



La station de ski de Bosco Gurin, à environ 2300 m, le 19 novembre 2014. Grâce à un enneigement abondant, le début de la saison de ski a été précoce. Photo: G. Kappenberger

Neige, glaciers et

Rapport sur la cryosphère des Alpes suisses

La canicule de l'été 2015 a durement éprouvé les glaciers et le pergélisol dans les Alpes suisses: la glace qui a fondu aurait suffi à remplir le lac de Biemme. Le pergélisol a enregistré de nouvelles températures record, les glaciers rocheux se sont déplacés plus rapidement que ce que l'on avait mesuré jusque-là.

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



La Parsenn (env. 2200 m), à Davos, le 5 décembre 2014. La douceur a empêché un enneigement correct des pistes de ski.

Photo: SLF

pergélisol 2014/15

Météo et neige

Le début de l'hiver 2014/15 a été exceptionnellement peu enneigé. Durant la période de Noël 2014, il n'y avait presque pas de neige dans les vallées des grandes stations de ski dans toute la Suisse – aussi peu que la dernière fois en hiver 1989/90. Sur le flanc sud des Alpes et en Engadine, il a même fallu attendre jusqu'à mi-janvier pour qu'un manteau neigeux continu recouvre enfin le sol en dessous de 1800 mètres (Ill. 1). Une situation totalement différente de celle de l'hiver 2013/14: à même époque, on mesurait déjà 150 centimètres de neige à Bosco Gurin ou à la Maloja. L'épaisseur du manteau neigeux a beaucoup varié en fonction de l'altitude. La neige à moyenne et basse altitude n'a pas cessé de fondre en raison

des températures élevées. Ce n'est qu'au-dessus de 2000 mètres que le manteau neigeux s'est avéré tout juste dans la moyenne. Sur le versant sud des Alpes, il est aussi demeuré légèrement inférieur à la moyenne à ces altitudes. A l'exception de février, les mois de novembre à mars ont tous été trop doux, avec des records de chaleur en début d'hiver. Malgré cela, certaines parties du Plateau et du Jura ont eu droit à un nombre de jours de neige correspondant à peu près à la moyenne grâce à une combinaison favorable de précipitations et de froid.

Sur le versant sud des Alpes, trois épisodes de fortes chutes de neige dans la première moitié de novembre ont apporté beaucoup de neige. A la mi-novembre, on mesurait déjà

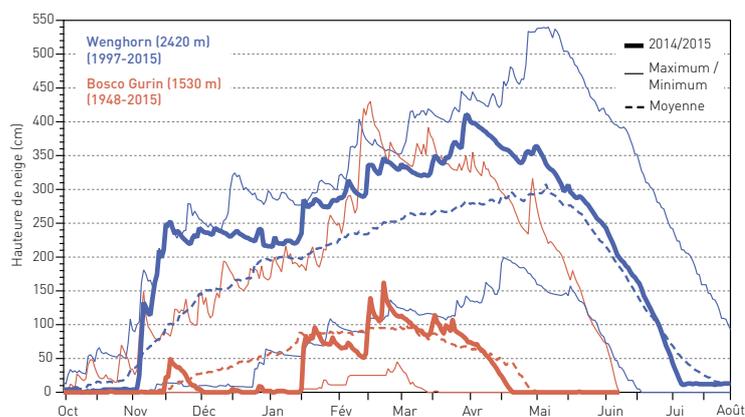


Illustration 1: Evolution du manteau neigeux durant l'hiver 2014/15 à Bosco Gurin/TI et au Wenghorn (Simplon). Ces deux stations sont situées sur le versant S des Alpes et ne sont distantes que de 38 km. De novembre à juin, celle du Wenghorn (2420 m) affiche clairement des épaisseurs de neige supérieures à la moyenne, alors que Bosco Gurin (1530 m) est restée sans neige jusqu'à mi-janvier en raison des températures élevées et affiche ensuite des valeurs moyennes. Graphique: SLF

Ecart entre la hauteur de neige en hiver 2014/15 et la moyenne de la période 1971-2000 (Novembre-avril)

