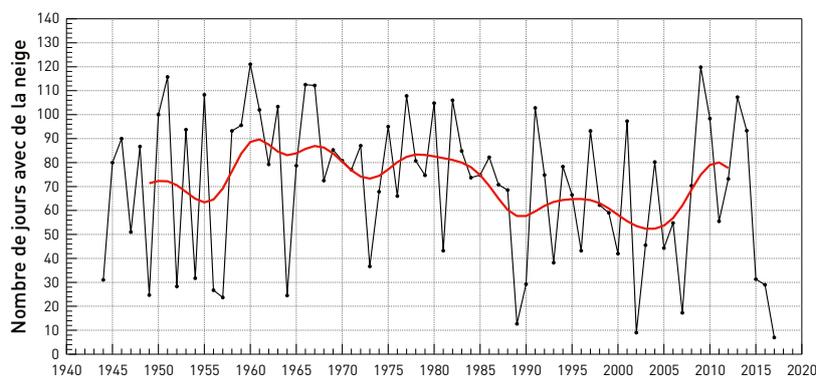
Un hiver extrêmement pauvre en neige et un été chaud ont fait fondre les glaciers qui ont perdu environ 3% de leur volume. La faible quantité de neige au début de l'hiver et le froid de janvier ont en revanche interrompu le réchauffement du pergélisol pour la première fois depuis des années.

Texte: Matthias Huss, Andreas Bauder, Christoph Marty, Jeannette Nötzli

**III. 1:**

Hauteur de neige en janvier 2017 comparativement à la moyenne à long terme (1971-2000). Malgré un hiver 2016/17 chaud et pauvre en neige, des chutes de neige suivies d'une période de froid ont eu pour conséquence un enneigement supérieur à la normale en janvier sur le Plateau. En revanche, les quantités de neige dans les Alpes étaient largement en dessous de la moyenne.

Illustration: SLF

**III. 2:**

Nombre de jours par hiver avec une épaisseur de neige d'au moins 50 cm. Le graphique représente la valeur moyenne de six stations entre 1500 et 1800 m sous l'influence de l'effet de barrage du côté S. Les hivers 2014/15 à 2016/17 présentent des valeurs faibles. Celles de l'année dernière (7 jours) n'avaient encore jamais été enregistrées depuis le début des mesures. Cependant, on ne peut pas déduire, statistiquement parlant, de tendance sur les 70 dernières années à ces altitudes.

Illustration: SLF

Météorologie et neige

En automne 2016, surtout en novembre, de grandes quantités de neige sont tombées et une couverture de neige prometteuse s'est formée. Celle-ci a cependant de nouveau fondu pendant une phase prolongée de foehn en dessous de 2000 mètres. En raison d'un temps extrêmement sec, le mois de décembre a été le moins enneigé depuis le début des mesures. Jusqu'à la fin de l'année, le manteau neigeux était donc généralement très mince. Il a commencé à neiger à partir de janvier, mais seulement en petites quantités. En raison d'une période de froid et d'abondant brouillard peu après ces premières chutes de neige, le Plateau est toutefois demeuré recouvert d'une fine couche de neige pendant plusieurs semaines en janvier (Ill. 1). En février aussi, les chutes de neige se sont généralement révélées faibles. Au début du mois de mars, plusieurs fortes chutes de neige ont occasionné temporairement une épaisseur de neige moyenne. Les chaleurs record enregistrées au courant de ce même mois ont toutefois rapidement fait fondre la neige hivernale dans les montagnes, de sorte que le nombre de jours enneigés dans de nombreuses stations situées au-dessus de 1500 mètres de part et d'autre des Alpes a atteint un record minimum. L'hiver est revenu à partir de la mi-avril. Avec des chutes de neige à répétition, la météo s'est avérée plutôt hivernale dans les Alpes jusqu'au début du

mois de mai. Selon MétéoSuisse, la Suisse a connu son sixième hiver le plus chaud (novembre-avril) depuis le début des mesures en 1864. Les températures atteintes durant cette période n'ont été dépassées qu'en 1989/90, 2006/07 et de 2013/14 à 2015/16. En raison de la chaleur et des faibles chutes de neige, l'épaisseur relative du manteau neigeux au-dessus de 1500 mètres a été plus faible que jamais depuis le début des mesures. Le versant sud des Alpes a même été encore plus touché par le manque de neige que le versant nord (Ill. 2).

