

## Rapport sur la cryosphère dans les Alpes suisses

### Neige, glaciers et pergélisol en 2007/2008

L'observation de la neige, des glaciers et du pergélisol (permafrost) dans les Alpes suisses<sup>1</sup> durant l'année hydrologique 2007/2008 (1.10.2007-30.9.2008)<sup>2</sup> a montré que même s'il fut relativement bien enneigé, l'hiver 2007/2008 n'a pas pu freiner le retrait des glaciers suisses. Le glacier du Gorner s'est même raccourci de 290 mètres. Dans les zones de pergélisol, les conditions de température en profondeur sont restées dans la moyenne de la dernière décennie, alors que les vitesses de déplacement des glaciers rocheux, qui dépendent en grande partie de la température, se sont très légèrement accrues.

#### Conditions météorologiques

Après un mois d'octobre dominé par les hautes pressions, d'importantes chutes de neige tombèrent mi-novembre, introduisant l'arrivée précoce de l'hiver. Jusqu'à mi-décembre, de nouvelles

chutes de neige se produisirent dans toutes les régions situées au nord de la crête principale des Alpes. En janvier, les situations de barrage du sud furent inhabituellement fréquentes. Elles provoquèrent d'abondantes chutes de neige jusqu'à basse altitude sur le versant sud des Alpes, alors qu'au nord, la neige était fortement déplacée par le foehn. Aucune chute de neige ne s'est ensuite produite du 8 au 19 février. Les conditions furent alors excellentes pour la pratique des sports de montagne. La première moitié de mars fut marquée par un fort courant d'ouest. Lors de cette phase météorologique très active, la limite des chutes de

neige est parfois remontée jusqu'à plus de 2000 m avant de redescendre à basse altitude. Le début avril fut encore hivernal et il neigea même jusque sur le Plateau.

Les grosses chutes de neige permirent d'espérer que l'année 2007/2008 pourrait quelque peu ralentir le rythme de retrait des glaciers. Cependant, mai et juin furent anormalement chauds et la fonte des neiges s'avéra intense. Il ne resta assez vite plus grand-chose de la couche de neige hivernale et les glaciers furent rapidement exposés au fort rayonnement solaire estival. Le peu de neige tombé en juillet ne résista pas à un mois d'août à nouveau chaud. Septembre, en revanche, connut des conditions météorologiques



Photo: Françoise Funk-Salamini

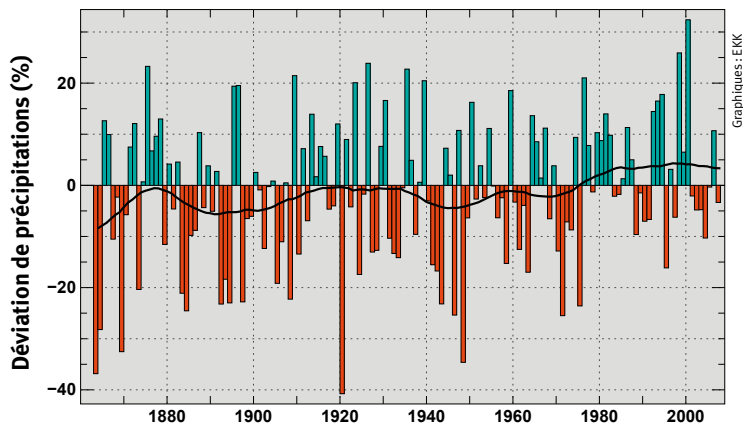


Fig. 1: Evolution des précipitations annuelles (somme de la période allant du 1<sup>er</sup> octobre au 30 septembre): écart par rapport à la norme (moyenne 1961-1990), en pour-cent.

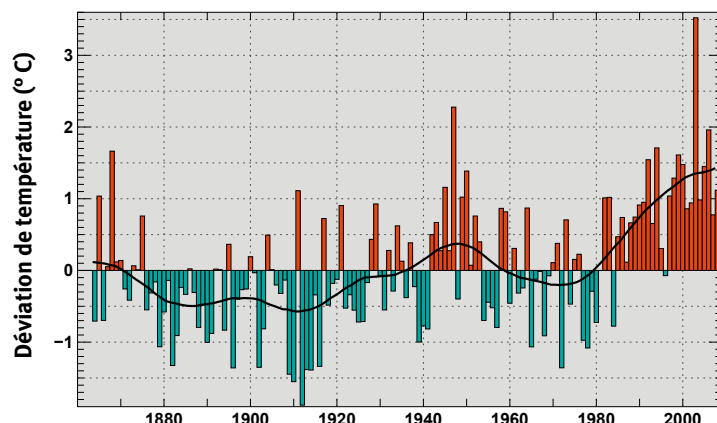


Fig. 2: Evolution des températures estivales (moyenne de la période allant du 1<sup>er</sup> mai au 30 septembre): écart par rapport à la norme (moyenne 1961-1990), en °C.



