

**LABORATOIRE DE GLACIOLOGIE
ET DE GEOPHYSIQUE DE L'ENVIRONNEMENT
C.N.R.S.**

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER - GRENOBLE I

BP 96, 38402 ST MARTIN D'HÈRES CEDEX
TEL. 04.76 82.42.00
TÉLÉFAX : 04.76 82.42.01

**GLACIER DE GEBROULAZ
2003
Rapport au Parc National de la Vanoise**

C. Vincent



Photo C. Vincent.

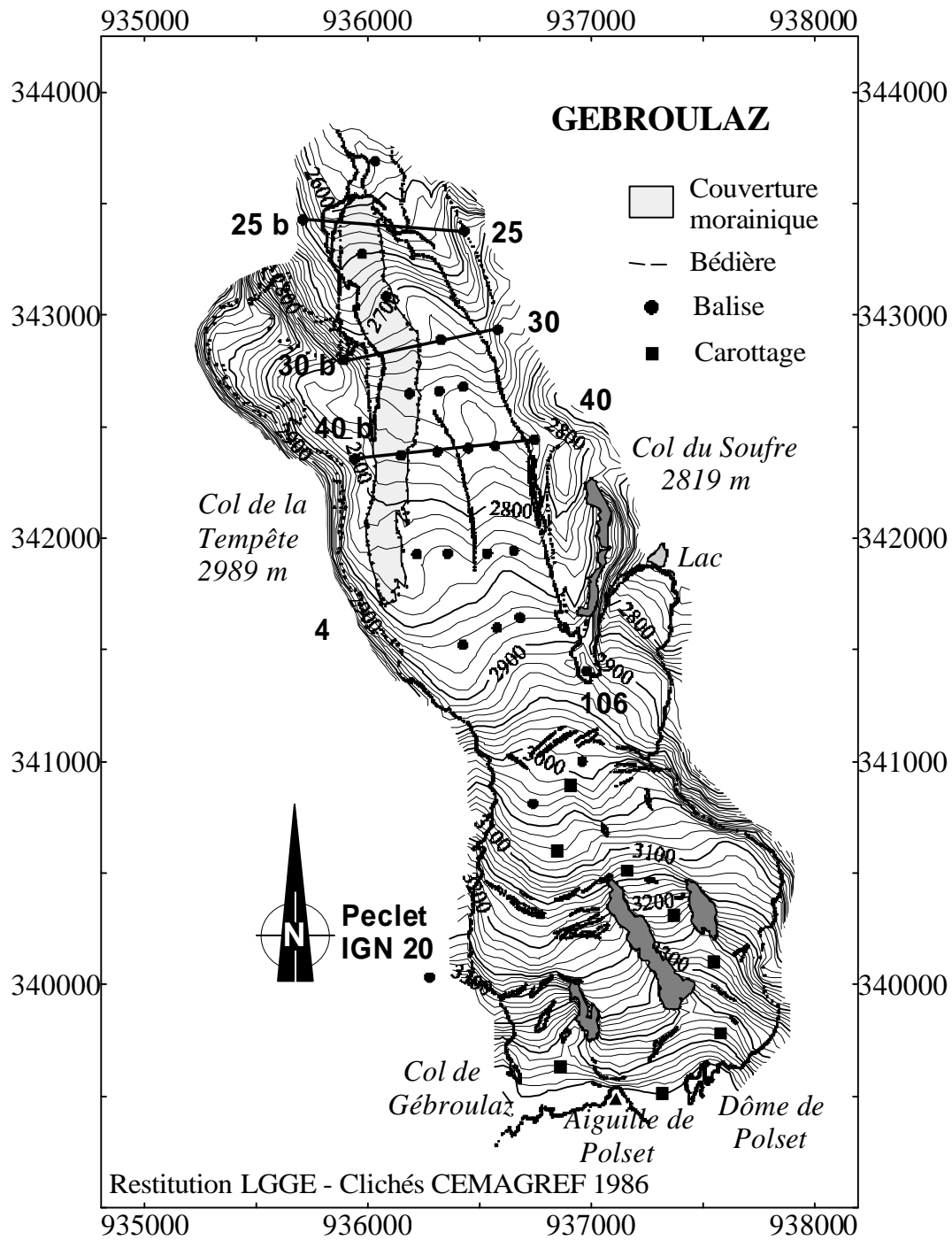


Figure n°1 : Plan de situation des profils transversaux, positions des balises d'ablation et des sites de carottage.

Sommaire:

- I. Travaux en 2003
- II. Réseau géodésique
- III. Bilans hivernaux, estivaux et annuels
- IV. Variations d'épaisseurs aux profils
- V. Variations du front .
- VI. Conclusions

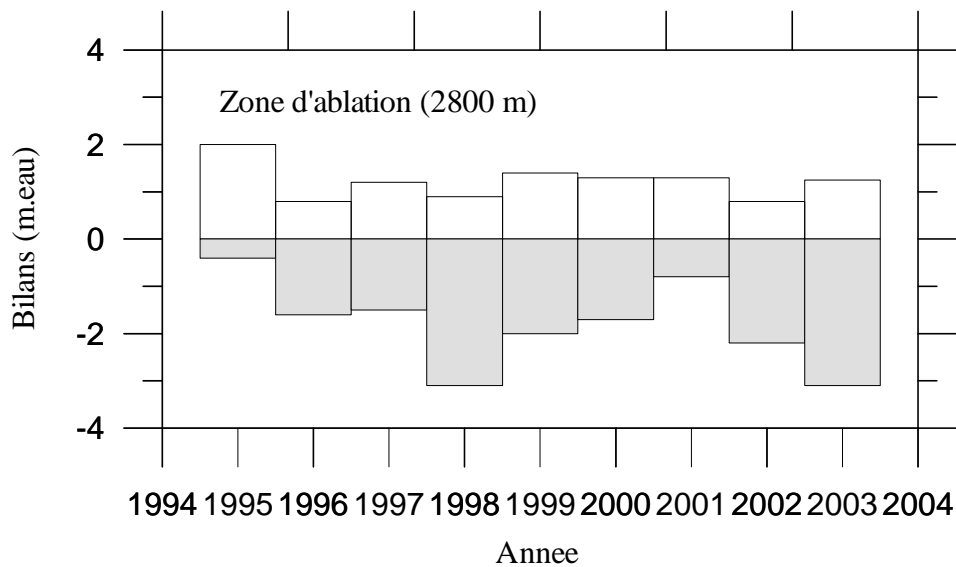
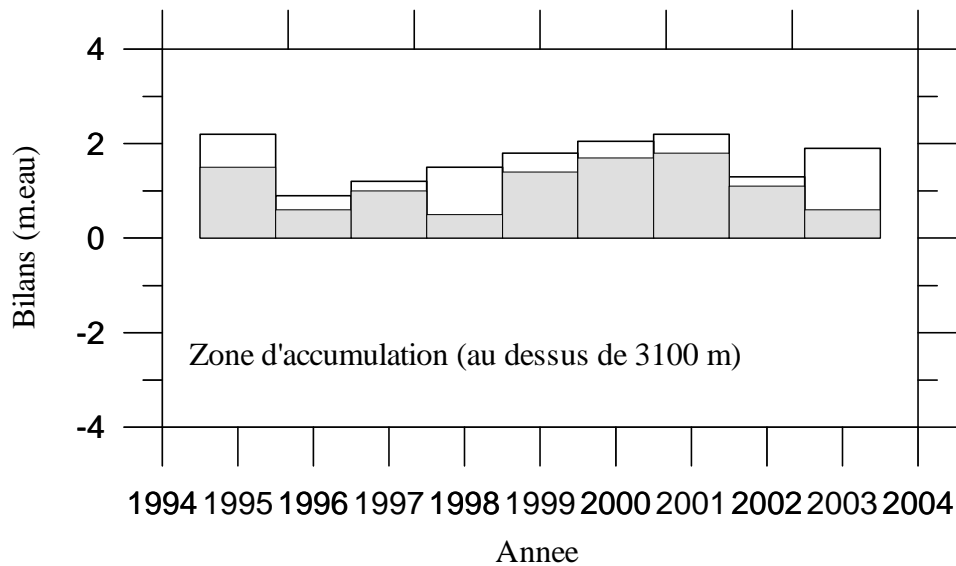


Figure n°2: Bilans hivernaux et annuels observés sur le glacier de Gébroulaz depuis 1994/1995 (bilans annuels en gris). En zone d'accumulation (figure 2 en haut), les bilans hivernaux sont représentés par l'histogramme et la partie grisée figure le bilan annuel. La différence (partie blanche) représente ainsi la fusion estivale. Il en est de même pour la zone d'ablation (figure 2 en bas), mais cette fois, le bilan estival est la somme de la partie blanche (accumulation hivernale) et de la partie grisée (bilan annuel négatif). De cette façon, la partie grisée représente en zone d'accumulation la quantité de neige restante à la fin de la saison hydrologique et en zone d'ablation la quantité de glace disparue.

