

Rapport de fin de contrat d'Avril 2000 sur le projet n° 13 (1997):

"Etude des risques naturels d'origine glaciaire en Région Rhône-Alpes"

par Louis Reynaud,
Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement, CNRS,
Grenoble

et François Valla,
Division ETNA, CEMAGREF, Grenoble.

Rappel du projet d'étude proposé en septembre 1997.

Résumé :

Périodiquement, on constate que les risques d'origine glaciaire, dus principalement aux chutes de séracs, vidanges de lacs glaciaires et ruptures de poches d'eau sous glaciaires, apparemment peu fréquents, peuvent devenir très meurtriers.

Or ils ne font actuellement l'objet d'aucune programmation d'étude adaptée malgré un potentiel de recherche en glaciologie fondamentale et appliquée non négligeable, principalement concentré sur la région Rhône-Alpes.

Bref, on ne sait pas grand chose de nos glaciers à risque et quand on examine ce problème c'est souvent à contre sens, pressé par l'urgence des situations particulières.

C'est pourquoi il nous paraît utile de proposer une étude destinée à définir la nature de ces risques naturels glaciaires en Région Rhône Alpes, portant principalement sur les quatre points suivants :

1) l'inventaire des événements glaciaires à risque comme base de réflexion sur la nécessité de s'en préoccuper,

2) le recensement des méthodes à appliquer aux risques glaciaires, en partant de l'inventaire des méthodes connues et pratiquées chez nos voisins suisses, italiens, autrichiens, scandinaves,...

3) la définition du niveau d'étude de chacun des risques : nécessité de recherche fondamentale ou besoin de développement technique ?

4) la nature d'un éventuel "système d'observation" des sites à risque et d'un archivage (banque de données), ainsi qu'un catalogue de possibilités de prévision adapté à chaque type de risque glaciaire.

Sommaire

I - Travaux réalisés en 1998 et 1999

- Stages de maîtrise et d'école d'ingénieur
 - Expertises de terrain
 - Séminaires et congrès

II - Résultats du projet d'étude

- 1 - Inventaire des risques naturels d'origine glaciaire dans les Alpes Françaises
- 2 - Recensement des méthodes applicables aux risques glaciaires
- 3 - Définition du niveau d'étude
- 4 - Suites à donner au suivi des risques glaciaires
 - Service d'observation
 - Étude des processus physiques
- mise au point des méthodes d'observation et de prévention

Conclusion

I - Travaux réalisés en 1998 et 1999 :

a - Stages de maîtrise et d'école d'ingénieur

Au cours de ces deux années, pour la réalisation du plan de travail résumé ci-dessus, nous avons organisé trois stages d'études en dirigeant les travaux de:

- Christophe Dumas pour la rédaction d'un Mémoire de Maîtrise, Magistère des sciences de la Terre de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris, stage de 4 mois et demi, de mars à juin 1998,

- Anne Buisson, pour un Mémoire de diplôme d'Ingénieur, ISTG-Ujf, Grenoble, stage de 6 mois, d'avril à septembre 1998,

- Olivier Georgel, pour un Mémoire de diplôme d'Ingénieur, ISTG-Ujf, Grenoble, stage de 6 mois, d'avril à septembre 1999.

Dans un premier temps pour la rédaction d'une partie commune à ces trois mémoires, nous avons cherché à mettre en évidence les caractéristiques des trois principales catégories de risques :

- Chute de séracs,
- Lacs glaciaires
- Poches d'eau sous glaciaires.

Pour cela nous avons rassemblé les cas d'école les plus remarquables disponibles dans la littérature de l'histoire du domaine glaciaire alpin, concernant la France, l'Europe ou toute autre partie du globe présentant un intérêt documentaire exemplaire.

En effet, comme les cas bien étudiés sont assez peu nombreux, il est indispensable d'étayer notre compréhension de ces phénomènes à partir du plus vaste ensemble de cas d'espèces pour avoir une vue plus globale de la diversité de ceux qui peuvent se produire en massifs alpins.

Pour cela nous avons eu à mettre nos stagiaires en contact principalement avec nos collègues glaciologues Suisses de l'Ecole Polytechnique de Zurich ou ceux Italiens de Milan et de Turin.

