

# Le lac épiglaciale de Rochemelon

Savoie - Commune de Bessans

## De la crise 2004 à la vidange contrôlée 2005

Note de synthèse



# Le lac épiglacière de Rochemelon

## De la crise 2004 à la vidange contrôlée 2005

### Note de synthèse

## Sommaire

pages

1	<u>Résumé / Introduction</u>
2	<u>Le lac de Rochemelon</u>
2	La localisation du lac et ses conséquences
4	L'origine du lac
5	2004: les risques engendrés par le lac
6	<u>Les enjeux urbains menacés par la présence du lac de Rochemelon</u>
7	<u>Aperçu des études menées de 2001 à 2003 dans le cadre du programme européen Glaciorisk</u>
11	<u>La crise de 2004</u>
11	La campagne de mesure du 31 août : les premières inquiétudes
12	Les observations du 17 septembre : le début de la crise
13	Visite du 30 septembre : étude des solutions possibles
14	Étude de la possibilité de déversement côté italien par abaissement du col de Novalèse
16	Conclusions de la journée du 30 septembre
17	Les premières mesures d'urgence
18	Installation et mise en marche des siphons
21	Installation du relais au Mont Cenis
22	Visites de contrôle au lac de Rochemelon
23	Installation de la station de télémessure et fin de la crise
24	Bilan de l'opération 2004
25	Fonctionnement de la station de télésurveillance et dispositif d'alerte
26	<u>L'opération 2005</u>
26	Objectifs
26	Réflexions
28	Estimation de l'opération et financement
28	Choix de l'entreprise chargée des travaux de vidange
29	Déroulement des travaux initialement prévu avec l'entreprise
31	Détail estimatif du coût des travaux
32	La réalisation effective des travaux
41	Bilan de l'opération 2005
42	<u>2006: la fin (ou presque) des opérations</u>
42	Objectifs de l'intervention 2006 et premières observations
44	Visite du 31 août 2006
46	Fin septembre 2006: le repli (presque) complet du chantier
46	Coût du solde de l'opération (dépenses 2006 et 2007)
47	<u>Epilogue</u>
49	<u>Annexes</u>



## Résumé / Introduction

Le lac glaciaire de Rochemelon (Savoie, Haute Maurienne) a fait l'objet d'une attention particulière de 2001 à 2003 dans le cadre du programme européen Glaciorisk dont la vocation première était de recenser les glaciers considérés à risque pour les activités humaines. L'autre objectif était de s'appuyer sur les études de glaciologie réalisées au sein de ce programme, pour en tirer les mesures opérationnelles de suivi ultérieur et de prévention à mettre en œuvre par rapport au risque identifié.

Parmi les glaciers français étudiés, celui de Rochemelon présente alors comme particularité l'existence d'un lac formé à son sommet, en limite de la frontière avec l'Italie. La poursuite de l'évolution naturelle de ce lac allait conduire au risque d'une vidange brutale, partielle ou totale, susceptible d'affecter à l'aval plusieurs communes françaises ou italiennes. Deux scénarios de déversements s'avéraient possibles : déversement total côté français par rupture du verrou (ou digue) glaciaire ou déversement partiel coté italien par rupture d'un embâcle d'icebergs qui seraient venus obstruer l'écoulement permanent du lac vers l'Italie par le col rocheux de Novalèse.

L'urgence à intervenir est apparue fin août 2004 lorsque, lors d'une visite de contrôle, des observateurs (représentants du LGGE, du CEMAGREF et du Service RTM Savoie) ont constaté une accélération significative de la fonte au niveau du verrou glaciaire qui rendait bien réel et imminent le risque de surverse du lac voire de la rupture du verrou. Dans un contexte de crise, autour d'une coordination de très nombreux intervenants, une opération lourde a donc été menée en urgence de septembre à début novembre 2004 pour dans un premier temps retrouver un niveau de sécurité acceptable en abaissant le niveau du lac de près de 6m.

L'année 2005 se devait ensuite d'apporter une réponse plus durable à la résolution du problème posé: faire disparaître la menace liée à l'existence du lac. Les réflexions entre le LGGE, EDF et le RTM ont ainsi conduit à s'orienter vers une vidange complète du lac dans des conditions à même d'assurer la pérennité de cette vidange. Le chantier commencé fin juin 2005 s'est achevé fin août, avec une vidange complète obtenue fin septembre.

Les 12 mois qui suivirent permirent de vérifier que le fonctionnement était conforme aux hypothèses: dès le début de la fonte en mai, la vidange se remet naturellement en service, et le lac ne se recrée plus ou seulement de manière très éphémère avec très peu d'eau. Les derniers matériels (station de télémessure et siphons principalement) ont donc été évacués fin septembre 2006, à l'exception de quelques-uns déjà enfouis sous une neige trop précoce, et qui feront l'objet d'un repli complet à l'été 2007.

Le site ne fait donc plus l'objet que d'une surveillance réduite simplement pour s'assurer du bon fonctionnement de la vidange naturelle.

Ainsi se termine l'opération « Rochemelon ». Après les vives inquiétudes et les doutes de 2004 et les étapes par moment laborieuses de 2005, cette expérience originale aura mobilisé bien des énergies pour atteindre enfin la réussite escomptée.

-----

# Le lac de Rochemelon

## La localisation du lac et ses conséquences :

Situé sur le territoire de la commune de Bessans (Savoie, Haute Maurienne) en limite avec l'Italie, le glacier de Rochemelon se développe entre 2950 m et 3300 m d'altitude sur une surface d'environ 1.6 km<sup>2</sup>.

Ce glacier alimente le torrent du Ribon qui s'écoule vers la Maurienne et se jette dans l'Arc à l'aval de Bessans.

Le lac de Rochemelon s'est formé à la surface du glacier à 3200 m d'altitude, entre la crête rocheuse marquant la frontière avec l'Italie et le glacier.

Jusqu'en 2004, le col rocheux de Novalèse, qui coupe la frontière franco-italienne, constitue un exutoire naturel du lac glaciaire par lequel se déverse l'eau de fonte, ce qui permet au lac de garder un niveau constant. Le petit torrent ainsi créé coule ensuite le long du versant italien pour atteindre le village de Novalesa, 2400 m plus bas.



▲ *Vue aérienne du lac de Rochemelon prise le 31 août 2004*

◀ *Plan de situation : Extrait de L'IGN Top 25 3633 ET et 3334 OT*

▲ Le Pic de Rochemelon se détache nettement en arrière-plan du lac, avec au fond, l'Italie cachée sous les nuages.

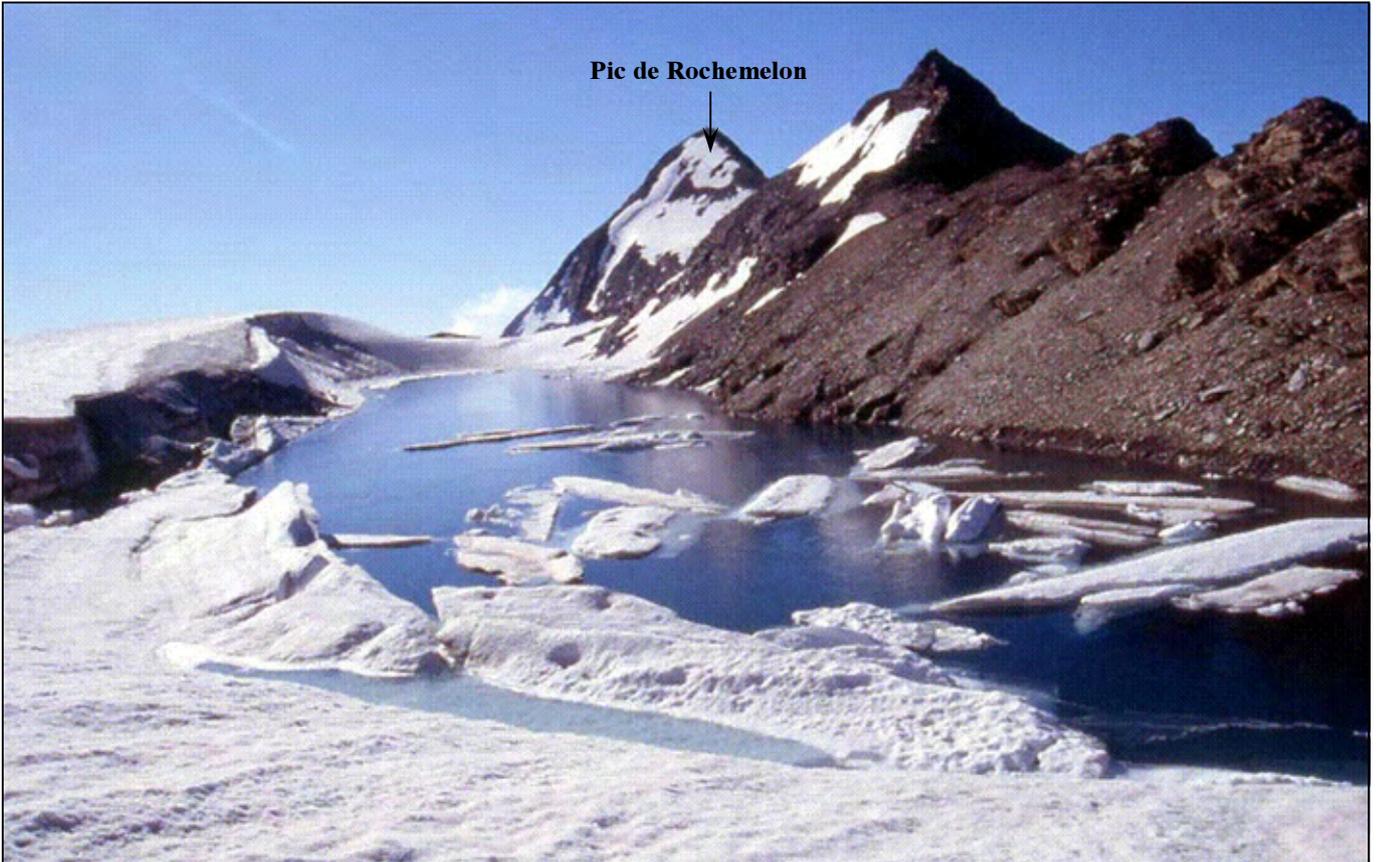
Le lac est pris entre roche et glace : à l'Ouest du lac, la crête dessinant la frontière avec le versant italien et à l'Est, le glacier de Rochemelon.

La flèche rouge pointe le verrou (ou la digue) glaciaire dont la rupture pourrait entraîner la vidange totale ou partielle du lac côté français

Le trait vert indique le parcours de l'eau s'écoulant par le col de Novalèse le long du versant italien.

Quelques icebergs sont visibles à l'extrémité Sud du lac. S'ils venaient à former embâcle au col, le niveau du lac pourrait monter, faisant craindre un risque de débâcle pour Novalesa. Italiens et français sont donc a priori tous deux concernés par le lac bien qu'il soit sur le territoire français.

L'altitude du site et ses conditions météorologiques limitent les possibilités d'intervention à une courte période de l'année. De plus, hormis par hélicoptère, l'accès côté français est malaisé : il faut remonter la vallée du Ribon sur une piste accessible seulement aux 4x4 sur huit kilomètres. Ensuite la progression se fait à pieds pour atteindre le fond de la vallée et s'élever dans le verrou rocheux par des vires qu'il vaut mieux parcourir par temps sec (environ 3 h de marche pour une dénivelée de 1080 m depuis le hameau de l'Arcelle situé à 2140 m d'altitude).



▲ *Septembre 2001 (icebergs provenant de la dislocation du glacier en fin d'été)*

▼ *Juin 2002 (le lac est encore gelé)*



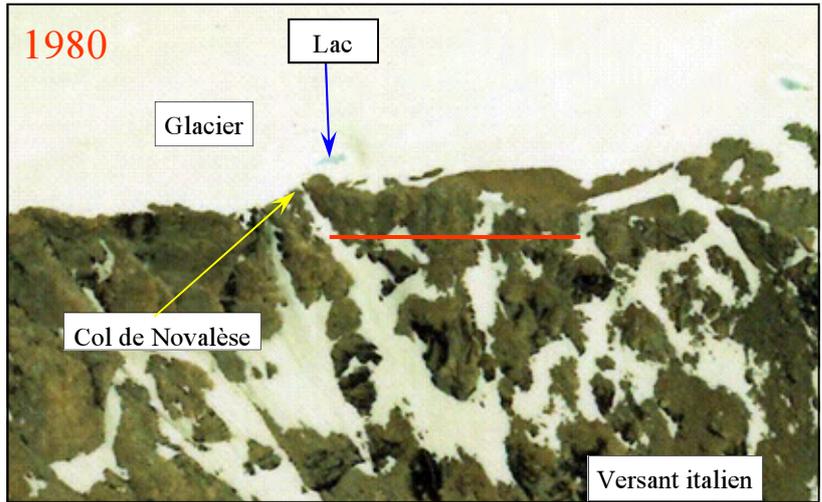
**L'origine du lac :**

Le lac épiglaciale de Rochemelon s'est formé de façon totalement naturelle.

Il n'a cessé de s'accroître depuis sa naissance qui remonte à plus de 20 ans et a progressivement rempli la vaste dépression formée entre l'arête rocheuse en frontière avec l'Italie et le bourrelet glaciaire au Nord-Est.

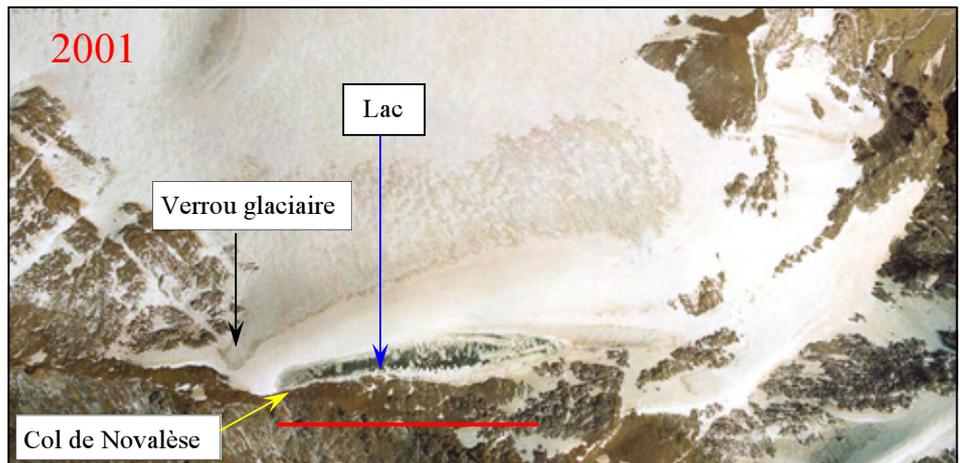
L'apparition de ce lac semble très liée au réchauffement climatique responsable des bilans de masse glaciaire négatifs des glaciers notamment alpins et de la configuration particulière du site (l'accumulation de la neige y est fortement influencée par le vent suite à l'effet de crête). Sa croissance a été très rapide ces dernières années. Le risque potentiel lié à cette croissance du lac a été repéré il y a quelques années par la Société Météorologique de Turin et par le Cemagref de Grenoble.

De 1980 à 2004, avec la fonte du glacier, le lac s'est progressivement accru en surface et en volume tout en restant à niveau constant, car il s'est étendu vers le Pic de Rochemelon et approfondi. Plus ce volume devenait grand et plus les dégâts en cas de vidange brutale risquaient d'être importants, ce qui a motivé le suivi de l'évolution de ce lac dans le programme Glaciorisk.



*Photographies aériennes :  
Étapes de croissance du lac  
épiglaciale de Rochemelon (1980,  
1994, 2001)*

*Les photographies ont quasiment  
la même orientation. Les traits  
rouges représentent la même unité  
de longueur.*



## **2004: les risques engendrés par le lac :**

*Le premier risque concerne le versant italien.* En cas d'obstruction du déversoir rocheux naturel du col de Novalèse par des icebergs, le niveau du lac pourrait remonter significativement puis entraîner une rupture de cet embâcle glaciaire. L'apport d'eau brutal qui en résulterait, sur une pente très forte constituée de matériaux très érodables (marbres phylliteux très fracturés), entraînerait un fort risque de lave torrentielle pour le village de Novalesa 2400m plus bas. Ce phénomène a déjà été observé en 2001, mais sans atteindre le village de Novalesa.

*Le second risque (nettement plus probable) concerne le versant français.*

Parallèlement à l'augmentation du volume du lac, les observateurs ont en effet noté la diminution de la taille du verrou glaciaire en hauteur par rapport au niveau du lac et en épaisseur - ce qui conditionne directement sa résistance. Cette évolution a conduit à s'interroger sur deux scénarios possibles.

Le premier scénario, et le plus évident, est la surverse, avec le débordement du lac qui creuse une bédrière laissant passer à mesure de son creusement un débit exponentiel susceptible d'engendrer une très forte crue à l'aval.

Le second, qui pourrait aussi résulter du premier, est la rupture du verrou glaciaire, celui-ci ne résistant plus à la pression exercée par l'eau du lac. Dans ce cas là, c'est à une crue catastrophique que l'on pourrait s'attendre à l'aval.



▲ *Le col rocheux de Novalèse (3218 m)*

Cependant, et heureusement, la topographie du versant français est telle qu'elle amortirait assez l'écoulement pour écarter, a priori, tout risque d'atteinte de la vallée de l'Arc par une lave torrentielle. En cas de rupture du verrou ou de surverse, l'eau traverserait le glacier sur 2 km puis une barre rocheuse et une zone d'éboulis où serait charrié l'essentiel des matériaux.



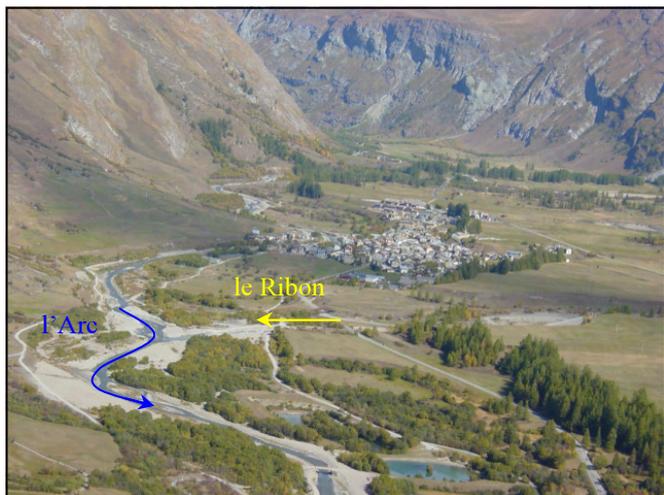
▲ *La vallée du Ribon vue depuis le pied du glacier*

Elle emprunterait ensuite la vallée du Ribon, longue (9 km) et peu pentue (6%). La vallée présente à la fois des zones d'épandage des matériaux et des zones de reprise à la confluence des torrents affluents. A la confluence du Ribon avec l'Arc à l'aval de Bessans l'onde de crue serait déjà sérieusement amortie.

Le torrent suit ensuite la vallée de l'Arc avec une pente de 7% et traverse plusieurs villages et ponts susceptibles d'être touchés en cas de crue majeure.

## Les enjeux urbains menacés par la présence du lac de Rochemelon

En cas de rupture du verrou glaciaire de Rochemelon et le lac étant plein, trois villages seraient principalement affectés: Lanslevillard, Lanslebourg, Termignon ainsi que différents ponts et la RD902 (mais pas le village de Bessans situé suffisamment à l'amont de la confluence du Ribon avec l'Arc).



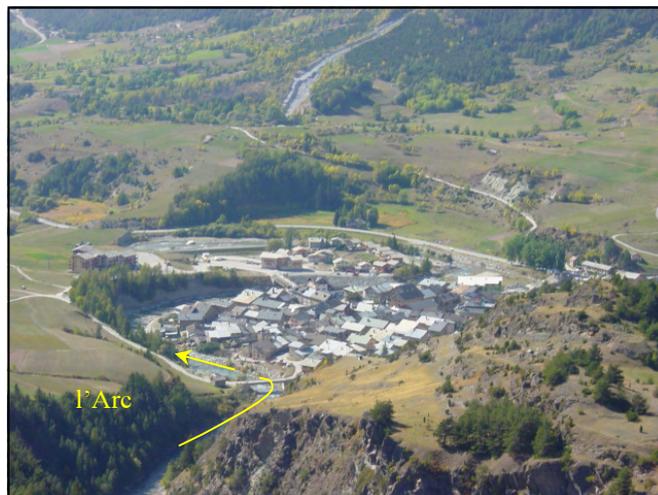
▲ *Le village de Bessans : il ne serait pas directement touché, mais la plaine serait inondée*



Lanslevillard ►

*Termignon : le torrent forme un méandre important qui traverse le village* ▼

▼ Lanslebourg



Des modélisations, bien qu'imparfaites, ont permis d'estimer les débits aux villages en cas de rupture brutale du verrou glaciaire (modélisation de l'onde de rupture par le Cemagref en janvier puis septembre 2004 sur l'hypothèse d'une géométrie de rupture de 30 m x 30 m entraînant un débit initial de 4000 m<sup>3</sup>/s). L'onde de crue attendrait la confluence avec l'Arc en 30 à 45 minutes).

	Débit en cas de rupture (m <sup>3</sup> /s)	Débit de la crue centennale de l'Arc (m <sup>3</sup> /s)
Débouché de la vallée du Ribon/ Bessans	1230	-
Confluence du Ribon avec l'Arc	1000	340
Lanslevillard	820	370
Lanslebourg	700	370
Termignon	520	430

Il s'agit donc de débits très supérieurs à ceux de la crue centennale de l'Arc (et même à la crue décennale à Lanslevillard) susceptibles par conséquent de provoquer des dégâts très importants dans les villages.

# Aperçu des études menées de 2001 à 2003 sur le lac de Rochemelon dans le cadre du programme européen Glaciorisk

(illustrations extraites des rapports Glaciorisk)

Le programme européen Glaciorisk a eu pour vocation de repérer et d'étudier les glaciers présentant un risque pour les activités humaines et à ce titre celui de Rochemelon. Les études réalisées au sein de ce programme visaient aussi à définir les mesures de suivi et de prévention à mettre en œuvre.

