

## 11. Impact du changement climatique sur les risques d'origine glaciaire – Christian VINCENT (CNRS / LGGE)

On distingue trois types de risques d'origine glaciaire :

- les vidanges brutales de **lacs** proglaciaires ou supraglaciaires ;
- les chutes de **séracs** ;
- la rupture de **poches d'eau** intraglacière ou sous-glaciaire.

Ces phénomènes se caractérisent par le fait qu'ils sont rares et extrêmement destructeurs. On recense depuis 25 ans seulement quelques événements ayant nécessité des interventions (travaux de vidange) :

- 1985-1986 : lac d'Arsine (massif des Ecrins) ;
- 2001-2002 : lac du Belvédère (Mont Rose, Italie) ;
- 2004-2005 : lac de Rochemelon ;
- 2009-2010 : lac supraglacière à Grindelwald (Valais)
- été 2010 : poche d'eau du glacier de Tête Rousse

A la question de quels pourraient être les impacts du changement climatique sur les aléas glaciaires, on peut citer les deux effets suivants :

(1) impact sur la **formation des lacs proglaciaires**, qui se forment au front des glaciers en recul (sous l'effet du CC), comme le glacier d'Arsine où il a fallu abaisser le niveau du lac pour éviter un risque de rupture du barrage morainique ;

(2) impact direct sur la **stabilité des glaciers suspendus** (ex. : séracs de Tacconnaz), comme le suggèrent les mesures de l'évolution de la température en fonction de la profondeur du glacier effectuées depuis 1994 au Col du Dôme du Goûter, qui montrent qu'on observe un impact direct du réchauffement (Fig. 34) même à 4300m d'altitude.

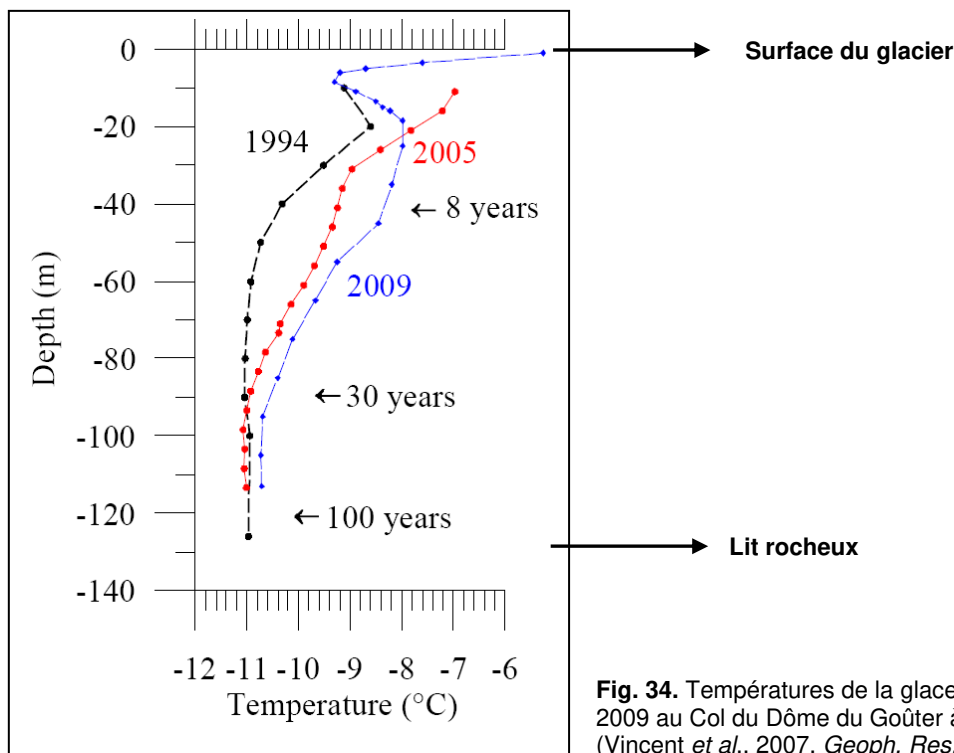


Fig. 34. Températures de la glace mesurées entre 1994 et 2009 au Col du Dôme du Goûter à 4300m d'altitude (Vincent *et al.*, 2007, *Geoph. Res. Let.*, updated).

