

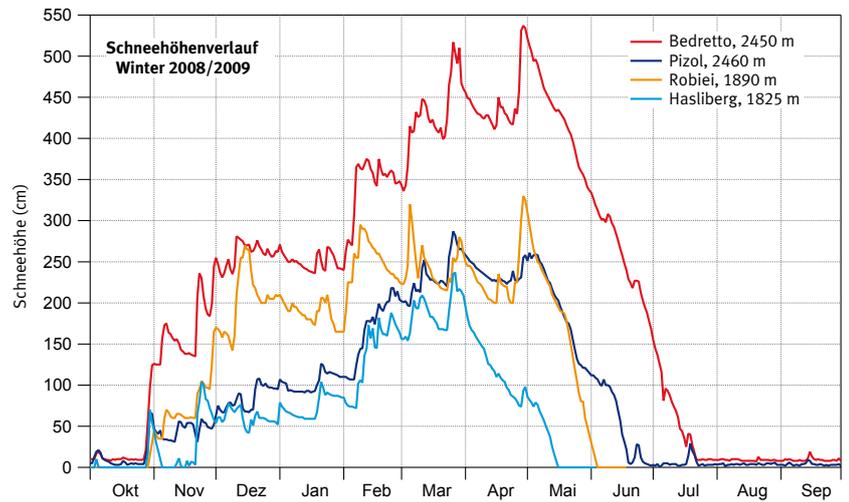
Rapport sur la cryosphère dans les Alpes suisses

Neige, glaciers et pergélisol en 2008/09

Les glaciers ont poursuivi leur retrait. Les bilans de masse glaciaires furent très différents selon la région. L'épaisseur et la durée de l'enneigement ont dépassé la moyenne. Le pergélisol s'est singulièrement réchauffé. Il s'agit des principaux résultats de l'observation de la cryosphère en Suisse durant l'année hydrologique 2008/09. Ils sont la conséquence d'importantes chutes de neige hivernales et printanières, ainsi que d'un été 2009 particulièrement chaud.

Fin octobre 2008 déjà, une vigoureuse incursion hivernale engendra des chutes de neige à basse altitude sur les deux versants des Alpes. En montagne, la chaleur de l'été resta ainsi emmagasinée dans le sol, la neige étant un bon isolateur thermique. Ces quantités de neige inhabi-

Fig. 1: Evolution de la hauteur de neige durant l'hiver 2008/09. Deux stations (Bedretto et Robiei) se situent sur le versant sud et deux autres (Pizol, Hasliberg) sur le versant nord des Alpes.



Toutes les stations ont enregistré un enneigement précoce à la fin du mois d'octobre 2008 et une fonte rapide durant les mois d'été. Les deux stations du versant sud indiquent plusieurs phases d'accroissement marqué

de la hauteur de neige. Celles-ci sont dues aux fréquentes situations de barrage du sud. A même altitude, le déneigement se produit un mois plus tôt au nord des Alpes (Pizol) qu'au sud (Bedretto, 2450 m).

tuelles (20 cm à Zurich) affectèrent non seulement le Plateau, mais aussi la Suisse centrale, où la hauteur de neige fraîche atteignit jusqu'à 50 cm. Durant toute la saison hivernale, la neige tomba jusqu'à basse altitude des deux côtés des Alpes. D'un point de vue météorologique, il faut relever les fréquentes situations de barrage de sud en novembre et décembre 2008. Au sud des Alpes, dans le Haut-Valais, l'Engadine et le centre des Grisons, la hauteur de neige atteignait fin décembre jusqu'à deux fois les valeurs habituelles.

L'hiver 2008/09 fut dans l'ensemble légèrement plus froid que la moyenne à

long terme. Un unique redoux se produisit fin janvier et fit remonter passagèrement la limite des chutes de neige jusqu'à 1600 mètres au nord et même jusqu'à 2000 mètres au nord-est. Suite à de nouvelles et importantes précipitations de barrage, l'épaisseur maximale du manteau neigeux fut atteinte le 8 février déjà dans certaines stations du sud des Alpes et de Haute-Engadine (Fig. 1). En mars encore, les chutes de neige furent également supérieures à la moyenne des deux côtés des Alpes.