Dans un second temps, nous avons spécialisé les recherches dans les Alpes Françaises en délimitant une région pour chaque stagiaire :

- le massif du Mont-Blanc, pour C. Dumas,
- le massif des Écrins et le glacier Chauvet en Ubaye, pour A. Buisson,
- le massif de la Vanoise, pour Olivier Georgel.

Pour cette seconde partie de recherche documentaire sur le terrain nous avons frappé aux portes des institutions ayant la connaissance des milieux glaciaires et concernés par les événements à risque. Il s'agit principalement des centres départementaux des services de la Restauration des Terrains de Montagne (RTM) comme ceux :

- de la Haute Savoie, Annecy, pour le Massif du Mont Blanc,
- de la Savoie, Chambéry, pour le Massif de la Vanoise,
- de l'Isère, Grenoble, pour le massif des Grandes Rousses et celui de l'Oisans,
- des Hautes Alpes, Gap, pour le Massif des Écrins,
- des Alpes de Haute Provence, Digne, pour le Glacier de Plan Chauvet.

Ensuite nous avons contacté les services de Gendarmerie du peloton de Haute Montagne de Chamonix, impliqué dans tous les secours en montagne du massif du Mont-Blanc y compris ceux aux victimes des chutes de glace.

Comme autres services possédant des observateurs de terrain il y a bien sur les Parcs nationaux (Vanoise et Écrins) et les Réserves Naturelles de Haute Savoie.

b - Expertises : Au cours de ces 2 années nous avons eu à participer plus particulièrement à l'examen de quelques cas réels de risques naturels d'origine glaciaire qui ont porté sur:

1° - la visite du lac du glacier d'Arsine, juin 98, en présence de Michel Vallon initiateur de l'étude du cas et de l'alerte de 1986 et d'Olivier Marco, chef du service du RTM de Gap

But : Faire le point des évolutions, des relevés en cours et du programme de suivi à établir pour le suivi futur.

2° - la visite du lac du glacier de Chauvet, Ubaye, juillet 1998, avec les responsables du RTM de Digne.

But : évaluation du site, de son historique, de la nature du risque lié à la formation d'un nouveau lac proglaciaire et du type de suivi à entreprendre.

3° - la visite du lac proglaciaire de la Mer de Glace, juin 1999, avec le chef du RTM d'Annecy, Yves Cassayre.

But : évaluation de la stabilité du barrage morainique contenant lac et de la nature du suivi à entreprendre.

4° - la visite du glacier de Tacconnaz, dans la partie supérieure du Dôme du Goûter, juin et septembre 1999 et réalisation de forages superficiels grâce à l'aide apportée par la Gendarmerie.

But : définition de la répartition de l'accumulation annuelle de neige pour évaluer le débit de glace annuel susceptible de générer les chutes de séracs.

Ces différents travaux d'évaluation à la demande et en présence des gestionnaires de ces risques (RTM pour les lacs, Cemagref et préfecture de la Haute Savoie pour la chute de séracs de Tacconnaz), bien que non initialement programmés se sont révélés particulièrement utiles à la fois pour l'éducation et la motivation des stagiaires et pour les soumissionnaires de cette étude.

En effet à l'occasion de ces 4 cas réels, nous avons eu à examiner notre aptitude à évaluer les phénomènes en cours ainsi qu'à tester notre capacité de traitement des différents aspects liés à la prévision, prévention et à la mise en place d'un suivi éventuel adapté à chaque cas.

c - Congrès

Au cours de ces deux années, nous avons eu l'occasion de présenter en partie les résultats de nos réflexions et travaux et de confronter nos vues avec d'autres chercheurs de ce domaine, en participant :

1° - A la réunion : "Fachtagung Naturgefahren, Gletcher und Permafrost, Übersicht aus Forschung und Praxis, 29 mars 1999 à l'École Polytechnique de Zurich en présentant la communication invitée : "La rupture de la poche d'eau du Glacier de Tête Rousse, massif du Mont Blanc et quelques autres cas suspectés dans les Alpes Françaises" par L. Reynaud et F. Valla.

2° - Au Symposium international "Engineering Geology, Hydrogeology and natural disasters with emphasis on Asia", 28-29 septembre à Katmandu, où a été présenté : "Natural glaciological disasters in the French Alps" par F. Valla, L. Reynaud, A. Buisson et Florence Guirado.

II - Les Résultats de l'étude

1 - L'inventaire des événements glaciaires à risque.