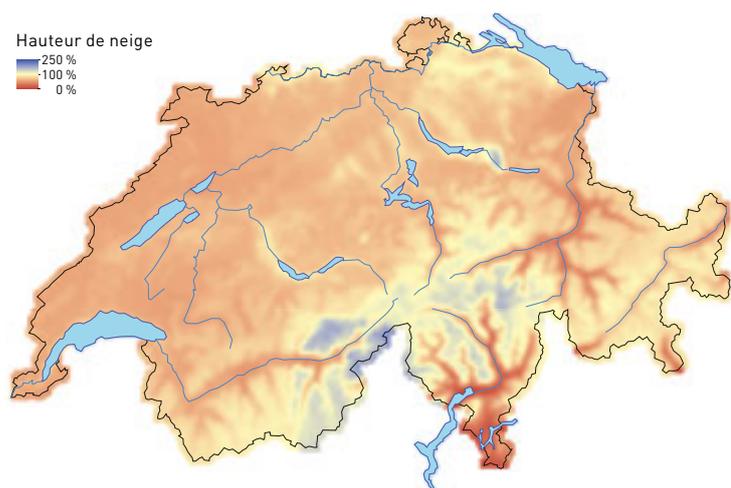


Illustration 2: Variation en pour cent de la hauteur de neige moyenne durant l'hiver 2014/15 (nov.-avr.) comparée à la période 1971-2000. Dans la majeure partie de la Suisse, la quantité de neige pendant l'hiver 2014/15 était inférieure à la moyenne, à l'exception des régions de haute montagne du Haut-Valais et du Tessin. Illustration: SLF

250 centimètres de neige à 2420 mètres d'altitude sur les pentes du Wenghorn, près du col du Simplon (Ill. 1). Ce manteau neigeux supérieur à la moyenne à haute altitude sur le versant sud des Alpes a résisté jusqu'au début de l'été. Dans le reste de la région, on recensait mi-avril presque partout une hauteur de neige dans la moyenne. Après la mi-mai, en raison des 50 à 100 centimètres de neige fraîche tombés sur le versant nord des Alpes et aux Grisons, l'épaisseur du manteau neigeux s'est avérée supérieure à la moyenne en altitude. Au début et à la fin du mois de juin, l'isotherme du zéro degré a déjà frôlé les 4000 mètres. Dans le second tiers du mois toutefois, les chutes de neige sont brièvement redescendues jusqu'à 2000 mètres. Durant les mois de juillet et août, inhabituellement caniculaires, les températures sur le Plateau ont oscillé entre 30 et 35 degrés. Aucun jour de neige fraîche n'a été enregistré à cette période au Weissfluhjoch. Cela n'est arrivé qu'une seule fois en presque 80 ans de mesures. Un refroidissement prononcé accompagné de chutes de neige en haute montagne a mis fin à la canicule dans la seconde moitié d'août. En septembre, la neige est à nouveau tombée jusqu'à 2000 mètres.

Glaciers

Le bilan de masse a été établi pour 20 glaciers durant la période d'observation comprise entre l'automne 2014 et l'automne 2015. Des mesures de variations de longueur ont été effectuées sur une centaine de langues glaciaires. Pour établir le bilan de masse, on mesure la quantité de neige en avril ou en mai en différents endroits du glacier, puis on mesure la fonte durant l'été. L'évolution de la longueur du glacier se calcule en comparant la position du front du glacier d'une année à l'autre.

Jusqu'à fin juin, la majorité des glaciers étaient bien protégés par le manteau neigeux hivernal: le dégarnissement a commencé au moment de la fonte. Les chutes de neige fraîche à la mi-août et début septembre ont cependant mis un terme précoce à la saison de fonte. Il ne restait presque plus de neige hivernale sur de nombreux glaciers.