I. Travaux de terrain 2003

Les campagnes de printemps et d'été 2003 se sont déroulées:

- . le 23 avril 2003 pour les mesures de bilans hivernaux (carottages).
- . les 26 et 27 août 2003 pour les mesures topographiques et les mesures de bilans.
- . le 9 octobre 2002 pour une mesure de bilans en fin de saison d'ablation.

Ont participé à ces relevés :

- . Nicolas Lhomme, Martin Gerbeaux , Bruno Jourdain et Christian Vincent le 23 avril 2003.
- . Bruno Jourdain, Nicolas Alexandre et Christian Vincent du 26 au 27 août 2003.
- . Christian Vincent le 25 septembre 2003, pour une mesure des émergences des balises à la fin de la saison hydrologique.

Le dépouillement des mesures a été fait par Christian Vincent.

Nous remercions les gardes du secteur du Parc de la Vanoise qui ont bien voulu nous prêter le chalet du Saut.

II. Réseau géodésique:

Les profils transversaux relevés par les Eaux et Forêts depuis 1907 et repris depuis 1983 par le LGGE sont indiqués sur la figure n°1:

- le profil SS' ou profil 40-40b
- le profil supérieur ou profil 30-30b
- le profil inférieur ou profil 25-25b

De 1983 à 1993, ces profils étaient relevés à partir de stations topographiques en rive droite. Depuis 1994, des piliers ont été installés en rive gauche du glacier pour des raisons de commodité et de stabilité (piliers 40b, 30b, et 25 b, sur la figure n°1).

En 2003, le réseau de triangulation a été totalement revu à l'aide de récepteurs géodésiques GPS, par la méthode différentielle. En premier lieu, les stations 106 (sommet de la moraine) et 225 (extrémité du profil inférieur) ont été rattachées au réseau REGAL (réseau permanent de stations GPS dans les Alpes, géré par l'Observatoire des Sciences de l'Univers). La station permanente la plus proche est localisée à Modane. Ainsi, nous avons déterminé avec une précision centimétrique les coordonnées de ces stations dans le système IGN national Lambert III. Ces coordonnées indiquent des écarts de 20 à 80 cm en planimétrie avec les coordonnées antérieures. Ces différences ont deux causes : d'abord la méthode de triangulation entreprise en 1989 par des moyens topographiques classiques ne permettaient pas d'espérer un positionnement absolu meilleur que 30 cm dans le système Lambert. En effet, la triangulation avait été effectuée du sommet de Pecllet (repère géodésique IGN) en visant d'autres repères géodésiques (Dent Parrachée, Chanrossa) non matérialisés préalablement. Les angles de référence (gisements) ont donc été déterminés avec une incertitude de quelques milligrades. La deuxième cause de l'imprécision de l'ancienne triangulation dans le système Lambert provient de l'instabilité des stations topographiques en rive droite. Nous avons notamment relevé des déplacements de plusieurs cm par an des stations 30 et 40. Etant donné que les opérations de triangulation se sont déroulées sur plusieurs années, ces déplacements ont directement altérés la précision du réseau de triangulation, et en particulier lors du transfert des stations topographiques en rive gauche.

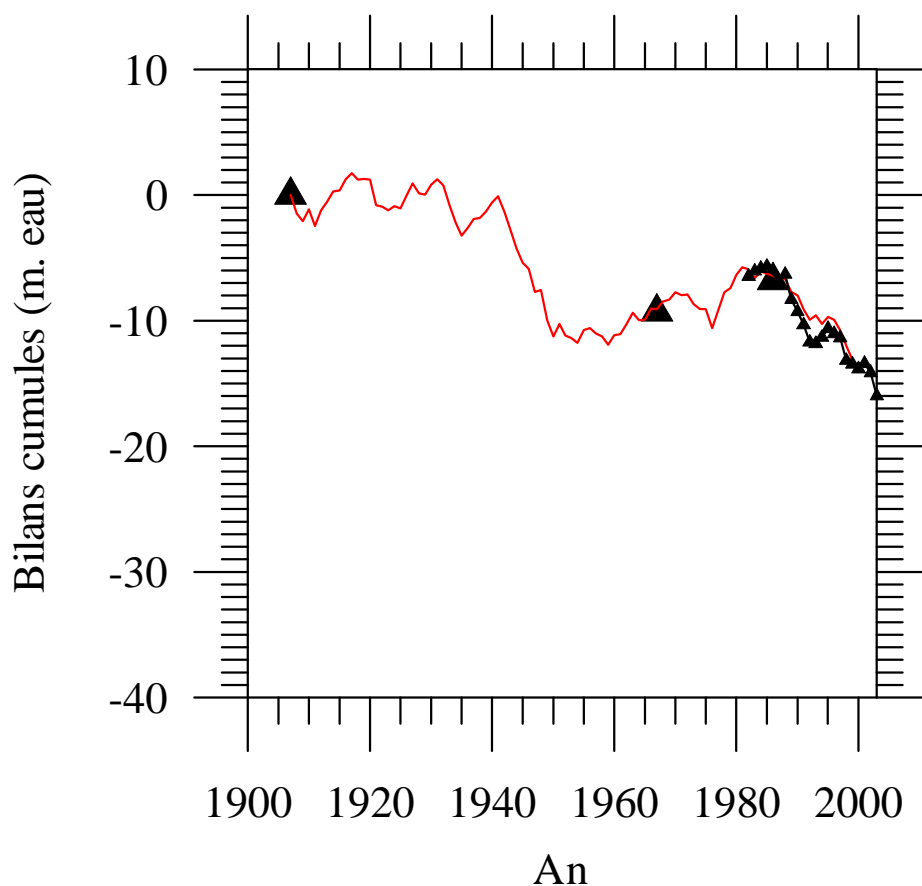


Figure n°3 : Bilans cumulés du glacier de Gébroulaz depuis le début du 20^{ème} siècle. Ils représentent la variation d'épaisseur moyenne sur l'ensemble de la surface du glacier, exprimée en mètres d'eau. Ainsi, le glacier de Gébroulaz a perdu l'équivalent d'une lame d'eau de 16.0 m depuis 1905. Les petits triangles représentent les résultats des mesures directes de terrain des bilans de masse ; les triangles plus larges représentent les résultats obtenus d'une part à partir des restitutions photogrammétriques réalisées par le LGGE grâce aux clichés photogrammétriques aériens, d'autre part de la carte topographique du service géographique de l'Armée établies en 1905/1906. La courbe continue résulte d'un modèle de calcul réalisé à partir des données météorologiques des stations de plaine ou vallée (Précipitations de Besse en Oisans entre le 1^{er} octobre et le 31 mai, et températures de Lyon entre 1^{er} mai et le 31 septembre).

(Adapté de Vincent C., Journal of Geophysical Research, 4 octobre 2002)

Néanmoins, ces imprécisions sur les coordonnées antérieures n'ont pas entachées la précision des mesures relatives par rapport aux stations de référence. Le problème de stabilité des stations sur les moraines de la rive droite ont été résolus lorsque nous avons déplacé, en 1994, toutes les stations en rive gauche (piliers 40b, 30b, et 25b). Seules les coordonnées absolues (par rapport au système national) sont entachées d'incertitude. Le nouveau réseau géodésique de 2003 autour du glacier de Gébroulaz répond à deux critères :

- . il est désormais rattaché avec une précision centimétrique au réseau IGN Lambert III. Cela présente l'avantage de travailler directement dans le système WGS84 (système international utilisé pour les récepteurs GPS) en appliquant seulement une transformation standard entre le système WGS84 et la projection Lambert.

