



Vue du Steingletscher à l'avant-plan et du Steilimigletscher à l'arrière-plan. Voilà ce qu'on pouvait lire en 1902, dans l'encyclopédie géographique: glacier de 3,5 km de long et large de 900 m en son centre, situé sur la crête entre le Giglistock (2900 m) et le Vorder Tierberg (3091 m). Aujourd'hui, ce glacier mesure un peu plus de 1 km. Photo: Bibliothèque de l'EPF Zurich, archives d'images

Neige, glaciers et pergélisol en 2011/12

Rapport sur la cryosphère des Alpes suisses

L'année sous revue a été marquée par un été caniculaire, un début d'hiver précoce et une quantité de neige fraîche. Dans l'ensemble, les glaciers ont à nouveau accusé un fort recul. Le pergélisol quant à lui continue de fondre.

Texte: Frank Paul, Andreas Bauder
Christoph Marty, Jeannette Nötzli, Zurich (trad.)



Le Steilimigletscher en 2006 avec ses deux affluents latéraux et sa langue centrale à l'arrière-plan. En 2012, les affluents ont fondu à tel point qu'ils ne sont plus reliés entre eux, et l'extrémité du glacier a reculé de 842 m.
Photo: archives VAW/EPF Zurich (A. Felber)

La période sous revue a été caractérisée par de nombreux extrêmes. Sur le flanc nord des Alpes, les premières chutes de neige ont atteint l'altitude de 1200 mètres. Elles ont été suivies de pluies remontant à 2700 mètres. Celles-ci ont été accompagnées de fréquentes avalanches de neige mouillée ainsi que d'inondations et de laves torrentielles causant d'importants dégâts dans le Kandertal et le Lötschental. Le mois de novembre fut chaud et sec: après le record de 2006, ce sont les plus hautes températures enregistrées depuis le début des relevés. Au début de décembre, les Alpes suisses étaient libres de neige jusque bien au-dessus de 2500 mètres. C'est une situation qui se produit environ tous les 30 ans, la dernière fois en 1953. Les chutes de neige qui ont suivi ont été d'autant plus importantes au nord des Alpes. En trois jours, il est tombé 1 mètre de neige, parfois davantage, à l'occasion de quatre grandes vagues de précipitations. Jamais, selon la statistique, un mois de décembre n'avait commencé avec aussi peu de neige pour finir avec une quantité pareille.

Grandes quantités de neige fraîche en février

Au début de janvier, une nouvelle vague de précipitations, accompagnées de vents tempétueux, amena de nouveau plus de 1 mètre de neige dans l'est et le nord du pays. Il s'y ajouta une quantité équivalente entre le 19 et le 25 janvier. A fin janvier, le manteau neigeux atteignait plus de 200 centimètres à 2000 mètres d'altitude, si l'on excepte la zone centrale du flanc sud des Alpes. C'est une quantité largement supérieure à la moyenne. De décembre à janvier et dans plus de la moitié des stations, on a mesuré deux à trois fois plus de neige fraîche qu'en moyenne pluriannuelle. C'est dans le domaine skiable d'Elm (1690 m) que l'on a mesuré la plus grande accumulation de neige fraîche: 824 centimètres. Pour certaines stations disposant de données sur de longues périodes (Ulrichen, Obersaxen, Davos, Samedan, Samnaun), on n'avait jamais enregistré d'aussi importantes quantités de neige fraîche en 60 jours. Il en est résulté à plusieurs endroits des records d'épaisseur du manteau (graph. 1). Cette période



Davos, le 2 décembre 2011. Les taches blanches sont de la neige artificielle. Comme dans la majeure partie des Alpes, il n'y avait pratiquement pas de neige jusqu'à environ 2500 m d'altitude. La production de neige artificielle a en outre été restreinte en raison des fortes chaleurs du mois de novembre. Photo: Force aérienne suisse

2011/12 de chutes de neige peut être comparée, quant aux quantités, à l'hiver avalancheux 1999. Mais comme les températures étaient de 3 à 4 degrés plus hautes, les précipitations sont tombées en partie sous forme de pluie jusqu'à 2000 mètres. Au début février, la plus importante vague de froid depuis 1985 a changé la donne: même avec une diminution des précipitations, une partie du Plateau s'est trouvée couverte d'un manteau neigeux continu durant deux semaines.