Fonte précoce et chaleur estivale

La fonte des neiges, qui avait déjà progressé vers de hautes altitudes en mai, s'est poursuivie rapidement avec la chaleur de juin. La neige sur le champ de mesure du Weissfluhjoch à 2540 mètres d'altitude avait déjà complètement disparu le 14 juin, soit près d'un mois plus tôt qu'en moyenne. Ce dernier n'avait d'ailleurs été dégarni que cinq fois au cours des 81 dernières années. A haute altitude (2000-3000 m), on n'a recensé qu'une mince couche de neige durant quelques jours durant l'été jusqu'à la fin août. En haute montagne, au-dessus de 3000 mètres, on a cependant à nouveau observé la présence d'un manteau neigeux. La période estivale de juin à août 2017 a été la troisième plus chaude depuis 1864,+ et la température moyenne sur l'ensemble de la Suisse affichait 3°C au-dessus de la norme (1961-1990). Au cours de l'été, une



Evolution du Tiefengletscher entre 2014 et 2017. La langue s'est détachée du glacier à la hauteur de la barre rocheuse, réduisant d'un coup fortement sa longueur. Photos: Lukas Eggimann

à deux phases froides se sont intercalées chaque mois. La plupart des précipitations se sont produites dans le nord-est et le sud. Le Valais en a le moins bénéficié. En septembre, plus frais que la moyenne, il a neigé par intermittence jusqu'à moyenne altitude.

Glaciers

Fonte extrême des glaciers

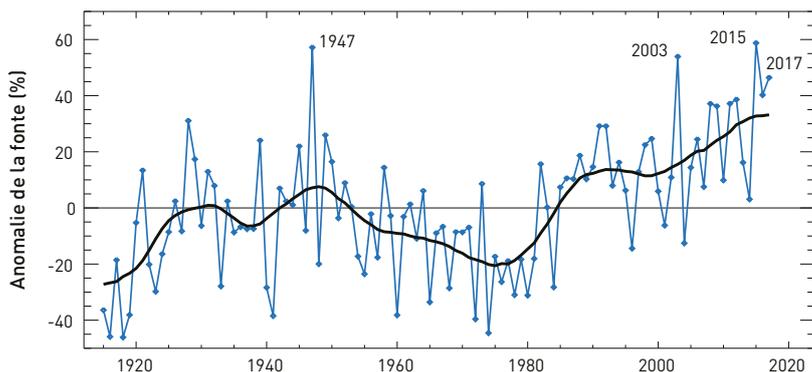
En avril et mai 2017, les quantités de neige sur les glaciers ont été légèrement à nettement inférieures à la moyenne dans toutes les régions du pays. En raison de la fonte très intensive qui a suivi, de nombreux glaciers avaient déjà perdu leur couverture de neige hivernale protectrice sur de grandes surfaces au début du mois de juillet. Des taux de fonte très élevés ont été enregistrés en juillet et août en raison d'un temps estival stable. Les glaciers de basse altitude ont été particulièrement touchés. Les chutes de neige à répétition du mois de septembre jusqu'à l'altitude des langues glaciaires ont toutefois mis un terme précoce à la saison de fonte et ont ainsi empêché une perte encore plus extrême de glace.