- . nous avons voulu conserver un système altimétrique le plus proche possible du réseau antérieur afin d'assurer la comparaison des travaux topographiques futurs avec les travaux antérieurs, et notamment les travaux photogrammétriques de 1986. Nous avons donc choisi un système qui minimise les écarts altimétriques obtenus.

Enfin, le réseau planimétrique est celui de la projection Lambert III, et le réseau altimétrique est local (avec un écart d'environ 50 cm au réseau de nivellement NGF). Toutes les coordonnées des balises implantées en 2001 ont été recalculées (2001 à 2003) dans le nouveau système. Les coordonnées des pierres mises en place en 2002 sur les profils transversaux (SS' et supérieur) ont également été recalculées. Les valeurs de vitesses ne sont donc pas affectées par ce changement de système de coordonnées. Seules les altitudes des profils transversaux sont affectées (<30 cm). Les incidences sur la comparaison avec les travaux photogrammétriques de 1986 sont quasiment négligeables étant donnée la précision de la restitution photogrammétrique (écart type de 50 cm).

Enfin, pour la comparaison des altitudes obtenues sur les profils avec celles des Eaux et Forêts mesurées entre 1906 et 1965, nous rappelons qu'il est nécessaire de faire les translations altimétriques suivantes :

- nous devons retrancher 11.65 m pour obtenir l'altitude des Eaux et Forêts au profil inférieur.
- nous devons retrancher 11.30 m pour obtenir l'altitude des Eaux et Forêts au profil supérieur.
- nous devons ajouter 4.73 m pour obtenir l'altitude des Eaux et Forêts au profil SS'.

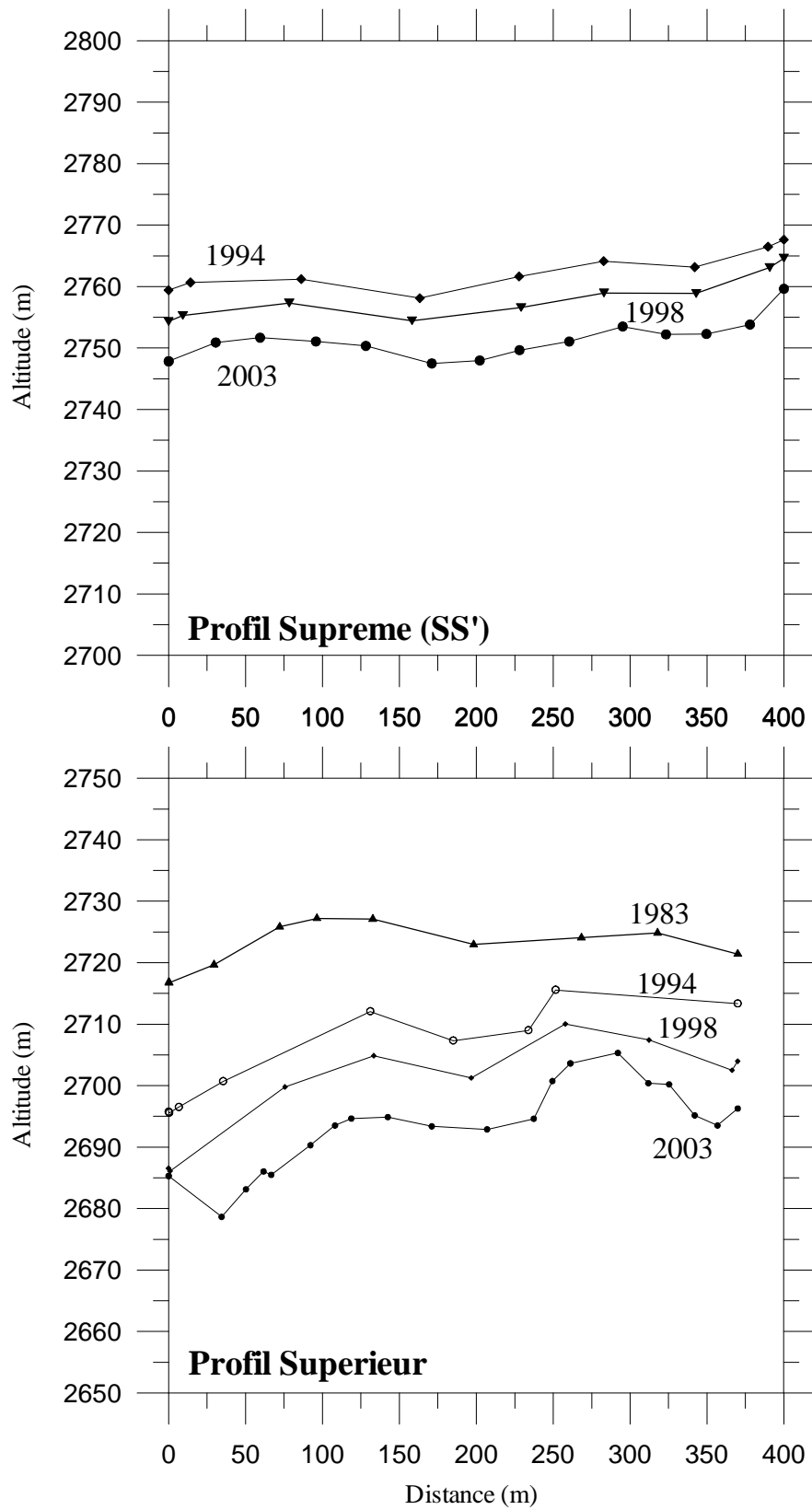


Figure n° 4 : Variations d'altitude aux profils supérieur et suprême.

III. Bilans hivernaux, estivaux et annuels:

Les observations de bilans de masse annuels proviennent des carottages réalisés en zone d'accumulation et des mesures d'émergence des balises implantées en zone d'ablation. En outre, des carottages sont effectués à la fin de la saison hivernale (début mai) et permettent de déterminer les valeurs de bilans hivernaux sur l'ensemble du glacier. Les mesures des bilans estivaux sont effectuées à la fin de la saison hydrologique (début octobre en 2003) qui correspond à la fin de la fonte estivale.

Pour illustration de l'évolution temporelle, les bilans hivernaux et annuels en zone d'accumulation (au dessus de 3100 m) et en zone d'ablation (vers 2800 m) sont reportés sur la figure n°2.

Au printemps 2003 (23 avril), environ 15 carottages ont été effectués sur l'ensemble du glacier; des balises ont été laissées dans les trous de forage afin de déterminer l'ablation estivale lors du relevé de septembre. Les bilans hivernaux de 2002/2003 varient de 2 m d'eau en haut du glacier à 1.1 m d'eau en bas du glacier. Ce sont des valeurs proches de la moyenne. En revanche, la fusion estivale a été très forte au cours de l'été 2003. A 2800 m d'altitude, par exemple, elle atteint un valeur de 4.3 m d'eau et dépasse la valeur maximale enregistrée en 1998. En zone d'accumulation, la fonte a également été importante (Figure 2, en haut) et supérieure à ce que l'on avait observé jusqu'à aujourd'hui. Cette situation est générale dans les Alpes. Grâce aux longues séries d'observations glaciaires dans les Alpes, on peut conclure que les valeurs de bilans annuels et estivaux dépassent les valeurs des 50 dernières années. La plus longue série d'observations de bilans de masse des Alpes (glacier de Clariden en Suisse), conduite depuis 1914 par nos collègues suisses, permet de dire que ces valeurs de fusion estivale n'ont jamais été atteinte depuis 1947.