Epaisseur de la couche de neige en avril 2009

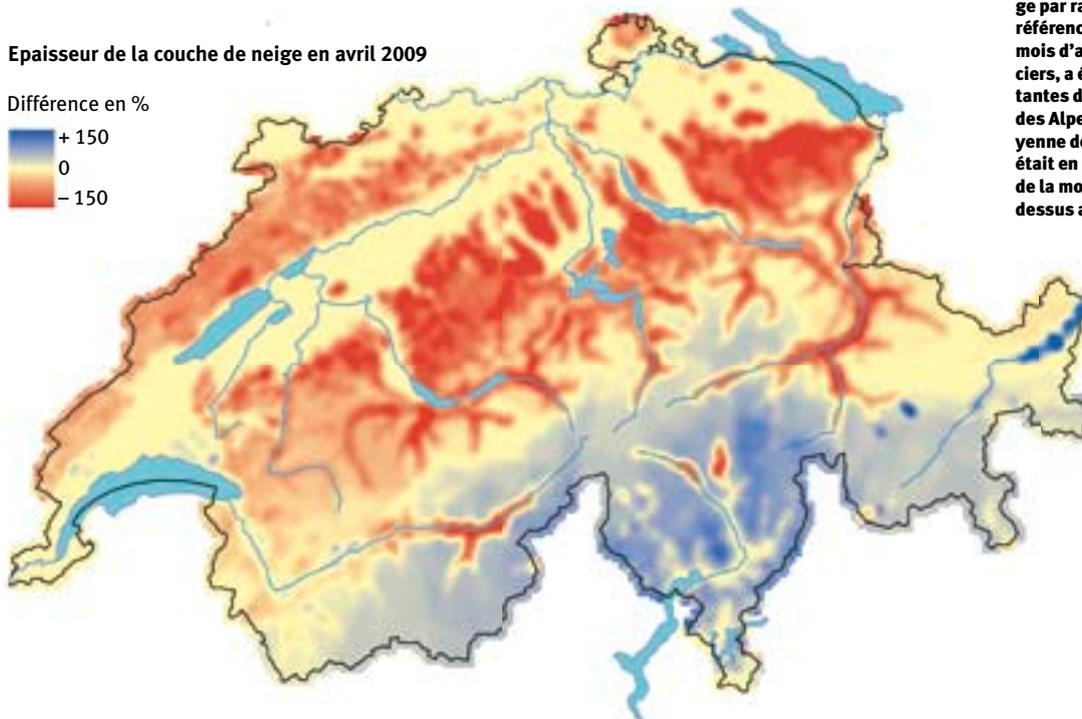
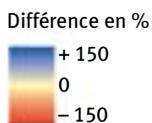
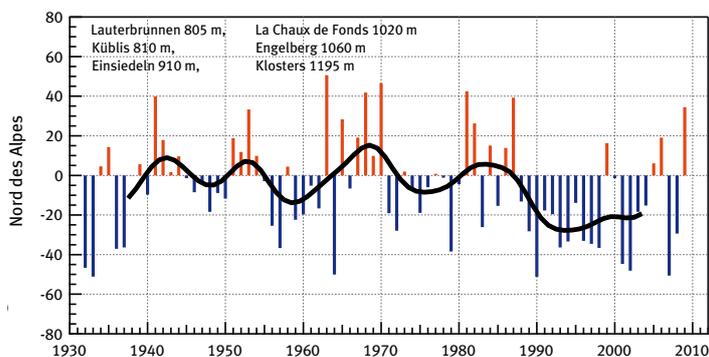


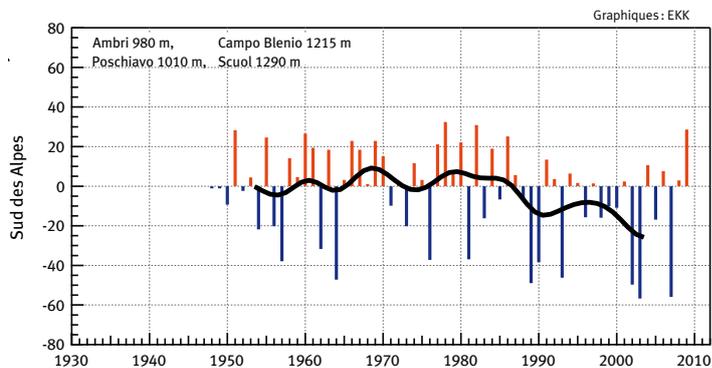
Fig. 2: Ecart en % de la hauteur de neige par rapport à la valeur moyenne de référence. L'épaisseur de neige du mois d'avril, importante pour les glaciers, a été marquée par d'importantes différences de part et d'autre des Alpes. Par rapport à la valeur moyenne de référence (1971-2000), elle était en partie largement au-dessous de la moyenne au nord (rouge) et au-dessus au sud (bleu).