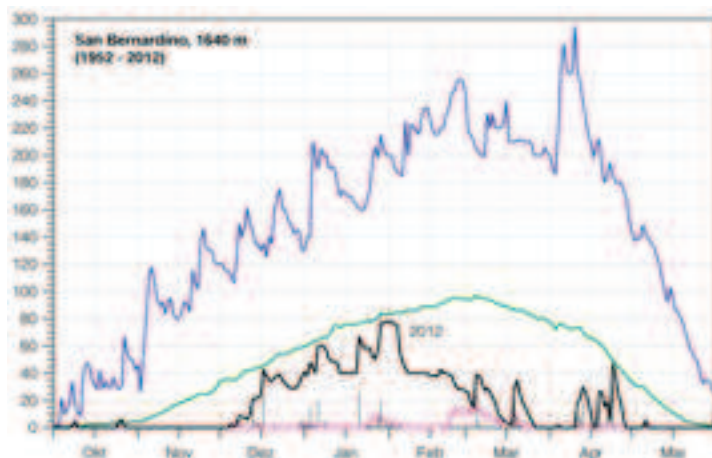
L'été a eu raison des grandes quantités de neige

Les températures du mois de mars ont été de 3 à 4 degrés plus élevées que la moyenne, avec de faibles précipitations. A la fin du mois, les quantités de neige n'étaient plus inhabituelles que dans le nord-est du pays, alors qu'elles étaient dans la moyenne à l'ouest et au nord et largement inférieures à la moyenne au Tessin, dans la Bregaglia et dans le Val Poschiavo. La météo du mois d'avril a été variable. Il a de nouveau neigé jusqu'aux altitudes moyennes, ce qui a retardé la fonte. Les températures des deux mois suivants ont été de 2 à 3 degrés trop élevées. Le manteau neigeux du champ de mesures du Weissfluhjoch, situé à 2540 mètres d'altitude, a disparu le 2 juillet (une semaine plus tôt que normalement) malgré l'importance des quantités tombées en hiver. Troisième pour le niveau de chaleur depuis le début des mesures,

l'été a favorisé un dénudement rapide des glaciers. A fin septembre, il n'y avait plus qu'un peu de neige et seulement au-dessus de 3000 mètres. Si l'on considère l'ensemble de l'hiver (novembre à avril), les quantités de neige tombées au-dessus de 1000 mètres n'ont représenté que 83% des quantités moyennes de 1971 à 2000, car il n'avait que peu neigé en février et mars et presque pas en novembre. L'épaisseur maximale du manteau neigeux a été atteinte à fin janvier déjà au nord des Alpes, à la faveur des quantités exceptionnelles tombées en décembre et janvier. Ainsi, l'hiver 2011/12 est au sixième rang des 60 dernières années concernant la quantité de neige. Sur le Plateau en revanche, la saison hivernale a été d'un degré trop chaude dans l'ensemble, malgré la froideur du mois de février. Il en est résulté une fois de plus, au-dessous de 700 mètres d'altitude, des quantités de neige et des durées de couverture inférieures à la moyenne (graph. 2).

Important retrait du Steilimigletscher

L'évolution de la situation au front des glaciers par rapport à l'année précédente a été mesurée sur 95 langues glaciaires à l'automne 2012. Dans l'ensemble, 92 glaciers étaient en retrait, deux ne montraient pas de mouvement de la langue et un seul avait avancé. Les valeurs allaient d'un recul de 842



Graphique 1: Evolution de l'épaisseur du manteau neigeux

Evolution de l'épaisseur du manteau neigeux en cm durant l'hiver 2011/12 (en noir) aux deux stations de mesure pluriannuelles de Mürren et de San Bernardino comparée à l'épaisseur moyenne du manteau neigeux (en vert), maximales (en bleu) et minimales (en rose). Les précipitations de neige fraîche de l'hiver 2011-12 sont représentées par les traits gris. Mürren, au nord des Alpes, affiche des épaisseurs nettement au-dessus de la moyenne, atteignant même de nouveaux records saisonniers à fin janvier/début février. Celles mesurées à San Bernardino, au sud des Alpes, sont en revanche inférieures à la moyenne durant tout l'hiver, bien que l'épaisseur normale ait été dépassée à plusieurs reprises.