Le bilan annuel total du glacier de Gébroulaz est, pour l'année 2002/2003, de -1.85 m d'eau : c'est donc l'équivalent de la perte d'une lame d'eau de 1.85 m sur l'ensemble de sa surface. Depuis 1905, le glacier a ainsi perdu l'équivalent d'une lame d'eau de 16 m. Cette perte de masse est comparable à celle des glaciers d'Argentière et de la Mer de Glace dans le Massif du Mont Blanc. Les glaciers du massif des Grandes Rousses ont connu un déficit beaucoup plus important au cours du 20^{ème} siècle : le glacier de Saint Sorlin a perdu 35 m d'eau depuis 1905 et le glacier de Sarennes 62 m d'eau. La variation de volume (ou de masse) de 4 glaciers dans les Alpes françaises (dont le glacier de Gébroulaz) au cours des 100 dernières années a été calculée à partir des cartes topographiques détaillées (1/10000 et 1/20000) du début du 20^{ème} siècle, des restitutions photogrammétriques (clichés IGN et clichés LGGE), et des observations directes de bilans de masse (Vincent, Journal of Geophysical Research, 2002). En 2003, nous avons débuté une nouvelle recherche dont l'objectif est d'exploiter les images satellitaires à des fins glaciologiques. Des images SPOT sont en cours d'analyse (J.P. Dedieu du LGGE) afin de déterminer la position de la ligne de névé à la fin de la saison estivale. Ces résultats seront alors confrontés aux observations de terrain (bilans de masse). La position de la ligne de névé, assimilée à la ligne d'équilibre, mesurée par satellite, pourrait alors constituer un excellent proxy du bilan de masse annuel. Les travaux entrepris sur le glacier de Gébroulaz, qui associent l'analyse d'images satellitaires et de photos aériennes (photogrammétrie) seront conduits dans le cadre d'un DEA en 2004.

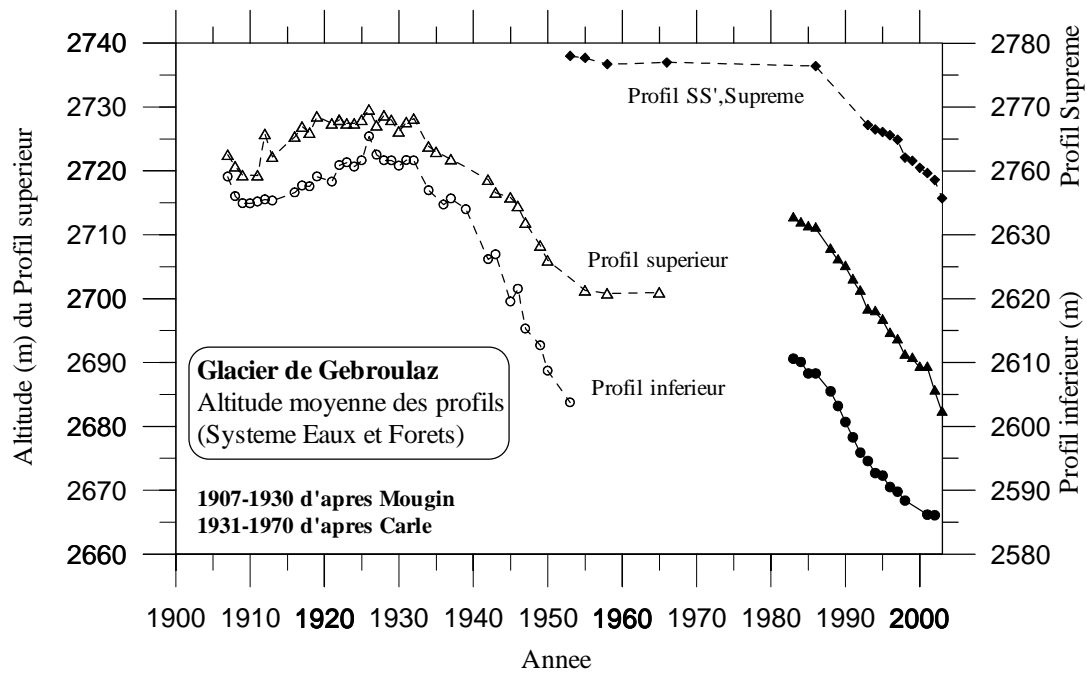


Figure n 5: Variations des epaisseurs aux trois profils transversaux (altitudes dans le syteme des Eaux et Forets)

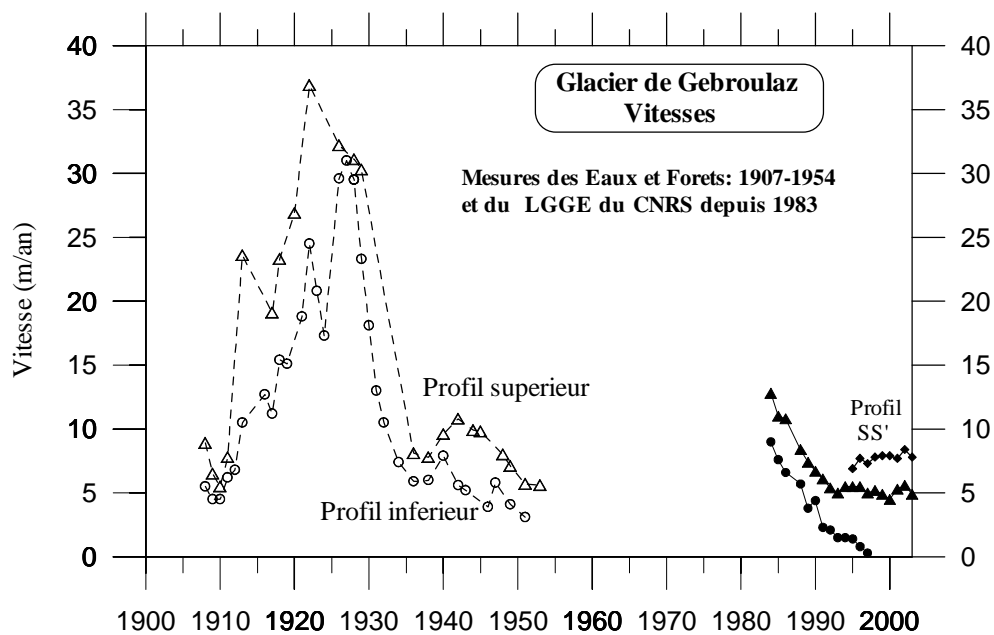


Figure n 6: Variations de vitesses sur les 3 profils transversaux (depuis 1983, les vitesses sont celles du centre du glacier)

IV. Variations des épaisseurs aux profils transversaux (figure n°4):

Depuis 1907, les Eaux et Forêts ont mesuré assez régulièrement les altitudes moyennes de deux profils transversaux (à 2700 et 2600 m d'altitude environ) sur la langue terminale du glacier. Ces mesures interrompues dans les années 60 ont été reprises en 1983 par le LGGE. Le profil inférieur a disparu complètement vers 1965 suite au retrait important du glacier. Cependant, peu avant, en 1953, les Eaux et Forêts avaient établi un profil supplémentaire baptisé SS' (à 2760 m d'altitude), en face du col du Soufre. Ce profil a été mesuré une dernière fois par les Eaux et Forêts en 1966. C'est ce profil que nous avons reconstitué en 1993 (en retrouvant les repères Eaux et Forêts sur le terrain, marques gravées sur le rocher). En 2003, seuls les deux profils (supérieur et SS') ont été mesurés. En effet, comme on peut le voir sur la figure n°7, le profil inférieur est en limite du front du glacier. Ce profil constitue donc aujourd'hui le lit rocheux.

Les mesures du mois d'août 2003 ont été effectuées avec les récepteurs géodésiques GPS (cf. section II Réseau géodésique). Le recalcul du réseau géodésique entraîne un décalage de 30 cm en altimétrie sur les profils suprême et supérieur. Ce décalage n'est pas négligeable et supérieur à la précision des mesures ponctuelles (10 cm) mais reste malgré tout faible au regard des variations d'épaisseur des profils (ci après).

Profil Suprême SS':

Depuis 1993, nous avons rétabli l'ancien profil SS' (vers 2760 m d'altitude) des Eaux et Forêts à proximité du Col du Soufre. Ce profil avait été implanté en 1953 (au moment où le profil inférieur disparaissait). Ce profil a été aussi rattaché au réseau NGF. L'altitude de 1986 est issue de la restitution photogrammétrique des clichés du 11 septembre 1986.

Profil supérieur

Le profil supérieur (2700 m environ) est mesuré depuis 1907 avec une large interruption entre 1966 et 1983.