Même si la masse de glace du Gornergletscher impressionne, sa longueur s'est brusquement réduite de 290 mètres en 2008, cela malgré un dernier hiver particulièrement neigeux. Pourquoi ? C'est ce que l'on découvre en page 55.

fraîches et humides. Dans l'ensemble, la température moyenne de l'été dépassa de 1,1° C la norme pluriannuelle. De tels excédents, d'environ 1° C, sont fréquents depuis les années 1990 (figure 2). En ce qui concerne les précipitations annuelles, l'excédent fut en moyenne de 3 %, soit un écart insignifiant par rapport à la norme (figure 1).

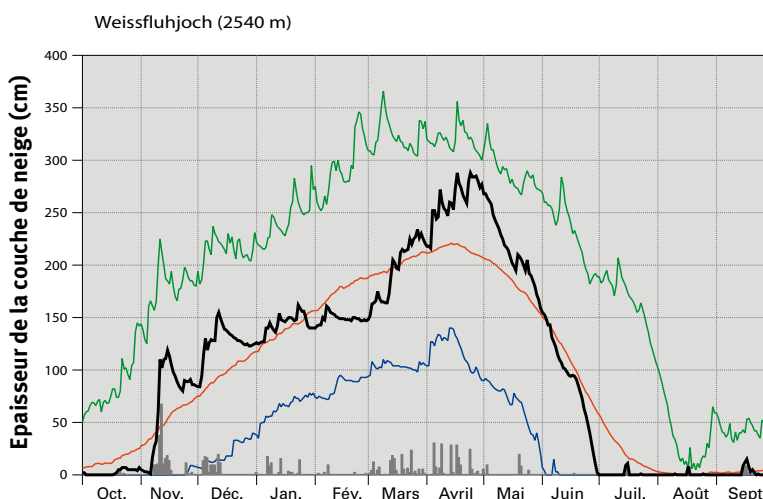
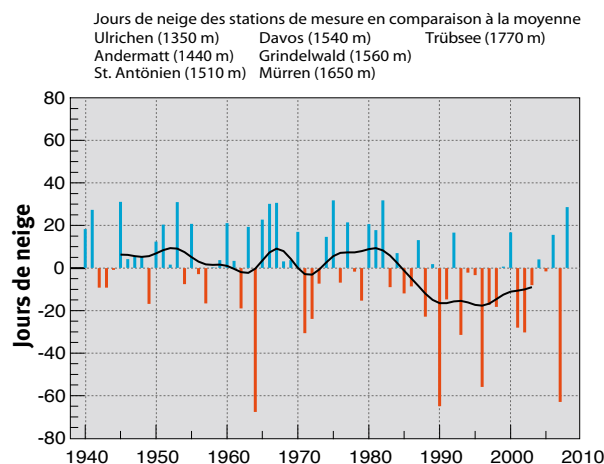
## Neige

L'hiver 2007/2008 fut marqué, d'une part, par un enneigement précoce et important sur le versant nord des Alpes et, d'autre part, par de grandes différences entre le Plateau et les Alpes (figure 3). Ainsi, à mi-novembre, il y avait déjà de

grandes quantités de neige à moyenne altitude: 67 cm à Fionnay/VS (1500 m), 137 cm à Hasliberg/BE (1825 m), 116 cm à Braunwald/GL (1310 m) et 81 cm à Arosa/GR (1818 m). En raison de tem-

pératures hivernales relativement douces, seules les zones d'altitude purent profiter durablement des fréquentes chutes de neige. Au-dessous de 800 m et

**Fig. 3: Nombre de jours de neige de décembre à mars : écart annuel du nombre de jours de neige (jours avec hauteur de neige  $\geq$  50 cm) par rapport à la période de référence (1961-1990). Les valeurs sont calculées à partir des données journalières de 6 stations de mesure du nord des Alpes. La ligne épaisse représente la moyenne glissante sur 10 ans. L'hiver 2007/2008 (dernière barre) est le plus enneigé des 25 dernières années, alors que l'hiver précédent fut l'un des plus pauvres en neige depuis le début des mesures.**



**Fig. 4: Hauteur de neige fraîche journalière (gris) et développement du manteau neigeux (noir) au Weissfluhjoch durant l'année hydrologique 2007/2008 en comparaison avec la moyenne (rouge), le maximum (vert) et le minimum (bleu) de la période 1937-2008, par jour calendaire.**

1 L'observation et les réseaux de mesure sont coordonnés par la Commission d'experts cryosphère (EKK), un organe de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT). Les mesures d'enneigement sont réalisées par l'Office fédéral de météorologie et climatologie (MétéoSuisse) et par l'Institut de recherche pour la neige et les avalanches (SLF/WSL). Les mesures des glaciers sont effectuées par des représentants des hautes écoles, des services forestiers cantonaux, des sociétés de forces motrices et des personnes privées. Les mesures du réseau pergélisol (PERMOS) sont assurées par des partenaires des Universités de Berne, Fribourg, Lausanne et Zurich, de l'ETH Zurich et du SLF. Les travaux sont financés par la SCNAT, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et MétéoSuisse, ainsi que par les institutions partenaires. Les séries de mesures de la cryosphère d'importance climatique seront poursuivies à partir de 2011 dans le cadre de GCOS (Global Climate Observing System).