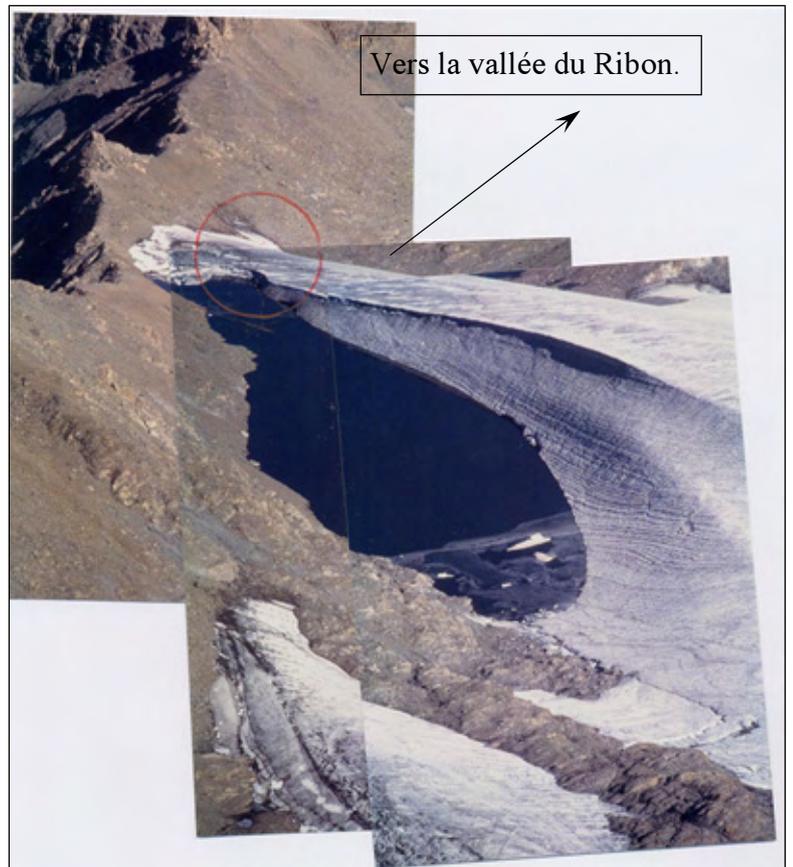
Le travail était prévu suivant différentes étapes :

- inventaire et constitution d'une base de données
- études scientifiques
- simulations numériques
- prévention et mitigation des désastres
- transfert des données aux utilisateurs finaux

Au total, 11 partenaires de quatre pays alpins (France, Italie, Suisse, Autriche) et deux pays nordiques (Norvège et Islande) tous concernés par la présence de glaciers sur leur territoire, ont participé au programme européen Glaciorisk.

Parmi les différents partenaires, le Cemagref assurait la coordination du projet.

Le protocole d'observation mis en place comprend un suivi photographique pour suivre l'évolution des dimensions du lac. Il comprend également un suivi topographique par levé au télémètre et au GPS.



*Petit flotteur de polystyrène transportant le sonar utilisé pour mesurer la profondeur du lac. ▼*



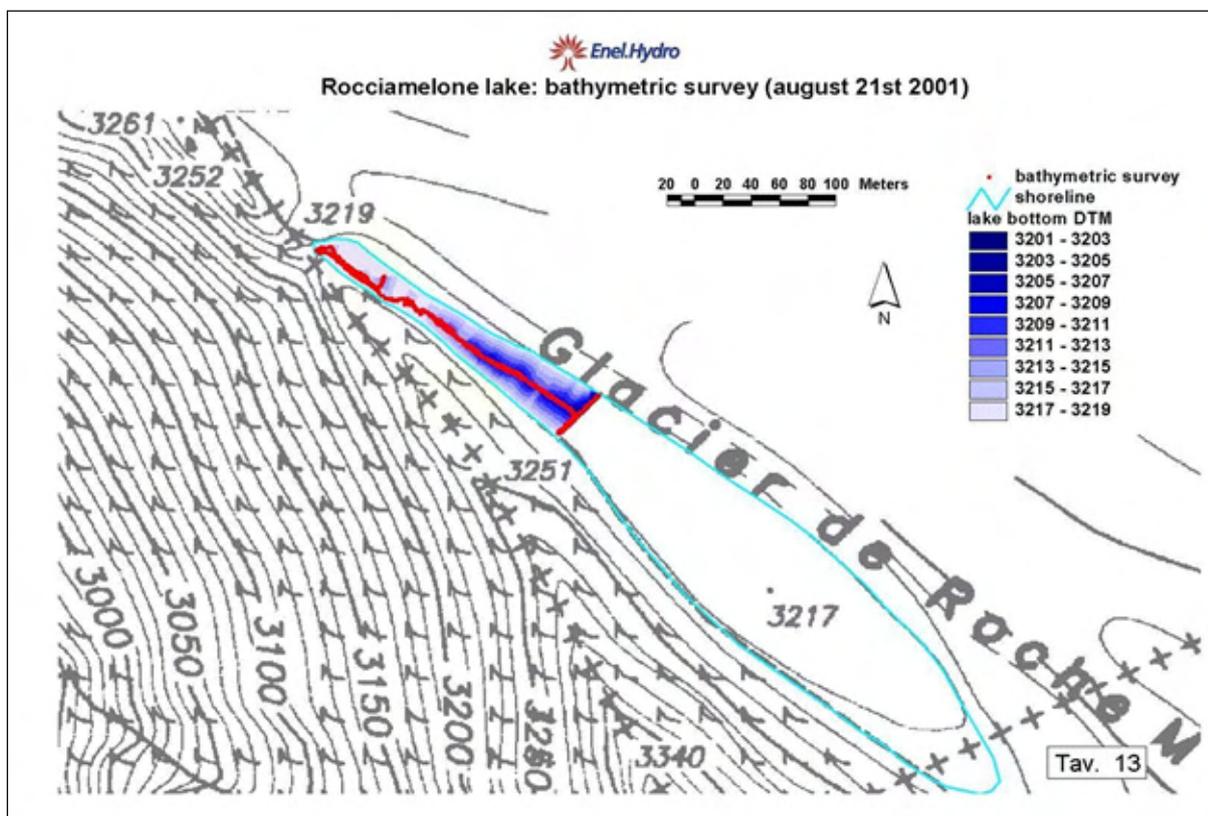
▲ *Vue depuis le Pic de Rochemelon en Septembre 2000 Le cercle rouge souligne la zone de faiblesse de la digue glaciaire*

Les mesures de surface (1.8 ha) et de profondeur obtenues lors de la campagne du 21 août 2001 conduisent alors à estimer le volume du lac à 150.000-200.000 m<sup>3</sup>, ce qui représente déjà un volume important pour un scénario de rupture.

Pour diverses raisons d'organisation, de météo et d'accès au site, les mesures bathymétriques n'ont pu être réalisées jusqu'en 2005 que sur le tiers Nord du lac, ce qui laissait une incertitude concernant sa réelle profondeur moyenne. Le volume du lac n'était donc pas connu précisément mais estimé à partir d'une extrapolation à l'ensemble du lac du profil bathymétrique réalisé.

**Résultats du relevé bathymétrique de 2001 (la profondeur maximale enregistrée est de 18 m).**

Les profondeurs indiquées sur ce schéma ne sont valables qu'à l'aplomb du trait rouge qui correspond au circuit du sonar. En effet, les profondeurs mesurées en 2003 et 2004 donnent par exemple 24 et 25 m à l'extrémité Nord-Est du lac. ▼



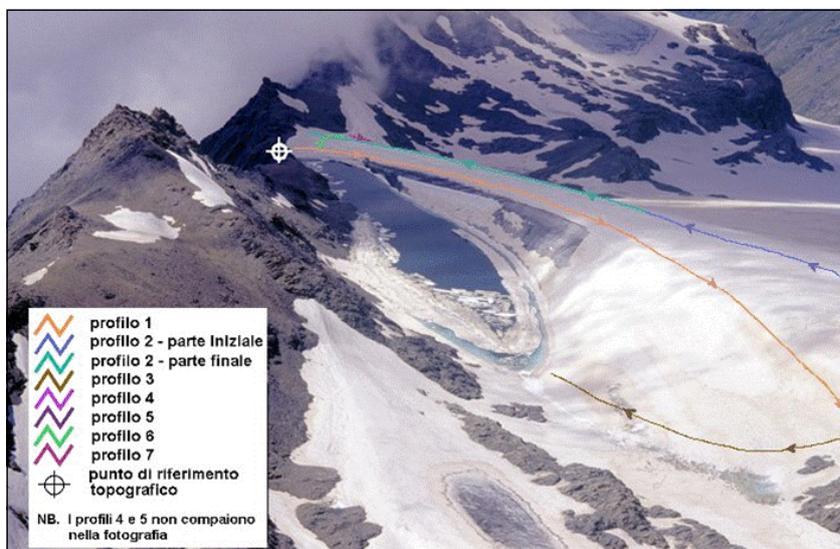
En 2002 les travaux se poursuivent avec pour objectif d'évaluer l'épaisseur de glace sur le substratum rocheux et par conséquent la possibilité d'une rupture. L'équipe est composée par des membres des organismes suivants : SMS (Societa Meteorologica Subalpina), Cemagref Division ETNA, Laboratoire de Glaciologie du CNRS de Grenoble (LGGE), RTM.



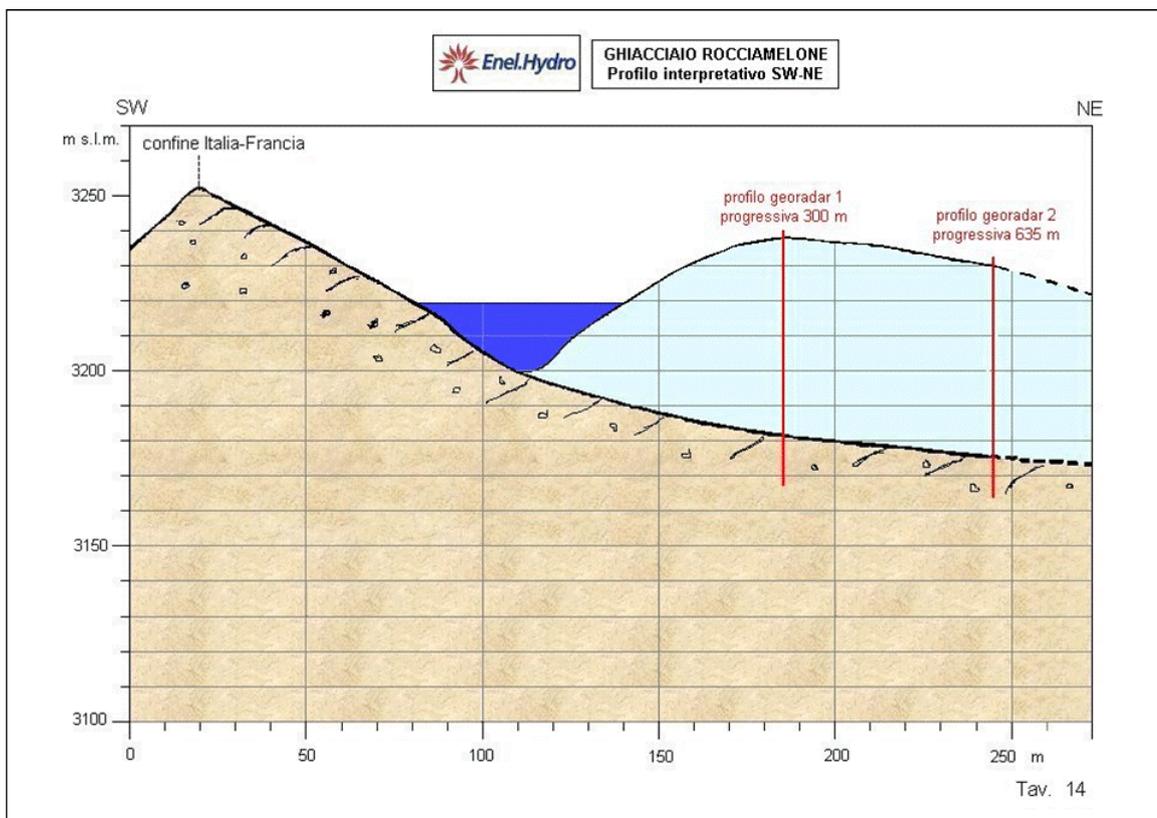
Des sondages sont réalisés sur différents parcours, représentés sur la photographie ci dessous, avec un système radar (photo de gauche). Le recoupement des différents profils obtenus sur les parcours permet d'estimer la position de la surface du socle rocheux sous le glacier.

Ces travaux ont fourni des renseignements sur la géométrie et les caractéristiques physiques du glacier.

La confrontation des nouveaux résultats avec ceux de 2001 conduit à préciser le profil topographique du lac. Le socle rocheux sous-jacent au lac et au glacier suit a priori une pente descendante et régulière.



La profondeur maximale du lac (à la verticale du sonar) atteint approximativement 18m et l'épaisseur maximale du glacier au bord du lac environ 60-65 m. Les résultats des mesures radar confirment le risque potentiel, mais seulement à terme, de rupture du verrou. Il demeure cependant indispensable d'observer la variation de son épaisseur. L'implantation de balises d'ablation doit permettre de mesurer la fonte du glacier.

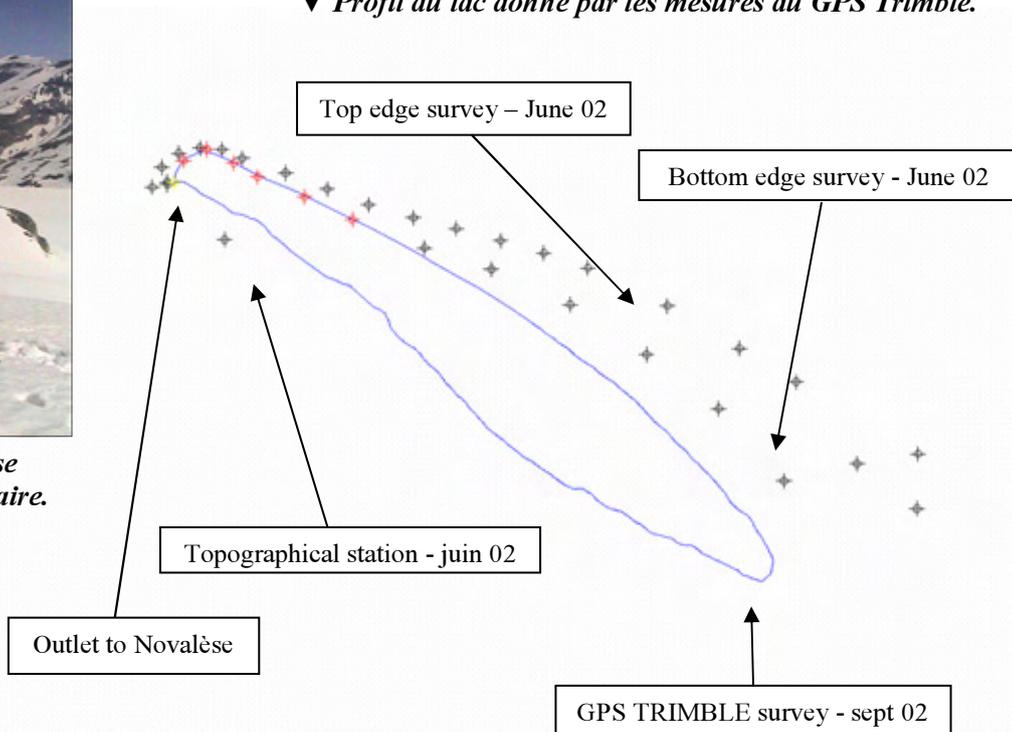


▲ *Section transversale estimée: Le socle du glacier est très régulier, sans ondulation sensible.*



▲ *Implantation d'une balise d'ablation dans le col glaciaire.*

▼ *Profil du lac donné par les mesures au GPS Trimble.*



La campagne de mesure du 25 septembre 2002 (CEMAGREF, RTM Savoie) établit la surface du lac à 4.3 ha ce qui diffère notablement des 1.8 ha de 2001, même s'il faut attribuer une grande imprécision aux mesures de contour, due à la difficulté d'identification précise de ce contour (alternance neige-glace). Avec une profondeur moyenne estimée à 10 m le volume d'eau atteindrait alors 430.000 m<sup>3</sup>.

Le 25 septembre 2003, le Service RTM organise une reconnaissance bathymétrique avec l'aide des plongeurs du SDIS de Chambéry. Celle-ci permet de préciser les valeurs obtenues par les mesures de surface. En même temps, les autres partenaires continuent leurs programmes de recherche.



Les autorités locales, associées à l'opération, peuvent se rendre compte par elles-mêmes du risque potentiel représenté par le lac.

En plus des personnes mentionnées sous la photographie, CRS, SDIS, Cemagref, LGGE, italiens et les médias sont présents ce jour là sur le site (35 personnes au total).

▲ De gauche à droite : Messieurs les: DDPC, Sous-préfet, Chef du Service RTM, Chargé de mission du Cemagref, Préfet.



▲ Plongée sous glace à l'aplomb du verrou.



Nouvelles mesures au GPS Trimble. ▲

L'estimation du volume du lac atteint alors 450.000 m<sup>3</sup> pour une profondeur de 24 m au point le plus sensible, et une présomption de sous cavage d'environ 7 m entre le fond du lac et la rive glaciaire. Aucun caractère d'urgence n'apparaît compte tenu de l'épaisseur de la revanche de glace entre le plan d'eau et le verrou glaciaire en son point le plus bas (plus de 4 m).

## La crise de 2004

### La campagne de mesures du 31 août : les premières inquiétudes

Soucieux de l'évolution du lac, LGGE, CEMAGREF et RTM mènent le 31 août 2004 une campagne de mesures complémentaires pour suivre l'extension du lac et son volume et surtout, la variation d'épaisseur de la digue.

Une fois de plus les observations bathymétriques ne peuvent être réalisées que sur le tiers Nord de la surface du lac. La profondeur moyenne sur la partie mesurée est de 14 m. L'étude topographique donne une surface du lac égale à 4.7 ha. Obtenu par extrapolation de ces valeurs, le volume du lac atteindrait 650.000 m<sup>3</sup>.

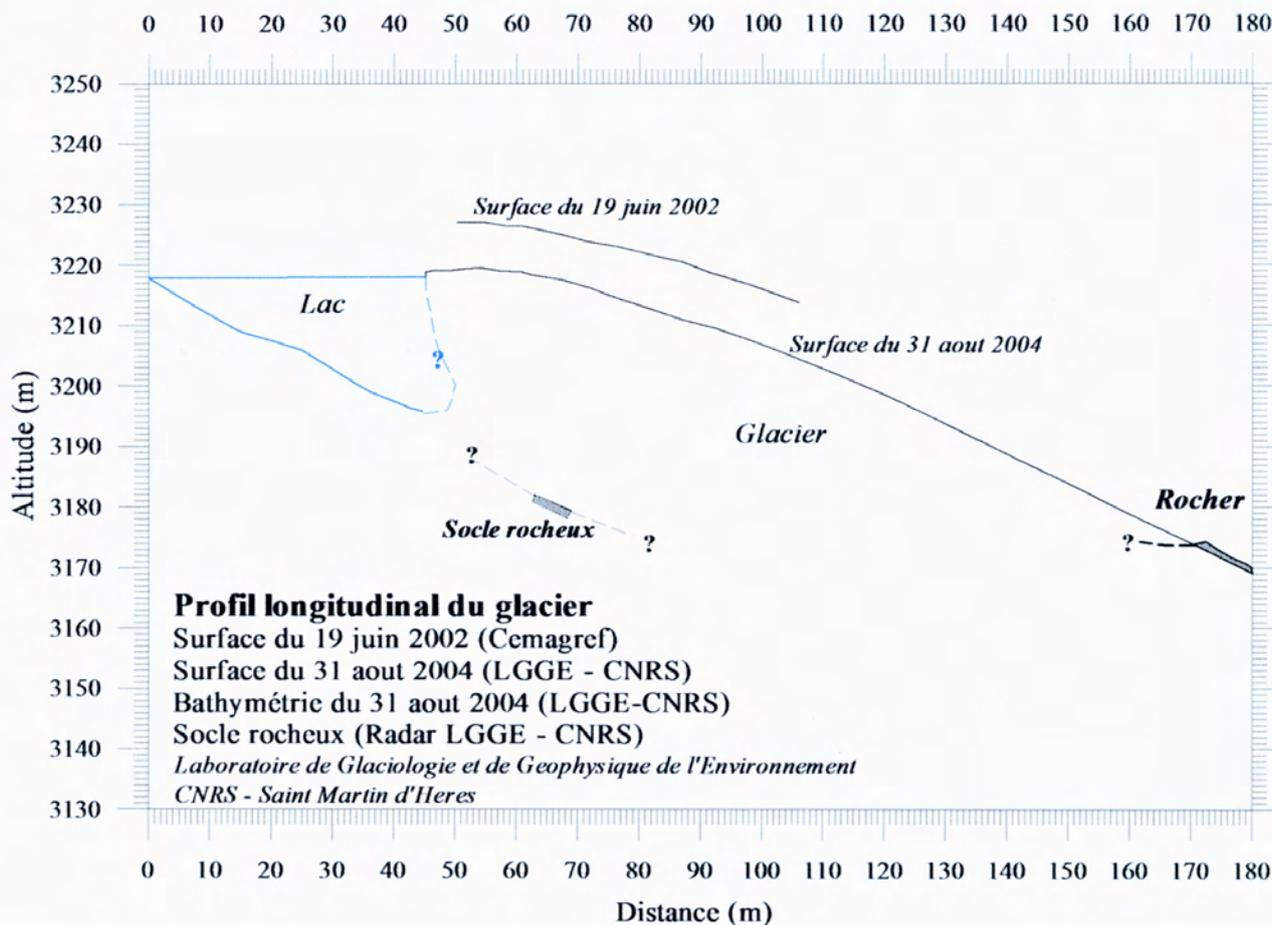
Le bilan de masse fournit des valeurs inquiétantes : l'épaisseur du col glaciaire diminue rapidement, 1.3 m/an de juin 2002 à août 2004 avec un maximum en 2003.

Le 31 août, **la revanche** (différence d'altitude entre le col glaciaire qui forme le barrage et le niveau du lac) **n'est plus que de 1,5 m.**



▲ Photo aérienne du lac le 22 août 2004

*Coupe longitudinale du glacier passant par le col glaciaire. La topographie de la rive Nord n'est pas connue exactement. Celle-ci pourrait être en partie surplombante d'après les observations en plongée de 2003. ▼*



## Les observations du 17 septembre : le début de la crise

A la suite de la visite du 31 août, une journée d'observations complémentaires est organisée le 17 septembre. S/Préfet, Stagiaire ENA, RTM, Cemagref, LGGE, EDF, SDIS et Italiens sont présents sur le site pour examiner la situation.

### **La revanche n'est plus que de 80 cm.**

Premières conclusions de la visite: dans des conditions climatiques similaires à ces dernières années, le lac pourrait déborder sur le glacier de Rochemelon au cours de l'été 2005, ou au plus tard en 2006. Cette situation pourrait engendrer une vidange plus ou moins rapide du lac.

Mais finalement, quelques jours après, sur la base de son rapport, *le LGGE alerte directement le Préfet sur l'imminence d'un risque de surverse voire de rupture du verrou glaciaire* et leurs conséquences possibles à l'aval et présente comme impérieux et urgent d'abaisser le niveau du lac d'au moins 5 m, pour retrouver les conditions théoriques de l'équilibre statique entre la poussée de l'eau et le poids de la glace au point le plus bas du verrou glaciaire.



Le 23 septembre, Directeur de Cabinet, Sous-préfet, DDPC, Protection Civile, RTM, Conseil Général-SRN, SDIS, LGGE, Cemagref et EDF se réunissent à la DDPC.