L'inventaire de ces événements réalisés dans les mémoires des 3 étudiants stagiaires est basé à la fois sur la bibliographie existante, sur les archives constituées par le RTM ou bien sur les enquêtes directes auprès des témoins d'événements récents par nous-mêmes et les stagiaires. On constate qu'il en ressort un cortège non négligeable d'événements avec ou sans victimes. L'ensemble des événements recensés a été synthétisé sous forme de *fiches*.

Ainsi chaque glacier, ayant présenté au moins un événement, possède une fiche comportant description du glacier la description des faits en fonction du type de risque et des informations collectées.

Les fiches des glaciers ont été regroupées par massif, du nord au Sud, :Mont-Blanc, Vanoise, Écrins et Alpes du Sud.

Ainsi, nous avons pu regrouper 70 événements sur le massif du Mont-Blanc, 9 pour la Vanoise, 7 pour le massif des Écrins et 6 dans les Alpes du Sud, soit 92 événements au total.

Un exemple de fiche : **La Mer de Glace** : cf. *Figure page suivante*.

Au recto, ont été rassemblées les informations glaciologiques synthétiques sur la localisation, surface, longueur, pente, exposition et type morphologique en produisant une carte et une photo.

Au verso, on trouve

- les "*Détails des événements recensés*" avec la nature du phénomène et ses conséquences,

- un avis concernant la "*Qualité de l'information*" en terme de fiabilité des sources,

- l'énumération des *sources d'information* avec les *références bibliographiques*

- et s'il y a lieu une rubrique "*Commentaires*", précisant le contexte et d'autres informations connexes.

L'inventaire ainsi établi devra forcément être complété : il constitue actuellement une base de travail recensant l'essentiel des faits connus.

Afin de mieux aborder les phénomènes des risques naturels glaciaires, il convient de distinguer deux notions : l'importance de l'événement (volumes mis en jeu, vitesses de propagation, débits engendrés...), de l'importance des dégâts matériels et humains qu'il peut entraîner.

En effet, certains exemples montrent que des événements d'importance voisine peuvent aboutir à des conséquences minimales ou catastrophiques.

Exemple de fiche d'inventaire :

Massif concerné : Mont-Blanc

Ruptures de poche d'eau

La Mer de Glace

Détail des événements recensés :

Date : le 16 août 1878
Phénomène : une rupture d'une poche d'eau.
Conséquences : une crue de l'Arveyron. Les champs et une maison furent inondés.

Date : le 25 septembre 1920
Phénomène : suite à de violentes précipitations, la vidange de poche d'eau s'est produite, avec chute de la moraine.
Conséquences : une violente crue de l'Arveyron. Les caves et rez-de-chaussée dans Chamonix (1.5 m) de glace de près d'un mètre cube ont été retrouvés.

Date : le 25 juillet 1969
Phénomène : on enregistre une crue subite du barrage dû à un éboulement en rive gauche. L'importante poche d'eau sous-glaciaire, située à Blanc.
Conséquences : l'inondation a été évitée grâce à la vidange artificielle.

Sources d'information :

- ☛ P.G.H.M. de Chamonix.
- ☛ Danguy, J.M., (Montenvers Chamonix). Témoignage.
- ☛ Mougis, P., 1925. *Avallanches, débâcles et érosion*. Imprimerie nationale. Paris. p. 167 et 172.
- ☛ Vivian, R., 1975. *Les glaciers des Alpes occidentales*. p.349 (d'après Porel, J., 1969).




Commentaires :

Il arrive fréquemment que les glaciers soient tenus par une moraine. Ainsi la Mer de Glace a-t-elle été soulevée en 1996, puis le 13 août 1997, mais ces hypothèses ont été écartées car se sont produites à ces périodes. Il semble plus probable que l'écoulement intra-glaciaire habituel ait conduit à plus de ruptures de poche d'eau.

Depuis peu, un lac se développe au front du glacier. Il est nécessaire d'évaluer le danger potentiel qu'il représente, en cas de vidange artificielle de la poche d'eau qu'il contient. Il est ensuite tout à fait envisageable d'entailler la moraine pour provoquer une vidange artificielle et faire disparaître le risque. Quoiqu'il en soit, il faut en surveiller l'évolution.