2 L'année hydrologique dure du 1<sup>er</sup> octobre au 30 septembre de l'année suivante.

dans toute la Suisse, l'hiver fut aussi peu enneigé que le précédent. Entre décembre et mars, on n'a pu compter sur le Plateau qu'à peine 3 jours de neige<sup>3</sup>, alors que la moyenne pluriannuelle est d'environ 25 jours.

Entre 1300 et 1800 m, c'est en revanche un tout autre tableau qui s'est dessiné. Par suite de l'enneigement précoce, 117 jours de neige (hauteur de neige  $\geq 50$  cm) ont pu être dénombrés entre décembre et mars dans cette tranche d'altitude au nord des Alpes, une valeur qui n'a été dépassée que cinq fois depuis le début des mesures il y a près de 70 ans. En regard des 25 dernières années, il s'agit même d'un record. Comme le sud des Alpes n'a connu d'importantes chutes de neige qu'à partir de mi-janvier, le bilan des jours de neige pour la même tranche d'altitude s'avère moins bon. Avec 64 jours d'enneigement supérieur à 50 cm, la série d'hivers plus faiblement enneigés que la moyenne s'est poursuivie (moyenne 77 jours).

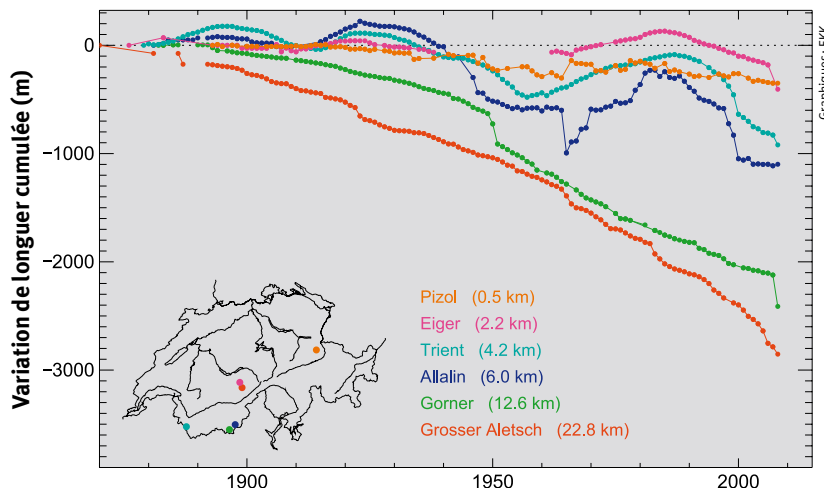
Mais pour les glaciers et le pergélisol, c'est ce qui se passe au-dessus de 2500 m qui est important. Pour ces altitudes, il n'existe comme série d'observation à long terme que celle du Weissfluhjoch (2540 m) au-dessus de Davos : en tirer des conclusions pour toute la Suisse n'est que difficilement possible. Sur ce site, les hauteurs de neige furent moyennes durant le semestre hivernal 2007/2008 (figure 4). Les mesures de l'équivalent en eau de la couche de neige effectuées vers fin avril, lorsque le manteau neigeux atteint son épaisseur maximale, ont toutefois indiqué des valeurs environ 20 % plus élevées qu'à la normale. Mais l'excédent thermique de mai et juin fit ensuite rapidement disparaître cette réserve. La fonte complète du manteau neigeux est intervenue le 30 juin 2008, soit environ deux semaines plus tôt qu'en moyenne. Malgré les chutes de neige fréquentes du semestre hivernal, la somme totale annuelle de neige fraîche (946 cm) est demeurée légèrement inférieure à la moyenne, en raison essentiellement de la faiblesse des chutes de neige estivales.

**Glaciers**

En raison du réchauffement global, dont les effets se font aussi clairement ressentir à l'échelle de l'espace alpin, les gla-

<sup>3</sup> Un jour de neige sur le Plateau est un jour où la hauteur de neige est  $\geq 5$  cm. A plus haute altitude (à partir de 1300 m), la limite est fixée à 50 cm.

**Fig. 5 : Variation de longueur annuelle cumulée (en m) pour 6 glaciers du réseau choisis pour leurs différents comportements de réaction et d'adaptation au climat.**



ciers poursuivent leur retrait dans les Alpes suisses. Cette tendance de recul, généralisée et durable, n'est pas modifiée par les fluctuations météorologiques à court terme (saisonniers, annuelles) liées à la variabilité normale du climat.