Sur les autres types de risques d'origine glaciaire – poches d'eau et lacs supraglaciaires – l'impact est beaucoup moins évident et beaucoup moins clair, ce qui ne veut pas dire qu'il n'existe pas, car la relation entre ces phénomènes et l'évolution des paramètres climatiques est beaucoup plus indirecte.

## Difficultés rencontrées pour la gestion des risques glaciaires

- les laboratoires de recherche étudient les risques en marge de leurs activités ;
- lorsque des phénomènes glaciaires générateurs de risques se manifestent, il faut réagir très rapidement à des situations imprévues (ex. : poche d'eau de Tête Rousse) ;
- ces phénomènes nécessitent des compétences géophysiques pointues et variées sur des phénomènes rares (ex: radar, sismique, résonance magnétique des protons, hydraulique, mécanique des milieux continus...), impliquant le plus souvent des approches multidisciplinaires, comme dans l'exemple de la poche d'eau de Tête Rousse (Fig. 35), où il a fallu réunir trois laboratoires (LGGE, LTHE et LGIT) et faire travailler ensemble des scientifiques qui ne se connaissaient pas ou très peu) ;
- l'analyse du risque nécessite une expérience, qui en matière de risques glaciaires reste assez limitée compte tenu de la rareté de ces phénomènes ;
- il y a généralement un manque de réactivité des pouvoirs publics (préfet, maires...) lorsque la situation n'est pas déclarée alarmiste, sans quoi il est très difficiles d'obtenir les moyens d'étudier le phénomène (ex. : Tacconnaz) ;



Fig. 35. Vidange artificielle de la poche par pompage entre le 25 août et le 15 octobre 2010

- même quand le risque est déclaré, et que des interventions sont planifiées pour diminuer le danger (gestion opérationnelle des risques), les moyens existants ne permettent pas toujours de mener en parallèle des recherches pour mieux comprendre ces phénomènes. Pourtant, c'est justement dans les situations du type de la « crise » du glacier de Tête Rousse qu'il faudrait mettre en œuvre les moyens nécessaires à la recherche, dans l'objectif d'acquérir l'expérience nécessaire à l'analyse du risque.

## Recommandations générales : comment améliorer l'organisation/ l'efficacité de la recherche sur les risques glaciaires ?

- rapprocher les équipes qui ont des approches géophysiques variées, y compris des entreprises privées (réseau de compétences) ;
- mettre des moyens sur les diagnostics des risques potentiels sans attendre la situation de crise ;
- encourager et investir dans la recherche en parallèle de la gestion opérationnelle des risques, afin d'étendre les connaissances et de développer l'expérience sur l'analyse du risque. Dans le cas de la vidange du lac de Rochemelon, il aurait été profitable d'étudier les processus d'érosion de la glace par l'eau (Fig. 36), qui restent des phénomènes très mal connus, mais les financements nécessaires n'ont pas été obtenus.



Fig. 36. Etude des processus de l'érosion de la glace par l'eau

## Recommandations sur l'amélioration des connaissances sur les risques glaciaires, afin d'améliorer les diagnostics

- Etude des processus de l'érosion de la glace ou d'une moraine par l'eau (débordement d'un lac proglaciaire ou supraglaciaire)
- Etude de l'ouverture d'un chenal intraglaciaire ou supraglaciaire (cas des poches d'eau ou des lacs)
- Résistance mécanique d'une langue glaciaire à la pression d'un lac ou d'une poche d'eau
- Rupture de séracs : étude des processus d'endommagement, étude de l'instabilité d'un glacier suspendu en cas de réchauffement basal
- Evolution du régime thermique d'un glacier (modèle thermomécanique) pour simuler l'évolution des poches d'eau ou simuler le réchauffement des glaciers suspendus (étude des processus de transferts d'énergie de la surface en profondeur, mesures de températures, conductivité...dans des forages, développement de modèle thermomécanique), pour chercher à répondre aux questions qui se posent pour la prévention du risque (ex. : séracs de Taconnaz ; Fig. 37) :
  - o est-ce que le glacier est froid ?
  - o quand est-ce que la glace basale pourrait atteindre le point de fusion et être déstabilisée ?
  - o que pourrait-il se passer dans ce cas ?