Epaisseur de glace en forte diminution

Les différences dans les bilans de masse entre les glaciers observés ont été particulièrement importantes en 2014/15. Les glaciers des Alpes vaudoises et bernoises sont ceux qui



De grandes quantités d'eau de fonte s'écoulent dans un moulin lors de la rupture d'un lac glaciaire au glacier de la Plaine Morte (juillet 2015). Photo: Matthias Huss

ont le plus souffert. Au glacier de Tsanfleuron et au glacier de la Plaine Morte, on a mesuré des pertes massives d'épaisseur de 200 à 250 centimètres en moyenne sur l'ensemble du glacier. La perte la moins importante a été enregistrée au Findelgletscher et à l'Allalingsletscher, dans le Valais méridional: l'épaisseur moyenne de glace y a diminué de près de 70 centimètres pour chacun.

Les autres valeurs mesurées oscillaient entre 100 et 200 centimètres de perte d'épaisseur moyenne. La canicule de l'été s'est une fois de plus avérée dévastatrice pour les petits glaciers dépourvus d'une zone d'accumulation à haute altitude. Fin juillet, la plupart d'entre eux étaient en effet déjà complètement dégarnis. Bien que l'année 2015 soit entrée dans les annales comme la plus chaude depuis le début des mesures, le dégarnissement hésitant en début d'été, ainsi que les chutes de neige à la mi-août et en septembre ont empêché une fonte plus importante des glaciers.

Etendue par calcul à tous les glaciers de Suisse (près de 900 km²), la perte de masse glaciaire pour la période de mesures 2014/15 est estimée à 1300 millions de mètres cubes, ce qui correspond à environ 2,5% du volume de glace actuel-

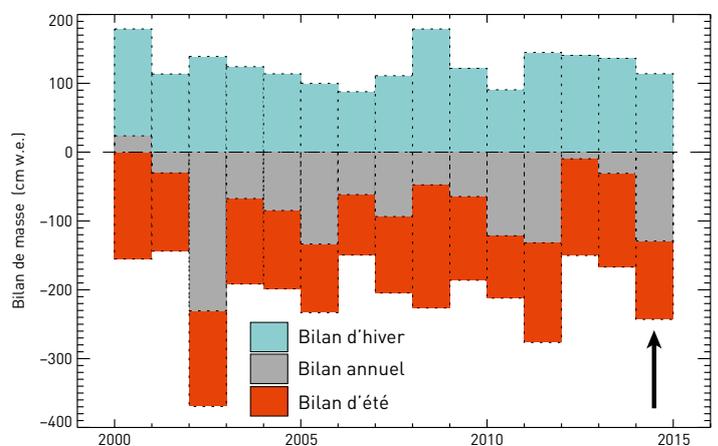
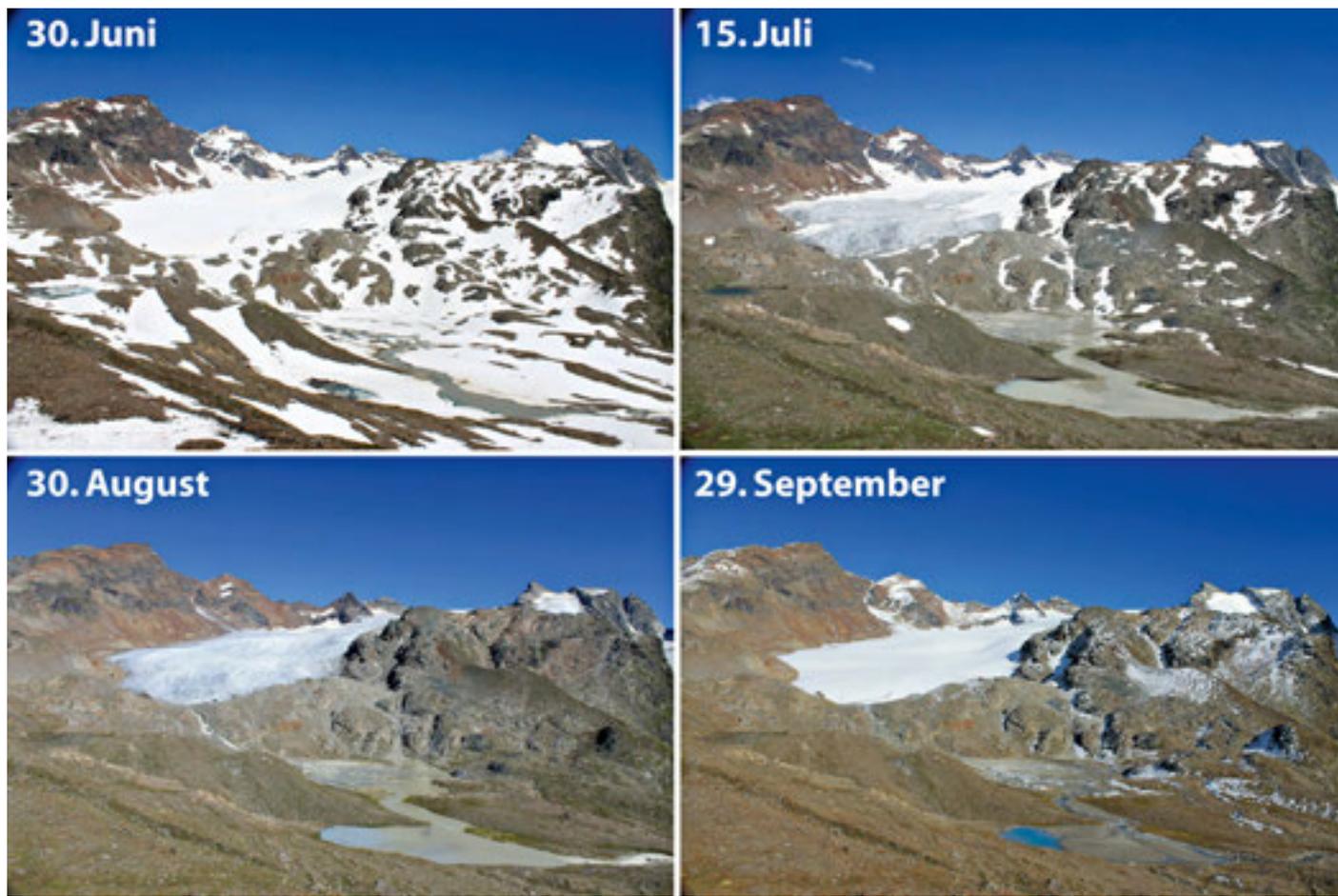