## Jours de neige



**Fig. 3 : Nombre de jours de neige de décembre à mars à moyenne altitude. Le graphique représente l'écart du nombre de jours de neige comptabilisé**

**(hauteur de neige  $\geq 30$  cm) par rapport à la période de référence 1961-1990. Les mesures ont été prises aux stations indiquées. La ligne en gras représente la moyenne sur 10**



**ans. L'hiver 2008/09 (dernière barre) est l'hiver le plus neigeux des 20 dernières années tant sur le versant nord (à g.) que sur le versant sud (à d.) des Alpes.**

Sur le versant sud des Alpes, avril connaît de nouveau trois périodes de chutes de neige importantes. Durant les quatre derniers jours du mois, près de 2 mètres de neige fraîche tombèrent dans les parties supérieures des vallées de Saas et de la Maggia. « En consé-

quence, la quantité de neige moyenne relevée fin mai dans les zones élevées de la crête principale des Alpes et au sud de celle-ci était encore importante pour la saison (Fig. 2). L'épais manteau de neige permit par la suite aux glaciers alpins du sud d'être protégés longuement du

rayonnement solaire et de perdre ainsi moins de glace.

Au nord des Alpes au contraire, les très chauds mois d'avril et de mai provoquèrent une fonte rapide de la neige (Fig. 1).

L'été 2009, troisième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864, ne

Photo : Robert Bösch



**Vue sur le barrage du Grimsel, dans l'Oberland bernois. Le Finsteraarhorn apparaît en arrière-plan.**

Cliché historique du Riedgletscher datant de 1978.



Photo : archives VAW

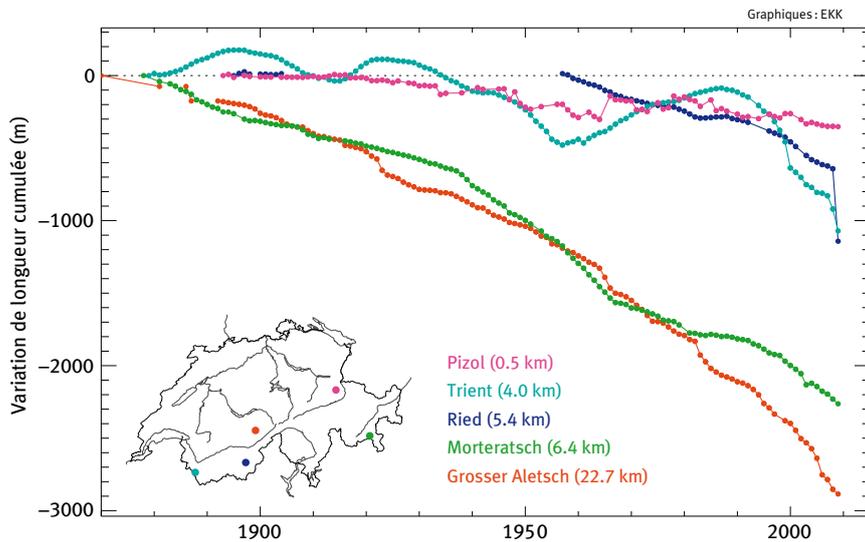


Fig. 4 : Variations de longueur cumulée (en m) de cinq glaciers qui se distinguent par leur réaction et leur adaptation aux changements climatiques.