**Fig. 37.** Séracs de Taconnaz (vallée de Chamornix, Haute-Savoie)

- Il faut développer la connaissance géophysique sur les phénomènes, ce pour quoi les inventaires existants sont inappropriés car ils sont peu utiles à la compréhension des processus. Deux exemples de lacs supraglaciaires illustrent ce point de vue : le lac de Rochemelon, et celui du Belvédère (Mont Rose, Italie) :
  - o Le lac supraglaciaire du glacier de Rochemelon faisait partie de l'inventaire réalisé dans le projet européen *GLACIORISK* (inventaire des glaciers à risques portant notamment sur l'ensemble des Alpes). Ce projet s'est terminé en 2003, le lac de Rochemelon ne faisait plus l'objet d'aucun suivi l'année suivante. Le 31 août 2004, une visite de reconnaissance sur le

terrain a permis d'identifier (juste à temps) un risque de débordement du lac (Fig. 38), qui a été par la suite signalé dans un rapport à la préfecture (17 sept. 2004). Du point de vue de la connaissance de l'aléa, « l'inventaire n'avait pas servi à grand-chose ». En effet, tous les lacs qui se forment ne sont pas nécessairement « à risques ».



18 sept. 2004 (cliché L. Mercalli)



22 Août 2004  
(cliché M. Caplain)

Fig. 38. Glacier et lac de Rochemelon

Août 2006 (cliché P. Macabiès)



Remarque d'A. Lescurier : L'inventaire a bien servi, le problème est dans le **manque de liaison** entre les résultats du projet *GLACIORISK* et leur **prise en compte par les gestionnaires**, « il manque un chaînon ».

- Dans le cas du lac du Belvédère (en 2001-2002), les chercheurs et gestionnaires italiens ont été pris au dépourvu dans le sens où, bien que la formation et l'extension étaient connues, les phénomènes de rétention de l'eau étaient inattendus (pas d'exutoire à la base du glacier) et restent par ailleurs inexpliqués. Ce sont bien ces phénomènes géophysiques qu'il faut élucider si l'on veut éviter des situations de crise similaires. Les inventaires qui concernent l'extension des lacs ont peu d'utilité sur la compréhension des mécanismes et le développement de tels aléas.

## Discussion

J.-D. Rouiller : J'aimerais préciser l'utilisation du terme « géophysique », que vous utilisez d'après ce que j'ai compris pour parler de mécanismes souterrains, ce qui peut poser des problèmes de vocabulaire. Pour moi, dans le domaine des risques naturels (glissements, permafrost, etc.), la géophysique est avant tout un outil d'investigation (prospection électrique, sismique, etc.). Quand on parle de « compétences géophysiques pointues sur les phénomènes », étymologiquement ça se comprend, mais actuellement, le terme « géophysique » a pris un autre sens, c'est un moyen de prospection. Vous avez aussi parlé de « risque potentiel », alors que je pense que vous vouliez dire « aléa potentiel ». Un des grands problèmes, c'est le vocabulaire ! Il faut que nous parlions le même langage. On sait que « l'aléa » français est le « danger » des Suisses. Mais quand on parle de géophysique, est-ce que cela correspond à la notion de connaissance du sous-sol ?

C. Vincent : Non, nous utilisons par exemple le terme de « géophysique externe », qui comprend aussi la connaissance des processus en surface. Le terme « géophysique » regroupe les phénomènes physiques liés aux sciences de la Terre.

D. Richard : Pour revenir sur la **notion d'inventaire**, ça rejoint aussi les questions de vocabulaire, parce que le sens du terme « inventaire » est vaste : est-ce qu'on parle de base de données, de système

d'information, ou d'un système qui capitalise des informations sur les phénomènes ? Le projet *GLACIORISK* n'a pas complètement atteint ses objectifs de ce point de vue là, et je rejoins complètement l'analyse qu'en fait A. Lescurier. Ce n'est pas le principe de collecte et compilation des informations dans un système qui n'a pas marché, le problème est qu'il n'y avait pas d'organisation après le projet pour que cet inventaire soit maintenu à jour. On peut quand même évoquer des cas de bases de données ou de cartographie des phénomènes qui se sont avérés utiles sur la durée. Ainsi les inventaires apparaissent malgré tout utiles, notamment pour des acteurs publics qui ont à gérer des problématiques de programmation et d'affectation de moyens.