### **Les scientifiques exposent les scénarios possibles et leurs risques :**

#### **1<sup>er</sup> scénario : débordement par surverse :**

L'abaissement du verrou glaciaire entraîne le débordement du lac par surverse. L'eau, aux alentours de 1°C provoque la fusion de la glace sur son passage creusant ainsi un chenal de plus en plus profond appelé bédrière. Plus le chenal s'élargit et surtout s'approfondit et plus le débit devient important. Ce débit s'accélère de manière exponentielle jusqu'à atteindre environ 100 m<sup>3</sup>/s en fin de vidange du lac (valeur modélisée par le LGGE à partir d'une expérience soviétique à peu près similaire).

D'après le Cemagref, il n'y a pas de risque de lave torrentielle du fait de la longueur et de la faible pente de la vallée du Ribon, néanmoins l'écoulement serait fortement chargé (charriage).

#### **2<sup>e</sup> scénario : rupture du barrage glaciaire :**

Le glacier fait barrage aux eaux du lac à la manière d'un barrage poids. La fusion de la glace allège le dispositif. Eau et glace arrivant au même niveau, l'équilibre statique théorique entre elles n'est plus assuré et l'eau, de densité supérieure à celle de la glace, peut avoir tendance à s'infiltrer en dessous et provoquer le soulèvement du verrou glaciaire (qui n'est alors plus maintenu que sur les bords) et sa rupture. La vidange est alors « instantanée » et complète, entraînant une crue majeure du Ribon (4000 m<sup>3</sup>/s sur le glacier et 1000 m<sup>3</sup>/s à Bessans avec 30 à 45 minutes seulement de délai avant l'arrivée de l'onde de crue dans la vallée de l'Arc).

Afin d'éviter ces deux scénarios, la vidange contrôlée du lac est alors envisagée en deux étapes :

Dans l'immédiat, vidange d'urgence pour diminuer le niveau du lac d'au moins 5 m

Trois pistes sont évoquées à cette fin :

- approfondir progressivement jusqu'à - 5 m, l'exutoire naturel du lac dans la paroi rocheuse côté italien.
- creuser un chenal sur le fond rocheux pour évacuer l'eau côté français
- siphonner le lac, soit en alternative au creusement du col de Novalèse, soit en complément.

A plus long terme, sur la base d'études complémentaires, vidange complète et pérenne du lac.

**A l'issue de la réunion, une visite urgente est programmée pour étudier les solutions possibles sur site.**

### Visite du 30 septembre : études des solutions possibles :

Cette nouvelle visite s'attache à préciser la faisabilité des diverses solutions envisagées.

Directeur de Cabinet, Sous-préfet, Protection Civile, BEC, SAGE, ALPUG, ETNA, RTM, PGHM constatent l'urgence de la situation : **la revanche n'est plus que de 30 cm.**

Des schistes noirs sont présents dans la glace en couches.

Au fur et à mesure de la fonte du glacier les couches se rejoignent et forment un tapis presque continu.

En absorbant l'énergie solaire, cette couverture sombre accélère encore la fonte du verrou glaciaire. ►



Les investigations lors de cette visite portent sur les possibilités :

- d'abaissement de 5 m du col rocheux de Novalèse pour le déversement côté italien avec ou sans siphonnage
- de déversement côté français sur le glacier ou sur le rocher
- d'installation d'une station de télésurveillance pour le suivi en continu et depuis la vallée, du niveau du lac et de la température de l'eau.

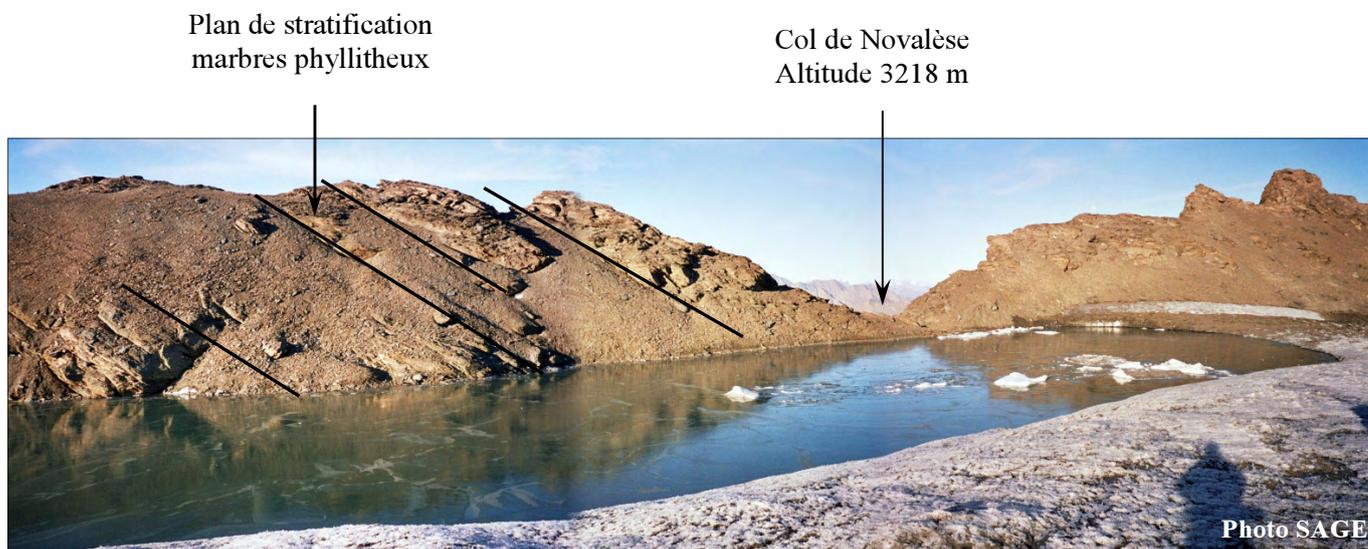


▲ Le col de Novalèse vu depuis la rive gauche : la rive droite est composée de schistes très fracturés.

▲ L'arête rocheuse. Noter l'autre lac en contrebas .

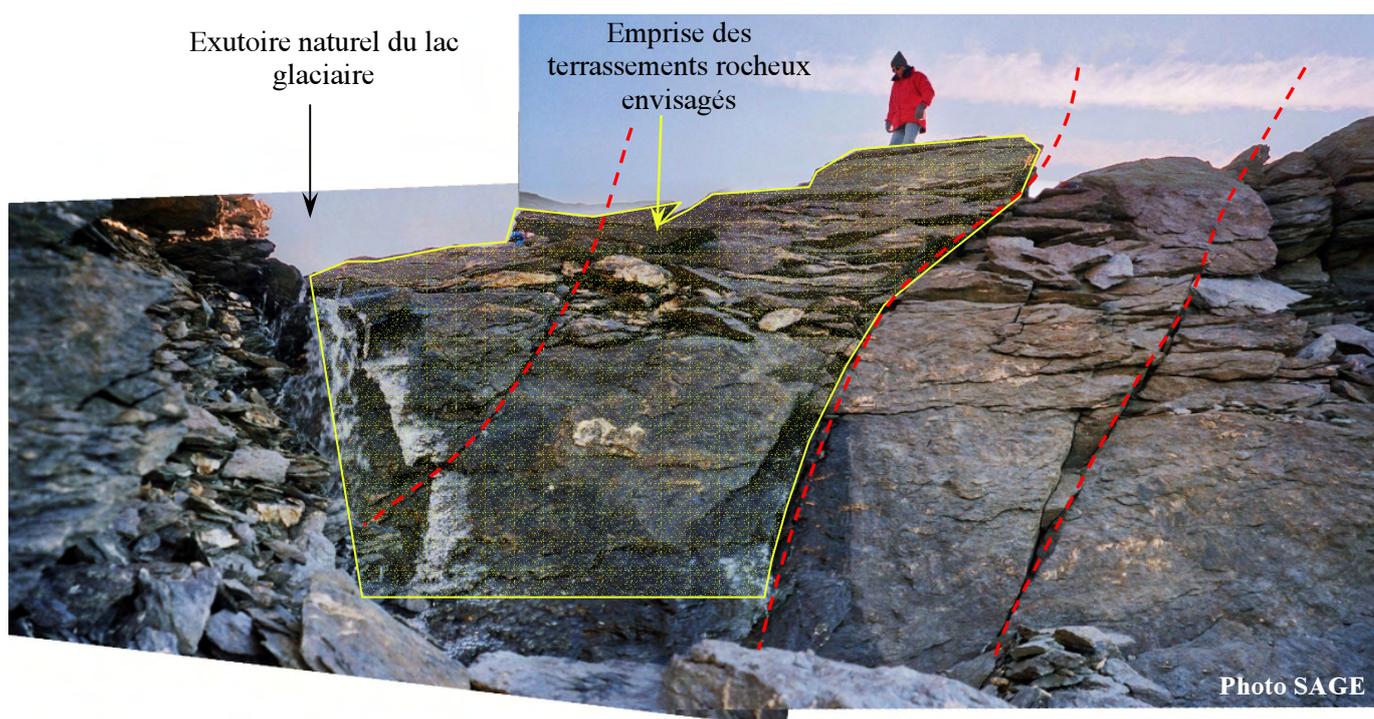
## Étude de la possibilité de déversement côté italien par abaissement du col de Novalèse :

Sollicité sur cette question, le bureau d'étude SAGE a réalisé une étude de faisabilité et proposé une méthode d'intervention compatible avec la géologie du site et avec un accroissement limité des débits côté italien pendant la durée des travaux.



L'arrête rocheuse sur laquelle se situe le col est constituée de marbres phylliteux. Sur la rive gauche du col, ces marbres sont disposés en bancs massifs généralement d'épaisseur métrique, tandis que sur la rive droite les bancs sont beaucoup moins épais et alternent avec des lits de calcschiste très fracturés. La rive droite est totalement disloquée et c'est pour cette raison que la rive gauche, plus massive et entièrement rocheuse, se prête mieux à un élargissement du col.

Le col de Novalèse forme un seuil rocheux à la cote 3218 m, dont la largeur varie entre 6 m (au droit du chenal principal) et 12 à 15 m en rive gauche à proximité immédiate du chenal principal.



### ***Principe des travaux de déroctage projetés par la SAGE pour abaisser de 5 m le col sur sa rive gauche***

Les terrassements seraient réalisés par microminages successifs de passes rocheuses d'épaisseur unitaire égale à 1m en moyenne, moitié à gauche, moitié à droite, alternativement et décalées de 50 cm afin de descendre le niveau du lac très progressivement en faisant varier celui-ci de 50 cm à chaque passe de minage.

En rive droite, le rocher étant plus fracturé, les terrassements seraient réalisés selon une pente à 45°. En rive gauche, la limite des terrassements serait arrêtée sur une faille bien visible.

Entre deux passes de minage successives, un prédécoupage latéral devrait être effectué soigneusement afin de garantir l'existence du seuil provisoire.

Le volume total de rocher à excaver serait de l'ordre de 650 m<sup>3</sup>.

Les délais de réalisation de ces travaux seraient de l'ordre d'un mois.

Dans ces conditions, en l'absence d'un abaissement préalable du lac par exemple par siphonnage qui permettrait de travailler à sec, cet abaissement par pas progressifs de 0.5 m permettrait de limiter le débit de surverse à 1 m<sup>3</sup>/s, sans risque torrentiel et a priori compatible avec la géologie détritique du versant italien.

### **▼ *Vue du seuil rocheux formant le col de Novalèse depuis la rive droite du col.***



### Conclusions de la journée du 30 septembre :

Les intervenants se retrouvent ensuite à Modane avec une délégation italienne pour avoir son avis sur l'option d'abaissement du col de Novalèse . A l'issue des discussions, les autorités italiennes opposent une fin de non recevoir à toute intervention sur le col, malgré la proposition de siphonner le lac en même temps côté français, de manière à dérocter le col à sec. D'où le repli sur une solution franco-française. C'est donc l'option siphonnage côté français qui est retenue pour l'intervention d'urgence 2004.

Compte tenu de l'imminence du débordement le RTM préconise alors la pose immédiate de sacs de sable et la mise en place en première urgence de tuyaux de janolène (diamètre 110 mm) pour commencer à siphonner sans attendre l'installation des tuyaux plus gros pressentis (diamètre 200 mm). De même, le RTM met alors en place un suivi de l'ablation au point le plus bas du verrou.

Parallèlement, et à partir de ce jour, le Préfet demande une surveillance continue du site (PGHM, CRS, 13°BCA) . Le RTM fournit dès lors régulièrement toute l'information sur l'avancement des opérations sur site à la Préfecture pour la gestion des relations de crise avec les élus et les média.



*Quelques mesures de bathymétrie et de température sont faites par le LGGE le 30 septembre 2004 à partir d'un canot pneumatique. La température du lac est de  $1 \pm 0.1$  °C, ce qui est assez élevé pour creuser très vite une importante bédrière en cas de surverse non contrôlée. ▲*

▼ *Vue du lac depuis la crête rocheuse le 30 septembre 2004.*



## Les premières mesures d'urgence :

Le **vendredi 1<sup>er</sup> octobre**, le Service RTM (conducteur de l'opération) et EDF (maître d'œuvre) se réunissent à Chambéry et lancent l'opération avec l'entreprise Hydrokarst, spécialisée dans les travaux subaquatiques, en milieu confiné et travaux sur corde pour la pose des siphons.

Le jour suivant, **samedi 2 octobre**, 130 sacs de 35 kg de sable chacun sont mis en place sur le col glaciaire pour former une digue visant à retarder le débordement (HELISAF, PGHM et hélicoptère de la gendarmerie, RTM, Hydrokarst, SDIS, DDE).

La fonte de la glace demeure en effet encore rapide avec un abaissement du col de 5.5 cm en 44h soit une ablation moyenne de glace de 3 cm/24h.

Le RTM demande donc à l'entreprise Hydrokarst de se préparer pour une mise en place des siphons provisoires dès le lundi 4 octobre, car la pose des siphons Ø 200, initialement prévue pour le vendredi 8 octobre, interviendrait certainement trop tard pour empêcher la surverse.

*Mise en place d'une première rangée de 47 sacs de sable à l'aide de l'Alouette III de la Protection Civile le samedi matin 2 octobre*



▲ *Fin de la mise place de 83 sacs de sable supplémentaires dans l'après-midi avec l'hélicoptère de la Gendarmerie.*

▲ *La rangée de sacs de sable permet de rehausser le niveau du verrou de 30 à 40 cm ce qui peut faire gagner les quelques jours nécessaires à la mise en place des premiers siphons avant débordement.*

Le dimanche 3 octobre, TF1 visite le site avec EDF et le Service RTM. L'urgence du siphonnage se confirme : **la revanche n'est plus que de 15-20 cm.**

## Installation et mise en marche des siphons :

Le **lundi 4 octobre** l'entreprise Hydrokarst s'installe sur le site avec l'aide d'HELISAF.

Le Service RTM installe un dispositif de détection de mouvement dans toutes les directions (x, y, z) du verrou glaciaire et réalise un levé topographique.

12 militaires du 13<sup>o</sup>BCA de Chambéry remplacent les CRS, pour assurer la liaison radio et donner l'alerte en cas de rupture de la digue glaciaire. Leurs consignes de sécurité portent sur l'implantation du campement, la surveillance de la digue à l'aide du niveau, et les signes avant coureurs d'une rupture...

**En même temps, à Lanslebourg, le Préfet tient une réunion officielle avec les élus de la vallée sur les mesures de sécurité et d'information à prendre vis-à-vis des populations concernées.**

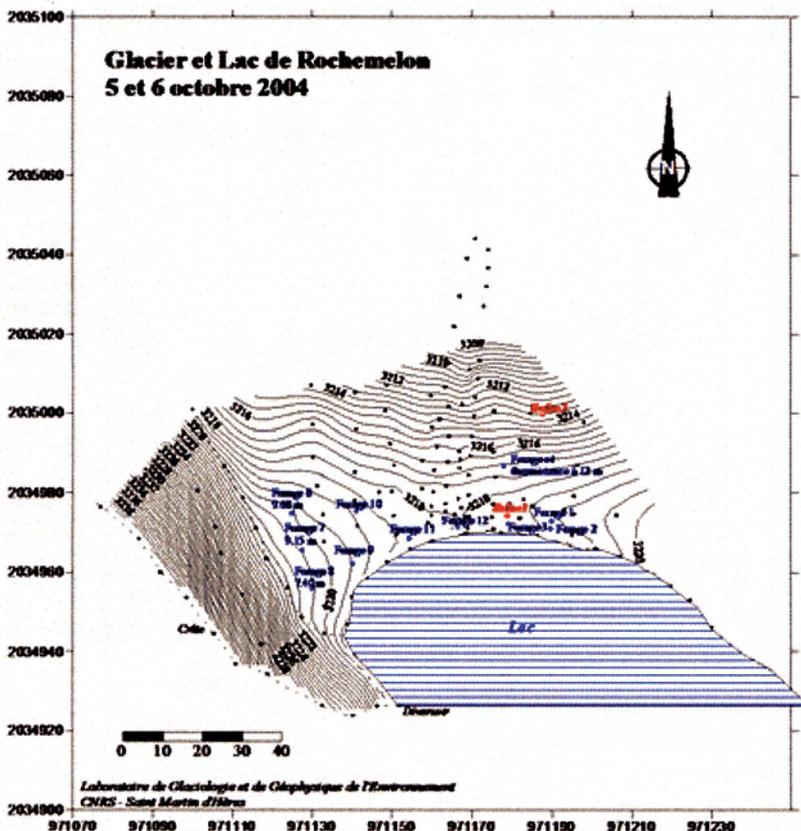
Le lendemain, **mardi 5 octobre** RTM, LGGE, EDF sont présents.

Le LGGE réalise des mesures complémentaires au point le plus bas du col glaciaire (épaisseur de la glace à la sonde à vapeur, position du socle rocheux par sondage sismique, température de la glace et de l'eau). Celles-ci permettent de conclure à une absence de sous-cavage sur au moins 12 m, au calage de la profondeur du substratum dans l'axe de surverse et à une présomption d'un glacier froid, donc, a priori, adhérent au rocher réduisant ainsi la crainte d'un écoulement sous glaciaire susceptible de provoquer la rupture du verrou par soulèvement.

Le suivi topographique de l'ablation par le Service RTM fourni un résultat de **3.6 cm/jour**.



▲ *Au premier plan, mise en place du matériel pour les mesures sismiques. A l'arrière plan, forage à la sonde à vapeur. Au total douze forages seront réalisés dont cinq au bord du lac.*



▲ *Localisation des forages à la sonde à vapeur sur le col glaciaire.*

Le même jour, RTM, EDF et Hydrokarst mettent en route le premier siphon (janolène Ø 110 mm) à 11h30.

Avec l'aide des militaires, un film blanc opaque est déroulé sur la glace de part et d'autre de la rangée de sacs de sable, pour réduire la fonte grâce à un meilleur albédo. Un fossé est également creusé à l'aval de la digue de sacs pour recueillir une éventuelle surverse et la dériver vers l'exutoire rocheux.

Le **mercredi 6 octobre**, Maire de Bessans, 13<sup>o</sup>BCA, RTM, Hydrokarst sont présents.

Le matériel topographique, qui avait été laissé sur le site une nuit de plus par mesure de sécurité, est récupéré.

Vers 17h trois janolènes supplémentaires (Ø 110) sont mis en action.

**Avant la mise en marche des premiers siphons il ne restait que 9 cm de revanche.**

Le **jeudi 7 octobre** le 13°BCA, qui veille jour et nuit sur le site, constate un abaissement de 10 cm du niveau du lac et le désamorçage du déversoir rocheux du col de Novalèse. **Le phénomène s'inverse enfin !**

Le lendemain, **vendredi 8 octobre** Hydrokarst, EDF et RTM, toujours avec l'appui d'HELISAF, préparent le premier siphon de diamètre 200 mm. Trois CRS relèvent les douze militaires. L'abaissement constaté est de de 32 cm à 11 h.

Le **samedi 9 octobre** Hydrokarst et EDF mettent en place la deuxième colonne de Ø 200.

Le jour suivant, **dimanche 10 octobre** à 16h30, les Ø 200 fonctionnent .

Les siphons provisoires ont à eux seuls fait baisser le niveau de 48 cm.



▲ *Les conditions météorologiques sont très défavorables; sans l'habileté du pilote les tuyaux Ø 200 auraient dû être portés à dos d'homme depuis le pied du verrou glaciaire.*

*Les tuyaux rouges sont les janolènes jouant le rôle de siphons provisoires posés en urgence alors que la revanche n'était plus que de 9 cm.* ▼ ►



◀ ▲ *Le niveau du lac a baissé, désamorçant le déversoir rocheux de Novalèse. Les tuyaux noirs (Ø 200) procurent l'essentiel du débit.*

Le **mardi 12 octobre**, RTM et PGHM présentent les travaux aux journalistes de TF1 et FR3.  
Les mesures du niveau indiquent une baisse de 1.18 m depuis le début de l'opération de siphonnage dont 70 cm depuis la mise en service des deux tuyaux Ø 200 mm.



▲ *Tout le dispositif fonctionne : le danger de surverse est momentanément écarté.*

Rejet des tuyaux Ø 200 mm au moment où le débit est maximal. L'eau continue ensuite sur le rocher et atteint le petit lac situé en contrebas qui finira par se remplir et se déverser successivement dans deux autres petits lacs au-delà desquels l'écoulement se perd sous le glacier ▼

*Mesure du niveau du lac à partir du col de Novalèse.* ▼



## Installation du relais au Mont Cenis :

Le *mercredi 13 octobre*, tout *risque immédiat paraissant écarté*, le *dispositif de surveillance permanente du lac est levé*.

Le *jeudi 14 octobre*, RTM et ALPUG, une société spécialisée dans les matériels de télésurveillance, installent un relais radio à proximité du barrage du Mont Cenis, en vue directe de l'arête rocheuse de Rochemelon et de la salle de contrôle EDF du barrage.

Il faut ensuite attendre la disponibilité des capteurs de pression et de température ainsi qu'un météo clémente pour aller installer la station de télémessure sur le site avec la société ALPUG et l'aide des pompiers plongeurs du SDIS de Chambéry.



▲ *Le relais du Mont Cenis, chargé de la liaison radio permanente entre la station de mesures installée au lac et le PC du barrage*

Le principal intérêt de cette station apparaît désormais pour le printemps et l'été suivant (après la période de gel hivernal pendant laquelle le risque disparaît), jusqu'à la fin des travaux de sécurisation .

*Ci dessous les deux armoires électroniques ALPUG installées au barrage du Mont Cenis. ▼*



Photo AlpUg



Photo AlpUg

### Visites de contrôle au lac de Rochemelon :

Le **vendredi 22 octobre**, Directeur de Cabinet, DDPC, EDF, RTM, CRS font une visite de contrôle avant la venue du Ministre de l'Agriculture prévue le lendemain. L'abaissement du lac mesuré est de 4.03 m. Une mesure de l'ablation donne une diminution de 18 cm de l'épaisseur du verrou glaciaire depuis le 12 octobre soit 1.8 cm/jour.