Entre l'automne 2016 et 2017, le bilan de masse – l'équilibre entre les chutes de neige en hiver et la fonte en été – a été déterminé sur 20 glaciers suisses. Dans toutes les régions du

pays, les pertes ont été nettement supérieures à la moyenne. Les plus grandes pertes d'épaisseur, soit une fonte de 2-3 mètres de glace en moyenne, ont été observées dans les Alpes bernoises occidentales et dans la région du Nufenenen (glacier de Tsanfleuron, glacier de la Plaine Morte et Griesgletscher). Les pertes les plus faibles ont été mesurées au Findelgletscher/VS. Les pertes des autres glaciers varient entre 1 et 2 mètres d'épaisseur de glace. Le volume de glace actuellement disponible en Suisse a diminué d'environ 3%. Les glaciers ont perdu une quantité d'eau qui suffirait à remplir une piscine de 25 mètres pour chaque foyer suisse! La combinaison d'un hiver peu enneigé et d'un été de fonte intensive a entraîné des pertes très élevées pour les glaciers. Cependant, la perte record de chaleur de l'été 2003 n'a pas été atteinte (Ill. 3).

Le recul des langues glaciaires se poursuit

La variation de la longueur des glaciers reflète la réaction de ces derniers à l'évolution à long terme des conditions climatiques. A l'automne 2017, la position de 95 langues glaciaires a été mesurée. Presque tous les glaciers examinés ont continué à perdre de la longueur. Dans certains cas exceptionnels, comme celui du Brunnifirn/UR, la position de l'extrémité du glacier est restée pratiquement inchangée. L'ampleur du retrait varie pour la plupart des glaciers entre quelques mètres



ILL. 3: Mesures annuelles de la fonte de la glace sur le Claridenfirn/GL et le Silvretta-gletscher/GR depuis 1914. Le graphique représente les écarts avec la moyenne à long terme mesurée sur la base de trois séries de mesures (deux séries au Claridenfirn et une au Silvrettagletscher). Illustration: GLAMOS

et une cinquantaine de mètres. Des valeurs extrêmes ont été observées au Tiefengletscher/UR, au Scalettagletscher/GR et au glacier de Ferpècle/VS avec des reculs de plusieurs centaines de mètres (620 m, 240 m et 150 m respectivement). Dans tous les cas, la disparition massive de glace est le résultat d'une évolution sur plusieurs années. Les masses d'eau gelée fondent de façon très irrégulière en raison de la couverture parfois importante d'éboulis sur la langue et de l'absence persistante d'alimentation en glace provenant du glacier principal. De ce fait, l'épaisseur des langues glaciaires diminue sans pour autant perdre massivement en longueur. En une seule année, de vastes zones peuvent, par conséquent, soudainement se dégarnir de glace ou une partie de la langue peut se détacher là où le terrain devient accidenté. De tels cas se sont répétés ces dernières années.

Écoulement plus lent des glaciers

Les glaciers réagissent de manière dynamique aux changements dans l'accumulation et la fonte de la neige. Ils ajustent

leur épaisseur et leur longueur. Selon la taille du glacier, l'ampleur du changement de masse et le délai de l'effet varient. Les mesures de la vitesse de l'écoulement glaciaire permettent de documenter ces relations. On mesure depuis des décennies la vitesse d'écoulement de la glace sur cinq glaciers suisses. Cet écoulement dépend de l'épaisseur et de l'inclinaison du glacier. Les changements de vitesse, comme ceux de longueur, montrent donc le développement à long terme des glaciers. L'évolution temporelle de la vitesse d'écoulement depuis 1970, illustrée par le glacier du Giétro/VS, peut être divisée en trois périodes: écoulement glaciaire à vitesse constante durant les dix premières années, suivies de cinq années avec une forte accélération, puis d'un ralentissement continu de l'écoulement pendant plus de 30 ans (Ill. 4). Ceci résulte d'une augmentation de l'épaisseur de la glace jusqu'au milieu des années 1980 et d'une diminution subséquente. Bien que les changements dans la zone principale du glacier soient mineurs, ils sont très clairement visibles sur la langue. Ils reflètent la modification de l'approvisionnement en glace