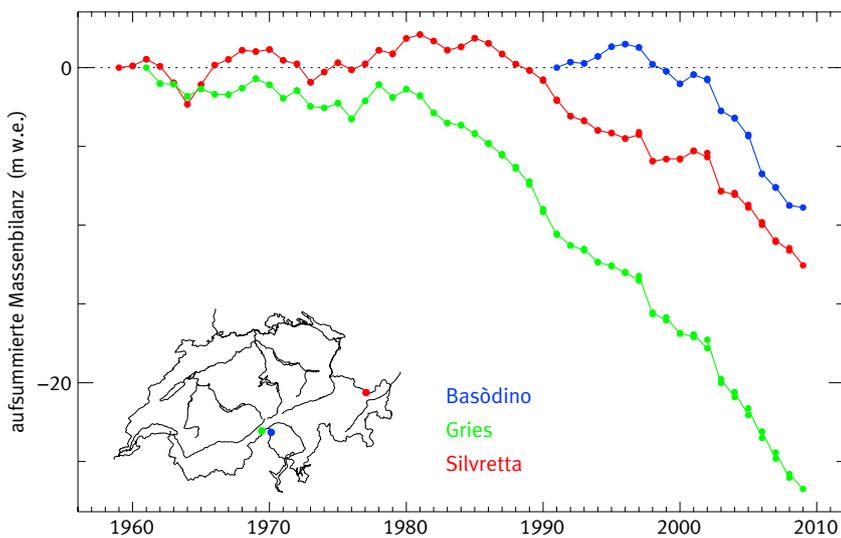


Fig. 5 : Bilan de masse des glaciers Basòdino, Gries et Silvretta. Le graphique représente le bilan de masse cumulé (en équivalence d'eau).

connu que trois incursions d'air froid et aucune chute de neige. La fonte de la couverture neigeuse sur les glaciers se déroula continuellement jusqu'en août, mettant à nu de grandes surfaces de glace et permettant une fonte glaciaire intense. Cette phase d'ablation se prolongea jusqu'à fin octobre, soit extraordinairement tard. En dehors des zones glaciaires, la disparition précoce de la neige au printemps et les températures estivales élevées favorisèrent un fort réchauffement du sol, en particulier sur le versant nord des Alpes.

L'hiver 2008/09 fut caractérisé par des chutes de neige précoces et un grand nombre de jours d'enneigement jusqu'à basse altitude (Fig. 3). En regard de la longue période d'enneigement causée par l'absence inhabituelle de périodes de

Le même glacier à peine  
trente ans plus tard.



Photo: Françoise Funk-Salamif

redoux et même si les records de chutes de neige n'ont pas été battus, cet hiver peut être considéré comme le plus neigeux depuis presque vingt ans (Fig. 3). Malgré cela, les précipitations annuelles 2008/09 furent légèrement inférieures à la moyenne (-7%) (Fig 6b). Quant aux températures estivales (mai-septembre 2009), elles furent nettement supérieures à la norme (+2,2° C) (Fig. 6a).

### Mesures des glaciers

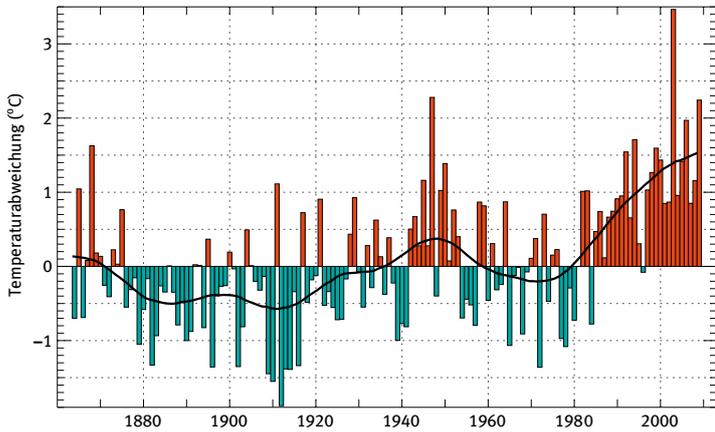
Le bilan de masse et les fluctuations de longueur sont des paramètres importants pour décrire l'évolution d'un glacier (Fig. 4 et 5). Le bilan de masse résulte de l'accumulation de neige (accumulation) et de sa fonte (ablation). Ce bilan est directement lié aux conditions