C. Vincent : De mon point de vue, ce n'est pas la priorité.

D. Richard : Par ailleurs, suite à l'analyse en retour qui avait été faite sur l'état de la connaissance et sur ce qui pouvait être utile aux gestionnaires en matière de prévention des risques d'origine glaciaire, la **question de la détection** avait été posée, et le cas de Tête Rousse l'a encore posée de manière encore plus marquée. Sur la question de la détection, quelle plus-value aurait le fait de disposer de moyens de détection précoce et anticipée des phénomènes glaciaires ? En d'autres termes, est-ce qu'une telle capacité de détection nous a manqué lors des précédentes « crises » (Arsine, Rochemelon, Belvédère) ?

A. Lescurier : Cette question m'interpelle. Dans le cas de Rochemelon, C. Vincent a dit qu'on aurait pu mettre en place un suivi et qu'on ne l'a pas fait, mais est-ce que vous avez fait remonter quelque chose à ce niveau là ? Il faut se remettre dans les conditions de l'époque : vous avez détecté le risque de débordement le 31 août 2004. Après une journée d'observations complémentaires mi-septembre, une réunion s'est tenue fin septembre à Modane avec le préfet, les gestionnaires français et italiens, etc. Suite à la présentation faite par les scientifiques, on a fait un calcul rapide avec Bruno Laïli du RTM, qui a montré qu'à l'allure où évoluait le phénomène, on courrait à la catastrophe si on ne réagissait pas dans les quelques jours. Effectivement, lors de la visite du 30 septembre, la revanche de 1,5m constatée en août était passée à 30 cm. En cas de rupture brutale telle qu'annoncée par les scientifiques, le risque était celui d'une crue plus que centennale, qui aurait complètement inondé les routes et le village de Bessans. Dans une telle situation, la priorité du gestionnaire est de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour réduire le risque. Par contre, il est envisageable de prévoir un **budget spécifique dans une enveloppe financière globale pour pouvoir assurer le suivi scientifique de façon plus précise**, mais pour autant, il faut que de leur côté les scientifiques fassent remonter leurs besoins en terme de moyens chiffrés. Est-ce que cette demande a été faite dans le cas de Rochemelon ?

C. Vincent : Oui. J'ai fait une demande dans ce sens via le RTM, mais je n'ai pas sollicité directement le Conseil Général ni le Ministère. On a pu faire des observations, mais on avait juste l'autorisation de monter en hélicoptère...

D. Richard : À mon avis il faut mettre en place des mécanismes différents, car je ne suis pas sûr que les gestionnaires de la crise apprécient beaucoup que les scientifiques viennent compliquer encore la gestion de ces situations.

F. Gillet : Une remarque par rapport à ce qu'a dit J. Liévois dans sa présentation. Vu le grand nombre d'intervenants sur les risques, on s'aperçoit que la difficulté à faire travailler ensemble ces différents acteurs et à prendre en compte le risque dans ses différents aspects représente vraiment un problème d'importance croissante et qui aujourd'hui n'est pas bien résolu. Les Suisses insistent plus que les Français sur la **notion de gestion intégrée des risques**, qui consiste à prendre dans leur ensemble les problèmes de prévention, de protection, d'alerte, de gestion de crise et de gestion post-crise par des retours d'expérience, et à faire mieux travailler ensemble les différents acteurs. L'exemple de Rochemelon montre les articulations nécessaires entre les scientifiques, les opérationnels, les politiques, etc.

A. Lescurier : Il faut tout de même rappeler qu'il y a un coordonateur parmi tous ces intervenants. En France, c'est la Protection Civile qui assure la coordination de la gestion de crise.

F. Gillet : Oui mais le problème qui se pose en France est celui de l'**articulation entre les services de prévention et les services de gestion de crise**. D'ailleurs, l'AFPCN a organisé récemment un colloque sur ce sujet particulier. Il faut souligner la coupure qui existe entre les services de l'Etat et les collectivités territoriales. Et les scientifiques sont encore en marge de ces dispositifs. Essayer de progresser vers une bonne articulation de tous ces éléments est sans doute une des questions importantes auxquelles on doit répondre aujourd'hui. Plus on aura d'événements difficiles à gérer, avec des grandes incertitudes, plus il nous faudra travailler sur cette organisation pour essayer de prendre en compte les problèmes de manière intégrée. Je pense qu'on reviendra sur ce point dans la discussion, parce que ce problème existe partout, avec des degrés variables, mais il paraît essentiel.