Graphique: SLF, Davos

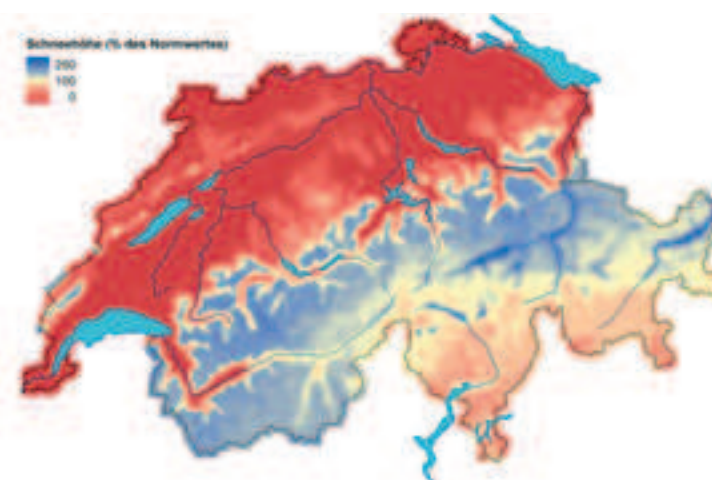
mètres au Steilimigletscher/BE à un léger avancement de 2 mètres au Gletscher da Lavaz/GR. Deux tiers des valeurs se situaient entre -1 mètre et -30 mètres. Les modifications cumulées sont représentées dans le graphique 3.

L'important retrait du Steilimigletscher tient à une évolution en cours depuis une dizaine d'années. La langue de ce glacier est alimentée par deux bras qui se sont progressivement taris au cours de la dernière décennie. Ils ont maintenant perdu le contact avec la langue. Il en est résulté en un brusque recul, sur une longue distance, de l'extrémité de la langue du bras principal. Cette modification brutale tient à la définition de l'extrémité d'un glacier et à la détermination de la mesure de longueur; elle ne décrit pas de manière satisfaisante le recul constant des glaciers (voir «Les Alpes» 10/2012). On a également constaté un recul exceptionnellement prononcé (146 m) du glacier de Corbassière/VS, dont la langue très amincie a rapidement fondu au cours des quatre dernières années.

L'avancement du front du Gletscher da Lavaz a été causé par des changements locaux et non par un important apport de glace en provenance de l'amont. L'écoulement d'un glacier aussi petit étant très lent, la poussée glaciaire vers la langue prend moins d'importance que l'accumulation de neige au cours de l'hiver et les conditions de la fonte durant l'été. Il est possible que l'avancement du front glaciaire ait été favorisé par les grandes quantités de neige tombées durant l'hiver et par la diminution de la fonte estivale imputable à la couverture de gravats.

Un bilan de masse étonnamment négatif

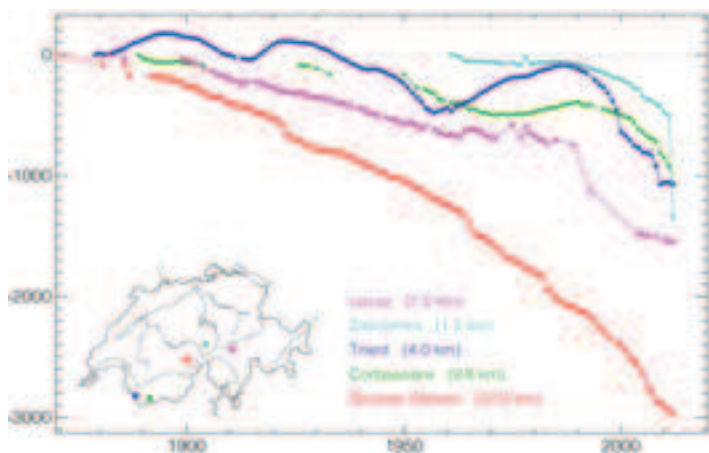
Le bilan de masse de six glaciers (Basòdino, Findelen, Gries, Pizol, Rhône et Silvretta) a été calculé sur la base de l'accumulation hivernale de neige et de la fonte estivale. Les quantités exceptionnelles de neige mentionnées ci-dessus ont



