

Jeudi 10 Décembre 2009

« Changement climatique et montagne »

Coordinateur : **Denis FABRE, CNAM Paris**

Lieu : Ecole des Mines (*début de la séance à 14h00; fin à 17h30*)

Introduction (Denis Fabre)

Le retrait des glaciers et la fusion des banquises sont des témoins emblématiques du changement climatique. Leurs incidences géotechniques sont cependant limitées.

En revanche, la fusion du permafrost a des conséquences importantes pour les travaux de terrassement et de fondation en Arctique ou en zone de haute montagne.

En écho à une précédente séance consacrée au changement climatique et au littoral, avec des exemples principalement en France, notre séance technique « Changements climatique et montagne » sera illustrée essentiellement par des études consacrées au permafrost de type alpin.

Permafrost et changement climatique

P. SCHOENEICH

UMR5194 PACTE/Territoires, Institut de Géographie Alpine

Université de Grenoble, 14 bis av. Marie-Reynoard, 38100 Grenoble

Le permafrost est défini comme « un matériel de subsurface dont la température reste inférieure à 0°C pendant au moins 2 ans consécutifs », et peut donc concerner des formations superficielles comme le substratum. Il couvre d'énormes surfaces dans l'Arctique, mais on le rencontre aussi en montagne. Dans les Alpes, il concerne une superficie estimée au double de celle des glaciers. On place généralement la limite inférieure du permafrost à l'isotherme moyen annuel -2°C, soit dans les Alpes à une altitude de l'ordre de 2500-2600 m en orientation Nord. Le permafrost est sensible au réchauffement climatique, qui induira à terme plusieurs effets : augmentation de l'épaisseur de la couche active, augmentation de la température du permafrost, diminution de la teneur en glace, jusqu'au dégel total. Les mesures montrent l'importance de l'enneigement pour l'évolution de la température du sol.

En Arctique, des effets spectaculaires et très dommageables pour les infrastructures sont déjà visibles. Dans les Alpes, les effets sont plus localisés, mais se répercutent sur le risque de chutes de blocs et d'éboulement, et sur la fourniture en débris mobilisables dans les bassins torrentiels de haute altitude. Des modifications sensibles de la dynamique des glaciers rocheux sont aussi constatées.

**Ecroulements rocheux en parois de haute montagne à permafrost –
Méthodes d'étude et résultats**

Ludovic RAVANEL, Philip DELINE

Laboratoire EDYTEM (UMR 5204 CNRS - Université de Savoie), CISM,

Université de Savoie, 73376 Le Bourget-du-Lac, France (Ludovic.Ravanel@univ-savoie.fr)

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique et de la même manière que les glaciers, les milieux périglaciaires de haute montagne subissent de profondes modifications. Ces milieux apparaissent en effet très sensibles aux variations des données climatiques. Dans les Alpes, ces variations sont très marquées, en particulièrement au niveau des températures. Durant le XX^{ème} siècle,

les températures moyennes annuelles de l'air (TAMA) dans les Alpes ont ainsi augmenté de plus de 1,25°C et les étés souvent très chauds de ces dernières années ne font que confirmer cette tendance.

Au sein des milieux périglaciaires, les parois rocheuses forment une interface particulière qui reste encore assez mal connue à l'heure actuelle. Ainsi, les processus dynamiques de type écoulement qui l'affectent (volumes > 100 m³) ont été très peu appréciés. Bien que le réchauffement climatique soit souvent proposé comme étant le principal facteur déclencheur via la dégradation du permafrost, la rareté des données sur les écroulements tant passés qu'actuels ne permet pas d'évaluer rigoureusement une éventuelle augmentation de la fréquence et du volume de ces événements dans la période récente, ni de définir précisément les phénomènes mis en jeu.

La compréhension de ces processus représente donc un vaste domaine d'investigation pour la recherche fondamentale comme appliquée puisque ces phénomènes caractérisent un risque pour les flux touristiques (alpinistes) et les installations humaines (refuges, remontées mécaniques...).

L'étude des écroulements qui ont affectés et qui affectent aujourd'hui le massif du Mont-Blanc contribue à une meilleure connaissance de l'instabilité des parois rocheuses de haute montagne, au moyen d'approches variées. Il est tout d'abord nécessaire de vérifier la relation entre écroulements et changements climatiques en étudiant l'évolution de certaines parois. Il s'agit ensuite d'étudier les écroulements actuels. Pour cela, un réseau d'observateurs a été mis en place de manière à recenser l'ensemble des écroulements affectant le massif du Mont-Blanc chaque année. L'analyse des données (sous Système d'Information Géographique notamment) permet une meilleure compréhension des paramètres qui entrent en jeu dans les déclenchements. Sur quelques parois test, des méthodes de suivi modernes et novatrices sont également développées (LiDAR, ou scannerisation laser terrestre), toujours afin d'évaluer la fréquence et de mesurer très précisément l'évolution morphologique des parois. Enfin, des mesures du permafrost sont effectuées, l'objectif étant de mieux comprendre l'évolution saisonnière et annuelle du permafrost et de disposer de données pour discuter l'occurrence, la fréquence et le volume des écroulements.