J.-D. Rouiller : Il faut nuancer le regard externe qu'on peut porter sur la gestion intégrée des risques en Suisse, qu'on considère parfois comme la panacée ou du moins en avance sur les autres pays, car tout de même une partie de l'Helvétie périphérique n'est pas tout à fait d'accord avec cette notion qui peut apparaître comme un « dada passager » des fonctionnaires fédéraux...

C. Peisser : On pourrait aussi avoir un éclairage de la Vallée d'Aoste, qui dispose d'inventaires assez complets des phénomènes d'origine glaciaire.

I. Voyat : Pour aller dans le sens d'A. Lescurier, le problème principal n'est pas celui de l'utilité des inventaires, mais celui de faire le lien avec les gestionnaires. Pour nous l'inventaire et l'historique de ces phénomènes sont des éléments de l'instrument « Cadastre des glaciers », qui depuis cette année comprend deux nouvelles sections sur les lacs glaciaires et sur les glaciers rocheux. Il est très important d'avoir les moyens de mettre à jour ce cadastre le plus régulièrement possible. Pour les lacs, on essaie de faire des vols systématiques au moins une fois par an pour détecter les changements. Ce qu'on vise est un **contrôle systématique et détaillé du territoire**. Par exemple, on fait maintenant appel aux guides de haute montagne pour effectuer des mesures de stabilité du manteau neigeux. On essaie ainsi d'investir sur des professions en prise directe avec les milieux de haute montagne pour faire des suivis plus systématiques, afin d'être en mesure de détecter au plus tôt les situations dangereuses.

F. Gillet : Pour la détection des poches d'eau, est-ce que le géoradar qui a été utilisé dans le cas de Tête Rousse peut être considéré comme un moyen facile à utiliser, ou est-ce qu'on est encore face à des inconnues importantes ?

C. Vincent : On a détecté la poche d'eau du glacier de Tête Rousse grâce à deux instruments : le géoradar et la résonance magnétique des protons (RMP) qui a permis de confirmer sa présence et de préciser son volume. Ce sont deux outils géophysiques qu'on peut mettre en œuvre sans trop de difficulté, mais qui nécessitent quand même beaucoup de temps. Pour le moment, **on ne peut pas couvrir tous les glaciers des Alpes avec ces outils. Cependant, les poches d'eau intraglacières ne se forment pas n'importe où**, et c'est peut-être sur ce point qu'il convient d'insister. On connaît assez bien la cause de la rétention de l'eau dans le glacier de Tête Rousse, car il s'agit d'un glacier polythermal : la langue du glacier est à température négative ( $-2^{\circ}\text{C}$ ) tandis que le glacier est tempéré dans sa partie haute. Ainsi, l'eau qui pénètre dans le glacier et atteint le lit rocheux se trouve piégée à l'intérieur du glacier. Il y a un signe très révélateur de cette particularité visible au front du glacier de Tête Rousse, où contrairement à la plupart des glaciers, il n'y a pas de torrent sous-glaciaire émissaire. C'est un indice important, mais pas infaillible pour détecter les poches d'eau, puisque par exemple dans le cas du glacier du Trient (Valais), des poches d'eau se forment régulièrement alors qu'il y a bien un torrent sous-glaciaire qui émerge du glacier.

C. Peisser : Est-ce que vous avez aussi une politique de surveillance systématique du territoire en Valais ?

J.-D. Rouiller : Je ne peux pas répondre à cette question parce qu'en tant que géologue cantonal gestionnaire des risques naturels, c'est toujours le sous-sol qui m'intéresse et pour moi le glacier c'est de la surface. En Valais, ce sont surtout les forestiers qui s'occupent de ça...

R. Mayoraz : Suite à *GLACIORISK*, le canton a identifié une trentaine de glaciers à risques en Valais, mais je ne sais pas s'ils font l'objet d'un suivi...