Les variations d'épaisseurs aux profils transversaux pour l'année 2002/2003 sont les suivantes:

- 2.9 m au profil SS'
- 3.3 m au profil supérieur

V. Variations du front.

Le front du glacier a été mesuré en détail en septembre 2003 (Figure n°7). Pour les calculs de variations de longueurs du front, le profil inférieur servait jusqu'à aujourd'hui, de référence : la variation de longueur était calculée relativement à cette base. Comme la variation de longueur n'est pas du tout homogène d'une rive à l'autre, nous calculons l'aire comprise entre le front glaciaire et la ligne 225/25 du profil inférieur et nous divisons cette aire par une base de 230 m (qui correspondait à la largeur du glacier au niveau du profil inférieur. Au cours de ces dernières années, le front a nettement reculé et est désormais à l'amont du profil inférieur.

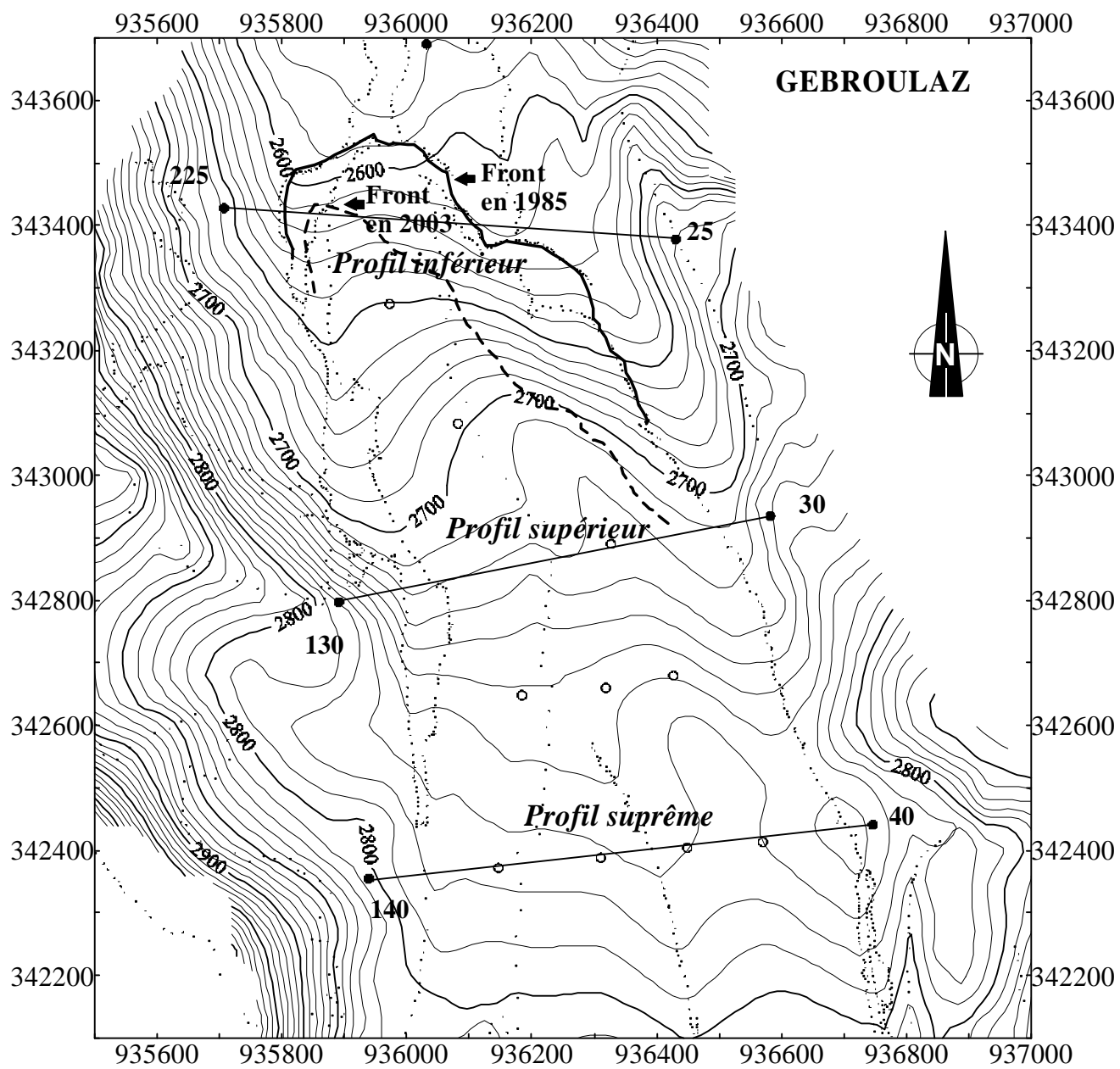


Figure n° 7 : Evolution du front du glacier depuis 1985.

Nous avons donc choisi de changer de base de référence et la base du profil supérieur 130-30 sert désormais de référence. Nous avons donc recalculé la fluctuation du front par rapport à cette ligne (avec une base de 480 m). Ce changement de référence change significativement les résultats sur les variations de longueur du glacier de Gébroulaz, car nous prenons en compte les larges pertes de surface glaciaire en rive droite (alors qu'en rive droite, le glacier est couvert d'une épaisse couche de débris morainiques et la surface n'est pas modifiée). Cela révèle la difficulté d'interprétation des variations de longueur pour un glacier comme celui de Gébroulaz, qui est en grande partie couvert au front : la faible diminution de longueur de la langue terminale depuis 1985 (à peine 100 m), ne reflète pas la grande perte de surface de cette langue terminale (essentiellement en rive droite). Si l'on prend en compte cette perte de surface à partir de la ligne 130-30 (profil supérieur), égale à 11 hectares, la variation de longueur moyenne (ramenée à une largeur de 480 m) est de 231 m. Nous homogénéiserons ces données de fluctuations de longueur dans le prochain rapport en 2004 en choisissant une base identique pour l'ensemble des données..

VI. Conclusions:

Le glacier de Gébroulaz présente en 2002/2003 un bilan très négatif égal à -1.85 m d'eau. Ce déficit est essentiellement le résultat de l'ablation estivale très forte et sans équivalent depuis 50 ans, d'après les longues séries de mesures de bilans de masse effectuées sur d'autres glaciers dans les Alpes. L'épaisseur de la langue du glacier a fortement diminué également (-3 m). Le glacier continue de reculer. En septembre 2003, nous avons relevé le front du glacier (Figure 7).

Le glacier de Gébroulaz figure parmi les 4 glaciers sélectionnés dans les Alpes françaises pour des observations à long terme dans le cadre d'un Service d'Observation des Glaciers Alpains. Ce programme dont l'acronyme est « POG », Programme d'Observation des Glaciers alpins, a été reconnu par l'OSUG (Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble) en 2000. En outre, les observations du glacier de Gébroulaz sont inscrites depuis la fin de l'année 2002 dans un ORE (Observatoire de Recherche en Environnement, crée par le Ministère de l'Environnement). Cet observatoire concerne 5 glaciers dans les Alpes françaises (les 4 précédents et Sarennes), 2 glaciers dans les Andes (Zongo en Bolivie et Antizana en Equateur), et 2 sites en Antarctique (Dumont d'Urville et Dome Concordia). Il a pour principal objectif d'évaluer les changements climatiques à travers des observations glaciologiques (bilans de masse, variations d'épaisseur, mesures météorologiques) sur le long terme. Ainsi, les observations du glacier de Gébroulaz, qui ont débuté au début du 20^{ème} siècle grâce aux Eaux et Forêts, s'inscrivent désormais dans un programme à long terme.

Au cours de l'été 2004, le réseau des balises d'ablation devra être renouvelé. Cette implantation nécessite de lourdes charges (sonde à vapeur, bouteilles de gaz) et ne peut être réalisée qu'avec un transport hélicopté. Une demande d'hélicoptage sera donc faite au Parc National de la Vanoise.