Graphique 2: Epaisseur du manteau neigeux: 2011/12 et 1971-2000

Variation en pourcentage de l'épaisseur moyenne du manteau neigeux durant l'hiver 2011/12 (de novembre à avril). Grâce aux fortes chutes de neige de décembre et janvier, l'épaisseur du manteau neigeux sur le versant nord des Alpes était largement supérieure à la moyenne pluriannuelle (1971-2000; en bleu). A cause de températures trop élevées, le Plateau n'a cependant pas pu en profiter et présente clairement une quantité de neige inférieure à la normale (en rouge). L'épaisseur du manteau neigeux sur le versant sud des Alpes est légèrement en dessous de la moyenne, surtout en raison de précipitations insuffisantes. Graphique: SLF, Davos

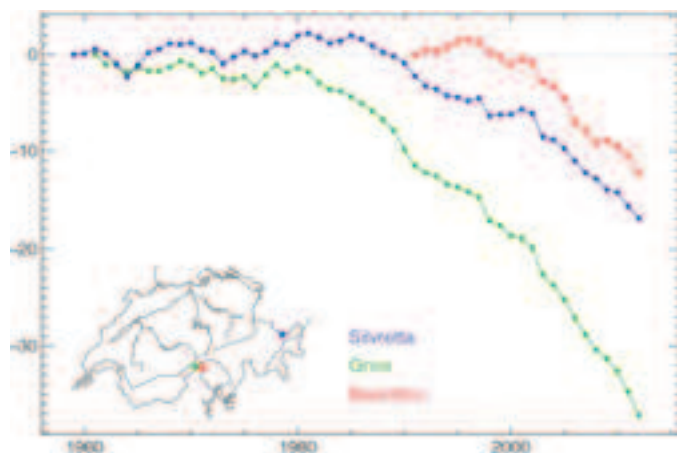
fourni une importante contribution à l'accumulation sur les glaciers. Au printemps, on pouvait espérer que le bilan de masse annuel ne se révélerait pas trop négatif pour une fois. Pourtant, les températures élevées de juin et juillet ont entraîné une disparition rapide de la couche protectrice et un dénudement général des glaciers à la fin de l'été. En conséquence, le bilan de masse de l'année 2011/12 occupe la troisième place derrière les années très négatives que furent 2002/03 et 2005/06. Une fois de plus, ce résultat est attri-



Graphique 3: Variations de longueur

Variations annuelles cumulées de la longueur (sur l'axe des y en m) de quelques glaciers du réseau de mesures montrant un comportement individualisé de réactions et d'adaptations au climat.

Graphique: VAW/EPF Zurich



Graphique 4: Bilan de masse

Bilan de masse du Ghiacciaio del Basòdino, du Griesgletscher et du Silvrettagletscher grâce à de longues séries de mesures. Le graphique montre le bilan de masse annuel moyen cumulé (sur l'axe des y en m d'équivalent en eau). Graphique: VAW/EPF Zurich

Chute de rochers au Cengalo

Après quelques éboulements préalables en juillet 2011 et une accalmie provisoire à l'automne, ce sont quelque 2 millions de mètres cubes de granite qui se sont détachés le 27 décembre 2011, à plus de 3000 m d'altitude, d'un éperon du flanc nord du Pizzo Cengalo (3369 m). Atteignant le fond du Val Bondasca, la masse rocheuse a enseveli le sentier de randonnée alpine qui reliait les cabanes CAS de Sciora et de Sasc Furä, déjà fermé par les autorités après les premiers éboulements. L'onde de pression causée par l'éboulement principal n'a causé que peu de dégâts matériels aux bâtiments, en raison de l'éloignement du Val Bondasca. Au cours de l'été 2012, les dépôts mobilisés par de violents orages se sont transformés en laves torrentielles dévalant jusqu'à Bondo dans la vallée principale de la Bregaglia. Les ponts assurant l'accès pedestre à la Capanna Sasc-Furä ont été détruits. Ils sont maintenant remplacés.

L'extrapolation des mesures à des flancs rocheux comparables permet d'évaluer les températures moyennes des rochers, de l'ordre de -1 à -4° C.