Illustration 3:

Evolution de la quantité de neige (bilan hivernal), de la fonte durant l'été (bilan estival) et du bilan annuel sur les 15 dernières années. Le graphique présente les valeurs moyennes de l'Allalingsletscher/VS, du Ghiacciaio del Basòdino/TI, du Findelgletscher/VS, du glacier de Giétro/VS, du Griesgletscher/VS, du Rhonegletscher/VS et du Silvrettagletscher/GR avec de longues séries de mesures (en cm équivalent en eau). Graphique: GLAMOS



Evolution de l'enneigement du Silvrettagletscher/GR durant l'été 2015: alors qu'à fin juin, l'ensemble du glacier était encore recouvert de neige, il s'est complètement dégarni jusqu'à fin août. Photo: Andreas Bauder

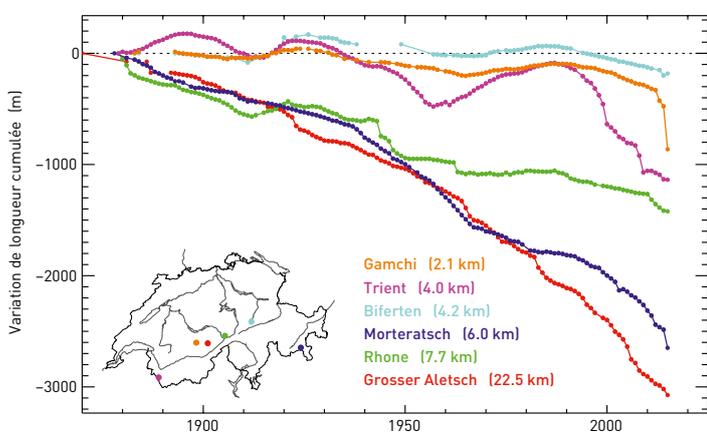


Illustration 4: Variations de longueur cumulées (en m) pour une sélection de glaciers du réseau de mesures avec des mécanismes de réaction et d'adaptation au climat différents de cas en cas. Graphique: GLAMOS