A Saint Martin d'Hères, le 9 décembre 2003

C. Vincent

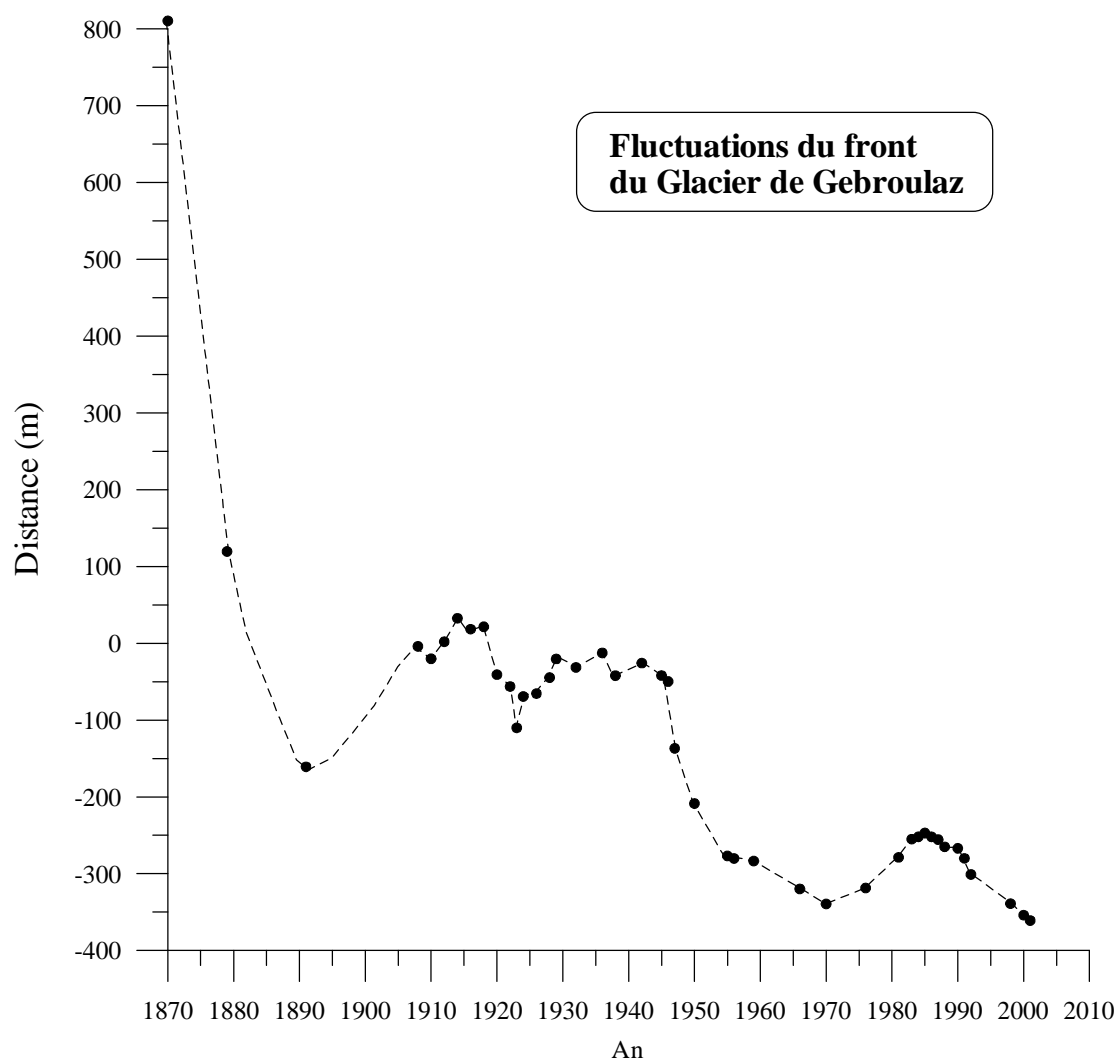


Figure n°6 : Fluctuations de longueur du glacier de Gébroulaz depuis 1870.

ANNEXE I

Vitesses mesurées sur les profils transversaux

Les vitesses sont calculées à partir des relevés topographiques de pierres placées chaque année sur les mêmes profils transversaux (la méthode de mesure est similaire à celle adoptée par les Eaux et Forêts). Dans le tableau ci-dessous, depuis 1983, nous avons reporté non pas les valeurs moyennes des vitesses en surface mais celles des vitesses au centre du glacier (donc les vitesses maximales mesurées).

Date	Vitesses au centre du glacier		
	Profil SS'	Profil sup.	Profil inf.
12.08.1983			
21.08.1984		12.8 m/an	9.0 m/an
25.10.1985		11.0 m/an	7.6 m/an
20.08.1986		10.8 m/an	6.6 m/an
24.08.1988		8.4 m/an (sur 2 ans)	5.7 m/an (sur 2 ans)
01.09.1989		7.4 m/an	3.8 m/an
01.09.1990		6.7 m/an	4.4 m/an
30.08.1991		6.1 m/an	2.3 m/an
20.08.1992		5.4 m/an	2.1 m/an
17.08.1993		5.0 m/an	1.5 m/an
11.08.1994		5.5 m/an	1.5 m/an
17.08.1995	6.9 m/an	5.5 m/an	1.4 m/an
05.09.1996	7.7 m/an	5.5 m/an	0.8 m/an
02.09.1997	7.3 m/an	5.0 m/an	0.3 m/an

Date	Vitesses au centre du glacier		
	Profil SS'	Profil sup.	Profil inf.
1.09.1998	7.8 m/an	5.2 m/an	1.1 m/an
31.08.1999	7.9 m/an	4.9 m /an	
24.08.2000	7.9 m/an	4.5 m/an	
28.08.2001	7.7 m/an	5.3 m/an	
21.08.2002	8.4 m/an	5.6 m /an	
27.08.2003	7.8 m/an	4.9 m/an	

ANNEXE II

Variations du front depuis 1983

Date	Surface du front /ligne 25-25b m2	Base	Distance du front à la ligne	Avance ou recul (m)
12.08.1983	19602	230	85	
21.08.1984	20189	230	88	+3
25.10.1985	21305	230	93	+5
20.08.1986	20272	230	88	-5
1987				
25.08.1988	17225	230	75	-13
10.09.1989				
10.09.1990	14446	230	62.8	-12.2
30.08.1991	11606	230	50.5	-12.3
20.08.1992	6825	230	29.7	-20.8
01.09.1998	-1860	230	-8	-37.7
24.08.2000				-15
28.08.2001	-6862	230	-30	-7

Date	Surface du front /ligne 130-30 (m2)	Base	Distance du front à la ligne	Avance ou recul (m)
25.10.1985	298000	480	621	
25.09.2003	187000	480	390	231

ANNEXE III: Variations des épaisseurs aux profils transversaux

Profil SS':

Date	Altitude Eaux et Forêts (m)	Altitude NGF (m)
1953	2778.0	2773.3
1955	2777.7	2773.0
1959	2776.7	2772.0
1966	2777.0	2772.3
1986 (photogrammétrie)	2776.4	2771.7
17.08.1993	2767.2	2762.4
11.08.1994	2766.5	2761.8
17.08.1995	2766.1	2761.4
05.09.1996	2765.6	2760.9
02.09.1997	2764.9	2760.2
01.09.1998	2762.1	2757.4
31.08.1999	2761.6	2756.9
24.08.2000	2760.5	2755.8
28.08.2001	2759.65	2754.95
21.08.2002	2758.6	2753.9
27.08.2003	2755.7	2751.0

Profil supérieur

Le profil supérieur (2700 m environ) est mesuré depuis 1907 avec une large interruption entre 1966 et 1983.