Vue de l'éboulement qui a eu lieu au Pizzo Cengalo. Environ 2 millions de mètres cubes de rochers se sont effondrés dans la vallée. Les laves torrentielles qui ont suivi ont acheminé les sédiments jusque dans la vallée principale.

Photo: Jeannette Nötzi, Université de Zurich

Le déclenchement de cet événement peut avoir été favorisé par les processus de dégel en cours à long terme dans le pergélisol, ainsi que par l'infiltration d'eau de fonte au cours du printemps chaud de 2011. Le nombre de grands effondrements rocheux semble augmenter avec le réchauffement progressif

des flancs escarpés dans le domaine sous pergélisol. Cinq effondrements rocheux emportant plus de 1 million de mètres cubes se sont produits au cours des 20 dernières années au-dessus de 2500 mètres dans les Alpes. C'est davantage qu'au cours des 100 ans précédents.

Variation de la longueur (en m) des glaciers dans les Alpes suisses en 2011/12

Glacier/Canton	2012	Glacier/Canton	2012	Glacier/Canton	2012	Glacier/Canton	2012
Albigna/GR	-17	Gelten/BE	x	Palü/GR	-22	Trift (Gadmen)/BE	-24
Allalin/VS	-13	Giétro/VS	-94	Paneyrosse/VD	-3	Tsanfleuron/VS	-8
Alpetli (Kanderfirn)/BE	-37	Glärnisch/GL	n	Paradies/GR	-11	Tschierva/GR	-31
Ammerten/BE	0	Gorner/VS	-30	Paradisino (Campo)/GR	-12	Tschingel/BE	-37
Arolla (Mont Collon)/VS	-14	Grand Désert/VS	-13	Pizol/SG	-6	Tseudet/VS	-7
Basòdino/TI	-11	Grand Plan Névé/VD	-5	Plattalva/GL	-47	Tsidjiore Nouve/VS	-13
Bella Tola/VS	n	Gries/VS	-28	Porchabella/GR	-22	Turtmann/VS	x
Biferten/GL	n	Griess/UR	-9	Prapio/VD	s	Unteraar/BE	n
Blüemlisalp/BE	-30	Griessen/OW	-14	Punteglias/GR	-12	Unterer Grindelwald/BE	x
Boveyre/VS	-35	Grosser Aletsch/VS	-33	Rhone/VS	-40	Val Torta/TI	x
Breney/VS	-43	Hohlaub/VS	-12	Ried/VS	-11	Valleggia/TI	-6
Bresciana/TI	s	Hüfi/UR	n	Roseg/GR	-65	Valsorey/VS	-21
Brunegg (Turtmann)/VS	n	Kaltwasser/VS	-2	Rossboden/VS	n	Verstankla/GR	-17
Calderas/GR	-17	Kehlen/UR	-58	Rotfirn (Nord)/UR	-34	Vorab/GR	n
Cambrena/GR	-18	Kessjen/VS	-4	Rätzli/BE	n	Wallenbur/UR	-15
Cavagnoli/TI	-11	Lang/VS	-12	Saleina/VS	-33	Zinal/VS	-14
Cheillon/VS	-15	Lavaz/GR	+2	Sankt Anna/UR	-13		
Corbassière/VS	-146	Lenta/GR	-34	Sardona/SG	-1		
Corno/TI	-4	Limmern/GL	-11	Scaletta/GR	-3		
Croslina/TI	-5	Lischana/GR	-9	Schwarz/VS	-8		
Damma/UR	-22	Lämmern/VS	-13	Schwarzberg/VS	-51		
Dungel/BE	-4	Moiry/VS	-14	Seewjinen/VS	-11		
Eiger/BE	-8	Moming/VS	-4	Sesvenna/GR	-11		
En Darrey/VS	x	Mont Durand/VS	-37	Sex Rouge/VD	-3		
Fee (Nord)/VS	-20	Mont Fort (Tortin)/VS	-14	Silvretta/GR	-8		
Ferpècle/VS	-39	Mont Miné/VS	-36	Stein/BE	-72		
Fiescher/VS	-57	Morteratsch/GR	-82	Steinlimmi/BE	-842		
Findelen/VS	-72	Mutt/VS	-23	Sulz/GL	-2		
Firnalpeli (Ost)/OW	-7	Oberaar/BE	n	Suretta/GR	-18		
Forno/GR	-25	Oberaletsch/VS	n	Tiatscha/GR	-11		
Gamchi/BE	-11	Oberer Grindelwald/BE	x	Tiefen/UR	-42		
Gauli/BE	-91	Otemma/VS	-10	Trient/VS	-18		