lement présent en Suisse et suffirait à remplir complètement le lac de Biene. Bien que la fonte ait été nettement supérieure à la moyenne, les valeurs record de l'été caniculaire 2003 n'ont pas tout à fait été atteintes. Le bilan de masse se situe cependant dans l'ordre de grandeur des années tout aussi négatives que furent 2006, 2011 et 2012 (Ill. 3).

Recul des glaciers persistant

Alors que le bilan de masse dépend directement des conditions météorologiques, l'évolution de la longueur des glaciers reflète surtout le changement à long terme des conditions climatiques. Ce dernier influence, avec un retard différent selon la taille du glacier, le mouvement de la langue du glacier (Ill. 4). Durant la période d'observation 2014/15, la longueur de 92 glaciers a diminué, alors que la langue de trois autres n'a pas bougé. Pour quatre autres, on a enregistré des valeurs légèrement positives (voir tableau).

La plupart des valeurs accusent un recul de près de 100 mètres au Schwarzgletscher/VS et une légère progression du front de la langue de 18 mètres au Bifertenfirn/GL. D'importants changements ont été observés à l'Unterer Grindelwald-

Variation de la longueur (en m) des glaciers dans les Alpes suisses en 2014/15

Nom/Canton	Diff.	Nom/Canton	Diff.	Nom/Canton	Diff.	Nom/Canton	Diff.
Albigna/GR	-17	Giétro/VS	-17	Palü/GR	-24	Tsanfleuron/VS	-20
Allalin/VS	-16	Glärnisch/GL	-34	Paneirosse/VD	-7	Tschierva/GR	-28
Alpetli (Kanderfirn)/BE	-24	Gorner/VS	-72	Paradies/GR	-24	Tschingel/BE	-8
Ammerten/BE	-3	Grand Désert/VS	-13	Paradisino (Campo)/GR	-17	Tseudet/VS	-11
Arolla (Mont Collon)/VS	-16	Grand Plan Névé/VD	-12	Pizol/SG	-10	Tsijiore Nouve/VS	-10
Basòdino/TI	-25	Gries/VS	-42	Plattalva/GL	-20	Tungel/BE	n
Biferten/GL	18	Griess/UR	-13	Porchabella/GR	-15	Turtmann/VS	-133
Blüemlisalp/BE	-39	Griessen/OW	-15	Prapio/VD	-1	Unteraar/BE	n
Boveire/VS	-27	Grosser Aletsch/VS	-54	Punteglias/GR	-27	Unterer Grindelwald/BE	-450
Brenay/VS	-35	Hinter Sutz/GL	6	Rezli/BE	-4	Val Torta/TI	n
Bresciana/TI	n	Hohlaub/VS	-4	Rhone/VS	-6	Valleggia/TI	-5
Brunegg (Turtmann)/VS	-22	Hüfi/UR	n	Ried/VS	-30	Valsorey/VS	-19
Brunni/UR	-4	Kaltwasser/VS	-6	Roseg/GR	4	Verstanclo/GR	-18
Calderas/GR	-6	Kehlen/UR	-31	Rossbode/VS	n	Vorab/GR	-18
Cambrena/GR	-7	Kessjen/VS	-3	Rotfirn (Nord)/UR	-14	Wallenbur/UR	-30
Cavagnoli/TI	-13	Lang/VS	-16	Saleina/VS	-29	Zinal/VS	-10
Cheilon/VS	-15	Lavaz/GR	-16	Sankt Anna/UR	-13		
Corbassière/VS	-24	Lenta/GR	x	Sardona/SG	-19		
Corno/TI	-16	Limmern/GL	-10	Scaletta/GR	x		
Croslina/TI	-4	Lischana/GR	-128 ²	Schwarz/VS	-100		
Damma/UR	-26	Lämmeren/VS	-16	Schwarzberg/VS	-23		
Eiger/BE	-12	Moiry/VS	-30	Seewjinen/VS	-13		
En Darrey/VS	x	Moming/VS	-4	Sesvenna/GR	-15		
Fee/VS	-45	Mont Durand/VS	-5	Sex Rouge/VD	-4		
Ferpècle/VS	-25	Mont Fort (Tortin)/VS	-15	Silvretta/GR	-7		
Fiescher/VS	-210 ³	Mont Miné/VS	-14	Stein/BE	-99		
Findel/VS	-62	Morteratsch/GR	-164	Steinlimi/BE	-39		
Firnalpeli (Ost)/OW	0	Mutt/VS	n	Suretta/GR	0		
Forno/GR	-35	Oberaar/BE	n	Tiatscha/GR	-1		
Gamchi/BE	-387	Oberaletsch/VS	n	Tiefen/UR	-37		
Gauli/BE	-13	Oberer Grindelwald/BE	2	Trient/VS	-4		
Gelten/BE	n	Otemma/VS	-24	Trift (Gadmen)/BE	-3		