Le jour suivant, **samedi 23 octobre**, le Ministre de l'Agriculture visite le site en présence du Sous-préfet, de Mme le Conseiller Général, de la DDPC, du Service RTM, du maire de Bessans, du PGHM et du Dauphiné Libéré. On présente et apprécie la situation et les efforts accomplis dans l'urgence.

L'abaissement atteindra bientôt 5 m : les tuyaux ont rempli parfaitement leur rôle et la pose des janolène en urgence a permis d'éviter la catastrophe.



▲ De gauche à droite : Sous-préfet, DDPC, journaliste du Dauphiné Libéré, Maire de Bessans, Conseiller Général, Ministre de l'agriculture, CRS (photo RTM)

### ▼ L'Alouette III de la Protection Civile.



▲ Dépôt d'icebergs laissés par le retrait du lac au col de Novalèse.

◀ Le lac avec son niveau abaissé de 5 m.

## Installation de la station de télémétrie et fin de la crise :

Le **lundi 8 novembre** après avoir longtemps attendu des conditions météorologiques favorables, la station de télémétrie peut enfin être installée. Même à l'abri du vent le thermomètre indique  $-12^{\circ}\text{C}$  !

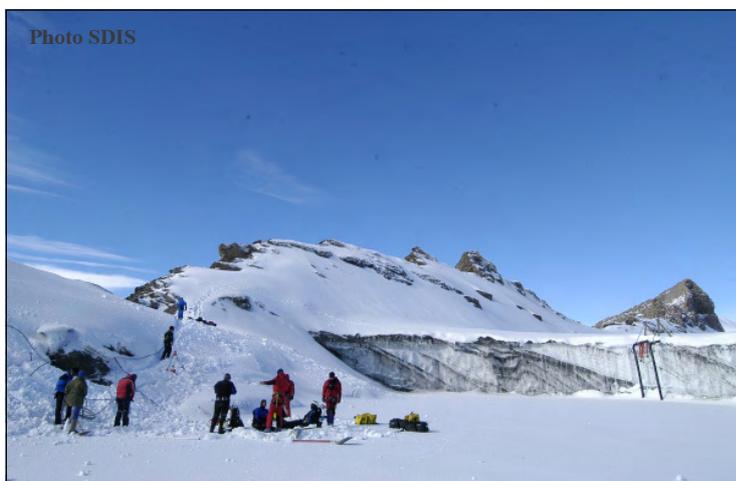
Les pompiers plongeurs du SDIS de Chambéry posent les capteurs sur le fond du lac (à moins 9 m et moins 17 m après percement de 80 cm de glace). ALPUG, RTM et PGHM installent la station de télémétrie près du col de Novalèse.

Les siphons se sont désamorcés naturellement. L'abaissement du lac est de 5.7 m, soit 250.000 m<sup>3</sup> vidés sur les 650.000 m<sup>3</sup> estimés.

La télésurveillance est activée et permet de donner l'alerte en cas de situation anormale.



## **La crise de 2004 est terminée.**



### **▼ Installation de la station de télémétrie et pose des capteurs par plongée sous glace par les pompiers du SDIS ▲**



## Bilan de l'opération 2004:

### Quelques remarques techniques :

La rapidité de la fonte de la digue glaciaire a surpris tous les observateurs, comme si l'on avait raisonné de manière linéaire devant un phénomène plutôt exponentiel en géométrie résiduelle sinon en volume d'ablation.

Côté opérationnel, les sacs de sable se sont avérés trop lourds à manipuler à 3200 m d'altitude, et avec le regel qui les soude à la glace, ils ne sont plus déplaçables. Par contre, ils offraient un réel délai supplémentaire contre l'engorgement redouté d'une vidange incontrôlée.

Il faut d'autre part remarquer l'efficacité et la simplicité des siphons provisoires constitués des tuyaux de janolène Ø 110mm.

En parallèle, l'installation de siphons de plus gros diamètre dans les conditions de ce chantier a nécessité le développement de certains savoir-faire que les seules théories de l'hydraulique ne permettaient pas d'anticiper.

Sur le plan télésurveillance, la complexité de mettre en place une liaison radio, en l'absence de réseau téléphonique, a pu être surmontée avec une fiabilité suffisante, ce qui renforce l'intérêt de ces systèmes.

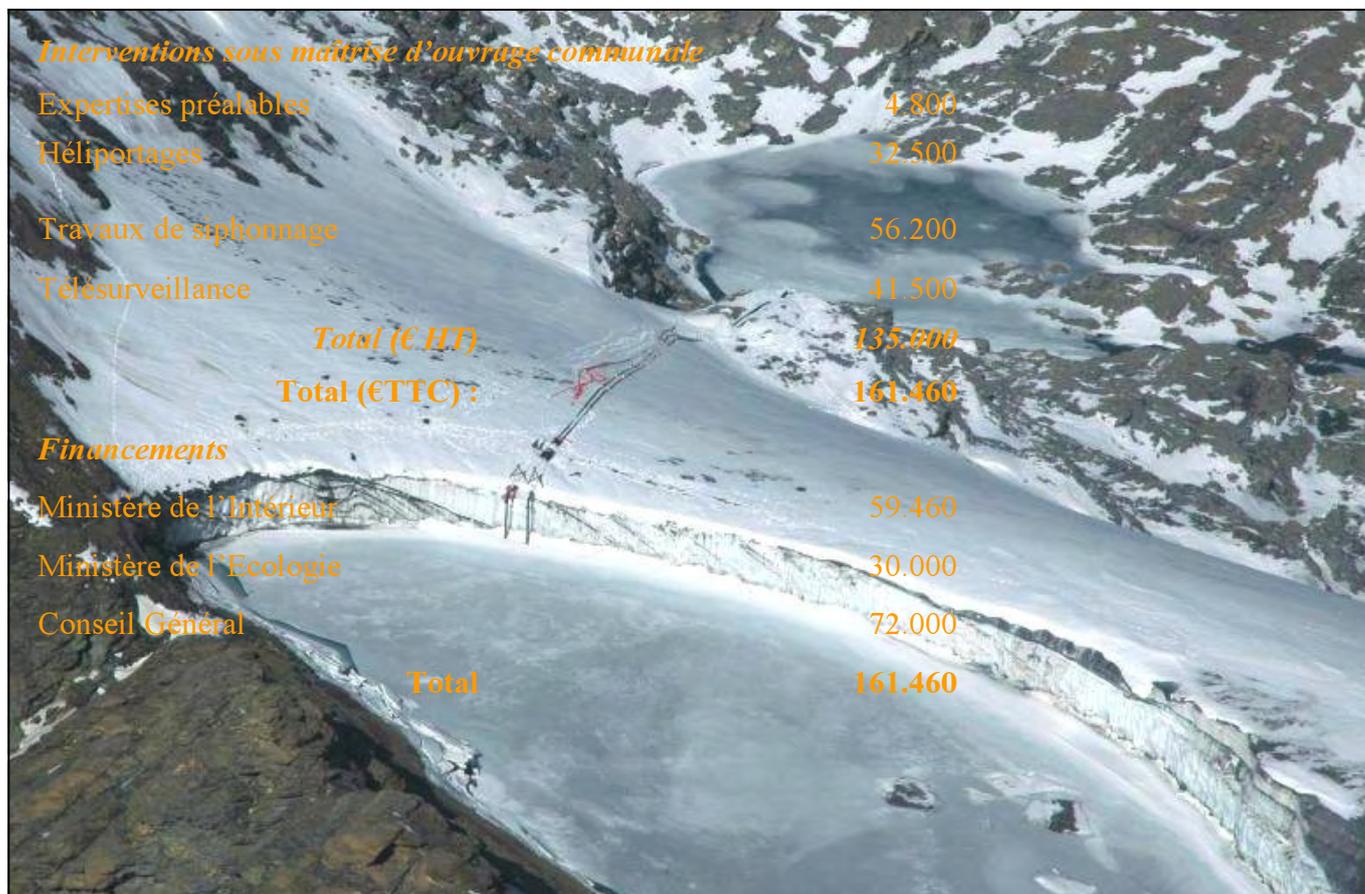
Enfin, si à quelques exceptions près, la météo s'est montée globalement favorable, il faut souligner que seulement 2 ou 3 jours de retard auraient pu engager le début de scénarios aux conséquences potentiellement graves voire catastrophiques.

### Conclusion générale :

**Malgré ses imperfections, le programme Glaciorisk a montré tout l'intérêt d'une anticipation sur le phénomène observé. Il reste à construire un lien plus direct entre les études descriptives et prospectives et la gestion opérationnelle.**

**Outre la gestion des relations avec les services techniques engagés, avec les ministères, les élus et les médias assurée pendant toute la crise par la Préfecture, il convient de souligner combien Armée, Gendarmes du PGHM, Équipes hélicoptères de Gendarmerie, de Protection Civile et de HELISAF, CRS, Secouristes, Pompiers Montagne, SDIS, Plongeurs, DDE, EDF, Cemagref, LGGE, Hydrokarst et RTM ont collaboré étroitement et intensément. Tous les intervenants se sont fortement engagés dans cette course contre la montre et ont contribué à la réussite de l'opération dont la reconnaissance leur revient, car derrière ces quelques lignes s'est en fait déroulé une intense coordination et implication des différents intervenants pour atteindre l'objectif d'urgence imposé.**

### Dépenses financées en 2004 sur l'intervention d'urgence



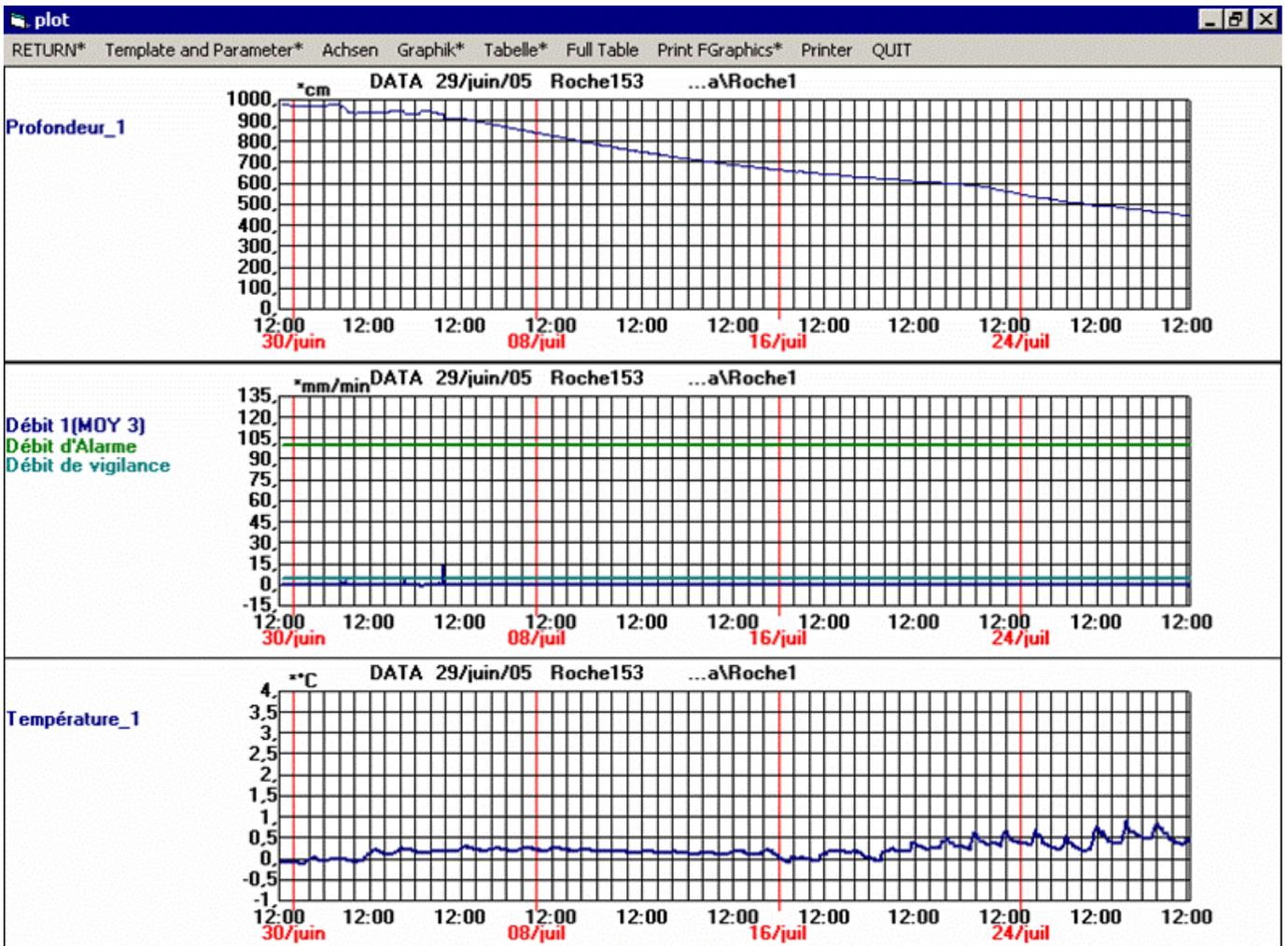
<i>Interventions sous maîtrise d'ouvrage communale</i>	
Expertises préalables	4.800
Hélicoptages	32.500
Travaux de siphonnage	56.200
Télésurveillance	41.500
<b>Total (€ HT)</b>	<b>135.000</b>
<b>Total (€TTC) :</b>	<b>161.460</b>
<i>Financements</i>	
Ministère de l'Intérieur	59.460
Ministère de l'Ecologie	30.000
Conseil Général	72.000
<b>Total</b>	<b>161.460</b>

## Fonctionnement de la station de télésurveillance et dispositif d'alerte :

Les deux capteurs sont situés respectivement à - 9 m et - 17 m sous le niveau du col de Novalèse. Chacun mesure la température et la pression dans le lac. Leurs données sont transmises au barrage du Mont Cenis par l'intermédiaire du relais. Elles sont stockées sur ordinateur et consultables à distance via un modem (matériel mis à disposition par le Conseil Général). Elles permettent de suivre l'évolution du niveau et de la température du lac. Les barragistes d'EDF présents 24h/24h assurent la veille et le relais avec les autorités si nécessaire. Le RTM assure par minitel l'analyse régulière des mesures pour le compte du Préfet.

Le niveau de vigilance de la station est fixé à une diminution de 25 cm/h du niveau du lac soit un écoulement d'environ 3 m<sup>3</sup>/s. Un tel débit pourrait correspondre à un début d'écoulement sous glaciaire déjà significatif préfigurant un accroissement plus conséquent à terme, dont il serait nécessaire de s'inquiéter, mais sans que cela relève de l'urgence immédiate. Les barragistes ont alors mission de prévenir le RTM.

Le niveau d'alerte correspond à une diminution du niveau du lac de 10 cm/mn soit un écoulement de 80 m<sup>3</sup>/s. Ce débit préfigure une rupture en cours et implique des mesures d'urgence immédiate au niveau des enjeux urbanisés à l'aval. L'alerte aux autorités se fait alors automatiquement (8 numéros de téléphone possibles). Heureusement, mis à part un certain nombre de manipulations informatiques destinées à bien caler les mesures, aucune alerte (ni fausse alerte) ne s'est produite entre fin 2004 et la mise en route des travaux en 2005.



▲ Résultats sur 30 jours de la station de télésurveillance du 29 juillet 2005 (capteur 1 situé à - 9 m).

Le premier graphique donne les mesures de profondeur du capteur : le niveau du lac descend car les travaux de siphonnage ont commencé.

Le deuxième graphique donne le débit de vidange du lac : on peut observer des augmentations brusques mais temporaires entre le 30 juin et le 08 juillet qu'il faut attribuer à des mouvements de la glace dans laquelle sont pris les capteurs (la fonte provoque la création et le déplacement d'icebergs).

Le dernier graphique permet de suivre l'évolution de la température du lac : celui-ci a tendance à se réchauffer.

## L'opération 2005

### Objectifs :

L'intervention de 2004 a permis de retrouver une sécurité suffisante mais provisoire. L'objectif pour 2005 était donc d'éliminer complètement le risque. Pour cela, le choix s'est porté sur la vidange aussi complète que possible du lac, en recherchant le maintien d'un exutoire permanent le plus près du fond du lac.

### Réflexions :

Diverses réflexions ont été engagées pendant l'hiver entre le Laboratoire de Glaciologie de Grenoble (LGGE) à titre d'expert, EDF assistant du maître d'œuvre et coordonnateur sécurité, et le Service RTM maître d'œuvre pour définir la meilleure solution technique à mettre en œuvre (rapport efficacité / coût). Devant le refus des autorités italiennes à l'abaissement du verrou rocheux, la vidange devait obligatoirement se faire du côté français, avec le souci de toujours maîtriser le débit de sortie tant qu'il y aurait des craintes sur les conséquences d'un emballement de la vidange. Or, compte tenu des modélisations des glaciologues, à partir d'un volume résiduel inférieur à 100.000 m<sup>3</sup>, ce risque n'était plus à craindre. D'après la bathymétrie disponible, ce volume correspondait à un abaissement d'environ 15 m du niveau du lac sous le col rocheux de Novalèse.

### *Trois solutions étaient envisageables pour vider le lac :*

- Le pompage, très cher (mise en place des pompes, incidence de l'altitude sur leur rendement, coût du transport de combustible...)
- Le siphonnage, économique mais limité à un abaissement par passes de 5 ou 6 m, du fait de l'altitude. En effet, à 3200m, la pression atmosphérique n'est plus que d'environ 0.7 bar et la colonne d'eau qu'un siphon peut en théorie aspirer sans se désamorcer n'est plus que de 7 m contre 10 m au niveau de la mer où la pression atmosphérique standard est de 1.013 bar ce qui correspond à une colonne d'eau de 10 m. A cette remarque s'ajoutent toutes les pertes de charges inhérentes aux techniques mises en œuvre : les frottements dans les tuyaux, l'incidence des coudes, ...qui réduisent encore les performances théoriques.
- Le débordement du lac sur le glacier, gratuit mais potentiellement dangereux

### *Les réflexions ont finalement conduit, en cherchant à utiliser au mieux l'énergie solaire, gratuite, à définir une solution de base en trois étapes:*

1/ le creusement d'un chenal découpant la digue glaciaire jusqu'à retrouver le niveau du lac, en provoquant localement une fonte accélérée à l'aide d'un corps noir type bâche agricole, ou, en cas de mauvais rendement de cette bâche, en créant une tranchée de 40cm de large avec de l'eau chaude, pompée dans le lac puis chauffée à 20°C.

2/ l'ouverture du chenal à l'écoulement du lac, après avoir installé en amont un batardeau contrôlant le débit d'entrée, et en sortie, une succession de 6 seuils à déversoir réglable en hauteur pour contrôler la ligne d'eau, l'ensemble visant à éviter tout risque d'emballement.

3/ la libération de l'écoulement dès que le volume résiduel devient sans risque, et en parallèle, l'agrandissement du chenal par la fonte accélérée des berges à l'aide des bâches noires.

Mais beaucoup d'interrogations se sont posées sur la manière d'optimiser les techniques à utiliser, sur leurs rendements énergétiques et les conditions de reprise des travaux à l'été 2005, compte-tenu notamment de la hauteur de neige encore présente au printemps. Les 5 paragraphes qui suivent, développent les principales d'entre elles.

### 1/ Débordement sur le glacier :

Pour l'obtenir, il était bien sûr impensable d'attendre un nouveau remplissage naturel du lac qui aurait recréé la situation de fin 2004. Il fallait donc d'abord cisailer le verrou glaciaire jusqu'à retrouver le niveau de l'eau. Mais la libération de l'écoulement dans la tranchée ainsi créée ne paraissait envisageable qu'avec de l'eau suffisamment froide (pour éviter un emballement incontrôlable du débit de vidange dans une bédrière qui se creuserait beaucoup trop vite), c'est-à-dire au printemps, alors que la surface du lac est encore gelée et donc que l'eau n'a pas commencé à se réchauffer significativement en absorbant les rayonnements solaire et atmosphérique.

Selon les premiers calculs thermodynamiques, un débordement d'eau à + 0.1 °C, donc froide, ne pourrait en effet avec le volume actuellement estimé du lac, creuser qu'un chenal de 80 m de long, 20 m de profondeur et 0.5 m de large dans lequel le débit maximal de vidange ne devrait pas excéder quelques m<sup>3</sup> par seconde. Des calculs plus affinés faisaient même craindre qu'à cette température l'écoulement ne s'arrête de lui-même, d'où aussi la nécessité d'une pente suffisante pour que le phénomène s'auto-entretienne.

### 2/ Creusement du chenal de vidange :

Pour le creusement rapide d'un chenal amorçant la vidange du lac, l'énergie la moins chère sur site s'avérait être le gaz naturel pour chauffer l'eau servant à fondre la glace. Le creusement d'un sillon de 50 m x 5 m x 0.05 m à l'aide d'une pompe puisant l'eau dans le lac, d'un chauffe-eau à gaz et de tuyaux poreux placés sur le glacier, aurait par exemple et en théorie, nécessité une dizaine de bouteilles ménagères de propane.

### 3/ Siphonnage du lac en continu :

Ne maîtrisant pas la météo, et pour ne pas risquer de voir le lac déborder prématurément dans la tranchée en cours de réalisation, il s'avérait nécessaire de réutiliser les siphons de 2004, pour maintenir un niveau du lac toujours inférieur au fonds de la tranchée tant qu'on le jugerait nécessaire. En effet, avec les précipitations hivernales, le niveau du lac devrait déjà être remonté de  $1 \pm 0.5$  m avant le début de la fonte, donc se situer à  $4 \pm 0.5$  m au dessous du col glaciaire, et sauf intervention, il devrait ensuite remonter très vite avec la fonte et les orages d'été. Le siphonnage devrait donc reprendre dès que les tuyaux de 2004 seraient accessibles, cette accessibilité pouvant être obtenue plus rapidement en accélérant la fonte de la neige à l'aide des bâches noires.

Ces mêmes bâches, en les arrosant d'eau chaude avec un débit bien ajusté, pourraient peut-être aussi servir à enfoncer progressivement les siphons dans la glace, à la vitesse où ils abaissent le niveau du lac, évitant ainsi tout désamorçage.



▲ 20 mai 2005: reconnaissance officielle avant le début des travaux (entre deux CRS: Commune, Préfet, DDPC, Sous-Préfet, RTM). Une importante couche de neige (5m en crête de berge) recouvre le matériel laissé en place en 2004. Le niveau du lac n'est pas encore remonté car la fonte n'a pas commencé.

