



ClimChAlp

Interreg III B Alpine Space

Impacts du changement climatique sur les systèmes naturels

Synthèse - Permafrost

Juin 2008

Rhône-Alpes ^{Région}



Pôle Grenoblois d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels



Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique

Working Package 5

Références prises en compte

Reconstitutions	Observations	Modélisations	Hypothèses	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none">- Haeberli & al. 1997- Haeberli & Beniston 1998- Bader & Kunz 2000g- Harris & al 2001- Harris & al 2003- Lambiel & Delaloye 2005- Roer & al. 2005- Bodin & al. 2007- Gruber & Haeberli 2007- Noetzli & al. 2007	<ul style="list-style-type: none">- Haeberli & al. 1997- Bader & Kunz 2000g- Gruber & al. 2004a- Gruber & al. 2004b- Gruber & Haeberli 2007	<ul style="list-style-type: none">- Haeberli & al. 1997- Haeberli & Beniston 1998- Bader & Kunz 2000g- Harris & al 2001- Gruber & al. 2004a- Gruber & al. 2004b- Bodin & al. 2007- Gruber & Haeberli 2007	

Définition et sensibilité aux paramètres climatiques

Le permafrost¹ est un sol gelé de manière pérenne et défini comme un sol ou tout autre matériau de la lithosphère (incluant les socles rocheux mais excluant les glaciers), à une profondeur variable sous la surface de la terre, dans lequel des températures inférieures au point de congélation de l'eau ont existé de manière continue pour une longue période, de deux à plus de mille ans.

Le permafrost influence l'hydrologie et la stabilité des versants de débris à forte pente. En effet, le permafrost qui est riche en glace, agit comme une barrière contre la percolation de l'eau souterraine et peut impliquer une saturation locale dans des débris non gelés. La fonte du permafrost dans des matériaux non consolidés a par ailleurs pour conséquence une augmentation de la pression interstitielle et une perte de cohésion. De plus, la pénétration d'un front de gel dans des matériaux préalablement fondus peut intensifier la destruction d'une roche par la formation de glace dans les fissures. De telles formations de glace réduisent en retour la perméabilité des parois rocheuses considérées et affectent les pressions hydrauliques à l'intérieur des parties non gelées des roches fissurées.

Le climat influence le permafrost, et plus particulièrement les fluctuations de la couche active du permafrost. Cette couche est la partie du permafrost qui fond partiellement pendant l'été et les périodes de transition. La couverture neigeuse joue un rôle particulièrement important pour les régimes de permafrost ; ainsi, l'étendue et la durée du couvert neigeux sont des facteurs critiques pour l'évolution du permafrost. Si un manteau neigeux épais existe en automne, il isole le sol de l'atmosphère et préserve la chaleur accumulée au cours de l'été. De manière similaire, une fonte prématurée du manteau neigeux au printemps expose le permafrost au réchauffement des températures de l'air et aux radiations solaires alors qu'une fonte retardée du manteau préserve la fraîcheur du sol sur une plus longue période de temps.

Par exemple, l'hiver 2002-2003 dans les Alpes suisses a connu des chutes de neige assez tôt en automne et une fonte prématurée du manteau au printemps. De ce fait, le permafrost avait déjà connu un « hiver défavorable » avant de faire face à la vague de chaleur de l'été 2003².

¹ Aussi appelé pergélisol en français

² R. Delaloye, communications personnelles, 2007.

Ce phénomène a également été observé en France, au glacier rocheux du Laurichard au cours de l'hiver 2003-2004. L'effet de la couverture neigeuse est beaucoup moins important pour le permafrost localisé dans les sommets abrupts et a fortiori dans les parois rocheuses. Le réchauffement et la dégradation du permafrost dans les arêtes, les sommets et les pics sont plus rapides et plus intenses car le front de chaleur vient de plusieurs côtés à la fois.

A partir des observations, des réflexions théoriques et des simulations numériques, la dégradation du permafrost semble d'importance majeure pour les aléas naturels, comme les chutes de rochers, les coulées de boues, les laves torrentielles et les interactions avec d'autres phénomènes dangereux comme les glaciers suspendus.

