

Tableau 2:
Variations de longueur des glaciers des Alpes suisses en 2000/2001

N°	Glacier	Cant.	Variation de longueur (m)	N°	Glacier	Cant.	Variation de longueur (m)
Bassin du Rhône (II)				111	Ammerten	BE	st
1	Rhône	VS	-6,1	65	Rätzli	BE	x
2	Mutt	VS	-4,75	Bassin de la Reuss (Ib)			
3	Gries	VS	-13,0	66	Tiefen	UR	-7,45
4	Fiescher	VS	-11,6	67	Sankt Anna	UR	n
5	Grosser Aletsch	VS	-47,8	68	Kehlen	UR	-25,8
6	Oberaletsch	VS	-14,42	69	Rotfirn (Nord)	UR	-18,2
7	Kaltwasser	VS	+13,1	70	Damma	UR	-6,7
10	Schwarzberg	VS	-20	71	Wallenbur	UR	-3,4
11	Allalin	VS	-95	72	Brunni	UR	n
12	Kessjen	VS	+1,5	73	Hüfi	UR	-25,6
13	Fee (Nord)	VS	-209,4	74	Griess	UR	st
14	Gorner	VS	-29,32	75	Firnalpeli (Ost)	OW	n
16	Findelen	VS	n (sn)	76	Griessen	OW	-6,3
17	Ried	VS	-32,4	Bassin de la Linth/Limmat (Ic)			
18	Lang	VS	-5,3	77	Biferten	GL	-9,0
19	Turtmann	VS	-1,4	78	Limmern	GL	-9,54
20	Brunegg (Turtmann Ost)	VS	-8,5	114	Plattalva	GL	-11,64
21	Bella Tola	VS	-4,5	79	Sulz	GL	-9,3
22	Zinal	VS	-5	80	Glärnisch	GL	-2,5
23	Moming	VS	-90	81	Pizol	SG	n
24	Moiry	VS	-6	Bassin du Rhin/Bodensee (Id)			
25	Ferpècle	VS	-5	82	Lavaz	GR	n
26	Mont Miné	VS	-25	83	Punteglias	GR	15,62
27	Arolla (Mont Collon)	VS	-20	84	Lenta	GR	-25
28	Tsidjiore Nouve	VS	-12	85	Vorab	GR	n
29	Cheillon	VS	-1,7	86	Paradies	GR	+4,4
30	En Darrey	VS	st	87	Suretta	GR	+103,2
31	Grand Désert	VS	-29,2	115	Scaletta	GR	+4,6
32	Mont Fort (Tortin)	VS	-10,2	88	Porchabella	GR	st
33	Tsanfleuron	VS	-30	89	Verstankla	GR	-5,25
34	Otemma	VS	-24,2	90	Silvretta	GR	n (sn)
35	Mont Duran	VS	-2,2	91	Sardona	SG	n
36	Brenay	VS	-55,7	Bassin de l'Inn (V)			
37	Giétro	VS	-7,0	92	Roseg	GR	-118
38	Corbassière	VS	-13,6	93	Tschierva	GR	-46,7
39	Valsorey	VS	-42	94	Morteratsch	GR	-26,4
40	Tseudet	VS	-92	95	Calderas	GR	-1,7
41	Boveyre	VS	-182	96	Tiatscha	GR	+13,2
42	Saleina	VS	-322	97	Sesvenna	GR	-8,0
43	Treint	VS	-30	98	Lischana	GR	-1,72
44	Paneyrosse	VD	-4,55	Bassin de l'Adda (IV)			
45	Grand Plan Névé	VD	-5,3	99	Cambrena	GR	-82
47	Sex Rouge	VD	-1,5	100	Palü	GR	+9,5
48	Prapio	VD	x	101	Paradisino (Campo)	GR	-6,53
Bassin de l'Aar (Ia)				102	Forno	GR	-21,0
50	Oberaar	BE	x	Bassin du Tessin (III)			
51	Unteraar	BE	x	120	Corno	TI	-8,3
52	Gauli	BE	x	117	Valleggia	TI	-3,0
53	Stein	BE	-14	118	Val Torta	TI	st
54	Steinlimmi	BE	-18	103	Bresciana	TI	-14,0
55	Trift (Gadmen)	BE	-250	119	Cavagnoli	TI	-10,5
57	Oberer Grindelwald	BE	x	104	Basodino	TI	-3,0
58	Unterer Grindelwald	BE	x	161	Croslina	TI	st
59	Eiger	BE	-4,1	105	Rosboden	VS	-1,75
60	Tschingel	BE	-5,2				
61	Gamchi	BE	-5,4				
109	Alpetli	BE	-3,8				
62	Schwarz	VS	x				
63	Lämmern	VS	-1,5				
64	Blüemlisalp	BE	-9,5				