Localisation :

- ☛ Coordonnées : 45°55'15" ; 6°55'45"
- ☛ La Mer de Glace est le plus grand glacier d'appareil glaciaire français (~40 km²); il se compose de plusieurs glaciers. Mais ici, le terme "Mer de Glace" désigne seulement la langue terminale de ce grand glacier.
- ☛ Surface : ~ 3.5 km²
- ☛ Longueur : ~ 4.7 km
- ☛ Altitudes extrêmes : ☛ 2200 m
☛ 1400 m
- ☛ Pente moyenne : ~ 9° (17%)
- ☛ Exposition : Globalement NW.
- ☛ Type de glacier : Glacier de vallée (langue terminale de l'appareil glaciaire "Mer de Glace").

Événements recensés :

- ☛ Le 16 août 1878
- ☛ Le 25 septembre 1920
- ☛ Le 25 juillet 1969

II-2 : Les méthodes à appliquer aux risques naturels d'origine glaciaire et le niveau de connaissance atteint.

En ce qui concerne les trois cas de risques naturels d'origine glaciaire auxquels nous avons affaire dans les Alpes les méthodes qui ont été développées au cours du temps que ce soit pour la détection, l'évaluation ou le traitement des risques ont atteint des niveaux de performances très inégales.

II-2-1- Les chutes de Séracs.

Leur fréquence supérieure récente est nettement attribuable à une occupation humaine accrue de la haute montagne (fréquentation et observation).

Un fait maintenant bien reconnu, grâce notamment aux statistiques helvétiques, est que la chute de séracs n'intervient que lorsque la masse, constamment en mouvement (fluage et glissement), devient instable.

Comme conséquence le déclenchement de la chute peut intervenir à n'importe quelle période de l'année, du jour ou de la nuit.

Comme autre conséquence pratique, le déséquilibre croissant de la masse de séracs peut s'apprécier à l'augmentation du déplacement, avec des méthodes copiées sur celle utilisées par les Géotechniciens dans leur suivi d'un glissement de terrain.

D'après Martin Funck (1999), cette approche semble donner satisfaction bien que les relevés de terrain n'aient encore jamais été assez complets pour constituer une vérification complète ou envisager des perfectionnements.

En revanche, dans le cas de chutes de séracs ou de langues terminales instables, la modélisation numérique n'est pas encore capable de fournir une aide efficace à l'estimation du mouvement et à la prévision d'une accélération catastrophique (concepts sur le glissement basal non adaptés).

Il est à noter, que dans l'hypothèse d'un *scénario climatique de réchauffement*, il est probable que nombre de *glaciers suspendus* qui doivent leur stabilité au collage de la glace froide sur le lit soient atteints dans leur stabilité. En effet, leur altitude et exposition les placent actuellement dans cette catégorie. Mais ce réchauffement pourrait entraîner de profondes modifications en haute montagne, en provoquant de nombreuses chutes de séracs.

II-2-2 : Les lacs glaciaires à risques.

Les lacs qui se développent près des glaciers peuvent prendre des formes diverses, mais nous avons principalement à envisager des lacs morainiques proglaciaires, généralement lors d'un retrait glaciaire, un lac se développe si la moraine frontale est suffisamment conséquente et résistante.

C'est ainsi que les années 50 à 60 avaient déjà vu se créer plusieurs lacs comme ceux apparus aux fronts des glaciers des Bossons, des Quirliès, d'Arsine ou de Chauvet, ...

Actuellement, suite à la fin de la réavancée des années 80 et au recul prononcé actuel, tout un lot de petits lacs a vu le jour.

Bien qu'on puisse en suivre le développement sur les clichés aériens de l'IGN (ou du Cemagref, jusque en 1995 pour le Mont-Blanc), ils passent généralement inaperçus même si leur développement s'étale sur une trentaine d'années.

Pour un petit lac d'un ha et d'une dizaine de mètres de profondeur moyenne, le volume de 100 000 m³ est atteint, volume suffisant pour déclencher éventuellement une lave torrentielle dévastatrice. Ainsi quelques petits lacs se sont déjà vidangés heureusement sans victimes et avec peu de dégâts.

Ces lacs étant visibles (si toutefois on se préoccupe de les inspecter), les techniques de prospection géophysiques étant disponibles (prospection sismique et électrique pour la constitution de la moraine, la bathymétrie pour les volumes d'eau, il apparaît qu'une évaluation du risque est accessible de même qu'une intervention pour prévenir la vidange catastrophique.