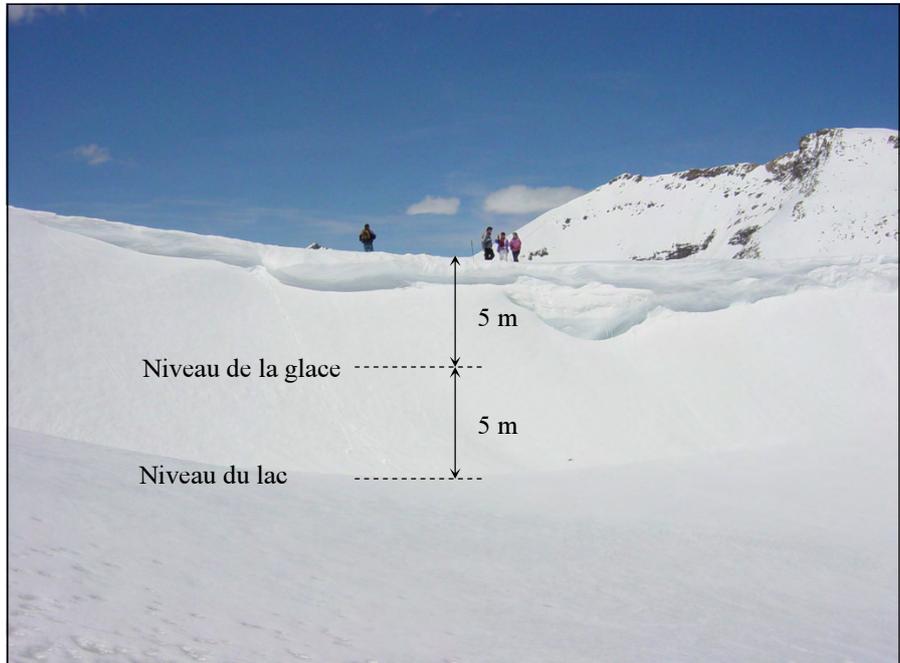
#### 4/ Choix du moyen à utiliser pour détruire la glace.

La question se posait aussi bien pour creuser un chenal et provoquer le débordement du lac que pour simplement détruire la digue de glace. Or les explosifs brisants sont a priori jugés peu efficaces dans la glace, car les éclats provoqués par l'explosion ont tendance à se ressouder très rapidement. Le découpage des blocs de glace à la scie à chaîne de bûcheron présente normalement un bon rendement mais pose ici le problème de l'excavation des blocs découpés. Par contre la fusion de la glace ne présente pas cet inconvénient.

Pour détruire la digue de glace, l'énergie solaire est de loin la moins onéreuse, sauf en temps. D'après la climatologie locale, elle permettrait de fondre 2.75 m de glace en avril ou août et 3.2 m en juin et juillet. Entre les deux équinoxes l'énergie solaire pourrait apporter, au maximum, de quoi fondre 16 à 18 m de glace. Cependant la nébulosité peut diminuer fortement le flux d'énergie, donc cette efficacité.

Des bâches noires posées sur le glacier devaient permettre, en modifiant l'albédo de la surface, de transmettre l'essentiel de l'énergie solaire à la glace.

**20 mai 2005: Le verrou glaciaire avec une surépaisseur de 5 m de neige accumulée dans l'hiver.** ►



#### 5/ Sécurité définitive du site :

Une fois le lac vide, il faudrait aussi s'assurer que le lac ne se recrée plus, ou du moins pas de manière aussi conséquente. L'idée est donc d'élargir à 30 m le chenal de vidange contrôlée réalisé pour la remise en service des siphons. Dans ces conditions, il devient alors très vraisemblable qu'à la fonte du printemps puis d'été, les eaux recréent le chenal de vidange, puisque dès la fin juillet, la neige a généralement quasiment disparu du glacier. L'utilisation de bâches noires était censée accélérer la fonte et permettre ainsi l'élargissement souhaité du chenal.

-----

#### **Estimation de l'opération et financement**

L'opération est estimée à 200.000 €HT, y compris les expertises complémentaires, la Coordination Sécurité et la Maîtrise d'Œuvre.

Les cofinancements prévus seront répartis entre Ministère de l'Ecologie, Conseil Régional et Conseil Général.

#### **Choix de l'entreprise chargée des travaux de vidange :**

La procédure mise en œuvre pour la consultation des entreprises a été l'appel d'offres restreint. La phase de sélection des candidatures aboutit à retenir quatre entreprises invitées à une visite du site glaciaire le 17 mars 2005. Seulement deux d'entre elles présentèrent une offre.

Devant les trop grandes inconnues des composantes de l'option de base laissées à la sagacité des entreprises, aucune de celles ayant répondu n'a tenu à s'engager sur cette option, et chaque entreprise a proposé sa variante.

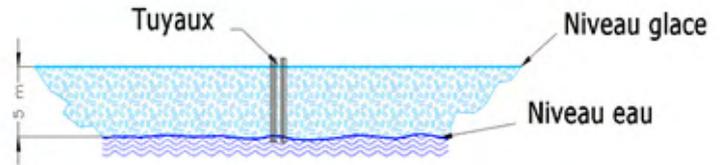
L'analyse des offres s'est appuyée sur les critères suivants :

- valeur technique de l'offre
- délai proposé
- prix des prestations

Finalement, c'est l'entreprise Hydrokarst avec la Société HELISAF qui a été retenue, son expérience de 2004 lui ayant visiblement permis de mieux intégrer les difficultés particulières liées aux conditions de ce chantier et par là de présenter le dossier le plus performant, au vu des incertitudes inhérentes à un chantier de cette nature.

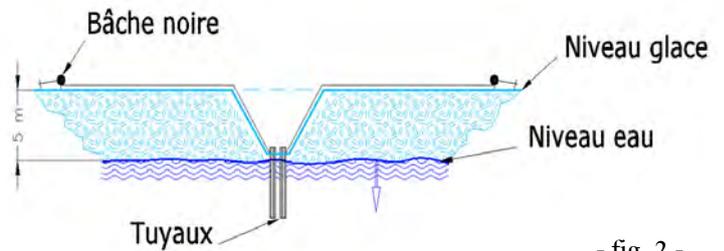
## Déroulement des travaux initialement prévu avec l'entreprise

1/ La première étape consiste à installer le chantier avec une base vie, à signaler et délimiter les travaux, puis à retrouver les siphons de 2004 après avoir évacué la neige qui les recouvre (fig. 1).



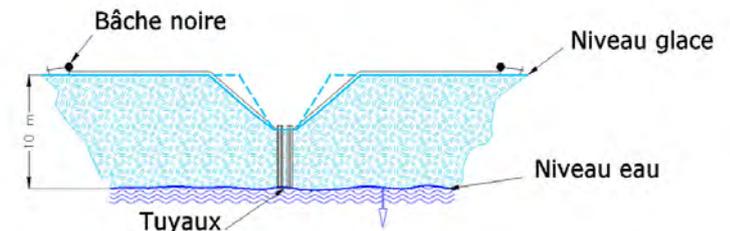
- fig. 1 -

2/ Ensuite l'entreprise crée une tranchée de 6 m de profondeur pour retrouver le niveau du lac (tronçonnage, piochage, minage et/ou fusion à l'eau chaude). Après avoir descendu les siphons utilisés en 2004 dans cette tranchée, en même temps que 100m<sup>2</sup> de bâche noire, le siphonnage est relancé (fig. 2).



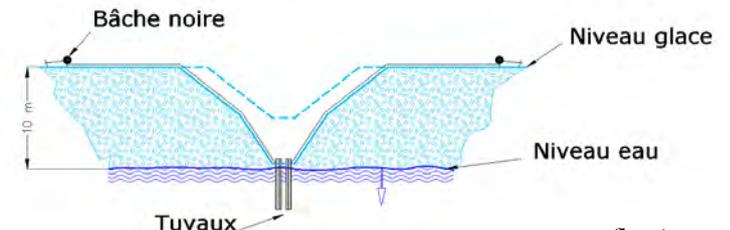
- fig. 2 -

3/ Le niveau du lac peut ainsi être à nouveau abaissé d'au moins 5 m. La côte du lac par rapport au sommet du verrou glaciaire atteint alors -10 m minimum (fig. 3).



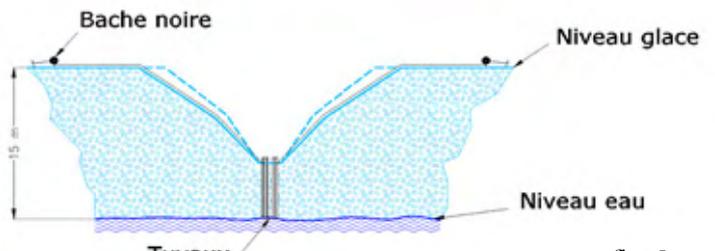
- fig. 3 -

4/ L'entreprise abaisse à nouveau les siphons de 5m en approfondissant la tranchée à l'aide d'eau chaude et des bâches noires placées sous les conduites pour favoriser leur enfoncement jusqu'à la côte -10 m (fig. 4).



- fig. 4 -

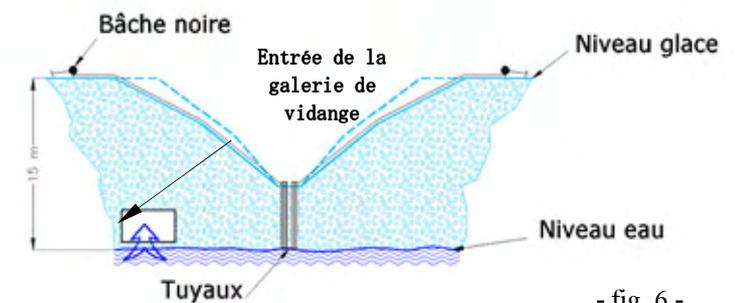
5/ Les siphons sont ensuite remis en action et le niveau du lac redescend de 5 m. L'abaissement du niveau du lac par rapport au verrou glaciaire est alors de -15 m (fig.5).



- fig. 5 -

Dans la pratique, et pour gagner du temps, l'abaissement des siphons et du niveau du lac, de sa côte -5 m actuelle à -15 m, est réalisé en continu.

6/ En parallèle, la bathymétrie du lac est complétée aux deux tiers amont manquants, de manière à pouvoir évaluer avec une précision suffisante le niveau à partir duquel le volume résiduel devient inférieur à 100.000m<sup>3</sup>. C'est le seuil pour lequel une surverse non contrôlée dans la tranchée ne présente plus de risque pour l'aval. La bathymétrie disponible début juin, mais incomplète, laisse présager ce seuil vers la côte de -15m.



- fig. 6 -

Si la bathymétrie conclut à un volume inférieur à ce seuil avant d'atteindre la côte -15 m, alors on provoque la surverse dans la tranchée de siphonnage en poursuivant l'abaissement des siphons jusqu'au niveau du lac.

Dans le cas contraire, la poursuite de l'abaissement des siphons devenant trop problématique, la surverse est provoquée non plus dans la tranchée de siphonnage, mais dans une galerie creusée de l'aval vers l'amont dans l'axe du verrou glaciaire et arrivant juste au-dessus du niveau du lac (fig. 6).

La surverse entraîne alors la création d'une bédrière jusqu'à vidange complète du lac, sans que la charge hydraulique restante soit en mesure de provoquer de débit inquiétant pour l'aval (maximum de l'ordre de 20m<sup>3</sup>/s en sortie de glacier selon la modélisation simplifiée fournie par le LGGE dans son rapport du 17 septembre 2004).

7/ Parallèlement à la vidange, par siphonnage puis surverse, de nouvelles bâches noires sont installées de part et d'autre de la tranchée, sur une largeur d'environ 15m de chaque côté, en vue d'ouvrir par fusion le verrou glaciaire sur une largeur de près de 30m sur toute sa hauteur (3000 m<sup>2</sup> au total). Une telle ouverture devrait être la garantie de la non reconstitution du lac sur le long terme.

8/ A l'issue de ces travaux, pour lesquels le délai indiqué par Hydrokarst est inférieur à 2 mois, sont prévues des journées de maintenance, pour l'entretien des bâches noires jusqu'à obtention complet de l'effet attendu, ainsi que la remise en état du site (nettoyage et repli de tout le matériel de chantier).

-----



◀▼▼ Site de départ pour l'itinéraire pédestre et pour l'acheminement des personnels et du matériel par hélicoptère (DZ).

▲ Ci-dessus, hameau de l'Arcelle (vue vers l'aval de la vallée du Ribon)

▶ A droite, vue sur le fond amont de la vallée avec la barre rocheuse et le col au sommet duquel vient mourir le glacier



◀ Préparation du Lama d'HELISAF pour les rotations du lundi matin.

## Travaux de vidange artificielle du lac glaciaire de Rochemelon

### Détail estimatif du coût des travaux

N° de prix	Nature des travaux	Unités, Quantités		Prix Unitaire (en € HT)	Montant (en € HT)
<b>Tranche ferme</b>					
1	Installation du chantier	F	1	12380.00	12 380.00
2	Tranchée et siphonnage <i>Réalisation d'une tranchée de 6 m par tronçonnage, piochage, eau chaude... Mise en action des siphons (après mise en place des bâches). Enfoncement des conduites jusqu'à -10 m par action des bâches, et/ou eau chaude</i>	F	1	27570.00	27 570.00
3	Bâche 1 <i>Mise en place de 4 unités de bâche de 100 m sous les conduites Ø 200</i>	m2	400	18.90	7 560.00
4	Bâche 2 <i>Mise en place de 2880 m2 de bâche de même nature que les 400 m2 pour fonte définitive du verrou glaciaire du glacier de Rochemelon</i>	m2	2880	15.70	45 216.00
5	Complément station télésurveillance	F	1	790.00	790.00
<b>Total HT tranche ferme</b>					<b>93 516.00</b>
<b>Tranches conditionnelles</b>					
6	Galerie <i>Réalisation d'une galerie de 2 m x 1.50 m avec un système de batardeau côté amont si nécessité de contrôler le débit d'entrée</i>	F	1	30855.00	30 855.00
7	Héliportages spécifiques à la maîtrise main d'œuvre (8)	mn	440	21.50	9 460.00
8	Repli du chantier (sauf bâches de fonte du verrou glaciaire)	F	1	4920.00	4 920.00
9	Intervention (équipe de 2, pendant 10 jours)	J	10	1100.00	11 000.00
<b>Total HT tranches conditionnelles</b>					<b>56 235.00</b>
<b>Total HT</b>					<b>149 751.00</b>
<b>TVA</b>				19.60%	<b>29 351.20</b>
<b>TTC</b>					<b>179 102.20</b>

**Estimation de l'ensemble des dépenses prévues sur 2005 : 200.000 €HT**  
 (télésurveillance, études, maîtrise d'œuvre, coordination sécurité, travaux, divers)

## La réalisation effective des travaux :

**Le 20 juin 2005**, l'entreprise procède avec HELISAF à l'installation de chantier, dont deux bungalows, cinq tentes, un sanitaire et un ponton avec pompe. Elle délimite le chantier (rubalise, signalisation, ...) et installe une bâche noire à l'emplacement des siphons de 2004 pour fondre les 4 m de neige qui les recouvrent.

Par souci d'économie, les acheminements du personnel et du matériel par hélicoptère sont réalisés depuis le fond de la vallée du Ribon (et non depuis l'entrée du village de Bessans comme en 2004 dans un contexte très différent). De même, pour limiter le volume de glace à débiter, l'axe de la tranchée à creuser est implanté au point le plus bas du verrou glaciaire.



▲ *Le campement au bord du col glaciaire et l'hélicoptage des tuyaux Ø 200 pris à l'arrivée aval du conduit et ramenés au bord du lac pour remplacer les éléments amont détruits suite à la déformation imposée par la charge de neige durant l'hiver.*

Fin octobre 2004, au point le plus faible du verrou glaciaire, la revanche était de 5.7 m. Le 20 juin 2005, elle est de 4.7 m, avec une remontée du niveau du lac de 5.6 cm/jour en moyenne depuis fin mai.

L'entreprise est alors chargée de vérifier le niveau du lac quotidiennement et d'organiser ses terrassements de la tranchée de manière à toujours conserver une revanche d'au moins 0.5 m entre le niveau du lac et le fond de la tranchée. Elle doit également vérifier le plus rapidement possible l'état des tuyaux Ø 200 mm.

Les mesures topographiques réalisées sur le site par le RTM lors des visites hebdomadaires, sont comparées aux mesures fournies en continu par les deux capteurs de la station de télésurveillance.

*Mesures topographiques assurées par le RTM pour le suivi de l'abaissement du niveau du lac; le col de Novalèse, base de la mire sur cette photo, sert de point de calage. ▼*



**Le 4 juillet**, la surface du lac est à 1.65 m sous l'exutoire côté italien. La remontée du plan d'eau devient donc plus rapide (20cm par jour, en moyenne, mais près de 30 cm pour les derniers jours les plus chauds). Depuis octobre 2004 le niveau est remonté de 3.78 m.

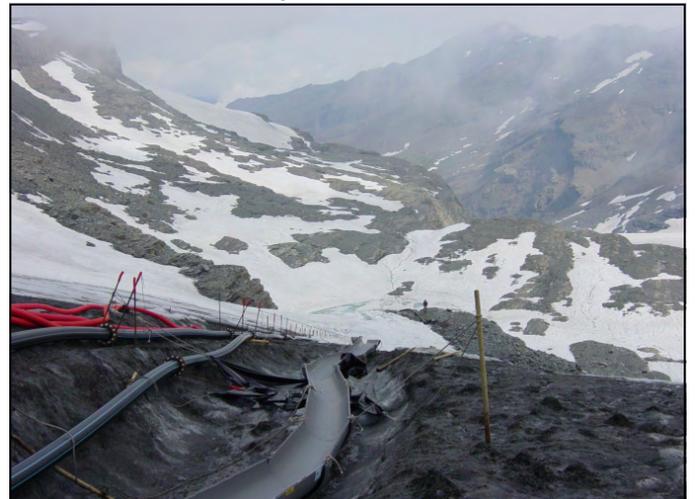


▼► *Le lac le 4 juillet 2005*



**Le 5 juillet au matin**, les siphons Ø 200 sont remis en action. La revanche imposée à l'entreprise est désormais d'au moins 1 m entre le niveau du lac et le fond de la tranchée. Il s'agit en effet d'avoir une marge suffisante en cas d'arrêt des siphons, notamment pendant les deux jours d'arrêt de chantier en fin de semaine.

▼ *L'installation des siphons et de la goulotte PVC pour évacuer les débris de glace*



**Le 11 juillet** le niveau du lac a nettement rebaisé : il est de 3.33 m sous le déversoir italien.

Du fait des mauvaises conditions météo, la surface du lac est encore gelée et encombrée d'icebergs (*photos ci-dessous*) ce qui conduit à reporter les mesures de bathymétrie. De plus ces icebergs rendent plus délicate l'installation des têtes des siphons, qu'ils obligent à repositionner régulièrement. La cadence du chantier en est retardée

#### Galerie sous glaciaire en option au marché

Deux guides de haute montagne, spécialistes de ce type de creusement, ont examiné ce jour-là le site dans l'hypothèse où cette option serait retenue. Ils estiment à 5ml/jour leur vitesse de progression pour une galerie de 2,2m par 1,5m. A la cote -15m, la longueur de glace à traverser est de 57m, soit 12 jours de travail si tout se passe bien.



## Méthodes et résultats :

Pour creuser la tranchée, Hydrokarst emploie le minage avec forage de trous de 80 cm à un mètre de profondeur et des charges de dynamite de 500g. Les trous étaient initialement prévus de 1.50m, mais au-delà de 80 cm les forêts sont pris par le regel de l'eau issue de la foration. Les déblais sont évacués dans une goulotte en PVC à l'aide d'un jet d'eau pompée dans le lac. Le rendement estimé d'après les mesures de la tranchée réalisée le 4 juillet est de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/jour.

L'objectif étant de descendre la tranchée à mesure que le siphonnage abaisse le niveau du lac mais sans risquer une surverse prématurée due par exemple à une remontée excessive du niveau du lac (orage, arrêt prolongé des siphons le week-end...), un verrou de sécurité d'environ 2m de haut au-dessus du niveau du lac et de 2m de long est maintenu à l'amont de la tranchée dont il suit l'enfoncement. La destruction de ce verrou est reportée pour la phase à laquelle la surverse sera jugée ne plus susciter d'inquiétude.

▼ **Creusement du chenal : les trous de mine sont réalisés au perforateur; ensuite, après explosion de la charge, les déblais sont extraits par des griffes puis évacués dans des demi-buses de PVC à l'aide d'un jet d'eau pompée dans le lac.**



◀ **Réalisation des trous de mine dans le verrou de sécurité amont de tranchée, et explosion de la charge** ▼



▼ **Mise en route de la pompe sur le lac**



▼ **Evacuation des débris de glace dans la goulotte**



Les premiers résultats fournis par les bâches noires apparaissent peu convaincants : il semble plutôt qu'elles ralentissent la fonte due au rayonnement solaire direct. La preuve en est donnée par le relief qui reste convexe sous la bâche, par rapport à la glace à proximité immédiate. Il est encore difficile de conclure sur la performance des bâches noires car la météo a été mauvaise jusqu'à présent ce qui peut expliquer leur manque d'efficacité. Il est prévu de faire des essais avec différentes bâches pour trouver laquelle est la plus performante.

Par contre on observe que les débris schisteux accélèrent fortement la fonte de la glace tant que leur épaisseur reste faible. En effet, phénomène connu, aux endroits où cette épaisseur atteint plus de 2 ou 3 cm, l'inverse se produit : la glace fond moins qu'ailleurs, ce qui crée de petits cônes correspondant à des butes de glace recouvertes de ces schistes.

**Le 22 juillet**, La méthode de creusement est désormais bien rôdée, et l'orientation de la tranchée est en partie revue côtés amont et aval pour que l'incision de la glace puisse s'approfondir au maximum avant de rencontrer le rocher.

Grâce aux siphons Ø 200 mm, déjà descendus dans la tranchée en cours de réalisation, l'abaissement du niveau du lac atteint au mieux 30cm par jour. Sauf accroissement des apports extérieurs (fonte, orages,...), cette valeur pourrait s'accroître à mesure que le volume d'eau diminue,

▼ *Etat d'avancement au 22 juillet*



*Rejet des siphons à l'aval du verrou glaciaire ▼*



*De droite à gauche: 5Hydrokarst, 1EDF, 2RTM*



**Le 28 juillet**, l'enfoncement de la tranchée se poursuit. La hauteur de glace creusée atteint 4,54m. Des essais de différentes bâches noires sont prévus ainsi que différents sondages bathymétriques sur l'ensemble du lac à l'aide du ponton de l'entreprise.

**Le 8 août**, la pose de bâches noires est abandonnée du fait des résultats décevants des échantillons testés. La revanche de sécurité entre le verrou amont de tranchée et l'eau du lac est de 2,60m. Juste à l'aval du verrou, la revanche entre le fonds amont de la tranchée et l'eau du lac n'est que de 0,10m, avec une pente moyenne de la tranchée de 6% comme exigé, soit au bout des 33ml de tranchée, un niveau inférieur de 1,80m à celui du lac. Compte-tenu des retards imposés par la mauvaise météo de l'été, l'espoir est que les résultats de la bathymétrie (jusqu'à différée à cause des icebergs), autorisent le déversement « naturel » à la côte -10m au lieu de -15m. Le siphonnage doit donc être poursuivi jusqu'à -11m, ce qui sur la base de 20cm par jour devrait prendre 15 jours. La bathymétrie est donc envisagée pour la mi-août en vue d'une surverse possible vers le 22 août.