Détection et suivi de l'évolution du permafrost par les méthodes géophysiques

Denis FABRE

CNAM-Chaire de Géotechnique, 2 rue Conté, 75141 Paris Cédex 03 (denis.fabre@cnam.fr)

La détection du permafrost alpin, de type discontinu, est un préalable important à tout aménagement en altitude, notamment avant de décider de l'implantation des pylônes ou des gares d'arrivée pour les remontées mécaniques. Le permafrost est toujours recouvert d'une couche non gelée de surface, au moins pendant la saison estivale (couche «active»).

Un premier type de détection est basé sur la mesure interannuelle des températures du sol, à l'aide d'une sonde enregistrant la température selon un pas de temps prédéfini.

Mais, en ce qui concerne la profondeur, en l'absence de sondages techniquement et économiquement difficiles à réaliser, les méthodes de prospection géophysique classiques ont toutes été utilisées.

Parmi celles-ci, la méthode électrique est particulièrement performante, à cause du très fort contraste qui existe entre la résistivité de la glace (plusieurs MΩm) et celle du rocher en place (quelques kΩm) ou des éboulis et débris non englacés (< 25 kΩm) .

Les sondages électriques légers, type Schlumberger, ont été pratiqués avec succès depuis les années 1980, pour obtenir des ordres de grandeur de la profondeur, de l'épaisseur et du pourcentage de glace dans les sédiments.

Cependant, depuis une dizaine d'années, grâce aux tomographies électriques, on obtient des résultats mieux localisés en profondeur qui mettent bien en évidence l'hétérogénéité de répartition de la glace dans les débris rocheux, et permettent aussi d'envisager le suivi des variations d'épaisseur et de richesse en glace du sous-sol, notamment au sein des glaciers rocheux.

Plusieurs résultats de campagnes de mesure réalisées sur 4 sites en 2007 et 2009 seront en particulier présentés.

Problématique des fondations d'ouvrages sur permafrost dans les stations de sport d'hiver

Lionel LORIER , Olivier LE ROUX

SAGE - A.D.R.G.T, 2 rue de la Condamine, 38610 Gières (l.lorier@sage-ingenierie.com)

Le permafrost, qui existe dans les régions où la température moyenne est inférieure à 0° C, est constitué d'un ensemble de terre, de roche et de glace. A cause de la pente, le permafrost est susceptible d'un écoulement par fluage sur les versants, dans une forme appelée glacier rocheux.

Dans les stations de sports d'hiver, zone de montagne fortement aménagée (remontées mécaniques, pistes, bassins et réseaux d'eau pour la fabrication de neige artificielle...), les risques générés par cet écoulement sont importants. Dans le contexte actuel de changement climatique, la problématique des fondations d'ouvrages est de plus en plus prise en compte, le réchauffement observé dans les Alpes provoquant la fonte du permafrost existant.

Les études géotechniques visant à répondre à cette problématique sont de deux types :

- étude de faisabilité en amont des projets, visant à définir les zones de permafrost en vue de l'optimisation de l'implantation des ouvrages ;

- étude diagnostique, visant à proposer des solutions de confortement pour des ouvrages fondés sur du permafrost présentant des désordres.

Au cours de cette présentation, ces deux types d'études seront analysés à travers des cas particuliers : le choix du tracé d'une ligne de télésiège sur la station de Val Thorens et le diagnostic d'une gare d'arrivée présentant des désordres et des déplacements importants sur la station de la Plagne.

Rupture du glacier rocheux du Bérard (Alpes de Haute Provence, 04) : analyse du phénomène et présentation de son évolution

J.M. KRYSIECKI

Institut de Géographie Alpine – UMR Pacte – Grenoble (jean-michel.krysiecki@live.fr)

Dans les Alpes du Sud, l'été 2006 a été marqué par la rupture brutale du glacier rocheux du Bérard (massif du Parpaillon, Alpes de Haute Provence (04), France). Il s'agit d'un événement rare et exceptionnel de par la quantité de matériaux mobilisés, estimée à environ 1,5 million de mètres cube, mais également de par la nature du phénomène. Situé à proximité des limites méridionales du pergélisol alpin, le cas du glacier rocheux du Bérard est peut être représentatif des conséquences potentielles inhérentes à la dégradation du pergélisol dans le contexte actuel de réchauffement climatique, et soulève de nombreuses questions sur l'évolution des dépôts détritiques riches en glace accumulés sur des pentes marquées. Dans ce contexte, les objectifs principaux de cette étude sont la compréhension des causes probables ayant conduit à la rupture du glacier rocheux du Bérard ainsi que le suivi des mouvements de la masse glissée et des restes du glacier rocheux.