Bref, la méthode à appliquer au risque présenté par un lac glaciaire est assez bien définie si toutefois on est averti à temps de l'urgence de la situation.

Le cas du lac d'Arsine (Vallon, 1989) et les travaux réalisés (Van Effanterre, 1987), ainsi que le suivi de son évolution actuelle en sont un exemple remarquable.

L'ensemble des connaissances et de l'expérience acquises sur ce cas est d'utilisation plus vaste. Mais comme chaque cas apporte de par sa configuration des caractéristiques particulières, il est nécessaire de disposer du plus grand nombre d'études exhaustives de cas concrets.

II-2-3 : Les poches d'eau sous glaciaires.

De tous les risques glaciaires celui causé par une libération de poche d'eau s'avère le plus difficile à traiter.

Pourtant, cette qualité de *Poche d'eau* est souvent attribuée aux manifestations de crue des émissaires glaciaires, alors qu'il y a, la plupart du temps d'autres origines plus simples comme les pluies ou vidange de lacs de confluence, de lacs superficiels, etc.

Toutefois, il en est d'authentiques, qui ne sont repérées que lors de leurs évacuations brutales, avec ou sans victimes.

En effet la constitution d'une poche d'eau sous glaciaire passe généralement inaperçue, car elle ne mobilise pas d'énormes quantités d'eau, typiquement 10⁴ à 10⁵ m³ et la modification apparente du glacier est si discrète qu'on ne possède pas de description dans la littérature et les glaciologues concernés n'ont pas de prescription très nette à proposer pour le diagnostic.

Cette faiblesse des volumes stockés à la base du glacier sous des épaisseurs de glace allant de la cinquantaine de mètres à plusieurs centaines, rend leur détection illusoire par les moyens actuels de la géophysique : en effet la sismique ne détecte qu'un lit moyen à une dizaine de mètres près et le radar capable de pénétrer en profondeur utilise une longueur d'onde trop grande pour voir de tels détails.

En revanche, ce qu'on sait c'est que tous les glaciers subissent au printemps et en été une abondante alimentation en eau de fonte, ce qui a tendance à faire flotter les langues glaciaires, les soulevant d'une cinquantaine de cm comme cela a été mesuré sur le glacier de l'Unteraar (Iken, 1986) en provoquant des accélérations brèves mais intenses, jusqu'à évacuation de ce stock d'eau basal.

C'est pourquoi la majorité des libérations de poches d'eau interviennent au printemps et en début d'été.

Contrairement aux deux premiers risques naturels, on constate qu'on ne dispose pas de méthode établie pour traiter ce cas : tout reste encore à inventer.

II - 3 : Définition du niveau d'étude des différents risques naturels d'origine glaciaire.

Ces trois cas de risques naturels glaciaires principaux se présentent très inégalement quant à la connaissance qu'on possède d'eux et aux méthodes disponibles de traitement.

Il apparaît qu'on connaît relativement bien les deux premiers : Séracs et Lacs, tandis que le troisième nécessite une attention toute particulière.

En effet, comme on l'a vu plus haut, les 2 risques dont les développements sont visibles peuvent être appréhendés par des moyens de mesures classiques et même s'il reste encore de nombreux points obscurs ou à améliorer, leurs traitements sont maintenant assez bien connus.

C'est pourquoi ils relèvent principalement d'une recherche à caractère technique.

En revanche, pour les *poches d'eau*, il reste encore à poursuivre l'investigation au niveau le plus fondamental qui est celui de la définition du phénomène sous glaciaire :

- comment se stocke ou se déstocke l'eau?
- quelle modification sur l'écoulement du glacier : vitesse et variation d'altitude ?
- quel est le comportement du débit de l'émissaire (jaugeages)?

Ceci de façon notamment à dégager une façon d'appréhender le diagnostic sur un glacier susceptible de constituer de telles poches d'eau.

II - 4 : Suite à donner à l'étude des risques naturels glaciaires.

Les raisons principales qui conduisent à envisager une suite adaptée à l'étude des risques naturels glaciaires dans les Alpes Françaises proviennent :

1 - de l'inventaire des événements glaciaires recensés qui montre une activité non négligeable,

2 - de l'état de connaissance assez imparfait dans lequel on se trouve encore à notre époque des mécanismes fondamentaux responsables de ces risques (glissement sur le lit, circulation d'eau)

3 - de l'absence de méthodes adaptées à la détection et à la prévention du plus délicat des risques : celui des poches d'eau sous glaciaires,

4 - de la nécessité d'un "système d'observation" des risques naturels d'origine glaciaire qui assure la détection l'observation et l'archivage dans une banque de données.