Les changements de superficie des zones englacées et de longueur des glaciers répondent à des variations climatiques de plus long terme. Le bilan de masse, résultat de l'accumulation de

neige et de la fonte de glace, est au contraire en relation directe avec les conditions météorologiques de l'année.

**Variations de longueur**

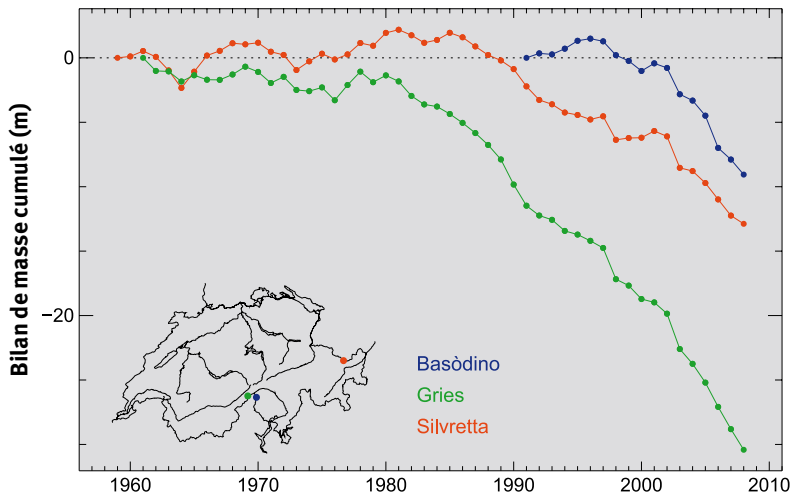
Une fois de plus, les glaciers suisses ont presque sans exception reculé en 2007/2008. Lors du relevé annuel de la position des langues glaciaires en automne 2008, 97 glaciers ont pu être visités (sur environ 110 observés active-



Photo : archives VAW/ETH

**Des prises de vue du glacier de l'Allalin contribuent également à montrer combien les glaciers ont fondu durant les 100 dernières années. En 1916, sa langue recouvrait encore tout l'escarpement.**





**Fig. 6 :** Bilan de masse moyen annuel cumulé (en m d'équivalent eau) des glaciers du Basòdino, de Gries et de la Silvretta.

**Le glacier de l'Allalin aujourd'hui :** il s'agit du seul glacier qui a profité des accumulations de neige de 2008. L'extrémité de sa langue s'est avancée de 14 mètres environ.

ment). Pour 88 d'entre eux, une variation de longueur a été établie. Alors que la grande majorité des glaciers (81) a reculé, une petite avancée a été enregistrée dans cinq cas et la position de la langue est restée stable dans deux autres cas (figure 5). Le plus grand « perdant » a été le glacier du Gorner avec un retrait de 290 mètres. A l'autre extrémité du classement, le glacier de l'Allalin a gagné 14 mètres. La plupart des valeurs se situent entre -25 et 0 mètre. Ces variations de position d'une langue glaciaire sont en général le résultat du comportement dynamique d'un glacier et ne se produisent qu'avec retard par rapport aux facteurs responsables.

Photo : Françoise Funk-Salamf



Photo : archives VAW/ETH



**En 1965, le glacier de l'Allalin s'était déjà retiré de manière importante. Peu après cette prise de vue, la glace tout entière qui reposait sur l'escarpement rompit. La puissante avalanche de glace ainsi formée recouvrit tout le fond de la vallée et causa la mort de 88 personnes.**