Abréviations

n = non observé
s = langue glaciaire recouverte de neige
x = valeur non déterminée
y² = lorsque la valeur indiquée s'applique à une durée de plusieurs années, l'exposant indique le nombre d'années.
P. ex.: Fiescher -210³ = recul de 210 m en trois ans.

gletscher/BE, au Gamchigletscher/BE, au Vadret da Morteratsch/GR et au Turtmannletscher/VS. Ceux-ci sont toutefois le fruit d'une évolution au cours des dernières années: la masse de glace y fond de manière très irrégulière en raison de leur langue partiellement recouverte d'un épais dépôt morainique et du manque d'apport de glace en provenance du bassin supérieur. Les langues des glaciers se réduisent sans pour autant perdre beaucoup en longueur. En l'espace d'une seule année, des pans entiers peuvent soudainement fondre. Si une grande portion de la langue se sépare à la faveur d'un rétrécissement, la langue active du glacier recule alors brusquement.

Les valeurs positives isolées observées ne résultent pas d'une progression due à un apport important de glace en provenance du bassin supérieur, mais de l'environnement et des conditions du site durant l'année en cours.

Pergélisol

Durant la période d'observation, le pergélisol a été extrêmement chaud dans les Alpes suisses. En plusieurs endroits, de nouvelles valeurs record ont été enregistrées. Cependant,

Mesure de la cryosphère en Suisse

L'observation de la cryosphère comprend les glaciers, la neige et le pergélisol (www.cryosphere.ch). Les observations et les réseaux de mesure sont coordonnés par la Commission d'experts de la cryosphère (CEC).

Les mesures de la neige sont réalisées par l'Office fédéral de météorologie et de climatologie Météo-Suisse et par l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches (SLF). Elles sont basées sur quelque 150 stations de mesure.

Les mesures sur les 120 glaciers sont réalisées dans le cadre du réseau suisse des relevés glaciologiques (GLAMOS) par des représentants des hautes écoles, des offices forestiers cantonaux et des sociétés d'exploitation des ouvrages hydroélectriques, ainsi que par des personnes à titre individuel (www.glamos.ch). Le réseau de mesures du pergélisol (PERMOS) est géré par plusieurs hautes écoles et par le SLF. Il comprend 29 sites de mesure de température, de sondage électrique et/ou de mesure de mouvements (www.permos.ch).



Le glacier rocheux des Becs de Bosson dans le val de Réchy/VS.
Photo: Benno Staub

celles-ci ne sont pas uniquement dues à l'été caniculaire 2015. Elles résultent des conditions météorologiques chaudes persistantes de ces dernières années.