En effet l'inventaire des risques a montré qu'ils se produisent dans tous les massifs montagneux alpins, car les glaciers ne cessent de se modifier en permanence au rythme des fluctuations du climat.

En premier lieu, cet "observatoire" assurerait la tâche technique de recensement des événements d'ordre glaciologiques en interrogeant et recueillant les relations des observateurs (nécessité de filtrer les appréciations pour les replacer dans un contexte sans biais) hors des implications personnelles ou militantes, les mettre en relation avec, les paramètres météorologiques, etc.

En second lieu, cet "observatoire" pourrait provoquer l'évaluation du danger présenté en interrogeant les experts et les communautés concernés.

Comme points d'application immédiats il y a les cas des lacs actuellement en formation dans presque tous les massifs, ainsi que les chutes de séracs ou les glissements de langues glaciaires actives.

Enfin, comme l'a souligné l'examen des différents risques glaciaires, le cas le plus difficile à connaître ou traiter est celui des *poches d'eau*.

Le fait que leur genèse échappe à l'examen et qu'elles ne se manifestent seulement lors des vidanges brutales explique pourquoi la majorité des études qui leur ont été consacrées se limitent aux conséquences et n'ont pas abordé les processus de formation et de développement des stockages d'eau à la base du glacier.

C'est pourtant dans cette direction de recherche fondamentale qu'il faudrait maintenant investir, car cela reste un problème glaciologique non résolu qui concerne aussi les conditions de glissement à la base des masses instables (chute de la langue terminale du Tour ou celle de la Charpoua).

D'après nos évaluations, ces études in situ ne sont pas simples, car elles nécessitent d'appréhender en même temps les paramètres d'écoulement du glacier et ceux de l'eau circulant à travers le glacier, ceci sur une longue période de l'année (printemps et été) et probablement sur plusieurs années successives.

En revanche, les études de vulnérabilité des secteurs situés à l'aval pourraient être menées sur des sites déjà connus pour leur activité soit par observation et à dire d'expert soit par modélisation de l'écoulement des eaux ou des laves torrentielles.

Les sites qui se présentent favorablement pour l'étude des mécanismes fondamentaux sont incontestablement ceux des grands glaciers du Mont-Blanc comme Mer de Glace et Argentières pour

- leur taille (possibilités de stockage plus marquées)
- accessibilité (trains téléphérique et hélicoptères)
- existences de mesures antérieures assez détaillées,
 - . à la fois sur les variations des glaciers depuis les années 1900
 - . et sur les débits des émissaires avec les jaugeages d'EDF et d'Emosson SA.

D'autre part, au cours des contacts que nous avons eu au cours de cette étude, il apparaît un grand intérêt des partenaires sociaux économiques de la vallée de Chamonix pour ces travaux :

- Mairie de Chamonix,
- RTM, service départemental et National
- Exploitants hydroélectriques : EDF (Mer de Glace) et Emosson SA (Argentière).

Enfin, la mise en place d'un programme d'étude des poches d'eau peut actuellement s'envisager, dès l'année 2000, en réalisant un montage de propositions :

1° - auprès de l'*Europe*, sur un projet global sur les risques naturels (soumis en février 2000), coordinateur François Valla, ETNA-Cemagref, avec la participation de nos voisins Suisses, Italiens, Allemands, Autrichiens ainsi que des Norvégiens et Islandais.

2° - auprès de la *Région* sur un projet spécifique aux poches d'eau et aux dégâts potentiels à l'aval, coordinateur Christian Vincent, LGGE-Cnrs, collaboration ETNA-Cemagref, EDF, Emosson SA et RTM.

Conclusions

Les conditions semblent favorables actuellement pour réaliser dans de bonnes conditions un programme d'étude avec quelques chances de succès, car les besoins de recherche fondamentale en glaciologie font que les chercheurs (alpains principalement) se mobilisent sur ces processus à la base des glaciers (glissement, circulation et stockage des eaux) car ils apparaissent essentiels à la compréhension de la dynamique glaciaire en modélisation et prévision.