## Variation de la longueur des glaciers dans les Alpes suisses en 2007/2008

Glaciers	Canton	Variation de longueur (m)	Glaciers	Canton	Variation de longueur (m)
<b>Bassin du Rhône</b>			Stein	BE	-20
Allalin	VS	+14	Steinlimmi	BE	-23
Arolla (Mont Collon)	VS	n	Trift (Gadmen)	BE	x
Bella Tola	VS	n	Tschingel	BE	-1,4
Boveyre	VS	-15	Unteraar	BE	n
Brenegy	VS	-22,6	Unterer Grindelwald	BE	x
Brunegg (Turtmann)	VS	n	<b>Bassin de la Reuss</b>		
Cheillon	VS	-3,3	Brunni	UR	n
Corbassière	VS	-21,0	Damma	UR	x
En Darrey	VS	-8	Firnalpeli (Ost)	OW	+3,5
Fee (Nord)	VS	-19,6	Griessen	OW	n
Ferpècle	VS	n	Griess	UR	-3,5
Fiescher	VS	-32,6	Hüfi	UR	-12
Findelen	VS	-0,9	Kehlen	UR	-36,6
Giétro	VS	-22,0	Rotfirn (Nord)	UR	-13,3
Gorner	VS	-290	Sankt Anna	UR	-20,2 <sup>2</sup>
Grand Désert	VS	-47,2	Tiefen	UR	-31,8
Grand Plan Névé	VD	-1,2	Wallenbur	UR	-1,9
Gries	VS	-25,7	<b>Bassin de la Linth/Limmat</b>		
Grosser Aletsch	VS	-67,5	Biferten	GL	-8,7
Hohlaub	VS	-5	Glärnisch	GL	-2,5
Kaltwasser	VS	+6,7	Lavaz	GR	-18 <sup>2</sup>
Kessjen	VS	-12	Lenta	GR	-9,5
Lang	VS	-19	Limmern	GL	-5,8
Moiry	VS	-15,5	Paradies	GR	+2,1
Moming	VS	x	Pizol	SG	-0,3
Mont Durand	VS	x	Plattalva	GL	-19,5
Mont Fort (Tortin)	VS	x	Porchabella	GR	-22,2
Mont Miné	VS	n	Punteglias	GR	-10,3
Mutt	VS	-17,6	Sardona	SG	-7,6
Oberaletsch	VS	x	Scaletta	GR	-21,7
Otemma	VS	-31,2	Silvretta	GR	-6,0
Paneyrosse	VD	-1,9	Sulz	GL	-3,8
Prapio	VD	-4,4	Suretta	GR	-2,1
Rhône	VS	-3,3	Verstankla	GR	-9
Ried	VS	-18,7	Vorab	GR	-8,8
Saleina	VS	-22	<b>Bassin de l'Inn</b>		
Schwarzberg	VS	-13	Calderas	GR	-6,8
Seewjinen	VS	-23	Lischana	GR	-7,2 <sup>2</sup>
Sex Rouge	VD	x	Morteratsch	GR	-35,0
Trient	VS	-91	Roseng	GR	-17,9
Tsanfleuron	VS	-125,5 <sup>3</sup>	Sesvenna	GR	-7,7
Tseudet	VS	+11,3	Tiatscha	GR	-4,6
Tsidjiore Nouve	VS	n	Tschierva	GR	-25,0
Turtmann	VS	n	<b>Bassin de l'Adda</b>		
Valsorey	VS	-6	Cambrena	GR	-20
Zinal	VS	n	Forno	GR	-28,3
Zmutt	VS	n	Palü	GR	-8
<b>Bassin de l'Aar</b>			Paradisino (Campo)	GR	-11
Alpetli (Kanderfirn)	BE	-44,5	<b>Bassin du Tessin</b>		
Ammerten	BE	-1,7	Basödino	TI	-11,9
Blüemlisalp	BE	-34,0	Bresciana	TI	-6,8
Dungel	BE	-3	Cavagnoli	TI	-20,9
Eiger	BE	-225 <sup>2</sup>	Corno	TI	-3,3
Gamchi	BE	-7	Croslina	TI	-2,5
Gauli	BE	-75	Rossboden	VS	x
Gelten	BE	-8	Valleggia	TI	-8,9
Lämmern	VS	-14,8	Val Torta	TI	-12
Oberaar	BE	n			
Oberer Grindelwald	BE	n			
Rätzli	BE	n			
Schwarz	VS	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 la nombre d'années.  
 P. ex. : Tsanfleuron -125,5<sup>3</sup> = recul de 125,5 m en trois ans.

Photo : Françoise Funk-Salamé



Le retrait important du glacier du Gorner est le résultat d'un développement continu depuis plusieurs années. L'extrémité du glacier est logée depuis des décennies dans une gorge étroite et ombrée. A l'arrière, une dépression s'est progressivement formée en raison de la fonte accélérée. Durant l'été 2008, le culot glaciaire situé dans la gorge a fondu pour ne subsister que sous forme de petits résidus séparés les uns des autres. L'extrémité du glacier se situe désormais plus en amont. Un développement comparable est responsable de la grande valeur de retrait relevée depuis deux ans pour le glacier de l'Eiger. La partie terminale de la langue, couverte de débris, repose au pied d'une rampe fortement inclinée. Alors qu'à son extrémité, aucune variation significative de position n'a eu lieu au cours des dernières années, la langue s'est continuellement amincie dans la section amont plus raide et le paquet terminal s'en est finalement retrouvé isolé. L'extrémité de la langue encore rattachée au glacier se situe ainsi d'un seul coup environ 200 mètres plus haut. L'isolement de résidus glaciaires (glace morte), souvent recouverts de débris et stagnants, a été observé ces dernières années au bas de nombreux glaciers.

En ce qui concerne l'avancée du glacier de l'Allalin, la langue se termine depuis quelques années par un front de cassure raide. Entre 2007 et 2008, le fluage du glacier l'a emporté sur la fonte et la rupture des masses de glace frontales, déplaçant ainsi la position de la bordure du glacier de quelques mètres vers l'aval.