## Variation de la longueur des glaciers dans les Alpes suisses en 2008/09

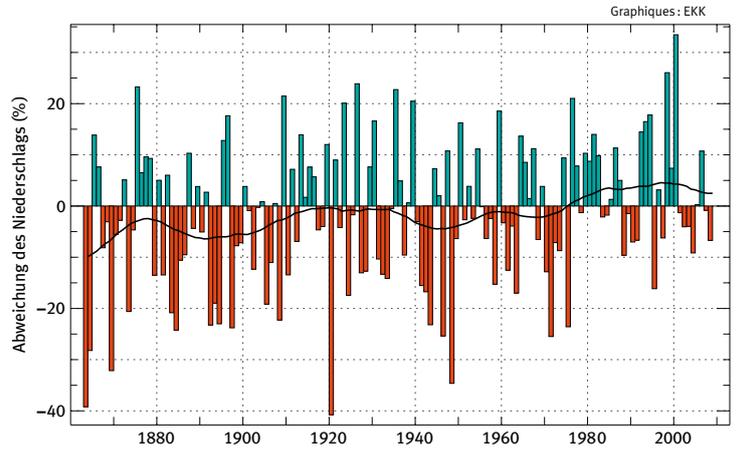
Glaciers	Canton	Variation de longueur (m)	Glaciers	Canton	Variation de longueur (m)
<b>Bassin du Rhône</b>			<b>Bassin de la Reuss</b>		
Allalin	VS	-3,7	Brunni	UR	-5,4 <sup>6</sup>
Arolla (Mont Collon)	VS	-68 <sup>2</sup>	Damma	UR	n
Boveyre	VS	-22	Firnalpeli (Est)	OW	-7,4
Breney	VS	-32,4	Griessen	OW	-11,2 <sup>2</sup>
Cheillon	VS	x	Griess	UR	-2,5
Corbassière	VS	-100,7	Hüfi	UR	-9
En Darrey	VS	x	Kehlen	UR	-24,2
Fee (Nord)	VS	-13,5	Rotfirm (Nord)	UR	-12,0
Ferpècle	VS	-13 <sup>2</sup>	Sankt Anna	UR	-6,0
Fiescher	VS	-10,7	Tiefen	UR	-15,7
Findelen	VS	-1,1	Wallenbur	UR	-8,7
Giétro	VS	-48,4	<b>Bassin de la Linth/Limmat</b>		
Gorner	VS	-6	Biferten	GL	-3,5
Grand Désert	VS	x	Glärnisch	GL	-12,6
Grand Plan Névé	VD	-3,4	Limmern	GL	-4
Gries	VS	-16,3	Plattalva	GL	-21,2
Grosser Aletsch	VS	-32,6	Sulz	GL	-7,6
Hohlaub	VS	-4,0	<b>Bassin du Rhin</b>		
Kaltwasser	VS	-5,7	Lavaz	GR	n
Kessjen	VS	-7,4	Lenta	GR	-13,3
Lang	VS	-12,5	Paradies	GR	+1,9
Moiry	VS	n	Pizol	SG	-2,3
Moming	VS	x	Porchabella	GR	-16,5
Mont Durand	VS	-53 <sup>2</sup>	Punteglias	GR	n
Mont Fort (Tortin)	VS	x	Sardona	SG	-2,1
Mont Miné	VS	-32 <sup>2</sup>	Scaletta	GR	-6,3
Mutt	VS	-21,8	Silvretta	GR	-6,8
Oberaletsch	VS	x	Suretta	GR	+0,4
Otemma	VS	-51,2	Verstankla	GR	-10,3
Paneyrosse	VD	-5,4	Vorab	GR	-13,8
Prapio	VD	-6,1	<b>Bassin de l'Inn</b>		
Rhône	VS	-4,1	Calderas	GR	-120,8
Ried	VS	-500	Lischana	GR	-2,5
Saleina	VS	-15,5	Morteratsch	GR	-32,8
Schwarzberg	VS	-17,0	Roseg	GR	-31,5
Seewjinen	VS	-2,4	Sesvenna	GR	-4,9
Sex Rouge	VD	-4,2 <sup>2</sup>	Tiatscha	GR	+1,4
Trient	VS	-151	Tschierva	GR	-24,8
Tsanfleuron	VS	-103,5	<b>Bassin de l'Adda</b>		
Tseudet	VS	-11,3	Cambrena	GR	n
Tsidjiore Nouve	VS	-26 <sup>2</sup>	Forno	GR	-23,8
Valsorey	VS	-28	Palü	GR	n
Zinal	VS	-33,8 <sup>2</sup>	Paradisino (Campo)	GR	n
<b>Bassin de l'Aar</b>			<b>Bassin du Tessin</b>		
Alpetli (Kanderfirn)	BE	-28,4	Basòdino	TI	-2,7
Ammerten	BE	-0,1	Bresciana	TI	-2,7
Blüemlisalp	BE	-19	Cavagnoli	TI	-4,5
Dungel	BE	-3,4	Corno	TI	-1,3
Eiger	BE	x	Croslina	TI	-0,5
Gamchi	BE	-7,5	Rosboden	VS	x
Gauli	BE	-100	Valleggia	TI	-0,8
Gelten	BE	-16,1	Val Torta	TI	0
Lämmern	VS	-11,7			
Oberer Grindelwald	BE	x			
Schwarz	VS	x			
Stein	BE	-28			
Steinlimmi	BE	-19			
Trift (Gadmen)	BE	-63,1			
Tschingel	BE	-3,3			
Unterer Grindelwald	BE	x			