▲ Tests sur échantillons de bâches

**Le 16 août**,

La bathymétrie complémentaire à l'ensemble du lac, bien que simplifiée, a enfin pu être réalisée par le LGGE **grâce à l'habileté de l'entreprise Hydrokarst** obligée de slalomer sur son radeau entre les icebergs pour parcourir la totalité du lac. **Compte-tenu de ses résultats et des observations générales sur le site (évolution du lac, encombrement d'icebergs, températures,..), la vidange naturelle est programmée le mercredi 24 août, avec un volume résiduel estimé à 170.000m<sup>3</sup>.**

**La Préfecture (DDPC) est prévenue, ainsi que le Maire de Bessans pour mettre en place les dispositions de sécurité nécessaires relatives au danger représenté par le Ribon pendant la vidange. Le RTM prévient également la DDE (pont de la RD), EDF et le GEH de St Jean pour la prise d'eau.**

La décision est donc prise d'arrêter le siphonnage pour laisser remonter le niveau du lac jusqu'au moment de détruire le verrou de sécurité, soit, à raison de 10cm de remontée par jour, 8 jours pour réduire sa revanche à 1,30m. Pendant ce temps, **Hydrokarst achève le profilage de la tranchée qui atteint 10m de profondeur au droit du lac.**



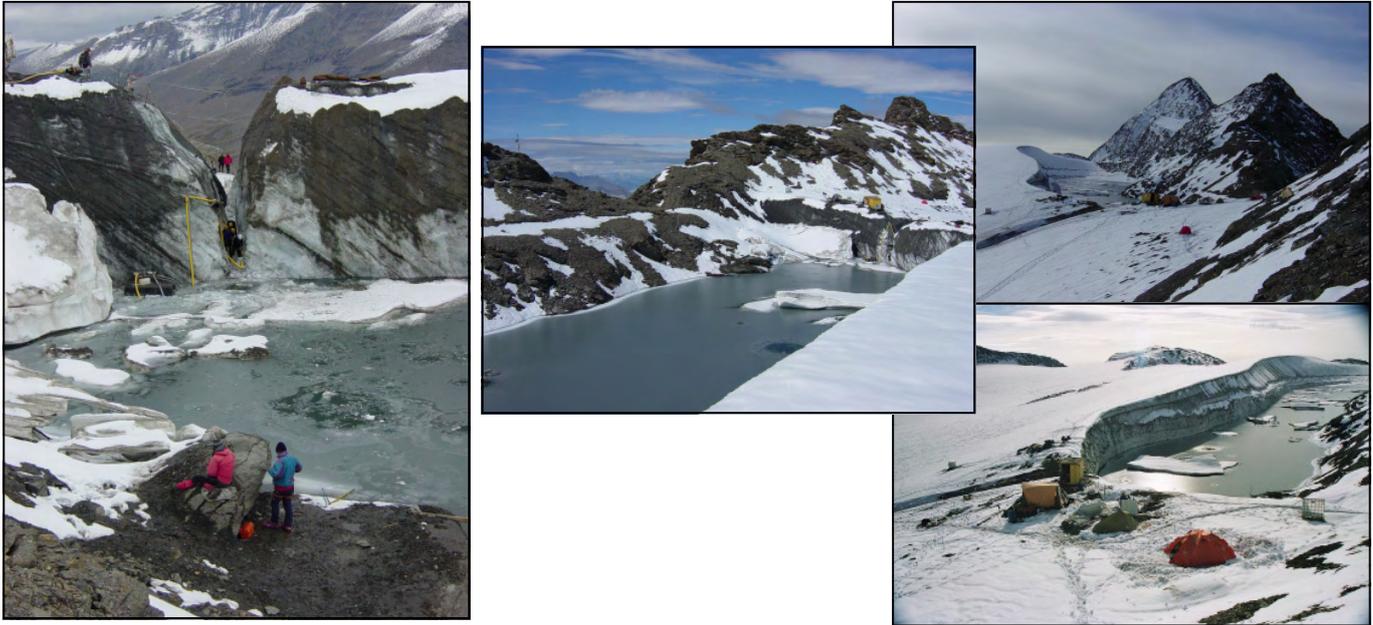
◀ **Bathymétrie du 16 août. Un bien frêle esquif au milieu des icebergs...**

Evolution du niveau du lac par rapport au point fixe du déversoir italien (effet concurrent et prépondérant des siphons sur les apports de fonte et d'orages à partir du 5 juillet):

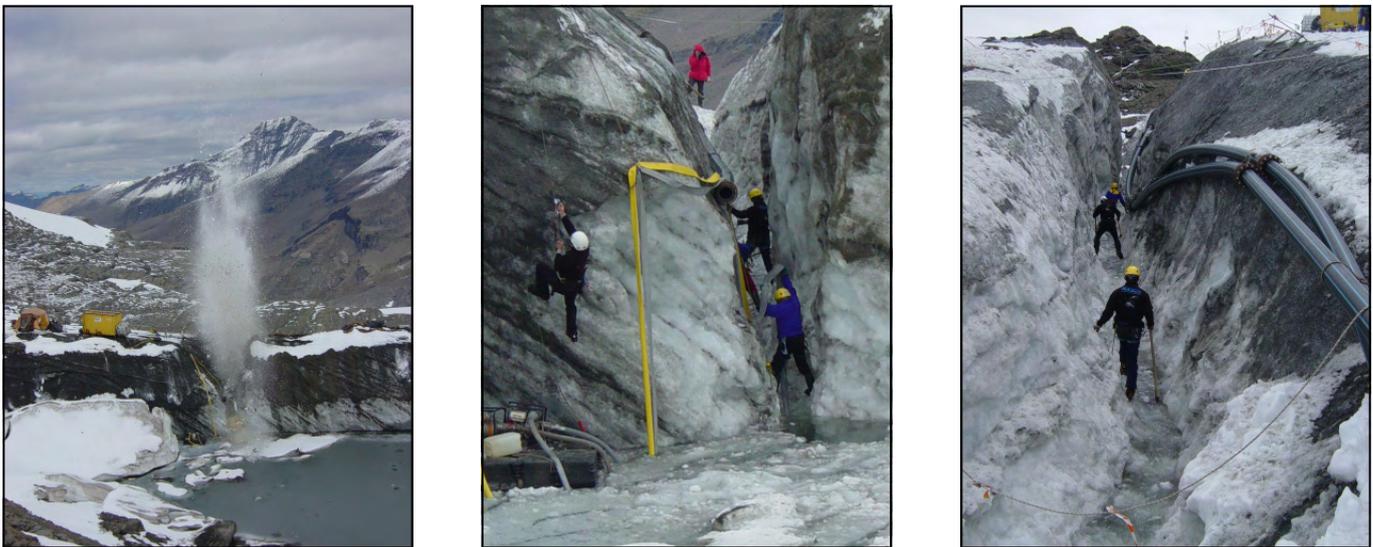
- ☐ 08 11 04: -5,7m
- ☐ 04 07 05: -1,65m
- ☐ 11 07 05: -3,33m
- ☐ 22 07 05: -5,8m
- ☐ 28 07 05: -7m
- ☐ 08 08 05: -7,96m
- ☐ 16 08 05: -9,77m

**Le 24 août**, Hydrokarst accentue la pente du chenal par deux volées de minage. De son côté, le LGGE, en vue d'analyser l'évolution de la surverse, installe un dispositif pour des mesures prévues selon un protocole prédéterminé.

**Le 25 août, après une dernière volée de minage pour accentuer la pente de la tranchée, et une autre pour détruire le verrou amont, le déversement « naturel » commence avec une charge hydraulique de 30cm. Il est 15H00.** Par crainte de débit insuffisant, une nouvelle volée de tir accentue la charge à l'entrée du chenal. L'écoulement est suivi pendant la nuit pour détecter tout emballement éventuel, mais peu probable au vu des températures de l'air et de l'eau.



▲ ▼ Installation de prises de mesures par le LGGE et vues sur le lac les 24 et 25 août au matin, derniers minages, premier écoulement gravitaire de l'eau du lac dans la tranchée et .... arrosage de fin de chantier (Hydrokarst, LGGE, RTM)



**Le 26 août**, Hydrokarst replie une partie de son matériel.

**Le 29 août**, RTM et LGGE effectuent surveillance du lac, mesures de températures et d'abaissement du lac, puis le LGGE quitte le site.

**Le 30 août**, l'entrée de la bédrière est toujours en glace et l'abaissement du lac a découvert un gros bloc rocheux qui contrarie l'entonnement. Du coup la baisse du niveau du lac se ralentit à 3cm/heure. **Hydrokarst** mine le bloc à 11H00 et **achève le repli du chantier 2005**. A 20h00, l'abaissement est de 18,20m. Le lendemain, la baisse de niveau a retrouvé un rythme de 10 cm/h.

**Le 1er septembre**, à -21m, le capteur le plus profond est découvert. Le volume résiduel se situe aux alentours de 30.000m<sup>3</sup>. L'écoulement se poursuit, la bédrière s'enfonçant entre la berge rocheuse et la glace.



▲ ▼ *Du 26 au 30 août, repli des installations de chantier et poursuite de la vidange du lac par écoulement gravitaire, avec déviation de l'enfoncement de la bédrière lorsqu'elle atteint le rocher.*



### Visite du 23 septembre 2005

Sont représentés:

- LGGE, ALPUG, CG73, EDF, RTM pour des observations sur la journée,
- Préfet, DDPC, DDPR, RTM, CRS, Dauphiné Libéré et FR3 pour visite de contrôle en milieu d'après-midi.

Cette visite est la dernière de l'année . Elle vient clore officiellement l'épisode 2005 de vidange complète du lac en présentant aux autorités et aux médias le déroulement et la réussite de l'opération.

Elle est aussi l'occasion de rappeler que devant le danger nouveau que représente pour les randonneurs la création de la bédrière, le Maire de Bessans a reçu une information à destination des refuges et de l'Office du Tourisme avec demande de signalisation du danger au col de Novalèse.

Quant au lac, il continue de se vider lentement (baisse de la température extérieure), au rythme d'environ 1cm/h, avec un volume résiduel désormais inférieur à 10.000m<sup>3</sup>. L'abaissement de son niveau par rapport au col de Novalèse est de 25m. Une partie du fonds du lac demeure cependant occupée par les restes de banquise de 2 à 3m d'épaisseur.

Comme il faut s'attendre à ce que l'obstruction de la bédrière par la neige de l'hiver 2006 entraîne une remontée du plan d'eau dès la fonte du printemps, les deux capteurs de pression et température sont remis en place de manière à pouvoir suivre à distance, grâce à la station de télémessure, cette remontée du niveau de l'eau en 2006. Celle-ci devrait normalement rester très limitée puisque censée provoquer une réouverture naturelle de l'écoulement en fonds de bédrière, l'eau retrouvant elle-même le chemin de 2005 en faisant fondre la neige obstruant la bédrière. C'est en effet exactement ce qui a pu s'observer en 2003-2004 sur le glacier voisin du Baounet dans la vallée de l'Avérole, dans des conditions très similaires, mais sans contexte à risque contrairement à Rochemelon.

Ce même jour, le LGGE procède à plusieurs carottages d'échantillons de glace sur le pourtour du lac pour étudier la genèse du glacier. Il devrait produire ultérieurement une communication scientifique sur le cas de Rochemelon.

*Visite officielle du 23 septembre 2005 avec l'hélicoptère de la Protection Civile. (représentés de droite à gauche sur la photo du bas: Préfet, DPPR, DDPC, RTM. ▼►*



Au terme du chantier 2005, se pose finalement au moins jusqu'à l'été 2006, la question de la mise en place ou non d'un des deux siphons au fonds de la bédrière pour favoriser la reprise de la vidange naturelle en cas de remontée du plan d'eau, le deuxième siphon restant à l'extérieur, pour une mise en œuvre rapide en cas de besoin. L'expérience de la mauvaise résistance de ces tuyaux à l'écrasement sous une charge de neige d'une part, et le dessin sinueux de la partie de bédrière creusée par écoulement naturel d'autre part, laissent présager que le choix sera probablement fait d'évacuer ces tuyaux en 2006, après s'être assuré de toutes les garanties de bon fonctionnement de la vidange désormais naturelle du lac.

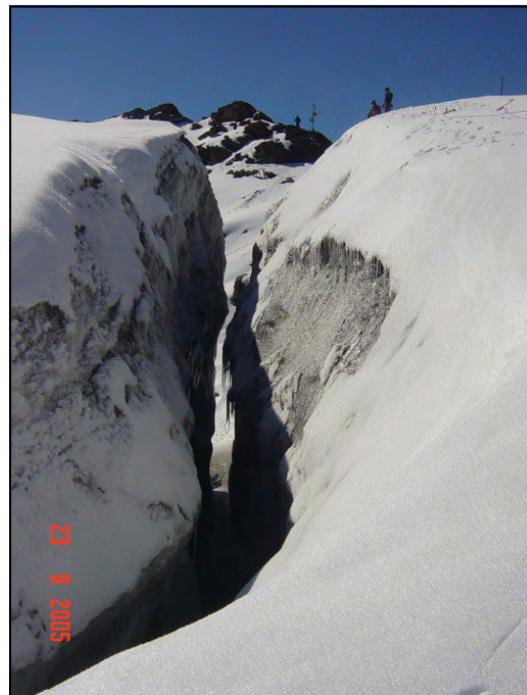
### **Bilan de l'opération 2005:**

#### **Déroulement du chantier et suite de l'opération**

Une fois bien maîtrisée la technique d'ouverture de la tranchée, l'entreprise a pu aboutir au résultat attendu sans autre difficulté que celle d'une météo anormalement capricieuse par rapport aux années précédentes. Ces intempéries à répétition ont entraîné un allongement des délais et un surcoût significatifs, mais compatibles avec la réussite de l'opération, le surcoût restant d'autant plus facilement dans l'estimation initiale, que l'option galerie a pu être évitée.

Outre le savoir-faire acquis sur ce chantier, il faut retenir l'échec qu'a constitué l'inefficacité avérée des bâches noires pour la fusion de la glace. Le dispositif permettant un usage optimum de l'énergie solaire dans ce contexte reste à inventer...

Enfin, le solde disponible sur l'opération est réservé, outre le coût de la télésurveillance, pour l'intervention 2006, laquelle doit clore le chantier par les dernières mesures qu'impliqueront les observations faites sur l'évolution du lac (ce qu'il en reste) en début d'été.



#### **Dépenses financées sur 2005 et financements prévus**

<b><i>Interventions sous maîtrise d'ouvrage communale</i></b>	
Expertises, Coordination Sécurité, Maîtrise d'œuvre (dont héliportages)	52.420
Réalisation de la tranchée, dont héliportage et toutes suggestions	104.470
	<b>Total (€ HT) 156.890</b>
	<b>Total (€ TTC) 187.640</b>
<b><i>Solde disponible pour 2006</i></b>	<b>43.110</b>
<b><i>Cofinancements prévus</i></b>	
Ministère de l'Ecologie	46.500
Conseil Régional	100.000
Conseil Général	50.500
	<b>Total 196.500</b>

## 2006: la fin (ou presque) des opérations

### Objectif de l'intervention 2006 et premières observations

Après la vidange réussie de l'année 2005, il restait à s'assurer du fonctionnement pérenne de cette vidange, et dans ce cas, à évacuer du site les derniers matériaux de chantier, en particulier les deux tuyaux PEHD de 200mm de diamètre.

En attendant que le site soit facilement accessible à pied, les deux survols réalisés en avion au début de l'été ont montré qu'à peine la fonte commencée, la reconstitution du lac n'a pas duré 15 jours. Les deux grandes flaques qui se sont formées étaient d'un bleu très clair témoin de leur faible profondeur. Elles se sont très rapidement vidées, l'eau retrouvant d'elle-même la sortie par le fond de la bédrière artificielle de 2005, sans qu'une charge hydraulique importante s'avère nécessaire pour percer le bouchon de neige.

Ces observations ont été confortées par les relevés de mesure des capteurs, pour lesquels la charge hydraulique n'a pas excédé 30cm.

Les photos prises sur le terrain en juillet laissent apparaître un lac complètement vide, où l'eau de ruissellement se concentre rapidement dès son amont dans une bédrière naturelle qui rejoint finalement celle créée en 2005.

Dans ces conditions, plus rien ne laisse craindre une remontée dangereuse du plan d'eau qui effectivement fonctionne comme son voisin du glacier de Baounet, et l'enlèvement des tuyaux peut être programmé pour la fin de l'été.



◀▼ *Juillet 2006: ce qu'il reste du lac vu depuis son extrémité Sud, et la bédrière naturelle qui draine le ruissellement.*





▲ *Vue depuis le Sud - Au fond, la bédrière artificielle*



▲ *Regardant vers le Sud. Ruissellement de fonte*



◀▼ *Le tuyau dans la bédrière de 2005, et l'entrée décalée vers le Sud de cette bédrière dans laquelle la vidange se maintient naturellement.*



◀▼ *A gauche, vue depuis le verrou glaciaire sur l'entrée de la bédrière naturelle au travers du bouchon de neige. Ci-dessous, la sortie de la bédrière à l'aval du verrou glaciaire.*



## Visite du 31 août 2006

Cette visite du RTM est venue confirmer les observations de juillet et la pertinence d'évacuer avant l'hiver les derniers matériaux ainsi que la station de télémessure et tous ses composants (capteurs, station relais et poste de contrôle au barrage du MontCenis).

Par ailleurs, plusieurs constatations témoignent de l'évolution de la berge du glacier suite à la disparition du lac:

- près du col de Novalesse, les débris schisteux du versant fluent plus fortement qu'avant vers le fonds du lac
- Ces débris schisteux forment des cônes très marqués (50cm de haut) entre le versant rocheux et la bédrière
- La bédrière est entièrement obstruée de neige sur toute sa hauteur, et les tuyaux ont glissé dans son axe
- À 50m à l'Est de la bédrière, une tranchée nouvelle s'est ouverte naturellement. Avec une échancrure de plus de 2m à l'aplomb de la berge, elle finit au ras de la surface du glacier côté aval. La cause de cette ouverture reste à préciser, peut-être est-elle liée à un affaissement consécutif au cisaillement de l'écoulement sous-glaciaire provoqué par la vidange du lac?
- Vers le tiers Nord du lac, la paroi subverticale du glacier semble connaître en son milieu un bombement de plus en plus marqué, en corrélation peut-être avec l'impression de léger affaissement du sommet, les 4m les plus près de la berge apparaissant plus bas d'une dizaine de cm que la partie située au-delà de ces 4m.

Au pied de la berge glaciaire, l'entrée de la bédrière, en suivant le rocher à mesure de son enfoncement, se retrouve désormais décalée vers le Sud de plus de 50m. Au 31 août, elle mesurait environ 2m x 2m, et recevait le ruissellement de fonte, dont le débit de sortie se retrouvait apparemment équivalent à l'aval de la bédrière artificielle.

La glace est un milieu plastique; il faut donc s'attendre à de profondes déformations dans le temps, maintenant que la colonne d'eau de 25m du lac n'est plus là.

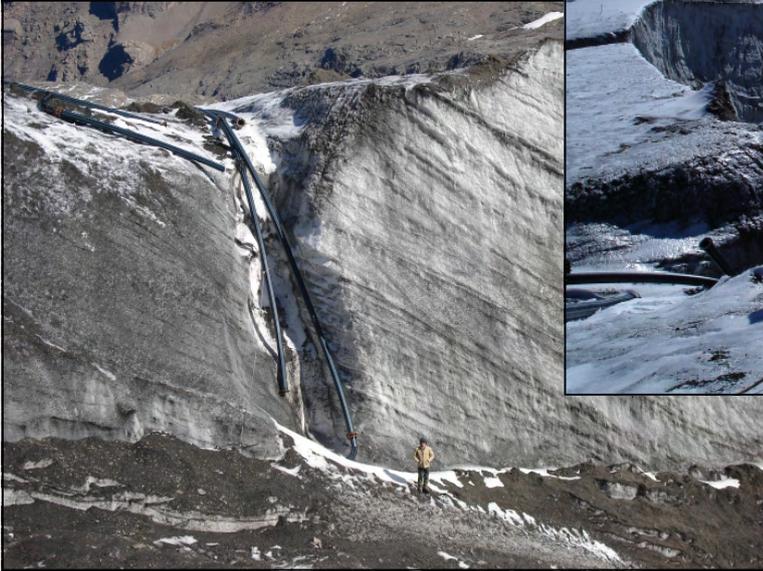
► 31/08/2006 - Le lac vide avec de gauche à droite: la station de télémessure, la bédrière obstruée de neige avec les tuyaux, une nouvelle échancrure en surface, l'entrée décalée de la bédrière.

▼ Vue d'ensemble du lac, avec en surface la bédrière enneigée avec les tuyaux et la nouvelle échancrure.



*Visite RTM du 31 août 2006*

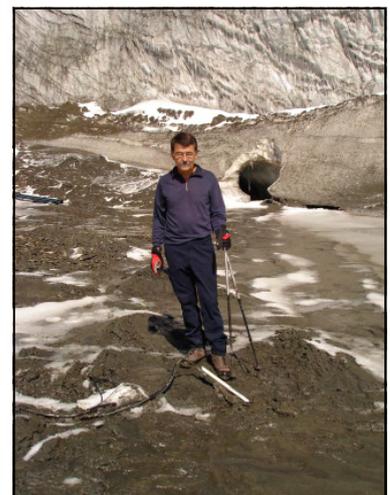
**▼ Les tuyaux dans la bédrière encombrée de neige**



**◀▼ L'entrée décalée de la bédrière**



**▼ Récupération des capteurs**



## Fin septembre 2006: le repli (presque) complet du chantier:

Le repli complet et la réception officielle et définitive (Sous Préfet, DDPC, Maire, Conseil Général, RTM, DL) du chantier étaient prévus le 21 septembre. La météo en a décidé autrement.

Hydrokarst et RTM appuyés par HELISAF n'ont pu travailler que le matin du 21 à la préparation des matériels enfouis sous un mètre d'une neige bien précoce. Il a ainsi fallu l'aide de l'hélicoptère pour sortir les tuyaux de la neige et préparer leur élingage. Dès la fin de matinée, les retours de Lombardie sur la crête de Rochemelon rendaient impossibles tout héliportage. Les personnes présentes sur le chantier durent redescendre sur le bas du glacier pour que l'hélicoptère, de retour vers 17 heures, puisse les ramener à l'Arcelle.

Le lendemain, Hydrokarst a pu revenir sur le site et ramener avec HELISAF les tuyaux et la station de télésurveillance démontés la veille.

Les autres éléments de la station de télésurveillance implantés au barrage du MontCenis (station relais et PC d'acquisition) seront démontés dans les jours qui suivent

Le repli du chantier sur le glacier n'est donc pas complet, puisqu'il faudra revenir en 2007 évacuer les capteurs et leurs câbles ainsi que divers petits matériels, mais l'essentiel est fait.