**Mesure du bilan massique au glacier de Gries. Des perches graduées sont ancrées dans la glace au printemps. Elles permettent de déterminer l'intensité de la fonte en automne.**

sure géophysique automatisé sont les deux extensions du réseau suisse d'observation du pergélisol (PERMOS) à signaler.

### Extension du réseau

Comme le pergélisol est un phénomène thermique du sous-sol, son observation se base en premier lieu sur des mesures de température dans des forages. Au début 2008, PERMOS comptait 26 forages répartis sur 15 sites dans les Alpes suisses. A l'automne 2008, 6 nouveaux forages ont été réalisés dans les éboulis des Lapires et des Attelas dans la région de Verbier-Nendaz/VS. Le forage situé dans la partie basse de l'éboulis des Attelas (2660 m), profond de 26 mètres, a été intégré dans PERMOS (le site des Lapires en faisant déjà partie). En raison des circulations d'air qui se produisent entre les blocs, il règne dans les éboulis des conditions thermiques particulières. Celles-ci font que les pieds d'éboulis sont les zones les plus froides et qu'il y fait plus chaud dans les secteurs supérieurs. Les premières données des nouveaux forages confirment les recherches indirectes menées précédemment et démontrent que seule la moitié inférieure des deux éboulis contient du pergélisol.

Outre la température, la teneur en glace est un autre élément important qui n'influence pas seulement la stabilité du terrain, mais aussi sa réaction lors d'un réchauffement. Ce dernier est ralenti par la présence de glace dans le sol, car la fonte de la glace absorbe beaucoup

### Bilan de masse

Des relevés détaillés du bilan de masse – le bilan entre l'accumulation de neige et la fonte de glace – ont été entrepris sur cinq glaciers : Basòdino, Gries, Pizol, Rhône et Silvretta.

L'accumulation de neige durant l'hiver est déterminée au printemps à l'aide de profils de neige et de sondages de la hauteur de neige. La fonte estivale est quant à elle déterminée à l'automne sur la base d'un réseau de perches forées au préalable à la surface du glacier. A la différence des variations de longueur, les relevés du bilan de masse, plus complets mais aussi plus dispendieux à réaliser, reflètent clairement et sans délai l'influence des conditions météorologiques de la période de mesure.

Tous les glaciers surveillés ont perdu de leur masse. La perte varie de -1,6 m d'équivalent eau au glacier de Gries à -0,6 m au glacier de la Silvretta (figure 6). Ces valeurs correspondent à peu près à la moyenne des dix dernières années (1998-2007). En regard de cette moyenne, la perte est un peu plus forte pour les glaciers du Basòdino, de Gries et du Rhône, que pour ceux du Pizol et de la Silvretta. Ces différences sont avant tout

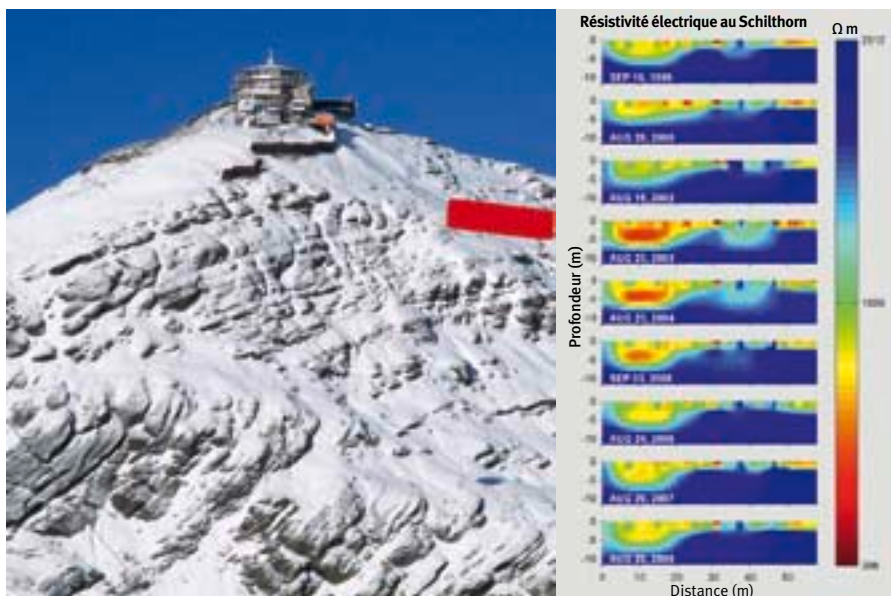
dues à des effets topographiques et à des quantités de précipitations qui varient spatialement, et moins à des conditions de fonte différentes.