**Abréviations**  
n = non observé  
x = valeur non déterminée

**Remarque :**  
lorsque la valeur indiquée s'applique à une durée de plusieurs années, l'exposant indique le nombre d'années.  
P. ex. : Tsanfleuron -33,8<sup>2</sup> = recul de 33,8 m en deux ans.



**Fig. 6a :** Evolution des températures estivales. Ecart annuel des températures estivales en °C par rapport à la valeur moyenne de référence (1961-1990 = 0°C). La ligne noire indique la tendance générale.



**Fig. 6b :** Evolution des précipitations annuelles. Ecart en % des précipitations annuelles par rapport à la valeur moyenne de référence (1961-1990 = 0%). La ligne noire indique la tendance générale.

météorologiques de l'année en cours. La variation de longueur d'un glacier est, quant à elle, une réponse temporellement décalée par rapport à des changements climatiques qui se produisent sur le plus long terme.

Au nord des Alpes, les mesures effectuées à la fin de la saison de fonte des glaciers indiquèrent une perte de masse importante en 2008/09, semblable à celle des années précédentes. Au sud des Alpes par contre, des gains de masse ont pu être observés. Converties en équivalence d'eau, les valeurs des bilans de masse glaciaires annuels à fin septembre se sont établies ainsi : Pizol -1,46 m, Silvretta -1,10 m, Rhône -0,35 m, Gries -0,95 m, Findelen -0,04 m et Basòdino +0,13 m.

En ce qui concerne les variations de longueur des glaciers (cf. tableau), parmi les 92 glaciers mesurés, 84 se trouvaient en phase de retrait, 2 avaient peu avancé et 6 étaient stationnaires. La plupart des fluctuations furent des retraits de 1 à 25 mètres. Des particularités locales ont provoqué des retraits beaucoup plus extrêmes : le glacier du Trient/VS, par exemple, a perdu 151 mètres. Dans ce cas, le front du glacier s'est aminci progressivement en raison d'une alimentation en glace insuffisante et s'est retiré dans une zone raide où la fonte est accélérée. Aux glaciers de Ried dans la vallée de Zermatt/VS (voir image p. 45) et de Rossboden au Simplon/VS, le front glaciaire se trouvait en 2009 respectivement à un demi-kilomètre et à plus d'un kilomètre en amont de la position de l'année précédente. Dans les deux cas, le glacier

s'est en fait scindé en deux dans des zones étroites et raides. L'ancienne langue glaciaire terminale, plate et recouverte de débris, est désormais déconnectée de toute zone d'alimentation glaciaire et va progressivement disparaître. Un tel phénomène d'abandon de « langue de glace morte » a déjà été observé sur d'autres glaciers ces dernières années.