Abréviations

n = non observé
sn = sous la neige
x = valeur non déterminée
st = stationnaire

Remarque:

Si la valeur indiquée est valable pour un intervalle de plusieurs années, on a noté le nombre d'années comme suit: -112 = recul de 11 m en deux ans

PERMOS

Réseau d'observation du pergélisol dans les Alpes suisses

Le pergélisol est largement répandu dans les Alpes. Les modifications climatiques en cours le rendent aujourd'hui vulnérable. Même partiel, un dégel du sol pourrait avoir comme conséquence une instabilité accrue des terrains dans les hautes régions alpines. Dans le but de suivre l'évolution future du pergélisol, l'élaboration d'un réseau d'observation à long terme a été proposée récemment. L'année 2000 a coïncidé avec l'acceptation du projet par l'Académie suisse des sciences naturelles et le lancement d'une phase-pilote d'une durée de quatre ans.

Photo: Daniel Vonder Mühl



Un impressionnant glacier rocheux dans le Val Muragl, Haute-Engadine. Lorsque règnent des conditions de pergélisol, de la glace se forme à l'intérieur des pentes d'éboulis. Ce mélange de débris rocheux et de glace peut fluer de quelques centimètres à quelques décimètres par année et prendre une forme ressemblant à celle d'une coulée de lave avec rides, sillons, etc. Un glacier rocheux est né

Fig. 1:
Evolution de la profondeur maximale atteinte par le dégel (couche active) dans le pergélisol du glacier rocheux de Murtèl/Corvatsch (GR) entre 1988 et 2001. Aucune tendance n'est décelable sur une période aussi courte. Les mesures doivent être poursuivies à plus longue échéance



Fig. 3:
Répartition de la température BTS aux Pointes de Tsavolires / Vallon de Réchy (VS) en 2000. Les températures inférieures à -2°C indiquent la présence de pergélisol

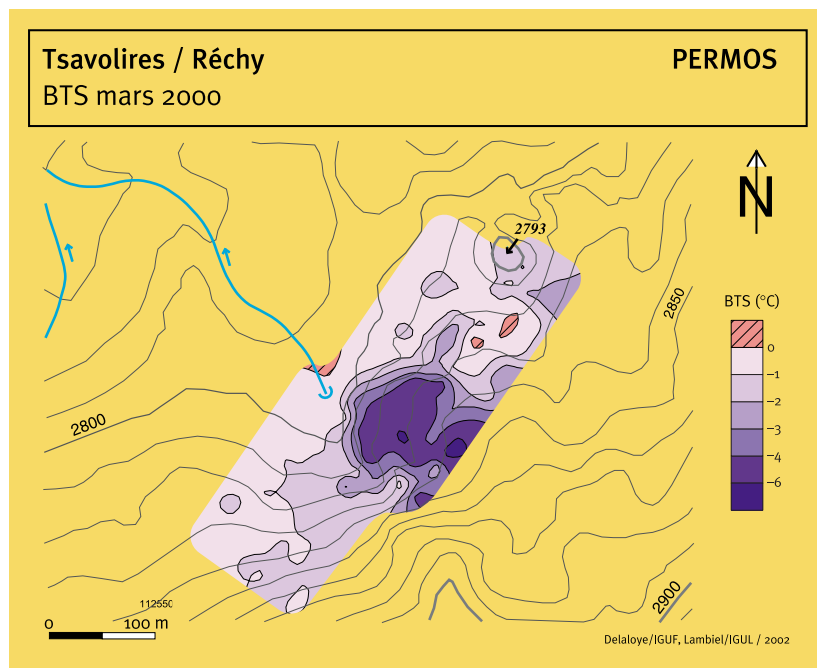
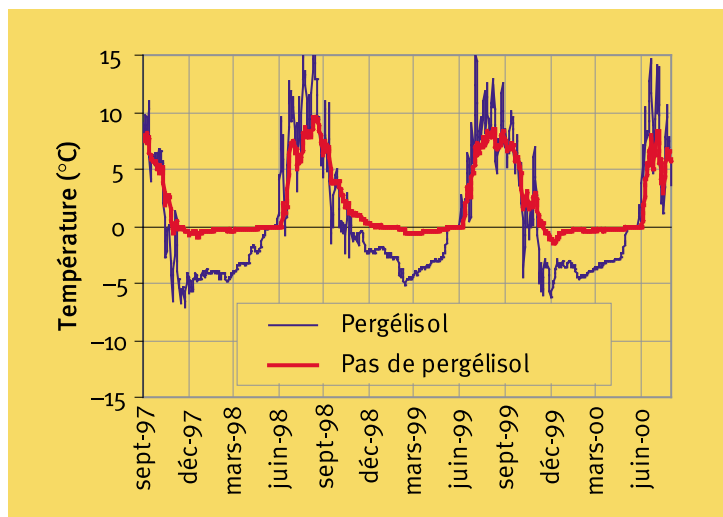