D'ici juillet 2007, une nouvelle période d'observations s'attachera à vérifier que la vidange naturelle continue de fonctionner correctement.



*21 et 22 septembre - Repli presque complet du chantier  
(Photos Hydrokarst)*

▲ *Le lac vide avec près de 1m de neige fraîche. La découverte des tuyaux à la pelle par Hydrokarst et avec l'hélicoptère d'HELISAF pour leur démontage avant héliportage à l'Arcelle.*

► *La gerbe de tuyaux déposés à l'Arcelle avant leur descente par la piste jusqu'à Bessans.*



## Coût du solde de l'opération (dépenses 2006 et 2007)

*Dépenses 2006 et besoins estimés pour l'achèvement du repli en 2007:*  
(maîtrise d'œuvre, entreprise, héliportage, télésurveillance, divers)

**environ 41.000 €TTC**

## Epilogue

Le réchauffement climatique est un phénomène avéré et l'expérience particulière du lac épiglacière de Rochemelon en est une traduction concrète, locale et directe.

Le recensement des glaciers présentant des risques pour les activités humaines, conduit dans le programme européen Glaciorisk de 2001 à 2003, a eu le mérite de faire s'intéresser de très près à ce lac, juste à temps pour intervenir contre le risque d'une vidange naturelle non contrôlée jugée dangereuse.

Les études menées sur le lac à l'occasion de ce programme ont fait gagner un temps précieux sur les prises de décision au moment le plus critique. La crise a cependant souligné au moins trois points en matière de connaissance:

- l'intérêt, dans ce genre de problématique, et dans la mesure du possible, de se donner des moyens d'investigation à hauteur nécessaire pour appréhender très en amont et avec une précision suffisante pour une traduction en décisions opérationnelles, l'ensemble du phénomène et son évolution, **avant** d'entrer en crise. Il a en effet fallu compléter en pleine crise certaines investigations que le programme Glaciorisk n'avait pu mener à terme.

- l'intérêt d'assurer, déjà en amont des phénomènes puis pendant la gestion de crise, une vraie continuité entre la connaissance scientifique, son transfert aux autorités et sa traduction en mesures opérationnelles.

- l'intérêt d'une coordination scientifique entre plusieurs laboratoires de recherche sur un sujet de cette nature.

Au final, l'opération de Rochemelon, à 3218m d'altitude, se sera avérée une expérience hors du commun pour tous les intervenants, depuis son origine officielle au travers du programme Glaciorisk, puis par la crise de 2004 et sa résolution dans un contexte d'urgence marquée (course contre les effets des fortes températures d'automne mais paradoxalement aussi contre l'arrivée imminente de conditions hivernales sécurisantes pour le risque à traiter, mais incompatibles avec des travaux en altitude), jusqu'à la vidange contrôlée de 2005 (avec les nombreuses interrogations techniques posées pour sa réalisation) et le repli du chantier sur 2006 et 2007.

Au-delà, la pérennité de la vidange sous glaciaire semble désormais bien acquise, même en tenant compte des déformations inéluctables tant internes qu'externes du glacier. En effet, celui-ci n'étant désormais a priori plus adhérent au rocher tout le long du sous-écoulement provoqué, la conduite ainsi formée n'a quasiment plus aucune chance de se refermer (température du sol, courant d'air l'été qui agrandit la cavité, poche d'air l'hiver quand la neige bloque les orifices amont et aval). L'avenir nous le dira, mais quand bien même le lac aurait tendance un jour à se reformer, il finirait soit par rouvrir son passage dans la neige obstruant la bédrière, soit l'abaissement naturel du verrou glaciaire qui se poursuit ne lui autoriserait d'année en année qu'une capacité de plus en plus limitée. Le site ne fait donc plus l'objet que d'une surveillance réduite simplement pour s'assurer du bon fonctionnement de la vidange naturelle.

Le coût total de l'opération de vidange depuis 2004, environ **390.000 €TTC** (donc non comprises toutes les dépenses d'appui impliquées pendant la gestion de la crise et diverses dépenses annexes), paraît finalement très raisonnable une fois mis en parallèle avec le coût des ouvrages menacés, ne serait-ce que le premier pont sur la RD902, sans même parler de l'inquiétude pour les populations....

Finalement, après les vives inquiétudes et les doutes de 2004 et les étapes par moment laborieuses de 2005, cette expérience originale aura mobilisé bien des énergies pour atteindre enfin la réussite escomptée.

*Ainsi se termine l'opération « Rochemelon », avec l'acquisition de nouveaux savoir-faire susceptibles, qui sait, mais personne ne le souhaite, de servir peut-être en de nouvelles autres occasions... ?*

6 Octobre 2006

Le Chef du Service RTM Savoie

Bruno LAÏLY

<b>Bilan financier des travaux de vidange contrôlée 2004-2007 (aux incertitudes 2007 près)</b>		
<b>Dépenses (arrondies, en €TTC)</b>		<b>Financements</b>
2004:	161.500	Ministère de l'Intérieur 59.500
2005:	187.500	Ministère de l'Ecologie 76.500
2006-2007:	41.000	Conseil Régional 100.000
		Conseil Général 122.000
		Commune/Communauté de Cnes 32.000
	-----	-----
<b>Total</b>	<b>390.000</b>	<b>390.000</b>



# ANNEXES

**Lexique**

**Résumé en images de l'opération 2004**

**Résumé en images de l'opération 2005**

**Principales étapes de la vidange**

**2004 - 2006 Comparaisons lac vide - lac plein**

**Photos sélectionnées**



## LEXIQUE

Albedo: fraction de la lumière et de l'énergie reçues que réfléchit ou diffuse un corps non luminescent

ALPUG: Société Suisse spécialisée dans la télémétrie

BCA : Bataillon de Chasseurs Alpains

BEC: Entreprise de Travaux Publics (spécialisation en pelle araignée)

CEMAGREF: Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement

CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique

CRS: Compagnies Républicaines de Sécurité de la Police Nationale

DDE : Direction Départementale de l'Équipement

DDPC : Préfecture, Direction Départementale de la Protection Civile

DL: Dauphiné Libéré

DPPR: Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques du MEDD

EDF: Electricité de France

ETNA: Division Erosion Torrentielle, Neige et Avalanche du CEMAGREF

GEH: Groupement d'Exploitation Hydraulique d'EDF

HELISAF: Société de travail aérien par hélicoptère

HYDROKARST: Entreprise de travaux spéciaux et acrobatiques

LGGE : Laboratoire de glaciologie du CNRS de Grenoble

MEDD: Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

ONF: Office National des Forêts

PGHM : Peloton de Gendarmerie de Haute Montagne

RTM : Restauration des Terrains en Montagne. Service de L'ONF spécialisé dans les Risques naturels en Territoires de Montagne

SAGE : Société Alpine de Géotechnique

SDIS : Services Départementaux d'Incendie et de Secours

SMS : Societa Meteorologica Subalpina (Italie)

**Résumé en images de l'opération 2004**

**▼► Expertises et premières mesures d'urgence du 31 août au 5 octobre**



**▼ Suivi de la vidange, pose des capteurs immergés sous glace le 8 novembre, mise en service de la télésurveillance**



**FIN de la crise 2004**



**Résumé en images de l'opération 2005**

▼► *Remise en service des siphons, creusement à l'explosif d'une tranchée, vidange naturelle du lac par la tranchée s'approfondissant en bédrière*



► *Lac vidé. Fin de l'opération 2005*

## 2004 - 2005: Principales étapes de la vidange

17/10/2004 - Limite débordement - 650.000m<sup>3</sup>



8/11/2004 - Abaissement de 5,7m - 400.000m<sup>3</sup>



20/05/2005 - 5m de neige



24/08/2005 - Tranchée à -10m : 170.000m<sup>3</sup>



25/08/2005 - Ecoulement naturel en cours



25/08/2005 - Ecoulement naturel en cours



30/08/2005 - Abaissement de 20m; 30.000m<sup>3</sup>

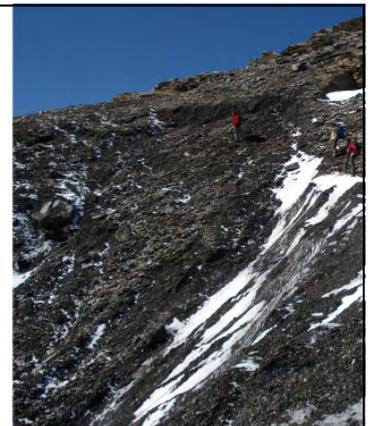


23/09/2005 - Abaissement de 25m; Fin de vidange : 10.000m<sup>3</sup>



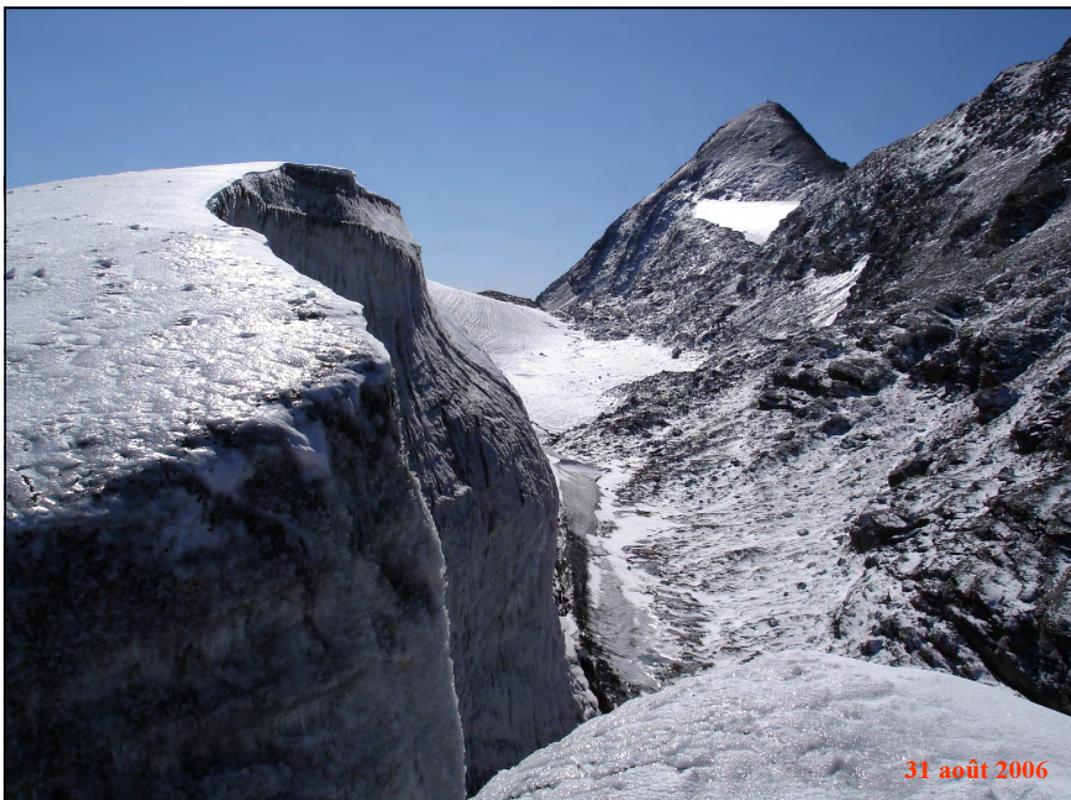


2004 - 2006: Comparaisons  
lac plein - lac vide  
entre fin septembre 2004  
et fin août 2006

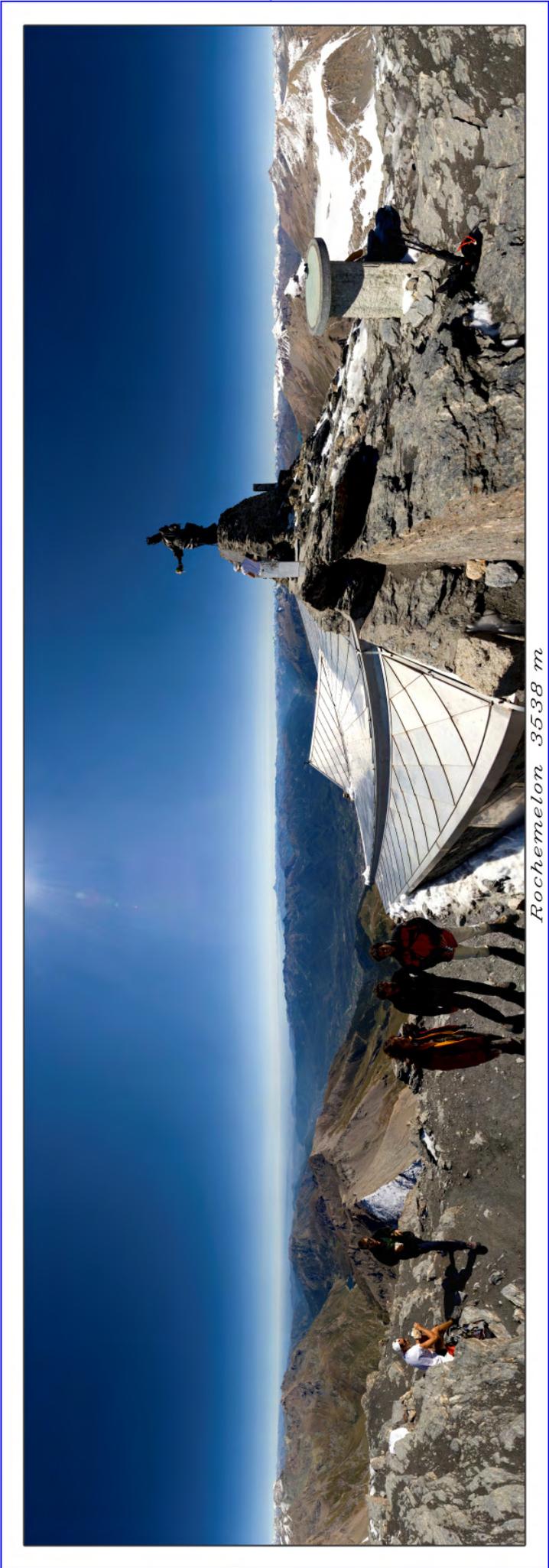




## Photos Sélectionnées



Panorama 360°

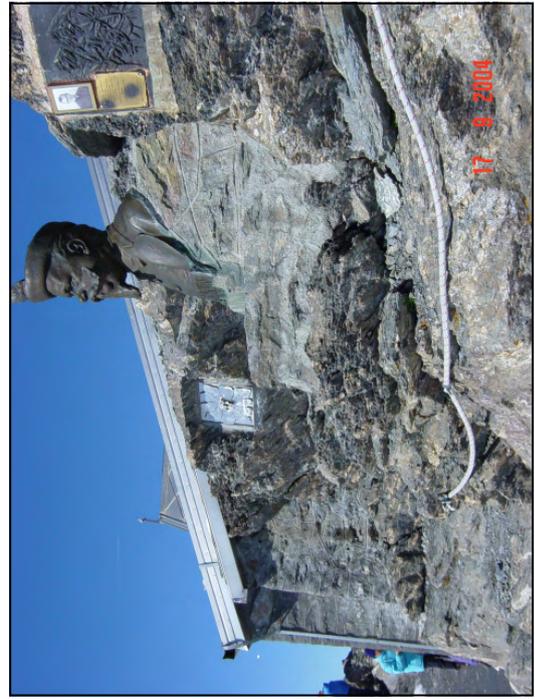


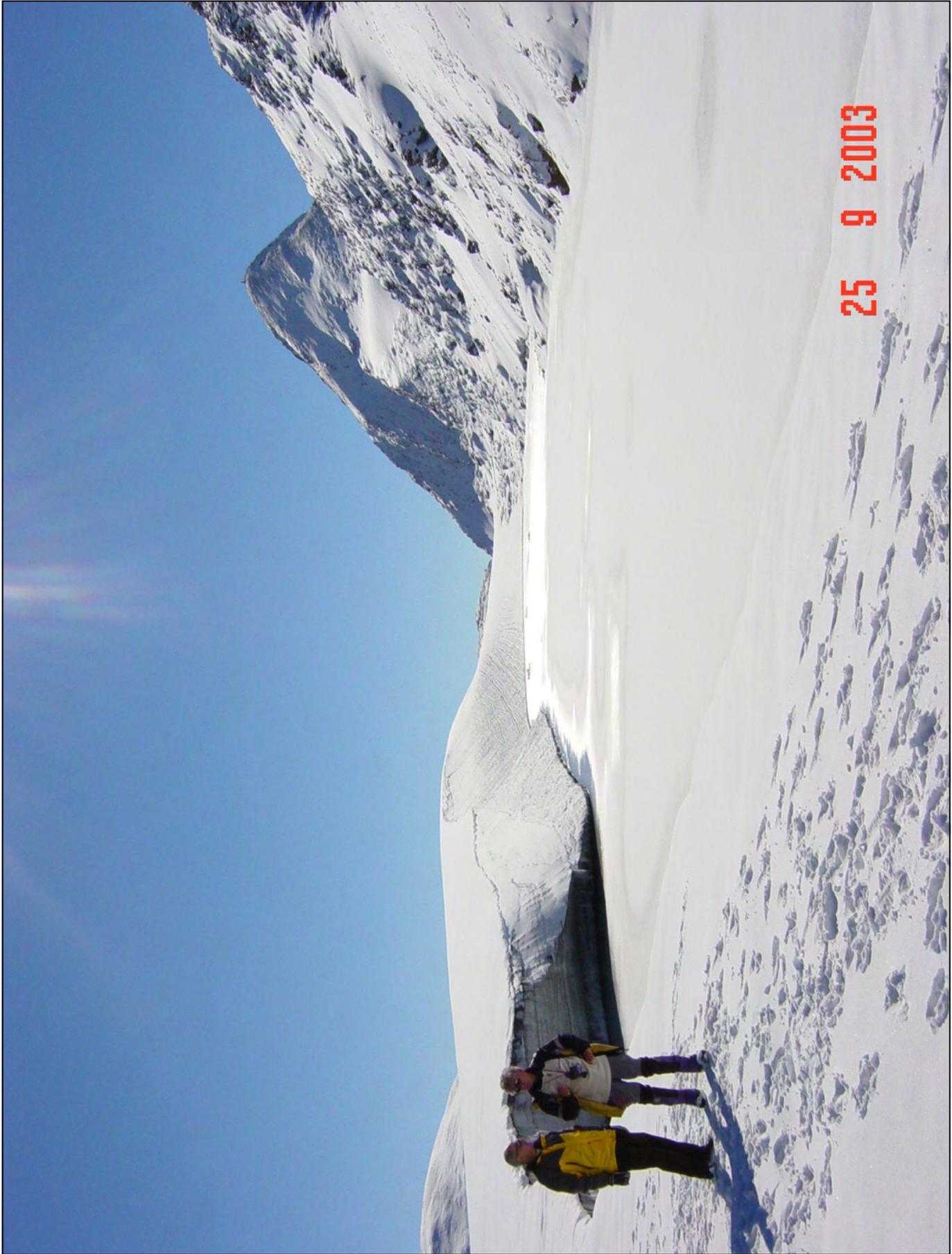
*Rochemelon 3538 m*

*Le glacier et le lac de Rochemelon, le pic de Rochemelon, et, regardant au Sud vers l'Italie, la Madone, le refuge et le buste du Roi Victor Emmanuel II au sommet du Pic.*