Températures élevées du sous-sol

Les canicules estivales entraînent typiquement une augmentation de la température annuelle moyenne à la surface du sol de 0,5 à 1° C. Bien que la température du sol ait affiché une montée rapide entre mai et septembre et qu'elle ait été en partie plus élevée en juillet que lors de l'été record 2003, elle a été, dans son ensemble, inférieure à celle de 2002/03 durant la période d'observation 2014/15. La raison est à chercher dans l'arrivée tardive de la neige en automne 2014. Cela a permis au sol de refroidir. Au printemps 2015, les températures superficielles étaient de ce fait inférieures à celles du printemps 2003.

Dans les parois rocheuses abruptes de haute montagne, où il n'y a pas d'épais manteau neigeux et où les variations temporelles des températures à proximité de la surface suivent la température de l'air, les températures mesurées ont été exceptionnellement élevées.

La plupart des mesures effectuées en parois rocheuses n'ont débuté qu'en 2014, mais en raison de cette très forte interaction, on peut en déduire que les températures de la roche étaient plus élevées en 2015 qu'en 2003.

Les mesures de température du pergélisol en profondeur, effectuées à l'intérieur d'environ 30 puits forés en 2015, attestent de nouvelles valeurs record comparées aux séries de

mesures effectuées durant la dernière décennie, voire le dernier quart de siècle. Elles accentuent la tendance à un réchauffement révélée au cours des sept dernières années. A l'instar de l'évolution de la longueur des glaciers, les températures en profondeur reflètent surtout les changements climatiques à long terme. Au glacier rocheux de Corvatsch-Murtèl, en Haute-Engadine – la plus longue série de mesures du pergélisol en montagne (28 ans) – les températures du pergélisol à 20 mètres de profondeur ont augmenté d'environ un demi-degré depuis 2009 (Ill. 5).

Les profondeurs de fonte maximales de l'été ont souvent été plus importantes que jamais depuis le début des mesures. On a pu constater une valeur record de plus de 9 mètres au puits foré du versant nord du Schilthorn. Là-bas, on procède aussi à la plus longue série chronologique de mesures géophysiques. On y a constaté ces 15 dernières années une diminution nette des résistances électriques dans le sous-sol. Le record de 2003 a d'ailleurs déjà été dépassé plusieurs fois ces dernières années. Cela démontre la présence d'une plus grande proportion d'eau non gelée dans le sous-sol. C'est en outre le symptôme d'une fonte considérable de la glace.

Accélération des glaciers rocheux

Les mouvements des glaciers rocheux, constitués de blocs rocheux et de glace, ont continué d'augmenter durant la période sous revue. Ils suivent l'évolution de la température dans le pergélisol. Leur vitesse de glissement affiche également une accélération depuis 2009. Les vitesses de la période

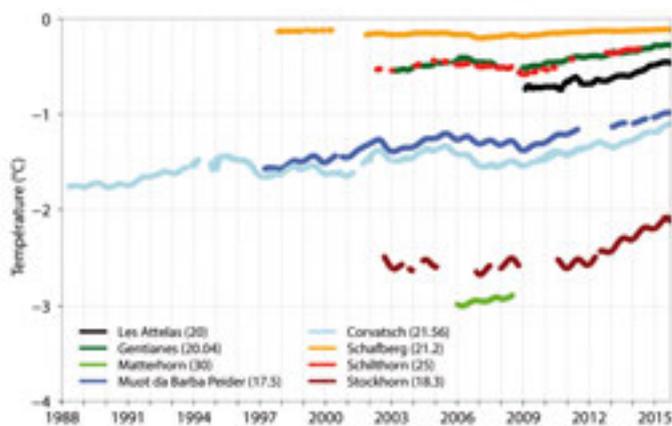
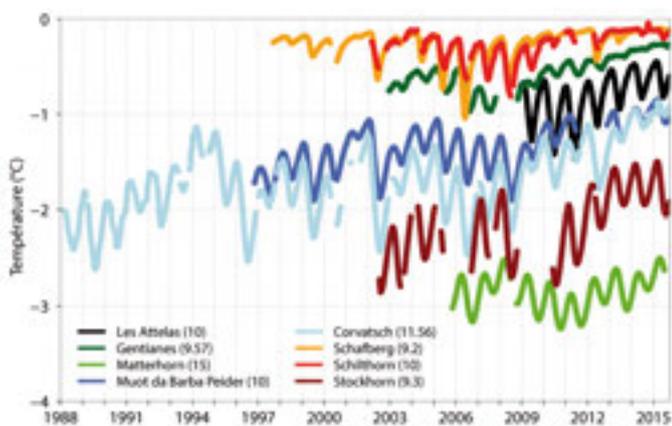