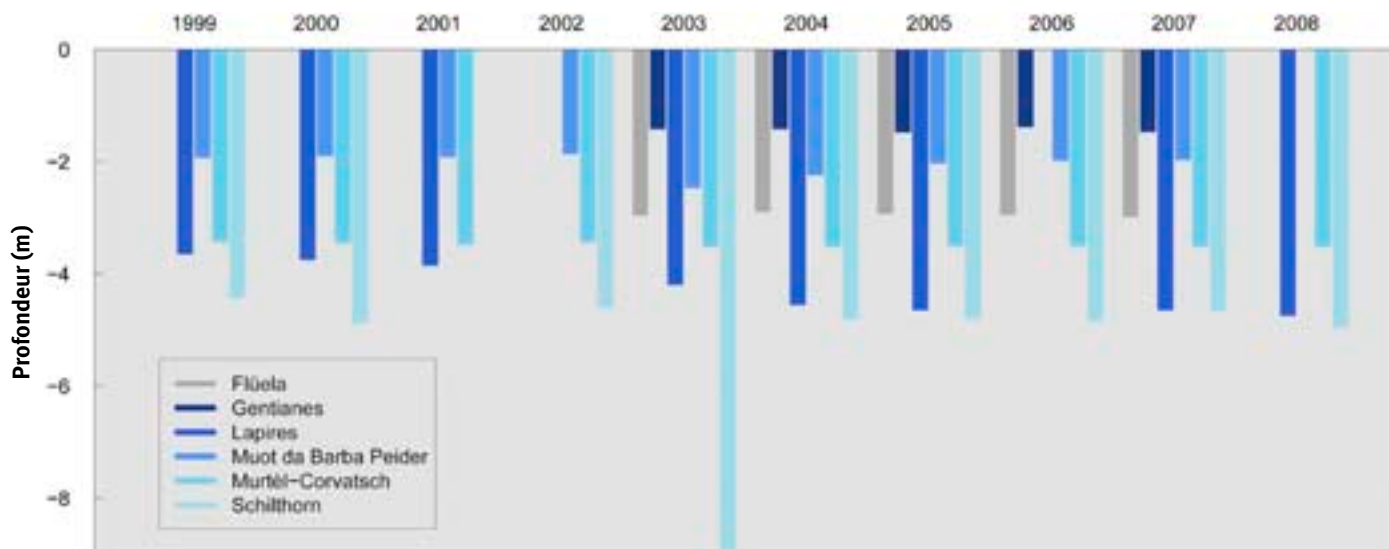
### Pergélisol

Dans les zones de pergélisol – à savoir là où la température du sol en profondeur reste inférieure à 0° C l'année entière – 2007/2008 fut une année moyenne en comparaison des deux dernières décennies. L'absence de neige jusqu'à mi-novembre permit aux couches de terrain proches de la surface de se refroidir légèrement, un refroidissement toutefois compensé par l'excédent thermique de l'été 2008.

L'intégration d'un nouveau forage et l'installation du premier système de me-

**Fig. 7: Tomogrammes géoélectriques au Schilthorn de 1999 à 2008. La surface rouge à droite de l'image indique l'emplacement des mesures effectuées. Dans le graphique, les couleurs rouges indiquent des résistivités faibles, les bleues des résistivités élevées. Une diminution de la résistivité dans le temps indique une augmentation de la teneur en eau (non gelée), et donc une perte de glace.**





Graphique: EKK

**Fig. 8 : Pergélisol : profondeur de la couche active lors des 10 dernières années sur 6 sites équipés de forages.**

d'énergie. La tomographie électrique permet de déterminer la présence de glace dans le sol car la résistivité électrique du terrain dépend de sa teneur en glace et en eau. La répétition des mesures dans le temps permet d'observer les processus de fonte et de regel. En effet, partant de l'hypothèse que les propriétés générales des matériaux rocheux et la porosité du terrain restent constantes

sur le long terme, des variations temporelles de la résistivité électrique peuvent être interprétées comme des changements de la teneur en glace, respectivement de la teneur en eau. L'application de cette méthode fait partie intégrante de PERMOS depuis 2005 sur les quatre sites des Lapires, de Murtèl-Corvatsch (Haute-Engadine), du Schilthorn

(Oberland bernois) et du Stockhorn (Zermatt). Durant l'été 2008, la première automatisation d'un système de mesure de tomographie électrique a été réalisée au Schilthorn. Sur ce site par exemple, on peut se rendre compte des conséquences importantes qu'a eues l'été caniculaire de 2003 sur le pergélisol : la résistivité diminue cette année-là en raison de l'augmentation de la teneur en eau (figure 7). Par endroits, la teneur en glace a si fortement diminué en 2003 qu'il a fallu à peu près quatre ans pour compenser cette perte.