Événements particuliers

Éboulement au Pizzo Cengalo

Peu après Noël 2011, 1,5 mio de mètres cubes de granit se sont éboulés dans la face nord du Pizzo Cengalo, dévalant de quelque 3000 m dans le Val Bondasca/GR. Enseveli, le sentier pédestre entre la Capanna di Sciora CAS et la Capanna Sasc Furä CAS est resté fermé depuis lors. Durant l'été 2012, les sédiments se sont écoulés sous la forme de laves torrentielles jusqu'à Bondo dans la vallée principale sous l'effet de violents orages. Depuis, plusieurs petits et grands éboulements de rochers se sont produits au Pizzo Cengalo jusqu'à ce que le plus important jamais enregistré intervienne finalement en été 2017. Le 23 août, près de 3 mio de mètres cubes de roche se sont détachés légèrement en dessous du point de rupture de 2011. Les masses de roche sont tombées sur le glacier en contrebas, l'érodant. Une lave torrentielle subséquente, composée des roches ébouillées et de l'eau du glacier, a atteint Bondo et occasionné d'immenses dégâts aux bâtiments et aux routes. Huit randonneurs qui se trouvaient dans la descente de la Capanna di Sciora sont portés disparus depuis lors. La glace visible dans la zone de rupture après l'événement augure de conditions liées au pergélisol. On ne dispose d'aucune mesure directe des températures dans la falaise; cependant, des estimations basées

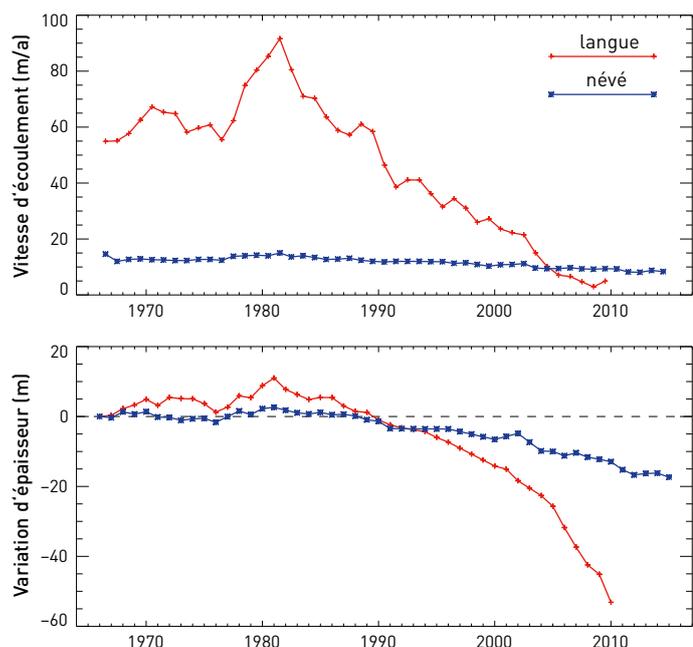


La face NE du Pizzo Cengalo après l'éboulement du 23 août 2017. Les rochers se sont détachés dans la zone plus claire. Photo: Marcia Phillips

sur des mesures dans des faces comparables donnent des températures de falaise moyennes dans la zone de rupture d'environ -1 à -4 °C. Les processus de fonte à long terme et en profondeur du pergélisol au cours de la dernière décennie, ainsi que l'infiltration de l'eau de fonte et de pluie en été peuvent notamment avoir contribué aux éboulements au Pizzo Cengalo.