Abréviations:
n = Non observé
s = Langue glaciaire recouverte de neige
x = Valeur non déterminée

buable à la chaleur d'un été accélérant la fonte, dont l'importance varie d'un glacier à l'autre sans qu'il soit possible d'en faire un classement régional. Ainsi, le Griesgletscher a perdu en moyenne plus de 2 mètres, alors que les pertes des autres glaciers étaient en moyenne de 1 mètre environ (graph. 4).

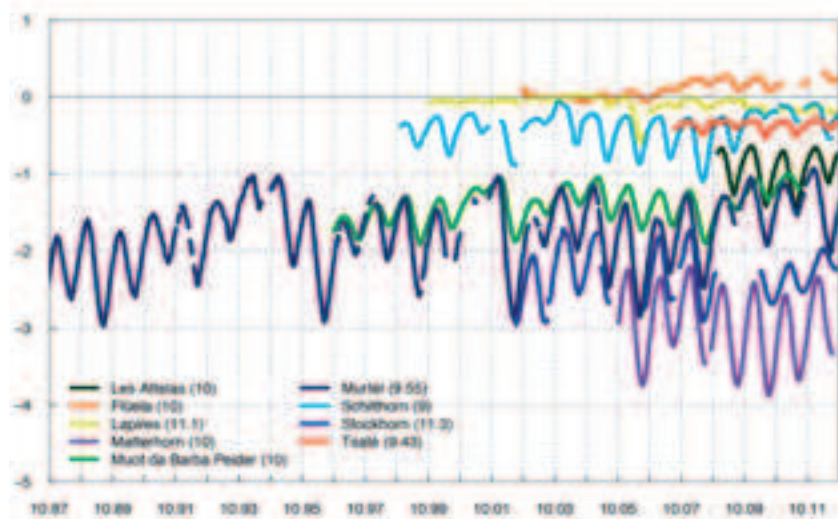
Pergélisol: le sol se réchauffe

En raison des conditions météorologiques, les températures du pergélisol ont été un peu plus basses au cours de l'année 2011/12 que durant l'année précédente. Pourtant, les conditions thermiques du pergélisol sont plus chaudes pour la quatrième année consécutive, en comparaison avec les douze dernières années. Les années chaudes précédant l'année sous revue ont été caractérisées par un faible enneigement et un dénudement très précoce, ainsi que par des températures printanières et estivales dépassant la moyenne. Cette année par contre, le manteau neigeux était très épais au début de l'hiver, ce qui a découplé l'air froid et le régime thermique du sous-sol. Le printemps sec et chaud a occasionné un rapide dénudement, et les températures superficielles ont été d'environ 0,4 degrés inférieures à celles du printemps précédent exceptionnellement chaud. Cela vaut principalement pour les sites influencés par la neige, où celle-ci a tenu plus longtemps