Date	Altitude Eaux et Forêts	Altitude NGF
12.08.1983	2712.6	2723.9
21.08.1984	2711.8	2723.1
25.10.1985	2711.2	2722.5
20.08.1986	2711.0	2722.3
1987		
25.08.1988	2707.7	2719.0
01.09.1989	2706.0	2717.3
01.09.1990	2705.1	2716.4
30.08.1991	2702.9	2714.2
20.08.1992	2701.1	2712.4
17.08.1993	2698.2	2709.5
11.08.1994	2697.9	2709.2
17.08.1995	2696.6	2707.9
05.09.1996	2694.5	2705.8
02.09.1997	2693.5	2704.8
01.09.1998	2691.1	2702.4
31.08.1999	2690.6	2701.9
24.08.2000	2689.2	2700.5
28.08.2001	2689.2	2700.5
21.08.2002	2685.5	2696.8
27.08.2003	2682.2	2693.5

Profil inférieur:

Date	Altitude Eaux et Forêts	Altitude NGF
12.08.1983	2610.6	2622.2
21.08.1984	2610.1	2621.8
25.10.1985	2609.3	2620.9
20.08.1986	2608.3	2619.9
1987		
25.08.1988	2605.5	2617.2
01.09.1989	2603.2	2614.9
01.09.1990	2600.7	2612.3
30.08.1991	2598.3	2609.9
20.08.1992	2595.9	2607.5
17.08.1993	2594.6	2606.2
11.08.1994	2592.7	2604.3
17.08.1995	2592.3	2604.0
05.09.1996	2590.5	2601.6
02.09.1997	2589.8	2601.0
01.09.1998	2588.4	2600.1
28.08.2001	2586.2	2597.9
21.08.2002	2586.0	2597.7 déglacé

ANNEXE IV: Coordonnées des stations topographiques

Correction Lambert: +90 mm/km

Réduction au niveau de la mer et correction Lambert: -0.30 m/km (à 2500m)

Coordonnées recalculées en 2003

Point	Coordonnées	Gisements	Observations
IGN 20 Sommet Pecllet	936275.54 340030.87 3561.9		
106	936979.55 341405.76 2941.33		
140 (S') Profil SS' RG	935938.78 342354.55 2808.46 (sol) 2809.52 (embase)	Profil: 93.295 gr 50: 77.779 gr	Pilier LGGE dist. d'application du profil: entre 200 et 600 m de 140. A 210.89 m de 40.
40 (S) (août 1993)			marque peinture spit. bloc instable (1.2 m /an !)
240 (S) (septembre 2000)			marque peinture et spit. Même repère que 40.
130 (30 b) Profil supérieur RG (Distance d'application du profil: 204 à 574 m de 30b)	935890.86 342796.49 2785.66 (sol) 2786.66 (embase)	profil: 87.394 gr	Pilier LGGE dist. d'application du profil: entre 204 et 574 m de la station 130. A 129.65 m de 30.
230	935889.43 342795.68 2787.04		Plaquette LGGE
30 Profil supérieur			station disparue vers 1993 (bloc)
225(25b) Profil inférieur RG	935701.20 343433.44 2667.29 (embase)	Profil: 104.906 gr	station 125 disparue en 1999 dist d'application: entre 191.85 et 331.85 m de la station 225
25 Profil inférieur RD	936429.95 343377.16 2688.53		
2	936031.07 343689.61 2581.21		Bâche Cemagref
Station front n°85 (moraine de 1985)	935932.67 343518.90 2588.70		
Station crête 2003 N°82	935748.35 342126.59 3007.62		Plaquette
Station 50	936777.26 342659.72 2839.35		Repère métallique LGGE

ANNEXE V: Coordonnées des extrémités des profils

Profil sup RD	45°18'25.761	6°37'41.536
Profil sup RG	45°18'24.012	6°37'24.723
Profil Suprême RD	45°18'09.709	6°37'44.118
Profil Suprême RG	45°18'09.021	6°37'25.776

ANNEXE VI: Bilans hivernaux et annuels

Carottages dans la zone d'accumulation:

Site	2 au pied de l'Aiguille de Polset 3440 m	3 Sous le Dôme de Polset 3410 m	4 Combe de Polset 3220 m	5 Plateau 3020 m
Position	937320 339510	937580 339780	937370 340310	936900 340870
23 et 24 mai 1995			2.20 m eau névé: 6.10 m	2.23 m eau névé: 4.95 m
27 juin 1995	1.69 m eau névé: 3.45 m	2.52 m eau névé: 5.20 m		
17 août 1995	1.00 m eau névé: 1.65 m	1.80 m eau névé: 3.00 m	non retrouvée	1.00 m eau névé: 1.65 m
25 et 26 avril 1996	0.35 m eau névé: 0.9 m	0.92 m eau névé: 2.20 m	0.84 m eau névé: 2.00 m	0.96 m eau névé: 2.30 m
5 sept. 1996	0.16 m eau névé: 0.3 m	0.63 m eau névé: 1.15 m	0.54 m eau névé: 0.90 m	-0.05 m eau
23 et 24 avril 1997	0.70 m eau névé: 1.80m	1.71 m eau névé: 4.10 m	0.94 m eau névé: 2.40	1.02 m eau névé: 2.50m
2 sept. 1997	0.88 m eau	1.57 m eau	0.78 m eau	0.27 m eau
5 mai 1998	0.63 m eau neige: 1.70 m	1.93 m eau neige: 4.65 m	1.64 m eau neige: 3.95m	1.19 m eau neige: 2.95m
2 sept. 1998	plus de neige de 1998 bilan: -0.12 m eau névé: -0.20m	1.00 m eau neige: 1.80 m	0.5 m eau neige: 0.85 m	plus de neige de 1998 bilan: -1.9
1er juin 1999		2.04 m eau neige: 4.40 m	1.96 m eau neige: 4.25 m	1.74 m eau neige: 3.70 m
1er sept. 1999		1.38 m eau neige: 2.30 m	1.26 m eau neige: 2.10 m	0.30 m eau neige: 0.50 m

Site	2 au pied de l'Aiguille de Polset 3440 m	3 Sous le Dôme de Polset 3410 m	4 Combe de Polset 3220 m	5 Plateau 3020 m
Position Coord. Lambert	937320 339510	937580 339780	937370 340310	936900 340870
WGS 84	45°16'34.3" 6°38'13.1"	45°16'42.6" 6°38'25.6"	45°16'59.1" 6°38'19.2"	45°17'19.0" 6°37'57.1"
4 mai 2000		2.13 m eau neige: 5.13 m	1.98 m eau neige: 4.54 m	1.25 m eau neige: 2.90 m
25 août 2000		1.76 m eau neige: 3.20 m	1.47 m eau neige: 2.45 m	Ablation
22 mai 2001		2.16 m eau neige: 5.40 m	2.14 m eau neige: 5.35 m	1.80 m eau neige: 4.50 m
29 août 2001		1.80 m eau neige :3.00 m	1.92 m eau neige : 3.20 m	0.78 m eau neige : 1.30 m
22 avril 2002		1.04 m eau neige : 2.70 m	0.83 m eau neige : 2.20 m	0.95 m eau neige: 2.50 m
21 août 2002			0.57 m eau neige: 0.95 m	0.21 m eau neige : 0.35 m
23 avril 2003		1.96 m eau neige : 4.55 m	1.69 m eau neige : 4.00 m	1.43 m eau neige : 3.45 m
Site	11 vers col de Gébroulaz 3425 m	12 plateau sous Polset 3290m	1 Pied du Rognon 3100 m	13 Promontoire 3275 m
Position Lambert	936860 339630	937200 339850		
WGS 84	45°16'36.5" 6°37'51.0"		45°17'07.3" 6°38'11.7"	
27 juin 1995	3.09 m eau névé: 6.30			
17 août 1995	2.58 m eau névé: 4.30 m			
25 et 26 avril 1996	1.21 m eau névé: 2.85 m	2.83 m eau névé: 6.25 m		
5 sept. 1996	1.45 m eau névé: 2.65 m	3.13 m eau névé: 5.70 m		
23 et 24 avril 1997	1.55 m eau névé:3.77 m	3.32 m eau névé:7.40 m		
2 sept. 1997	non mesuré	non mesuré		
5 mai 1998	0.88 m eau neige: 2.30 m		1.37 m eau neige: 3.40m	
2 sept. 1998	plus de neige de 1998 bilan: -0.1 m eau névé:-0.2 m			
1er juin 1999	1.72 m eau neige:3.90 m		1.66 m eau neige: 3.80 m	2.70 m eau neige: 5.80 m
1er sept. 1999	1.50 m eau neige: 2.50 m		0.75 m eau neige: 1.25 m	1.95 m eau neige: 3.55 m

Site	11 vers col de Gébroulaz 3425 m	1 Pied du Rognon 3100 m	6 Combe de Peclet 3070 m
Position Lambert	936860 339630		936846 340600
WGS 84	45°16'36.5" 6°37'51.0"	45°17'07.3" 6°38'11.7"	45°17'10.4 6°37'54.0
4 mai 2000	2.05 m eau neige: 5.00 m	1.61 m eau neige: 3.75 m	
25 août 2000	1.95 m eau neige: 3.55 m		
22 mai 2001		2.28 m eau neige: 5.70 m	
22 avril 2002	1.38 m eau neige : 3.45 m	1.34 m eau neige : 3.35 m	1.31 m eau neige : 3.30 m
21 août 2002	1.73 m eau neige: 3.15 m	1.17 m eau neige : 1.95 m	0.76 m eau neige : 1.26 m
23 avril 2003	2.01 m eau neige : 4.65 m	1.84 m eau neige : 4.30 m	1.64 m eau neige : 3.90 m

Carottages dans la zone d'ablation (accumulation hivernale):

Les positions des sites de carottages n'ont pas été déterminées exactement au printemps; elles correspondent approximativement aux sites des balises indiquées dans le tableau ci-dessous, et dont les coordonnées figurent dans les tableaux des balises d'ablation.