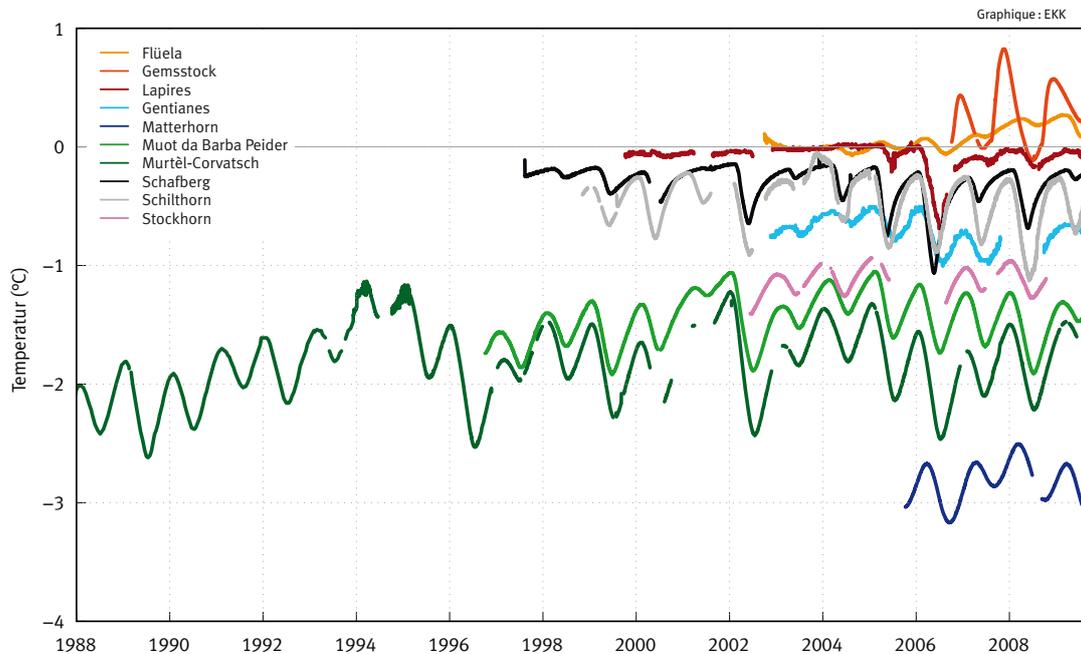
Un effondrement glaciaire s'est produit au-dessus de Saas-Fee. Le glacier de Fee se divise en plusieurs langues terminales. L'une d'elle se trouve sur une pente raide et est devenue de plus en plus instable depuis 2003. Entre le 15 et le 20 septembre 2009, environ 200 000 m<sup>3</sup> de glace ont cédé par à-coups sans faire de dégâts.

Les mesures de température de la glace au Colle Gnifetti (Mont-Rose),

réalisées depuis trente ans dans le cadre de projets de recherche, ont été intégrées dans le réseau de mesure des glaciers suisses. L'augmentation de la température de l'air observée depuis les années 1990 est bien visible dans les profils de forage : entre 1982 et 1991, la température de la glace est restée constante aux environs de -14°C. Elle s'est élevée ensuite d'environ 0,5°C de 1991 à 2000 et de plus de 1°C depuis 2000. Ce réchauffement démontre que les glaciers froids de haute altitude sont aussi très sensibles aux changements climatiques.

**Le Schottensee (2376 m), au Flüelapass, entre paysages davosiens et Basse-Engadine. En juillet 2009, il a neigé à très basse altitude, mais la neige a très vite fondu sur le versant N des Alpes, ce qui a eu pour conséquence une fonte accélérée du permafrost.**





**Fig. 7 : Température à environ 10 m de profondeur dans 10 forages du Réseau suisse d'observation du pergélisol (PERMOS). Une tendance claire n'est pas perceptible, car les dix années rapportées sont particulièrement chaudes, et parce qu'une période de dix ans est trop courte pour une observation à long terme.**

### Mesures du pergélisol

Durant l'année 2008/09, les températures du pergélisol ont été élevées. Mis à part les records de 2003, elles ont été les plus chaudes enregistrées ces dix dernières années dans le cadre du réseau suisse d'observation du pergélisol (PERMOS). Les conditions météorologiques décrites plus haut (hiver précoce, enneigement important et température estivale élevée) sont les causes de ce réchauffement.

Au toit du pergélisol, la profondeur maximale du dégel estival (couche active) reflète les conditions météorologiques annuelles, à l'instar du bilan de masse pour les glaciers. Les valeurs observées en 2009 furent souvent les plus

importantes depuis les records de l'été 2003 (Fig. 8). A 10 mètres de profondeur dans les forages du réseau PERMOS, les températures furent également un peu plus élevées (environ 0.2° C) que celles mesurées lors des cinq années précédentes (Fig. 7).

A l'aide de mesures de résistivité électrique répétées, les changements des propriétés des sols peuvent être analysés. En été 2009, une baisse marquée de la résistivité a été mesurée dans presque toutes les stations d'étude. Elle est due aux températures élevées du pergélisol et indique une augmentation de la teneur en eau, ainsi qu'une fonte partielle de glace dans les 10 premiers mètres au-dessous de la surface. Tout comme en 2003, quelques années seront probable-

ment nécessaires afin que des conditions « normales » se rétablissent.