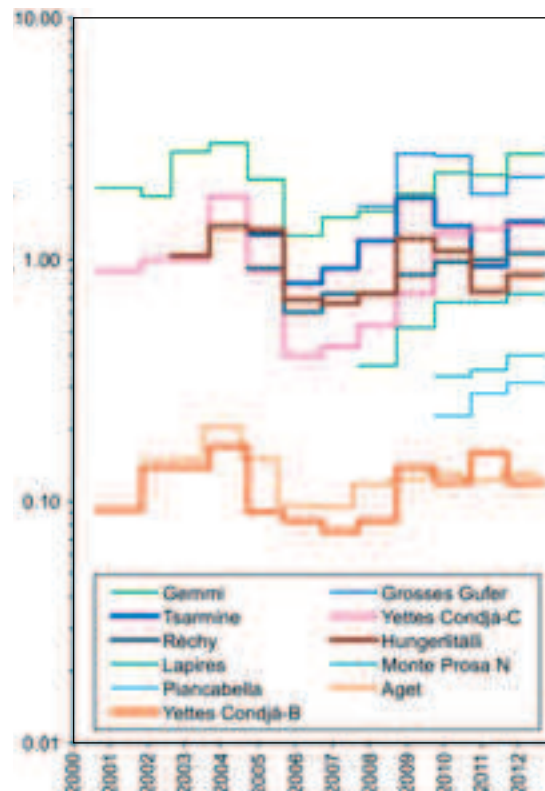
Mesure de la cryosphère en Suisse

L'observation de la cryosphère s'applique aux glaciers, à la neige et au pergélisol (www.cryosphere.ch). Elle est coordonnée par la Commission d'experts pour la cryosphère (EKK-CEC).

Les mesures d'enneigement sont réalisées par l'Office fédéral de météorologie et de climatologie ainsi que par l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches WSL-SLF, qui disposent de quelque 150 stations de mesure à cet effet. Les mesures sur les 115 glaciers sont réalisées par des représentants des hautes écoles, par les services forestiers cantonaux, les entreprises hydroélectriques ainsi que par des personnes à titre individuel (glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers). Le réseau de mesure de la cryosphère est géré par plusieurs hautes écoles ainsi que par le SLF. Il comporte 14 sites de mesure en forages ainsi que 12 sites de mesures des mouvements (www.permos.ch). L'évolution météorologique est suivie par l'intermédiaire des données de Météo-Suisse et du SLF.



Graphique 5: Température du pergélisol
Températures mesurées à environ 10 m de profondeur dans différents puits forés du réseau PERMOS. Graphique: Permos



Graphique 6: Vitesses des glaciers rocheux:
Vitesses de glissement horizontal de onze glaciers rocheux des Alpes suisses entre 2000 et 2012. Pour chaque glacier, la vitesse est déterminée par plusieurs points (de 5 à 30), relevés au moins une fois par année. La valeur indiquée est la valeur moyenne de tous les points de mesures.
Graphique: Permos

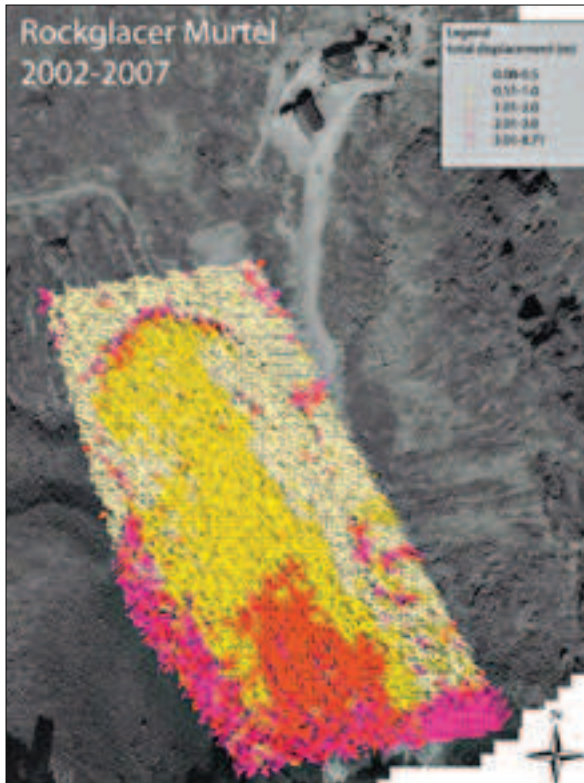
et maintenu les températures estivales plus basses. Comme les températures de l'air, celles des rochers ont été légèrement plus élevées que l'année précédente. En comparaison avec les douze dernières années, les températures superficielles ont été cependant plus élevées encore que la moyenne.