Observations dans l'arc alpin

Le permafrost périglaciaire dans les Alpes occupe aujourd'hui une aire qui est comparable à la surface englacée. Par contre, l'évolution séculaire du permafrost est bien moins connue que celle des glaciers par manque d'observations. La fonte graduelle du permafrost alpin a débuté depuis la fin du Petit Âge Glaciaire. Le permafrost alpin est typiquement épais de quelques décimètres à plus d'une centaine de mètres. Sa température moyenne annuelle de surface est comprise entre le point de fonte et -3°C pour les zones de débris. Par contre, des sommets rocheux gelés de manière permanente peuvent présenter des températures bien en dessous de -10°C .

Les glaciers rocheux réagissent également à l'augmentation des températures de l'air. En principe, la fonte d'une partie de la glace contenue dans les glaciers rocheux se traduit par une accélération des déplacements. L'évolution de la vitesse de déformation des glaciers rocheux est un trait commun à l'ensemble des Alpes, avec une augmentation au cours des dernières années, comprise entre 20 % et 100 % dans les Alpes françaises, suisses et autrichiennes.

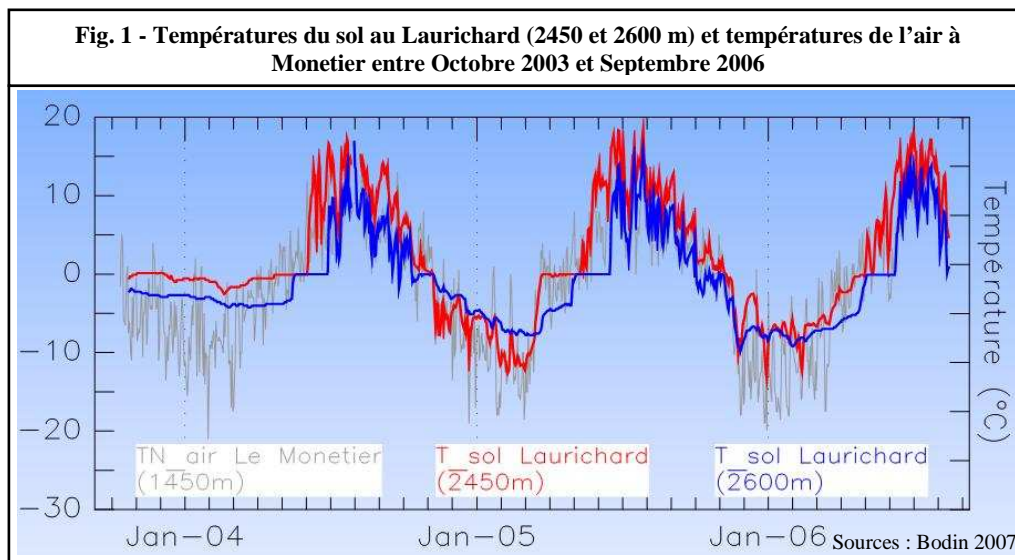


Des mesures dans les 60 premiers mètres du sol montrent des températures de surface plus ou moins stables entre 1950 et 1980. Comme conséquence du réchauffement exceptionnel observé depuis les années 1980, le taux annuel de fonte de la glace contenue dans le permafrost alpin semble avoir plus que doublé depuis les années 1970 et atteint la dizaine de centimètres par an. Des observations conduites dans des trous de forage indiquent également que les températures du permafrost sont actuellement en train d'augmenter à des taux élevés mais qu'elles sont très fortement influencées par les conditions neigeuses hivernales.

Le réchauffement rapide du permafrost alpin au 20^e siècle, compris entre 0.5°C et 0.8°C dans les premières dizaines de mètres du sol, est confirmé par des mesures de forages. Des chercheurs du projet PACE (Permafrost and Climate in Europe) ont mis en évidence des augmentations de température de $+0.5^{\circ}\text{C}$ à $+2^{\circ}\text{C}$ au cours des 60-80 dernières années dans le permafrost des régions européennes de montagne, depuis la Sierra Nevada en Espagne jusqu'à l'archipel arctique du Svalbard. L'été 2003 a été particulièrement important pour l'évolution du permafrost, ce dernier étant très sensible aux fortes températures estivales.