Fig. 2:
Mesurer la température du sol pendant l'hiver permet de connaître l'existence du pergélisol (Données: R. Delaloye. Site: Alpage de Mille/VS)



sol est possible (dégel estival plus marqué, diminution de l'épaisseur de sol gelé, réduction de l'étendue des zones de pergélisol). Une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des phénomènes d'instabilité de terrain dans le domaine alpin n'est dès lors pas à exclure. Pour ce qui est de l'alpinisme, on peut s'attendre à la modification, à l'abandon ou même à la disparition de certains itinéraires en raison de chutes de pierres et d'éboulements plus fréquents.

Un réseau d'observation!

Documenter l'état du pergélisol et ses changements est l'objectif principal proposé par le réseau d'observation PERMOS (PERmafrost MONitoring in Switzerland). Au sein de l'Académie suisse des sciences naturelles (ASSN), la Commission des glaciers, en cédant sa place en 1997 à la Commission glaciologique (CG), a étendu son champ d'action à la cryosphère entière. A cette occasion, avec le soutien financier du Club alpin suisse et grâce à la participation des chercheurs de multiples instituts universitaires et fédéraux, le concept du réseau a été développé. Aujourd'hui, une phase-pilote d'une durée de quatre ans (2000–2003) est en marche. Elle est coordonnée par la CG et cofinancée par l'ASSN, la Direction fédérale des forêts et l'Office fédéral des eaux et de la géologie

Le terme *pergélisol* (ou *permafrost*) désigne des lieux où, en profondeur, la température demeure inférieure à 0°C durant l'année entière. Il s'agit de terrains qui n'ont jamais la possibilité de dégeler à l'exception, durant la saison estivale, d'une couche proche de la surface, la *couche active*, épaisse de 2 à 5 m environ. Dans les Alpes, l'existence de pergélisol est connue principalement au-dessus de la limite supérieure de la forêt. Si, dans les régions polaires, le pergélisol peut atteindre plus d'un kilomètre de profondeur, sous nos latitudes, ce sont avec des épaisseurs de 20 à 500 m qu'il faut compter.

Le pergélisol en Suisse

On estime que 5 à 6 % du territoire suisse sont occupés par le pergélisol, une

surface deux fois plus grande que celle couverte par les glaciers. De nombreuses constructions d'altitude sont ainsi bâties sur ou dans le pergélisol, à témoin, la cabane du CAS Concordia ou la gare terminale du Jungfraujoeh.

Là où règnent de telles conditions, l'eau qui s'infiltre dans le sol peut regeler. Ainsi, de plus ou moins grandes quantités de glace sont présentes dans les terrains meubles (éboulis, moraines) ou dans les fractures des parois rocheuses. Cette glace joue un rôle de ciment et limite l'action des processus d'érosion.

Pourquoi observer le pergélisol?