Site	Balise 4 Rive D 45°17'44.6" 6°37'48.6"	Balise 6 Rive G 45°17'41.0" 6°37'36.3"	Balise 7 Rive D 45°17'53.8" 6°37'47.9"	Balise 10 Rive G 45°17'54.2" 6°37'28.5"	Balise 13 (Prof. SS') 45°18'08.9" 6°37'33.6"
	2870 m	2870 m	2830 m	2815 m	2780 m
23 mai 1995		1.18 m eau névé:2.80	1.64 m eau névé: 3.90	1.92 m eau névé: 4.80	
26 avril 1996	1.22 m eau névé:2.70	0.8 m eau névé: 1.95	0.56 m eau névé: 1.40	0.73 m eau névé: 1.80	1.00 m eau névé: 2.35
24 avril 1997	1.22m eau névé: 2.96	0.70m eau névé:1.77	1.28m eau névé:3.12	1.28m eau névé:3.10	1.18m eau névé:2.85
5 mai 1998	0.93m eau neige:2.30	0.93m eau neige:2.30	0.97m eau neige:2.40	0.97m eau neige:2.40	0.97m eau neige:2.40
1er juin 1999	1.88 m eau neige:3.90	1.15 m eau neige:2.40	1.44 m eau neige: 3.00	1.42 m eau neige: 2.95	1.44 m eau neige: 3.00
4 mai 2000	1.25 m eau neige: 2.90	1.08 m eau neige: 2.50	1.46 m eau neige: 3.40	1.20 m eau neige: 2.80	1.53 m eau neige: 3.55
22 mai 2001	1.48 m eau neige: 3.45	1.16 m eau neige: 2.70	1.26 m eau neige: 2.80	1.64 m eau neige: 3.65	1.44 m eau neige: 3.20
22 avril 2002	0.78 m eau neige : 2.10 m	0.60 m eau neige : 1.50 m	0.84 m eau neige: 2.10 m	0.76 m eau neige: 2.10 m	0.98 m eau neige: 2.45 m
23 avril 2003	1.39 m eau neige : 3.15 m	1.06 m eau neige : 2.40 m	1.28 m eau neige : 2.90 m	1.23 m eau neige: 2.80 m	1.28 m eau neige : 2.90 m

Site	Balise 11 Rive D	Balise 18 Centre du glacier	Balise 17 Rive D
WGS 84	45°18'08.7" 6°37'44.7" 2760 m	45°18'24.3" 6°37'35.9" 2700 m	45°18'18.7" 6°37'39.4" 2734 m
26 avril 1996	0.61 m eau névé: 1.50	0.16 m eau névé: 0.4m	
24 avril 1997	1.24m eau névé:3.00	0.96m eau névé:2.40	0.98m eau névé:2.45
5 mai 1998	0.84m eau neige:2.10	0.68m eau neige:1.55	
1er juin 1999	1.30 m eau neige: 2.70	1.20 m eau neige: 2.50	1.01 m eau neige:2.10
4 mai 2000	1.25 m eau neige: 2.90	1.35 m eau neige:3.15	
22 mai 2001	1.33 m eau neige: 2.95	1.21 m eau neige: 2.70	1.12 m eau neige: 2.50
22 avril 2002	0.80 m eau neige: 2.00 m	0.76 m eau neige : 1.90 m	0.76 m eau neige : 1.90 m
23 avril 2003	1.23 m eau neige : 2.80 m	1.10 m eau neige : 2.50 m	1.06 m eau neige : 2.40 m

Annexe VII : Points d'appui photogrammétriques

106	936979.6796	341405.7709	2941.2890	station
2	936031.0663	343689.6126	2581.2137	baché
225	935701.1221	343433.3981	2679.3117	plaquette
3	937106.7542	342417.5449	2847.1212	baché
5	935900.2621	342727.2263	2795.8325	baché
10	935792.2238	341665.7769	3071.9600	baché
2	936031.0663	343689.6126	2581.2137	baché (vers le front)
6	936983.9099	341390.0021	2941.3592	baché
68	935771.9501	341849.5118	3026.9468	croix peinture sur la crête
69	935963.6311	342445.1215	2797.8185	croix peinture vers station 140
85	935932.6765	343518.9011	2588.6967	croix peinture au front (moraine 1985)
7903	936222.7983	341739.2960	2819.6906	croix peinture sur un rocher, sur glacier
(attention au déplacement). (mesuré en aout 2003).				
80	936450.2032	343427.8829	2667.2070	croix peinture proche de la station 25
81	935841.8493	341605.2317	3058.5356	gazex (sommets, centre)
225	935701.2002	343433.4410	2667.2881	plaquette
130	935890.8613	342796.4897	2785.66	pilier, altitude/sol
140	935938.7759	342354.5503	2808.4643	pilier, altitude /sol
230	935889.4313	342795.6731	2787.0446	plaquette
25	936429.9527	343377.1631	2688.5311	station, marque peinture
82	935748.3295	342126.5050	3007.6174	station (plaquette) sur la crête
120	936275.54	340030.87	3561.90	Point géodésique IGN, sommets de Pécelet.
73	937326.836	341120.137	2906.10	station
30	936580.758	342934.912	2750.67	ancienne station (disparue)
51	936246.997	340008.000	3554.281	rocher proche de Pécelet
52	936236.401	339996.700	3550.694	rocher proche de Pécelet
53	936306.128	339964.583	3513.467	croix
54	936330.841	339960.418	3507.000	rocher proche de Pécelet
57	936406.913	339885.634	3499.825	
58	936406.703	339881.207	3499.857	
59	936349.555	339877.668	3454.281	croix
60	936430.468	339260.162	3376.072	
62	936748.200	339343.902	3506.899	gendarme
63	936987.254	339455.153	3488.426	
64	937018.671	339455.262	3499.108	gendarme
65	937096.106	339475.643	3531.039	Polset, sommets
8	937523.517	339568.998	3491.832	baché
7	937478.291	340302.934	3264.027	baché
74	937804.465	341713.753	2522.401	extrémité bloc
75	937893.628	341694.296	2481.619	extrémité bloc
76	937909.559	341629.292	2486.252	croix peinture
77	938380.166	341463.118	2438.119	croix peinture (lac)
78	938396.189	341471.310	2437.170	sommets bloc
70	936801.506	342204.877	2803.565	croix peinture
71	936803.516	342173.408	2808.284	
72	936931.849	341958.429	2823.835	
14	936236.829	343405.742	2617.139	cairn
13	936137.606	343637.970	2592.434	sommets bloc
12	935745.796	343465.613	2627.400	sommets bloc
11	935707.716	343426.915	2665.114	sommets bloc
20	935947.186	342398.753	2804.343	sommets rocher
21	935937.767	342354.956	2807.148	sommets rocher
41	935930.420	342340.408	2816.082	sommets rocher
86	935861.8815	341000.3309	3089.2627	coin SO embase pylone
87	935864.7875	340999.7402	3089.5120	coin NE embase pylone
88	935871.1369	340987.2525	3097.2470	plateforme bois, gare arrivée télésiège
89	935876.9785	340993.3687	3097.1206	idem
90	936868.5691	342339.1410	2767.0261	point altimétrique (rocher plat)
91	936724.6453	342752.8631	2787.5992	idem
92	936450.3192	343427.8410	2667.1647	croix peinture (2003)
93	935836.7875	343913.2331	2557.9170	croix peinture, aval du front, (2003)

ANNEXE VIII: Bilans et vitesses mesurées à partir des balises et des pierres peintes.