Permafrost et glacier rocheux du Laurichard (France)

Dans le détail, la vitesse d'écoulement du glacier rocheux du Laurichard (Hautes-Alpes) montre une succession d'accélération et de ralentissements durant les dernières décennies. Entre 1979 et 1997, cette vitesse était d'environ 25 cm/an avec une légère inflexion depuis 1986. Par la suite, l'écoulement a accéléré, de manière cohérente avec d'autres glaciers rocheux dans les Alpes, jusqu'à atteindre un maximum en 2001. Puis, les valeurs de vitesse sont redevenues similaires à celles de la période 1980-1990. L'hiver neigeux 2003-2004 a clairement empêché le refroidissement du sol, en gardant la chaleur accumulée pendant l'été 2003 (cf. fig. 1), ce qui peut expliquer les vitesses élevées et la subsidence de surface du glacier (par fonte de la partie supérieure du permafrost) qui ont été observées en 2004.

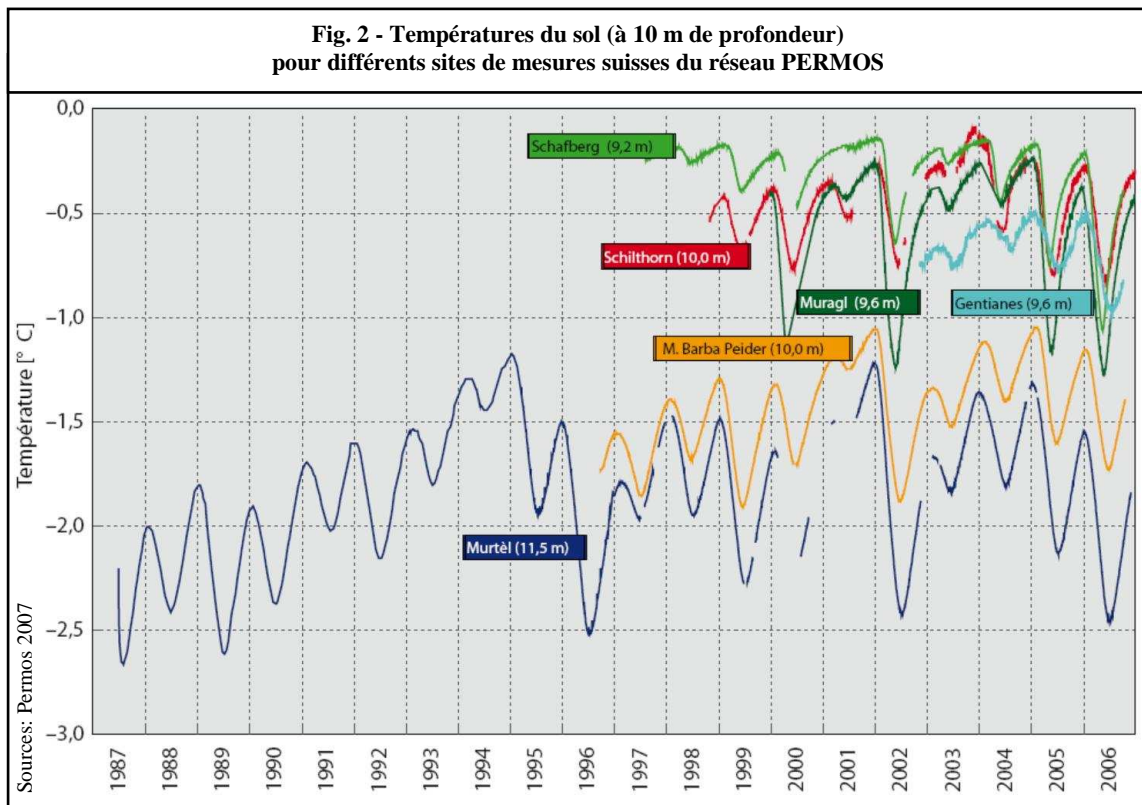


Permafrost et glaciers rocheux dans les Alpes suisses

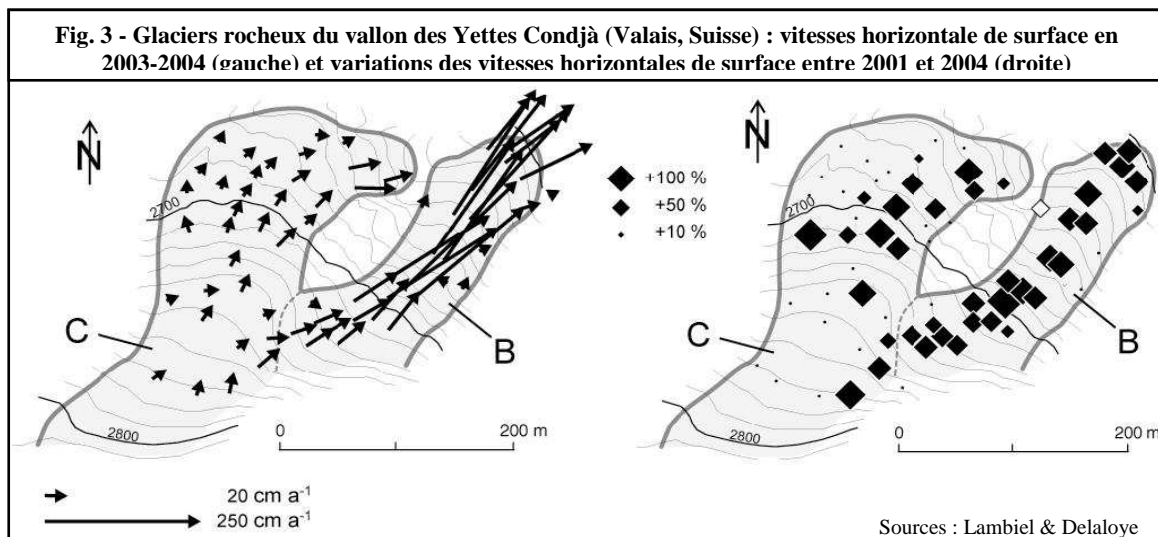
La plus longue série continue de mesures de température dans le permafrost de montagne en Europe est le forage de 58 mètres de Murtèl-Corvatsch (Engadine, Suisse) qui a été creusé en 1987 dans des débris riches en glace en léger mouvement. Cette surveillance à long terme des températures du sol a clairement montré la sensibilité du permafrost de montagne aux évolutions de la température de l'air mais surtout de l'épaisseur et de la durée du couvert neigeux.