Les vitesses des mouvements de terrain en zone de pergélisol sont mesurées sur plusieurs glaciers rocheux. Après les valeurs très élevées qui ont suivi l'été 2003 et le ralentissement marqué qui a succédé, les vitesses de déplacement ont de nouveau augmenté depuis 2007. En 2008/09, elles ont continué à s'accroître. Cette tendance paraît elle aussi être liée à l'élévation des températures du pergélisol et à l'augmentation consécutive de la teneur en eau au sein des glaciers rocheux.

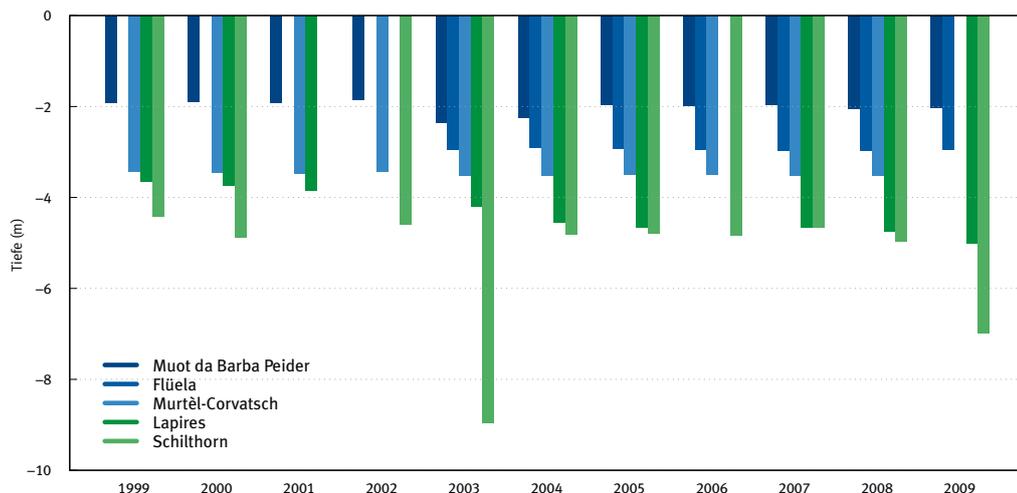
En résumé, les mesures décrites ci-dessus ont montré une légère élévation des températures du pergélisol en

Photos : Marcia Phillips





Photo: archives PERMOS



Grafique: EKK

Station de mesure du permafrost au Corvatsch, au-dessus de St. Moritz. L'été 2009 a été le plus chaud après celui de 2003, depuis le début des mesures..

Fig. 8 : Epaisseur de la couche active (profondeur du dégel estival) observée dans cinq forages dans les Alpes. La profondeur varie en fonction de la teneur en glace du sol.

comparaison de celles des cinq dernières années. Les valeurs record de l'été 2003 ne furent toutefois pas été atteintes en 2008/09, et des conditions particulièrement chaudes n'ont pas non plus été observées partout durant cette période. ▲

F. Paul, K. Kammer, A. Bauder, R. Delaloye, Ch. Marty, J. Nötzli  
Traduction française : F. Huber, R. Delaloye

**Renseignements supplémentaires**

Neige: Christoph Marty, SLF, marty@slf.ch, 081 417 01 68  
Glaciers: Andreas Bauder, GLAMOS, VAW, ETH Zürich, bauder@vaw.baug.ethz.ch, 044 632 41 12  
Pergélisol: Jeannette Nötzli, PERMOS, Universität Zürich, info@permos.ch, 044 635 52 24

**Réseaux suisses de mesure de la cryosphère : [www.cryosphere.ch](http://www.cryosphere.ch)**

La surveillance de la cryosphère en Suisse comprend les trois domaines neige, glaciers et pergélisol. Les mesures d'enneigement sont faites par l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse et par l'Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF. Le réseau de mesure compte environ 150 stations. Les mesures des glaciers (GLAMOS, 112 sites) sont conduites par des représentants de hautes écoles, des services des forêts cantonaux, des sociétés hydro-électriques et des acteurs privés. Le Réseau suisse d'observation

du pergélisol (PERMOS) conduit par des hautes écoles comprend 14 sites de forages et 10 sites où la vitesse des glaciers rocheux est mesurée. En Suisse, la surveillance et les réseaux de mesure sont coordonnés par la Commission d'experts cryosphère (EKK), un organe de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT). Le travail est financé par la SCNAT, l'Office fédéral de l'environnement et MétéoSuisse, ainsi que par les hautes écoles Université Zurich, Berne, Fribourg, Lausanne, EPF Zurich et SLF-WSL Davos.