D. Richard : Cela conforte l'idée émise suite à une demande de retour d'expérience par le ministère de l'Ecologie au sujet des ressources en matière de gestion des risques d'origine glaciaire. J'avais suggéré de réfléchir à un système de gestion équivalent à la classification des sites sensibles aux avalanches (SSA). Un des critères pourrait être la vulnérabilité en aval de ces glaciers. On commence à disposer de moyens qui permettent d'investiguer de façon plus précise la présence ou pas de poches d'eau dans les glaciers, mais qu'il est impensable de généraliser à tous les glaciers ! Ce n'est peut-être pas la peine de focaliser sur les glaciers qui ne menacent pas grand-chose en aval, en tout cas pas en priorité. C. Vincent a évoqué des éléments qui pourraient éventuellement servir indices, même si ce sont des indices ténus et qui un par un ne sont pas autosuffisants, mais on pourrait réfléchir à une combinaison de ces indices pour établir des **critères de hiérarchisation de sites sensibles** à ces phénomènes glaciaires. Cela pourrait peut-être déboucher sur la capacité à mobiliser les outils techniques de plus en plus pointus qui sont développés pour affiner la prévision de ces phénomènes.

P. Deline : C'est en tout cas l'ambition du projet *GlaRiskAlp*, qui est en cours depuis une année dans le cadre du programme Alcotra France-Italie.

J.-D. Rouiller : En Valais il y a pas mal d'argent pour étudier les glaciers, de par la présence des sociétés hydroélectriques, parce que cela intéresse au premier chef leur activité économique. Elles sont finalement les mieux placées pour observer s'il y a des changements dans les régimes et les éventuels déplacements des écoulements à l'exutoire des glaciers...

I. Voyat : Sur le territoire de la Vallée d'Aoste, le géologue régional nous a demandé quels sont les endroits où l'on peut s'attendre à des risques et à surveiller en priorité. Nous avons simplement fait une liste des glaciers présents sur le territoire pour établir un classement de dangerosité sur la base du cadastre des glaciers, de la vulnérabilité et de l'historique des événements, que nous avons transmis au géologue.

A. Lescurier : Il y a un problème qui se dessine dans tout ça pour les financeurs. La démarche mise en œuvre à l'échelle de la Vallée d'Aoste n'est pas facilement transposable en France. Autrefois c'était l'Etat qui gérait ça au travers des missions régaliennes du RTM, et on sait qu'il est aujourd'hui de plus en plus problématique de les maintenir, or ces missions du RTM sont fondamentales, tout comme la recherche scientifique...

F. Gillet : C'est quand même l'Etat qui « dit le risque » en France, et cela reste une règle très générale.

A. Lescurier : Tout à fait, mais l'Etat prend de moins en moins en charge ce genre de démarche et cela pose un vrai problème, parce que faire une recherche sur les glaciers à risques comme celle évoquée par D. Richard constitue effectivement une solution, mais qui paye ? On en parle effectivement dans Alcotra, le projet ne dure que jusqu'en 2013...

I. Voyat : Dans le projet *GlaRiskAlp*, il y a tout de même un gros travail qui se fait sur le « cadastre des glaciers » côté français. En Vallée d'Aoste, ce travail a constitué la base du classement des glaciers dont j'ai parlé.

P. Deline : Oui parce qu'en France, on n'a pas d'inventaire de l'état actuel des glaciers, et un inventaire ne vaut que s'il est effectivement mis à jour.

A. Lescurier : Logiquement cet inventaire devrait faire partie des missions régaliennes que l'Etat avait transférées au RTM. Un inventaire qui ne vit pas ne sert à rien, mais un inventaire bien utilisé constitue normalement la base pour la mise en place de crédits sur telle ou telle problématique

F. Gillet : Est-ce qu'on pourrait imaginer pour les glaciers à risques un outil similaire à la Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches (CLPA) ?

D. Richard : Il s'agirait plutôt d'un outil de classification multicritères par niveaux de sensibilité au risque. Ce travail a été réalisé pour les avalanches (SSA) et a été financé par le ministère, mais c'est un travail assez lourd et coûteux. On réfléchit en parallèle à une même démarche pour les sites torrentiels. Par ailleurs, ce type de démarche soulève de nombreuses questions qu'on est en train d'aborder, comme savoir quel en est l'usage, quels sont les utilisateurs, comment communiquer là-dessus, à qui, etc.

## Référence

Vincent, C., E. Le Meur, D. Six, P. Possenti, E. Lefebvre, and M. Funk (2007), Climate warming revealed by englacial temperatures at Col du Dôme (4250 m, Mont Blanc area), *Geophysical Research Letters*, 34, L16502, doi:10.1029/2007GL029933.