Un réchauffement rapide des 25 premiers mètres du permafrost a été observé entre 1987 et 1994. Durant cette période, la température moyenne en surface du sol est passée de - 3.3°C à - 2.3°C. A 11.6 m de profondeur (dans la couche active), le permafrost s'est réchauffé d'environ 0.6°C. A 20 m de profondeur (en dessous de la couche active), ce réchauffement n'est plus que de 0.2°C. Cependant, des faibles chutes de neige en décembre et janvier pendant l'hiver 1994-1995, suivies par des chutes modérées pendant l'hiver 1995-1996 ont causé un refroidissement intense du sol et les températures du permafrost sont revenues à des valeurs comparables à celles de 1987. Le manteau neigeux était mince en début de saison pendant l'hiver 1998-1999 et les températures du sol sont restées basses en 1999, 2000 et 2001.

L'analyse de cette longue série de données, complétée par des mesures plus récentes obtenues dans d'autres sites de mesures en Suisse, montre que le permafrost s'est réchauffé depuis le début des mesures. Ce réchauffement s'est fait en trois étapes, avec une interruption au cours de l'hiver 1995/1996 et un refroidissement depuis 2002 (cf. fig. 2). Ces ruptures dans la tendance générale de réchauffement ou ces refroidissements sont principalement la conséquence d'hivers avec une couverture neigeuse limitée.



Le changement climatique semble également avoir des impacts marqués sur les glaciers rocheux suisses. Dans le vallon des Yettes Condjà (Valais), les mouvements de surface de l'un des glaciers rocheux ont augmenté de plus de 100 % entre 2001 et 2004 et de 76 % pour l'autre glacier rocheux (cf. fig. 3).



Note : Cette synthèse, réalisée par G. Prudent (ONERC) avec les contributions de S. Gruber et I. Roer (Université de Zürich), repose sur l'analyse bibliographique mise en œuvre pour la "Base ClimChAlp" :

http://www.risknat.org/projets/climchalp_wp5/