Illustration 5:

Evolution des températures à l'intérieur de différents forages dans le pergélisol des Alpes suisses. A gauche, à quelque 10 m de profondeur, à droite à 20 m environ. La profondeur exacte de la mesure en mètres, qui dépend de l'installation, est indiquée entre parenthèses. On distingue clairement la tendance à un réchauffement du pergélisol au cours de ces dernières années. Graphiques: PERMOS

d'observation 2014/15 ont en moyenne augmenté de 20% par rapport à l'année dernière. Dans l'ensemble, la majorité des glaciers rocheux se déplacent actuellement plus vite que jamais depuis le début des mesures en 2000 (Ill. 6). Nombre d'entre eux présentent aujourd'hui des vitesses de plusieurs mètres par année. En plusieurs endroits, les vitesses actuelles sont quatre à cinq fois plus élevées que durant la période plus fraîche située entre 2005 et 2007. Elles dépassent les premiers mouvements maximaux des années 2003 et 2004. Suite à ces conditions caniculaires, on a observé, particulièrement en juillet et en août 2015, un grand nombre d'éboulements dans les zones à pergélisol de haute montagne, à plus de 2500 mètres. Ceux-ci étaient généralement petits (inférieurs à env. 100 000 m³) et se sont produits dans la couche active, à proximité de la surface du rocher.

Réaction à la canicule en différé

Comme il s'écoule environ une année et demie jusqu'à ce que la chaleur de l'été atteigne une profondeur de 10 mètres, on ne mesurera pleinement qu'en 2016 l'influence de la canicule. La longue attente qui a caractérisé l'arrivée de la neige au début de l'hiver 2015/16 devrait pouvoir estomper les effets de la canicule, surtout dans les régions ombragées: en automne, le sol peut se refroidir tant qu'il n'est pas recouvert d'un épais manteau neigeux isolant. Dans les parois rocheuses abruptes en revanche, les températures élevées constantes de l'air vont plutôt contribuer à une poursuite du réchauffement.

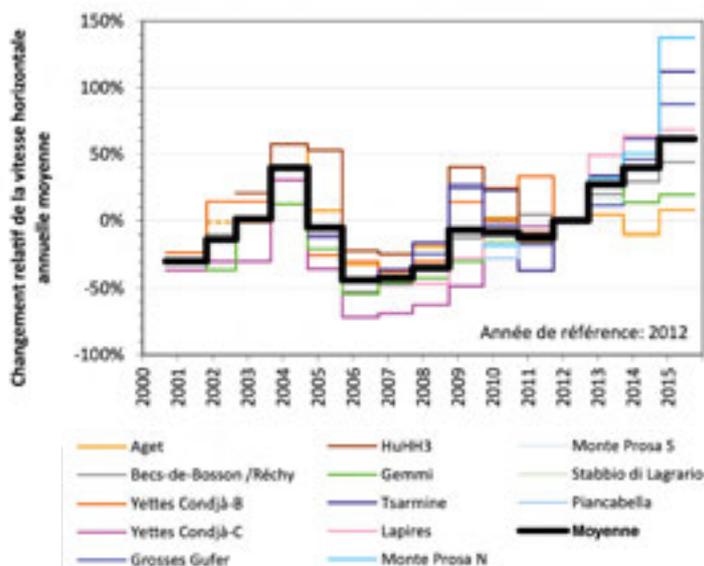


Illustration 6:

Variation des vitesses moyennes de glissement en surface comparées à 2011/12 pour différents glaciers rocheux observés. Les vitesses de déplacement absolues sont, selon les emplacements, de l'ordre de décimètres à plusieurs mètres par années. Graphique: PERMOS