Suivre le comportement du pergélisol à l'avenir s'avère d'autant plus nécessaire que le réchauffement du climat se poursuit, et même s'accélère. Dans une telle perspective, une dégradation du pergéli-

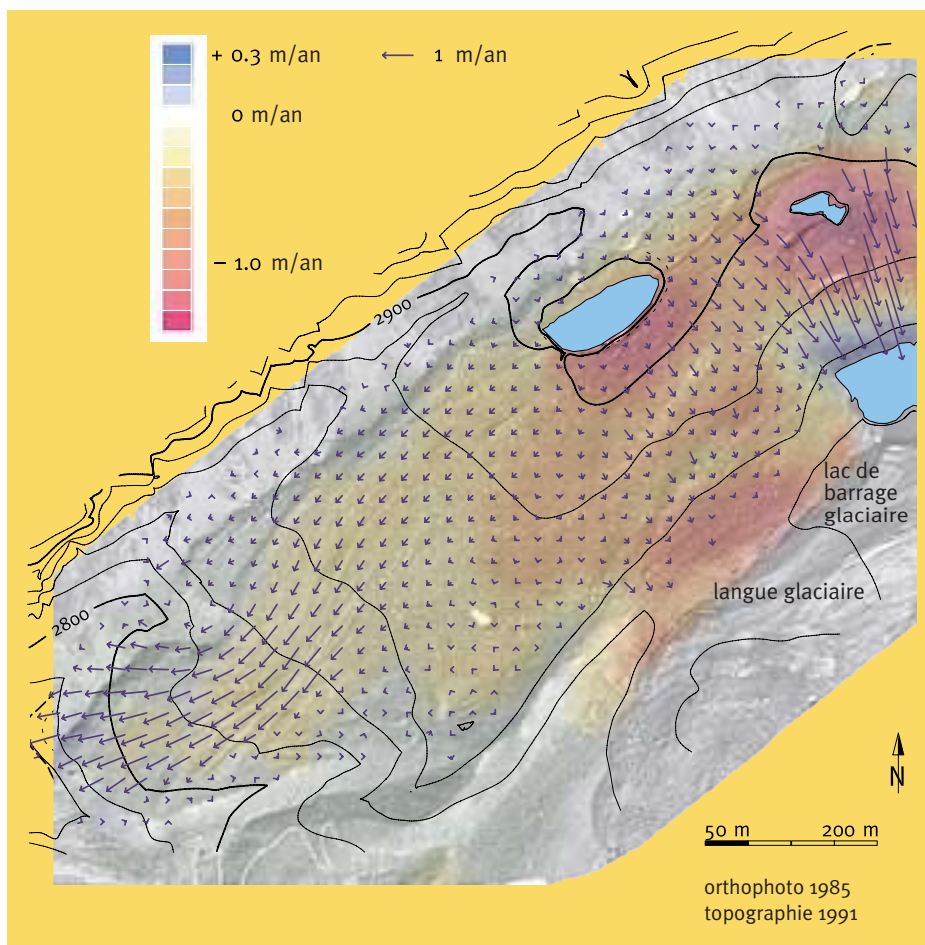


Fig. 4:
Mouvements verticaux (cou-
leurs) et horizontaux (flèches)
détectés par analyse photo-

grammétrie sur le glacier
rocheux de Gruben (VS) entre
1970 et 1995 (fig.: A. Käb, Univ.
Zurich)

(OFEG). Cette première phase, si elle s'avère concluante, devrait permettre de poser les bases solides d'un système d'observation à long terme du pergélisol alpin, système intégré dans les réseaux mondiaux d'observation environnementale.

Comment mesurer le pergélisol?

Le pergélisol n'est pas directement visible à la surface du terrain. Pour l'observer et le mesurer, la meilleure solution consiste à réaliser un forage et d'y relever la température. Cela permet notamment d'évaluer l'épaisseur de la couche active (figure 1) et de suivre le comportement thermique du pergélisol.

Mais un forage ne fournit qu'une information ponctuelle. En outre, pour des raisons techniques, logistiques et financières, il n'est pas possible de multiplier ce genre d'opération tous azimuts. Pour cerner les dimensions spatiales des zones occupées par le pergélisol, diverses techniques géophysiques applicables à la surface du sol peuvent être mises en œuvre.

La méthode retenue pour le projet PERMOS consiste à mesurer la température de la surface du sol au cœur de l'hiver (février-mars). Il s'agit de la méthode BTS (*Bottom temperature of the winter snowcover*). En présence d'une couche de neige suffisamment épaisse pour être isolante (plus de 80 cm), une température de la surface du sol proche de 0° C indique l'absence probable de pergélisol, alors qu'une température inférieure à -3° C indique la présence probable de pergélisol (figure 2). Cette mesure peut être effectuée soit par des capteurs autonomes (minidataloggers) installés dans le sol durant toute l'année, soit à l'aide de sondes que l'on enfonce à travers la couche de neige lors de campagnes de terrain que l'on organise en période propice (figure 3).