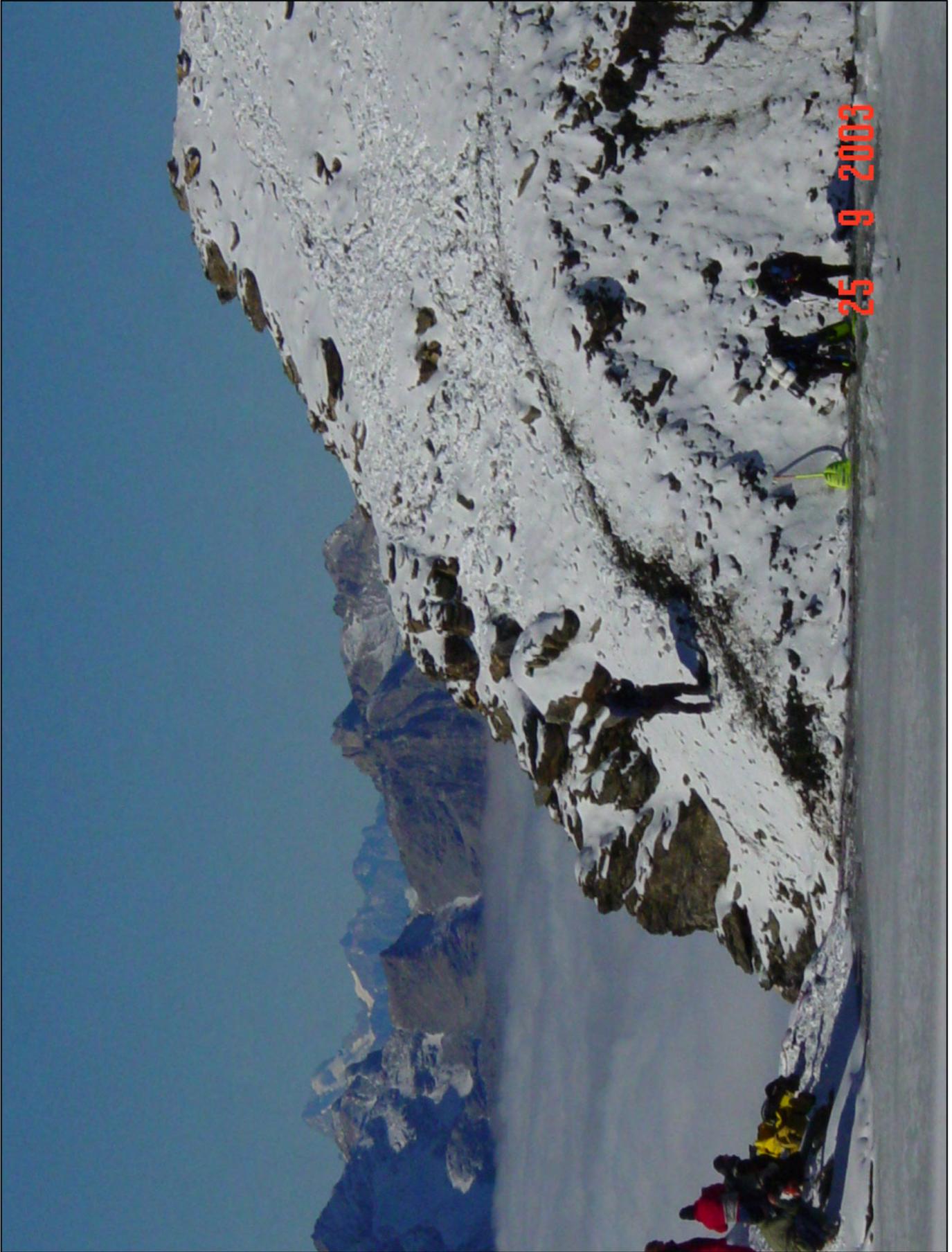


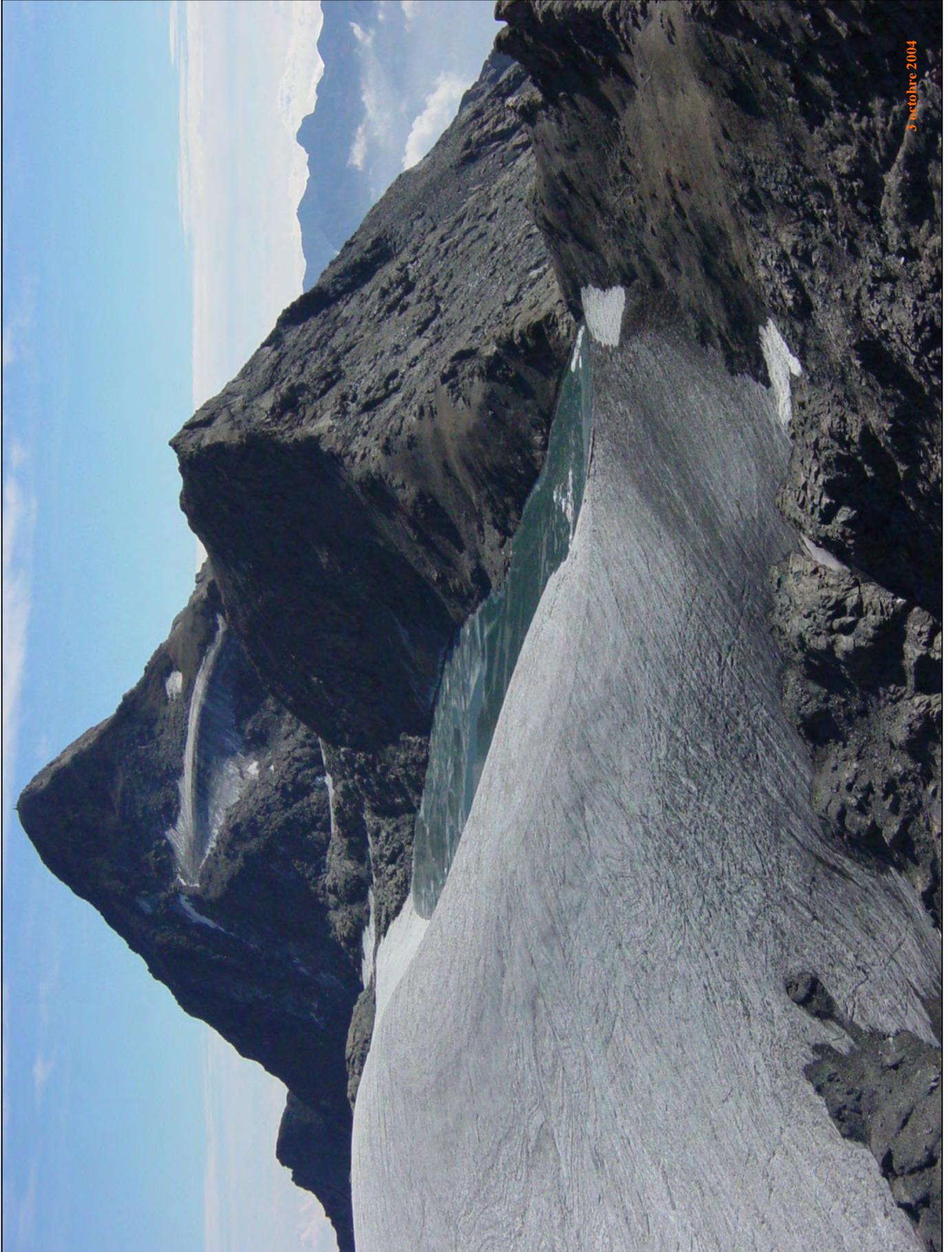
*Glacier et lac de Rochemelon*





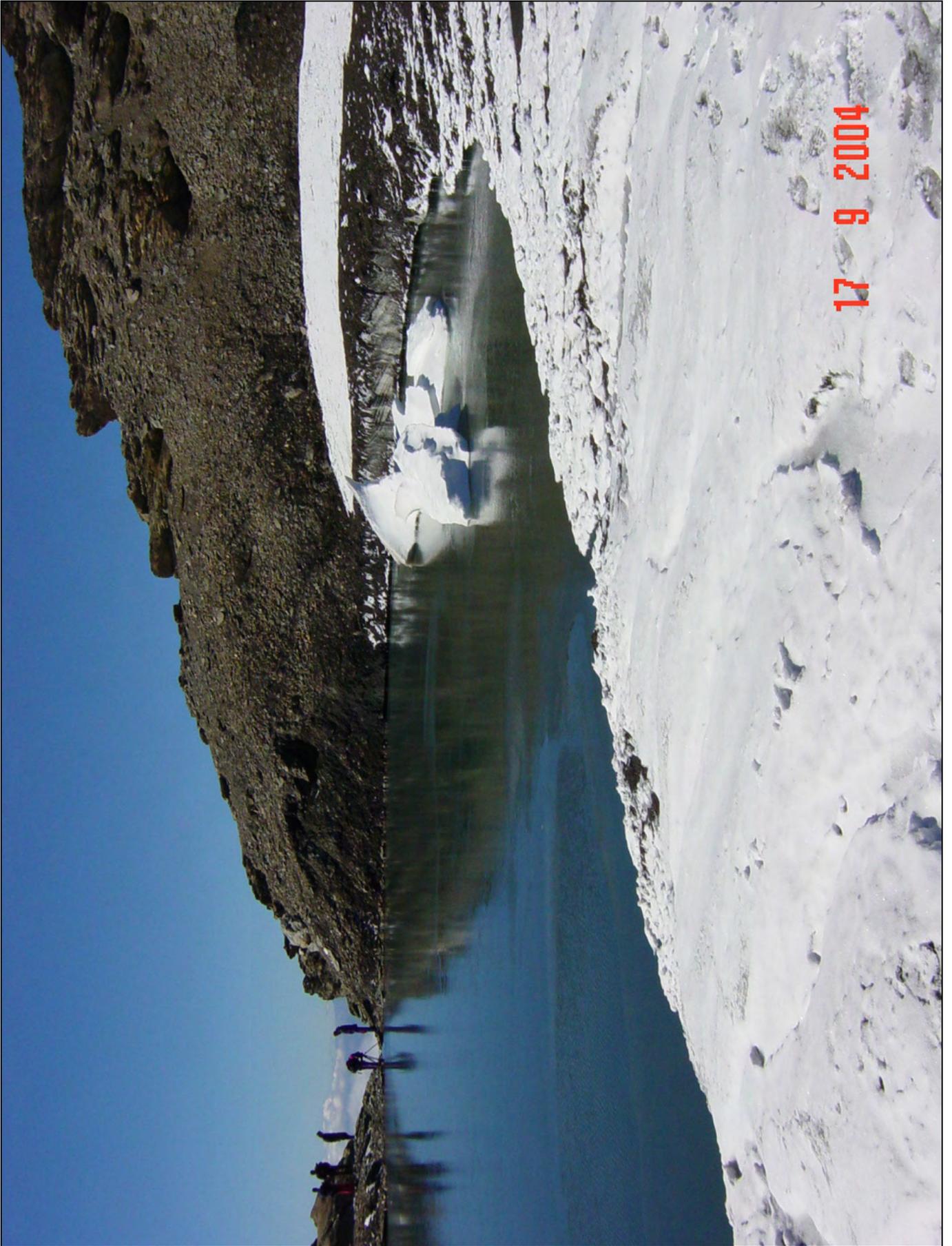






3 octobre 2004





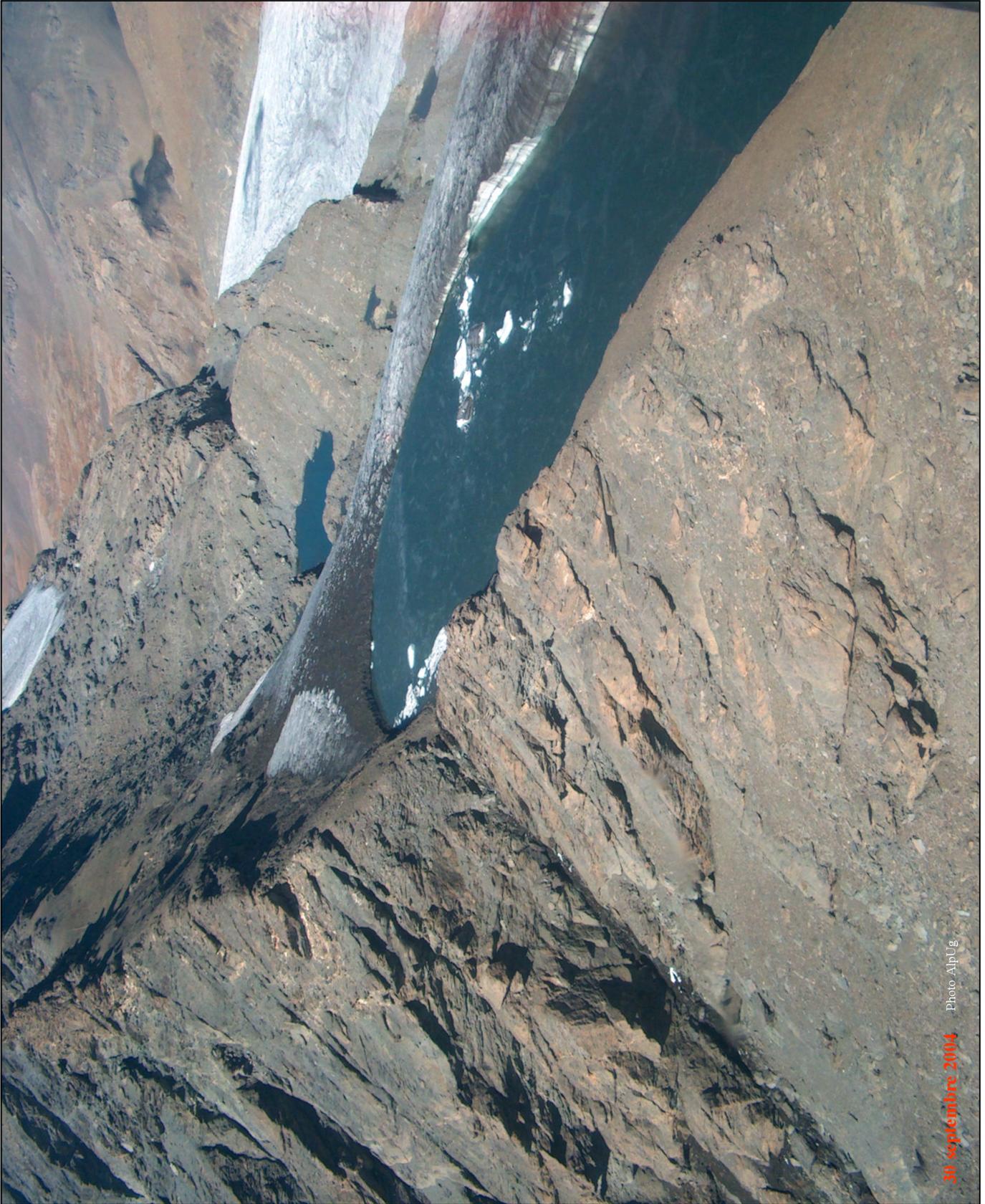


Photo: AlpUg

30 septembre 2004



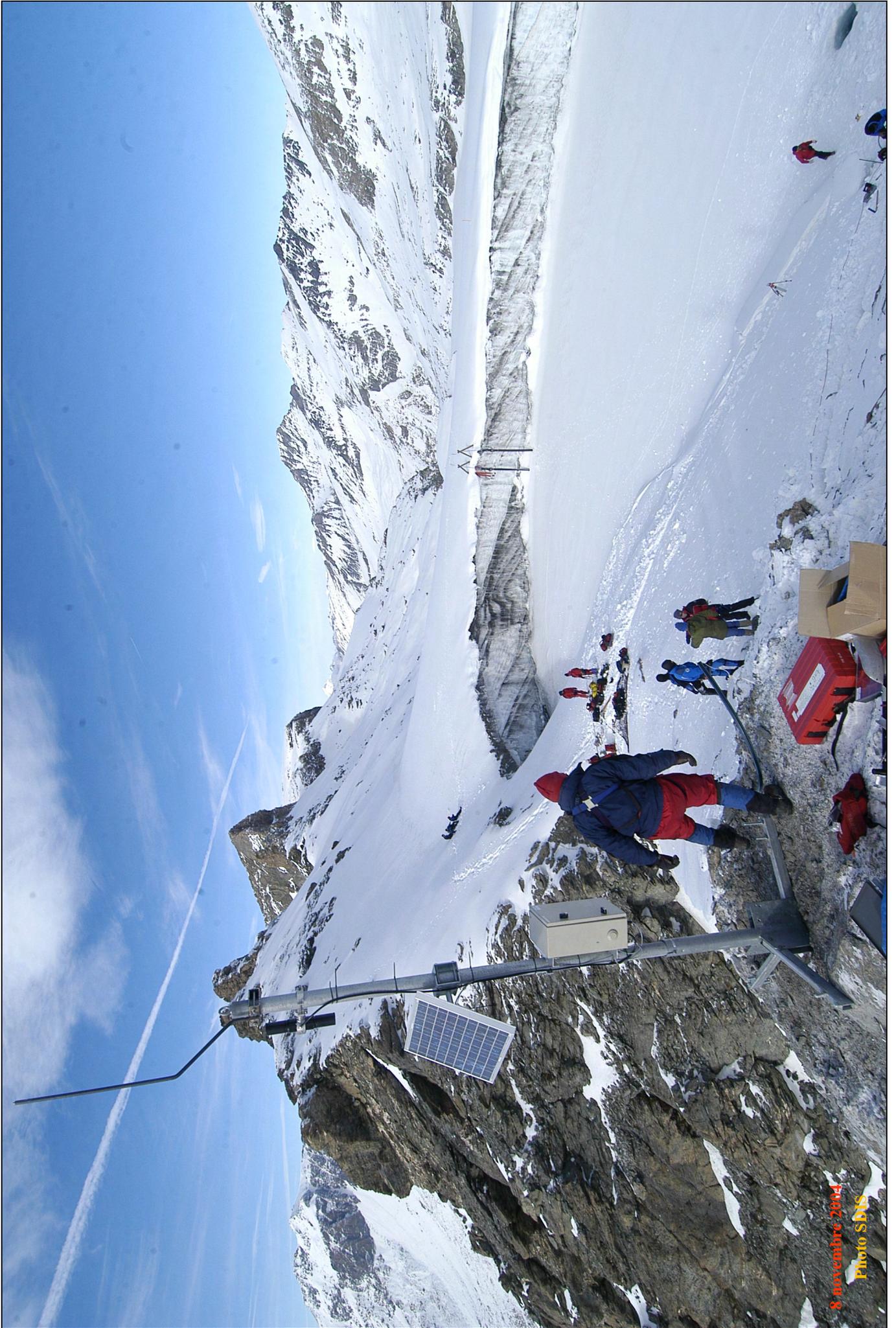


30 septembre 2004



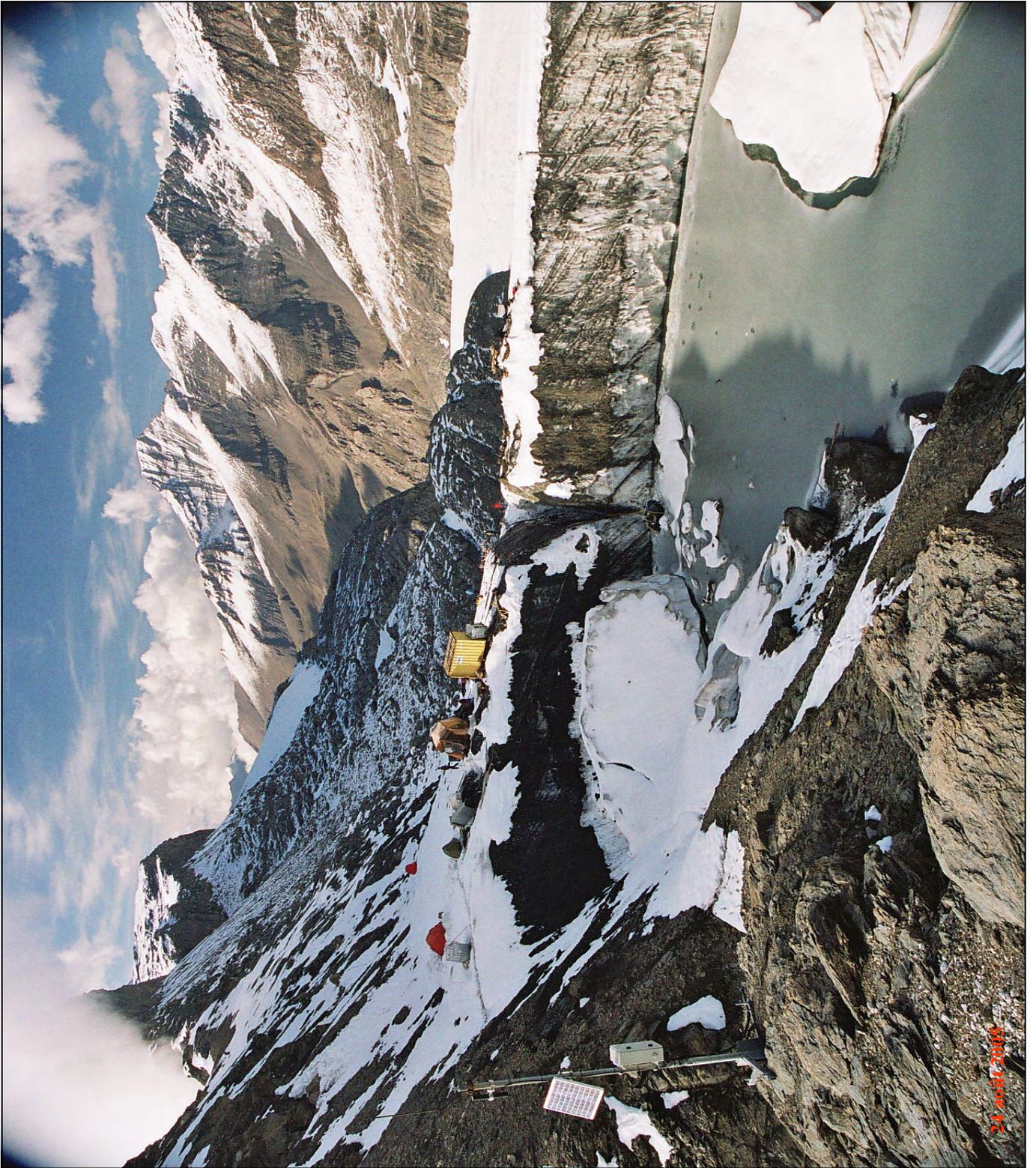


30 octobre 2004



8 novembre 2014  
Photo S.B.S.





21 août 2018

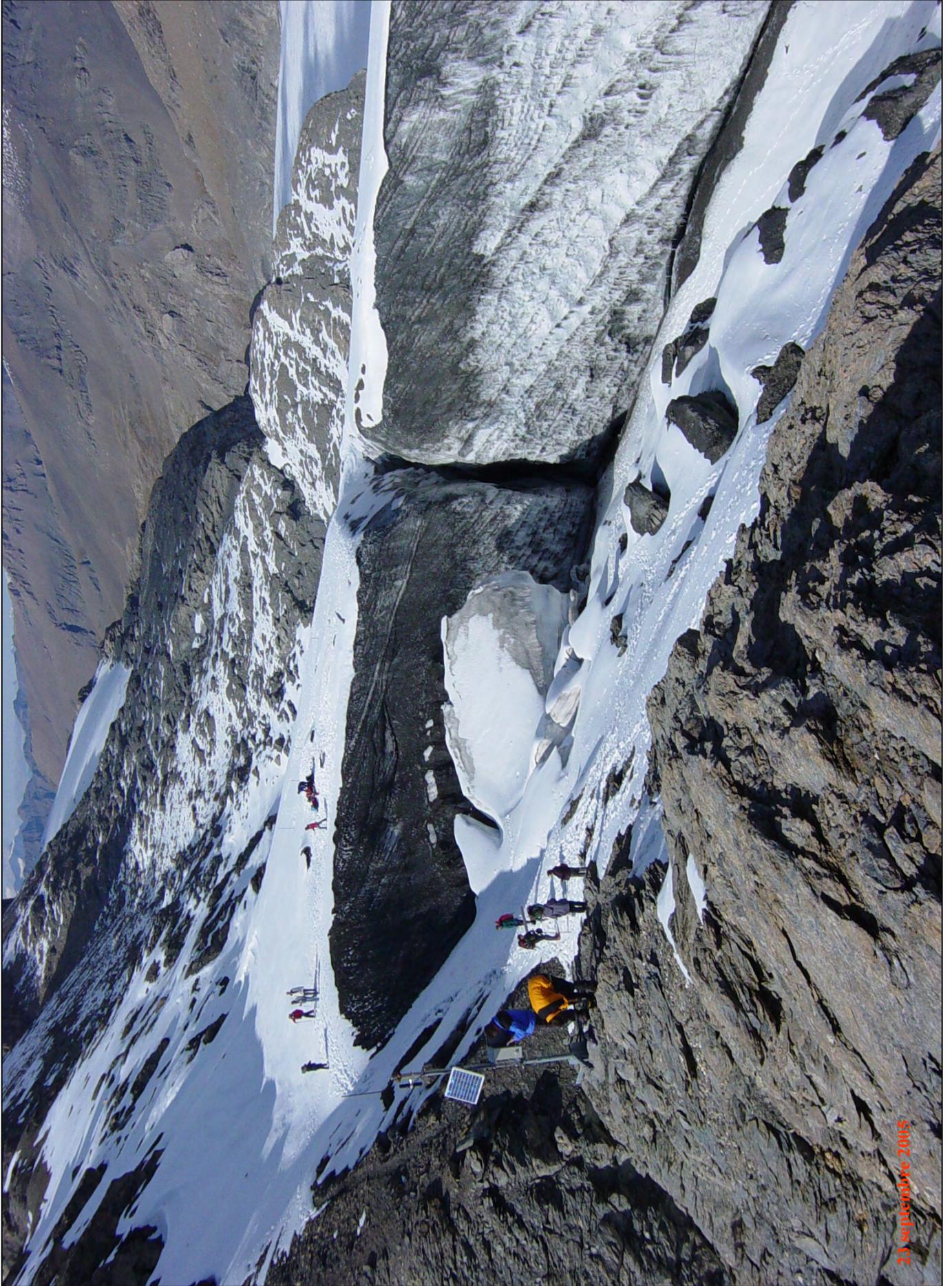


25 août 2005



25 août 2005





23 septembre 2005











**ONF – Service départemental RTM Savoie**  
**42 quai Charles Roissard–73026 CHAMBERY CEDEX**  
**Tel: 04 79 69 96 05–Fax: 04 79 96 31 73**  
**E. mail: [rtm.chambery@onf.fr](mailto:rtm.chambery@onf.fr)**