Un glacier suspendu se détache au Weissmies

Une imposante masse de glace dans l'abrupte face nord du Weissmies/VS – non loin de l'itinéraire normal de Hohsaas au sommet – a été reconnue comme instable en 2014 et a fait l'objet d'une observation intense au moyen de différents appareils de mesure. En cas de détachement de ces quelque 500 000 m³ de glace, l'avalanche aurait pu atteindre le village de Saas-Grund. Deux facteurs sont responsables de cette dangereuse situation: d'une part, le glacier suspendu ne disposait plus d'aucun soutien en raison du recul du Triftgletscher, d'autre part, la glace n'adhérait plus au rocher en raison du réchauffement. En août 2017, on a constaté un fort mouvement du glacier qui laissait présager d'un prochain éboulement. Le 9 septembre, des vitesses de plus de 1 mètre par jour ayant été mesurées, on a procédé à l'évacuation des maisons menacées dans la vallée. La nuit suivante, la majeure partie de cette masse de glace instable s'est éboulée; heureusement pas en une seule fois, mais en plus d'une douzaine de petites avalanches de glace. Ces dernières n'ont eu qu'une portée limitée, n'occasionnant aucun dégât.



III. 4

Evolution dans le temps de la vitesse d'écoulement de la glace (en haut) et de l'épaisseur de glace (en bas) mesurée à deux endroits (langué et névé) sur le glacier du Giétro/VS.

Illustration: GLAMOS

Réseaux de mesure de la cryosphère en Suisse

L'observation de la cryosphère englobe la neige, les glaciers et le pergélisol (www.cryosphere.swiss). La Commission d'experts pour la cryosphère (CEC) coordonne les observations. Les mesures concernant la neige sont réalisées par l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse et par l'Institut suisse pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF). Elles englobent quelque 150 stations de mesure (www.slf.ch). Les mesures réalisées sur environ 120 glaciers dans le cadre du réseau suisse de mesure des glaciers (GLAMOS) sont relevées par diverses institutions (hautes écoles, offices forestiers cantonaux, sociétés productrices ou distributrices d'énergie, et personnes individuelles, www.glamos.ch). Le réseau suisse du pergélisol PERMOS, géré par plusieurs hautes écoles et par le SLF, comprend 29 sites équipés de dispositifs de mesure de température et de géoélectricité et/ou de mouvements (www.permos.ch).

provenant d'altitudes plus élevées, d'une période de croissance glaciaire à court terme jusqu'à la phase de recul désormais persistante.

Pergélisol

Une brève pause dans la tendance au réchauffement

Comme une couche de neige isolante s'est formée très tard dans l'hiver 2016/17, les basses températures hivernales ont pu refroidir efficacement les couches du pergélisol proches de la surface. Cela s'applique aux sites de pergélisol où la neige influence fortement les températures du sous-sol, soit les éboulis et les glaciers rocheux. Durant l'hiver 2016/17, les températures mesurées à la surface du sol ont atteint des valeurs parmi les plus basses des séries de mesures longues de 10 à 25 ans. Cependant, en raison de la fonte intensive de la neige liée à la chaleur du printemps et de l'été, la surface a été exposée très tôt dans l'année au rayonnement solaire et à des températures élevées. Les températures de surface du sol au cours de cette période ont été nettement supérieures à la moyenne saisonnière.

Ces fluctuations de température en surface affectent également celles en profondeur et donc le pergélisol avec un certain retard. Le pergélisol est un phénomène souterrain dans les régions froides. Dans les Alpes, il est caché dans les parois rocheuses et les pierriers, au-dessus de la limite de la forêt, sous une couche de quelques mètres d'épaisseur qui dégèle en été. Contrairement aux glaciers, les changements ne sont donc pas immédiatement visibles et des mesures directes sont effectuées au moyen de forages. A une profondeur de 10 mètres, les températures dans la plupart des 16 endroits observés étaient significativement plus basses en 2016/17 qu'au cours des années précédentes. En certains points de mesure, cette baisse de température a même pu être observée jusqu'à une profondeur de 20 mètres (Ill. 5). Cela vaut en particulier pour les régions sèches de l'Engadine et du versant sud des Alpes, où l'hiver 2015/16 a également commencé très tard. Ce refroidissement est le résultat de deux hivers peu enneigés.