Les glaciers rocheux: cas particuliers de pergélisol

Les éboulis et les moraines peuvent contenir en leur sein une quantité de

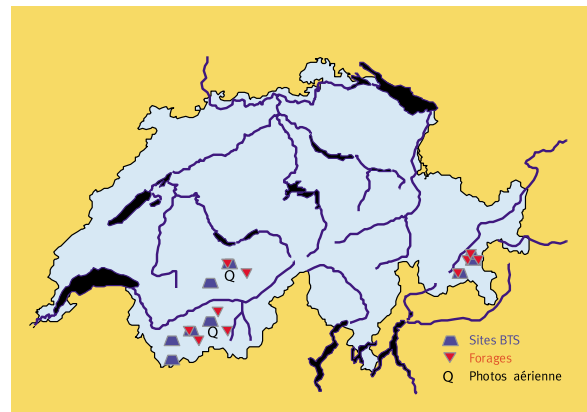


Fig. 5:
Répartition des sites PERMOS

glace importante (parfois jusqu'à 90% du volume total). On assiste alors à la déformation lente de l'ensemble des matériaux qui va mener à la formation d'un «glacier rocheux», une énorme coulée de blocs qui se déplace à la vitesse de quelques (dizaines de) centimètres par an; 100 à 1000 fois plus lentement qu'un glacier! Une dizaine de milliers d'années auraient ainsi été nécessaires à la formation de certains des glaciers rocheux observés dans nos Alpes. Ceux-ci sont par ailleurs nombreux: plusieurs milliers! La feuille «Permafrost» de l'Atlas Hydrologique de la Suisse, parue en 1999, en mentionne une centaine parmi les plus facilement identifiables et accessibles.

Les modifications de la géométrie (vitesse de déplacement, tassement/gonflement) d'un glacier rocheux sont, à long terme, indicatrices de l'évolution du pergélisol. Elles sont détectables notamment à partir de comparaisons détaillées (photogrammétrie, figure 4) de prises de vue aériennes effectuées à plusieurs années d'intervalle.

En résumé

La phase initiale de PERMOS est basée uniquement sur des sites déjà connus de la part des chercheurs (figure 5). Les opérations suivantes y sont prévues: un relevé permanent ou ponctuel de l'état thermique du pergélisol dans 11 forages, la délimitation annuelle des zones de pergélisol à l'aide de mesures BTS et de minidataloggers (10 sites) et la prise de photographies aériennes verticales noir-blanc et infrarouge (2 sites par année) qui permettront ultérieurement de suivre le comportement de certains glaciers rocheux et d'observer les modifica-

tions environnementales intervenues (éboulements, coulées de boues, végétation...).

Une dizaine d'instituts universitaires et fédéraux participent aujourd'hui à ce programme. Les premiers résultats de PERMOS seront publiés en automne 2003 dans *Les Alpes*, en alternance avec le traditionnel rapport sur les variations des glaciers. ▀

R. Delaloye, Univ. Fribourg;

D. Vonder Mühl, Univ. Bâle et Zurich



Glacier rocheux de Murtèl-Corvatsch, Haute-Engadine. Les glaciers rocheux sont typiquement délimités par des fronts très raides. Les gros blocs qui s'écroulent du front, s'amasent à son pied, puis sont très lentement recouverts par le glacier rocheux qui s'avance. Si le glacier rocheux devient inactif – il ne flue plus –, la végétation peut alors s'installer sur les matériaux fins du front

Le glacier rocheux de Z'mutt-lengtschuggen (Täschalp). La partie aval est fossile, probablement sans pergélisol actuel; elle est âgée de plusieurs milliers d'années. Au centre, la partie active du glacier rocheux contient encore du pergélisol. A l'amont, une cuvette a été créée par la présence d'un glacier il y a encore une centaine d'années. Ce glacier a aujourd'hui disparu



Photos: Daniel Vonder Mühl

La réalisation d'un forage dans un pergélisol dont la température est à peine inférieure à 0° C nécessite l'injection d'air froid et sec, et ce, afin de conserver l'état gelé du terrain. Les appareils de forage sont lourds et doivent le plus souvent être transportés par hélicoptère