Photo : Christophe Lambiel



**Travaux de forage dans les déblais gelés des Attelas en automne 2008.**



**Mesures de la température du rocher à la station sommitale du Corvatsch.**

## Températures de surface et en forage

En 2007/2008, les températures moyennes annuelles de surface se sont en général quelque peu abaissées par rapport aux valeurs plutôt élevées de l'année précédente et se situaient dans la moyenne des quinze dernières années. Toutefois, l'épaisseur de la couche active, soit les premiers mètres sous la surface où les températures sont positives en été, fut légèrement supérieure à la moyenne en 2008 (figure 8) : p. ex. 3,5 m à Murtèl-Corvatsch, 5,0 m au Schilthorn ou 4,8 m aux Lapires. L'épaisseur de la couche active reflète les conditions météorologiques récentes, un peu à l'image du bilan de masse des glaciers. Selon le lieu cependant, les variations interannuelles diffèrent fortement : s'il y a beaucoup de glace (p. ex. Murtèl-Corvatsch), le réchauffement estival du sol est ralenti et la couche active garde chaque année à peu près la même épaisseur. Lorsqu'au contraire il n'y a que peu de glace dans le terrain (p. ex. Schilthorn), la plus grande partie de l'apport estival de chaleur sert à l'élévation des températures et les variations sont plus grandes.

Des oscillations annuelles de température sont mesurables jusqu'à une profondeur de 15-20 mètres. A plus grande profondeur, les températures ne sont influencées que par des variations à

plus long terme. La quasi-absence de neige jusqu'à mi-novembre 2007 a permis aux premiers mètres du sol de se refroidir significativement. Ceci explique en partie pourquoi, au printemps 2008, les températures du pergélisol à 10 mètres de profondeur – qui réagissent aux variations thermiques de surface avec un retard d'environ six mois – ont souvent fait partie des plus basses valeurs enregistrées lors des dernières années. Suite à l'été changeant, mais chaud, de 2008, les températures à 10 mètres de profondeur furent vers fin 2008 à nouveau proches de la moyenne de la dernière décennie.

## Vitesse des glaciers rocheux

Dans le cadre de PERMOS sont mesurés également les mouvements des glaciers rocheux. Après les vitesses extrêmement élevées de 2003/2004 et le fort ralentissement des deux années suivantes (environ -50 %), les glaciers rocheux se sont à nouveau déplacés légèrement plus vite en 2006/2007 et leur vitesse est restée à peu près identique en 2007/2008. Les variations de température des glaciers rocheux et des quantités annuelles d'eau de fonte de neige sont probablement les causes de cette évolution.

## Variations dans la cryosphère

En résumé, les éléments suivants ont été observés en 2007/2008. Il a beaucoup neigé à partir de novembre 2007, avant tout aux altitudes élevées, mais la couche de neige a ensuite fondu rapidement durant les mois chauds du printemps et de l'été 2008. Le retrait des glaciers s'est inscrit dans la tendance des dernières décennies. Des variations spectaculaires ont été observées par exemple au front du glacier du Gorner et dans la partie terminale du bas glacier de Grindelwald, où les effets de la fonte glaciaire continue se sont fait particulièrement ressentir. En ce qui concerne le pergélisol, l'année de rapport fut une année moyenne en regard des vingt dernières années. Toutefois, il convient de tenir compte du fait que les températures du pergélisol, tout comme les températures de l'air, ont été nettement plus élevées durant les deux dernières décennies qu'en moyenne durant le siècle passé. Il n'existe cependant pas de données qui permettent d'établir de manière précise quel a été le comportement du pergélisol sur un laps de temps aussi long. ▲

Hugo Raetzo, Andreas Bauder, Christophe Marty, Jeannette Nötzli  
*Traduction et adaptation française :*  
Reynald Delaloye

Photo : Florian Frank



## Éléments des réseaux suisses d'observation de la cryosphère alpine

La cryosphère comprend les domaines de la neige, des glaciers et du pergélisol. Ces domaines reflètent l'évolution du climat et son réchauffement dans les Alpes suisses, c'est pourquoi leur mesure est prépondérante. Les éléments suivants sont observés :

**Neige** Dans chaque station de mesure, les hauteurs de neige totale et de neige fraîche sont relevées chaque jour à environ 7 h 00 du matin. La hauteur de neige totale est mesurée sur une latte de mesure permanente et les nouvelles chutes de neige en 24 heures sur ce que l'on appelle une plaque à neige fraîche.

**Glaciers** La variation de longueur d'un glacier est établie par la détermination de la position du front du glacier chaque année en fin d'été. Le bilan de masse s'obtient par la différence entre l'alimentation en neige et la fonte de glace. Pour cela, on relève en plusieurs points de la surface du glacier l'accumulation de neige en fin d'hiver (mai), ainsi que l'épaissement du névé ou la fonte de glace en automne (septembre).

**Pergélisol** *Températures* : celles-ci sont mesurées de manière continue en surface comme en profondeur dans des forages, sur des sites de caractéristiques et de situations topographiques différentes. *Cinématique* : les mouvements des glaciers rocheux sont mesurés une fois par année et des informations sur les mouvements de masses issus de zones de pergélisol (p. ex. laves torrentielles ou éboulements) sont répertoriées.