Contrairement aux éboulis et aux glaciers rocheux, aucune interruption de la tendance au réchauffement du pergélisol n'a été mesurée aux points de mesure dans les parois rocheuses très abruptes. Comme aucune couche de neige épaisse et isolante ne s'y développe généralement en raison de leur pente raide, les températures à la surface – et par extension celles en profondeur – suivent presque exactement celles de l'air. Les différences de conditions d'enneigement d'une année à l'autre n'ont donc aucune influence sur le développement du pergélisol dans ces zones. Le refroidissement était également moins sévère aux endroits où la température du pergélisol avoisinait les 0 °C. Les températures mesurées pendant l'été à une profondeur de 10 mètres sur le versant nord du Schilthorn/BE à 2700 mètres étaient même les deuxièmes plus élevées après 2015. Les mesures géophysiques

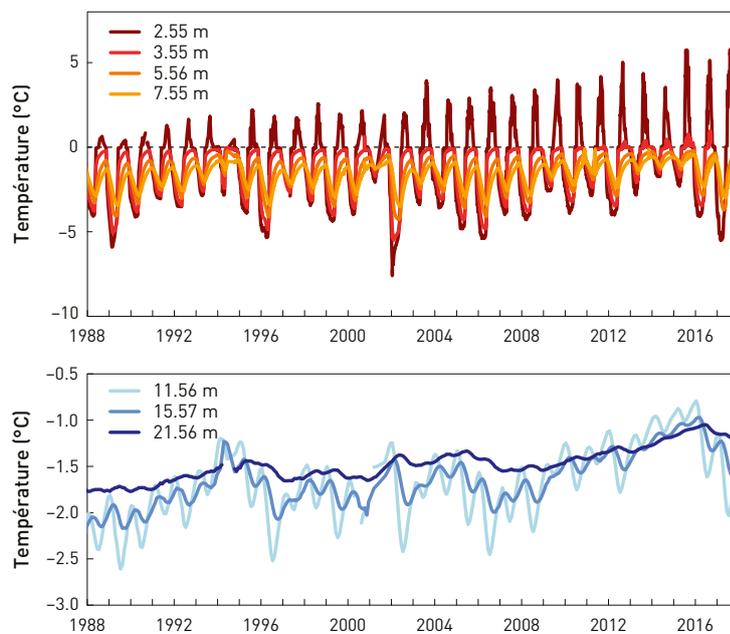


Mesures dans la zone d'accumulation du Findelgletscher/VS. Photo: Matthias Huss

siques ont révélé les valeurs de résistance électrique du sous-sol les plus basses depuis 17 ans. Ces mesures indirectes complètent les observations de température et montrent une augmentation de la proportion d'eau non gelée dans le pergélisol. Cela signifie qu'une partie de la glace a fondu.

Ralentissement des glaciers rocheux

Parallèlement à la baisse de la température du pergélisol, les glaciers rocheux se sont généralement déplacés plus lentement. Les vitesses de déplacement en 2016/17 étaient inférieures de 30% en moyenne à celles de l'année précédente. Cependant, elles sont encore bien au-dessus des valeurs observées au début des mesures vers 2000 et atteignent plusieurs mètres par an à certains endroits. Dans les années 1990, on parlait encore de décimètres par an lorsque l'on évoquait le déplacement de ces formes terrestres faites de blocs de roche et de glace. L'interruption de la tendance au réchauffement du pergélisol observée en 2016/17 est le résultat d'un manque de neige au début de l'hiver. En raison des conditions météorologiques particulières, cette pause n'est probablement que temporaire. L'influence de l'été chaud de 2017 ne s'est pas encore pleinement répercutée sur le pergélisol. Celle-ci n'est en effet visible qu'après environ six mois à une profondeur de 10 mètres.



III. 5: Evolution des températures sur 30 ans à proximité de la surface (en haut) et à 10–20 m de profondeur (en bas), mesurées dans un puits de forage sur le glacier rocheux de Corvatsch-Murtèl, à 2700 m.

Illustration: PERMOS