Les températures du pergélisol mesurées dans les forages situés entre 2000 et 3500 mètres étaient de 0 à -3° C selon l'altitude, l'exposition, les conditions d'enneigement et la nature du sous-sol du site. Dans les Alpes suisses, on peut s'attendre à trouver des conditions nettement plus froides dans les flancs situés à l'ombre à des altitudes dépassant 4000 mètres. Aucun capteur n'y a cependant été installé jusqu'ici. Au cours des cinq dernières années, les températures du pergélisol ont augmenté dans les 10 mètres superficiels du sous-sol, conséquence des conditions de plus en plus chaudes régnant à la plupart des endroits où se font les mesures. Elles sont en majorité au niveau de 2003 ou au-dessus. Comme il faut environ six mois pour qu'une augmentation de la température superficielle se répercute à cette profondeur, les hautes températures mesurées à 10 mètres

de profondeur au printemps 2012 résultent de la chaleur de l'automne 2011. On peut le voir clairement à l'exemple du Stockhorn (près du Gornergrat) ou des glaciers rocheux et des pentes d'éboulis du nord de l'Engadine. Il y a cependant de grandes différences entre les sites: les températures ont baissé dans certains forages au cours des cinq dernières années (graph. 5).

Les niveaux (profondeur) de dégel mesurés au cours des quatre dernières années dans le réseau suisse d'observation du pergélisol (Permos) sont parmi les plus profonds relevés dans une statistique remontant à dix ans et plus. Parmi eux, les plus profonds sont pour la plupart ceux de l'été 2011. A plusieurs endroits, le record de l'été caniculaire 2003 a même été dépassé au cours de l'été 2011 ou 2012. Les niveaux de dégel 2012 varient de 2,9 mètres dans une moraine proche du col des Gentianes à 6,8 mètres dans la face nord du Schilthorn.

Le monitoring géoélectrique, révélant des résistances électriques largement inférieures à la moyenne, confirme les données des mesures de température fournies par les cap-



Graphique 7: Le glacier rocheux de Murtèl-Corvatsch: Les mouvements du glacier rocheux de Murtèl-Corvatsch sont observés dans le cadre de PERMOS. Ce glacier se situe à proximité de la station intermédiaire du téléphérique menant au sommet du Corvatsch (en h. à d.). Les déplacements horizontaux entre 2002 et 2007 représentés ici ont été définis par photogrammétrie. Les plus grandes vitesses de fluage se trouvent dans la zone frontale (bas de l'image). A l'arrière-plan, l'orthophoto de 1996. Photo: Swissphoto Graphique: Permos



Les données du forage dans le pergélisol au col de la Flüela doivent entre-temps être effectuées en hiver, car il s'y produit trop de chutes de pierres en été. Photo: Marcia Phillips, SLF Davos

teurs installés sur les sites. Au Schilthorn, les valeurs atteignent pour la troisième fois consécutive des valeurs record, dépassant nettement celles de l'été 2003. La diminution de la résistance est remarquable tout au long du profil de profondeur (environ 10 m), conséquence vraisemblable des températures plus élevées du pergélisol et de la fonte continue de la glace au cours des dernières années.

Écoulement des glaciers rocheux en accélération

Dans le cadre de l'observation du pergélisol, un dispositif de mesures annuelles a été mis en place pour 14 glaciers rocheux afin de déterminer leur vitesse de reptation (graphique 6). Variable d'un glacier rocheux à l'autre selon la température, la géométrie et la teneur de glace, l'ordre de grandeur de l'avancement est de quelques décimètres à quelques mètres par année (graphique 7). Par rapport à l'année précédente, l'augmentation de quelque 16% suggère l'existence de conditions très chaudes dans le pergélisol. Les vitesses de reptation sont de quelque 20% plus élevées que la moyenne de celles des dix dernières années. Pour l'année sous revue, les résultats

vont de +4% pour Yettes Condjà C (1,41 m/an) à +53% pour Tsarmine (1,54 m/an). Tous les glaciers rocheux ont gagné en vitesse de reptation au cours des cinq dernières années, mais avec des différences dans l'évolution temporelle: certains ont augmenté de vitesse en continu, d'autres ont atteint un maximum de vitesse en 2008/09 pour ralentir jusqu'à l'année précédant celle sous revue et reprendre alors un rythme accéléré.

Ces différences font apparaître un schéma spatial complexe qui doit faire l'objet de recherches complémentaires.

→ Informations complémentaires

Glaciers: Andreas Bauder, VAW, EPF Zurich, bauder@vaw.baug.ethz.ch, 044 632 41 12

Neige: Christoph Marty, SLF, marty@slf.ch, 081 417 01 68

Pergélisol: Jeannette Nötzli, PERMOS, Université de Zurich, info@permos.ch, 044 635 52 24