

**INSTITUT DES GEOSCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT**

**CNRS - Université Grenoble Alpes  
OBSERVATOIRE DES SCIENCES DE L'UNIVERS - GRENOBLE**

BP 96, 38402 SAINT MARTIN D'HERES CEDEX  
TEL : 04.76 82.42.00

# **GLACIER DE GEBROULAZ 2024**

***Rapport annuel pour le Parc de la Vanoise***

*Delphine SIX, Olivier LAARMAN et Bruno JOURDAIN*



*Glacier de Gébroulaz, zone d'accumulation (Photo B. Jourdain, mai 2024)*

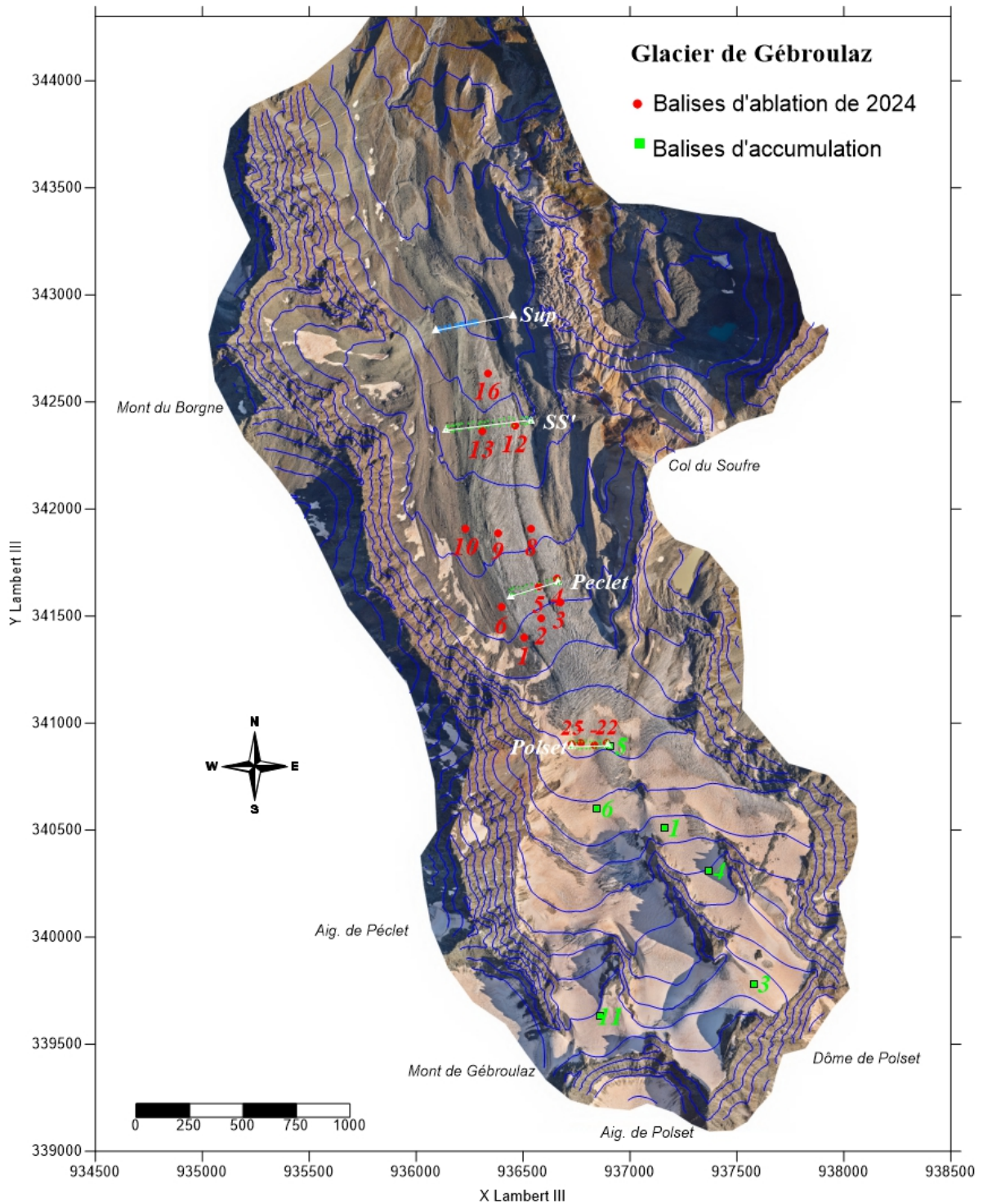


Figure 1: Carte du glacier de Gébroulaz obtenue à partir du levé LIDAR aérien et de l'orthophotographie de 2021 (IGN Lambert III). Sont reportées les balises d'ablation (en rouge) implantées en 2024 et les sites de carottage (en vert), mesurés en 2024. Les 4 profils transversaux de la zone d'ablation sont représentés sur cette figure du plus haut au plus bas: Polset, Pecllet, Supreme (ou SS') et Supérieur.

## I. Campagnes de mesures en 2024

Ce rapport présente l'ensemble des mesures réalisées par l'IGE (*Institut des Géosciences de l'Environnement*, CNRS-UGA, Grenoble) en 2024 sur le Glacier de Gébroulaz pour le compte du Parc National de la Vanoise (PNV). La subvention annuelle en cours entre IGE et le PNV couvre une durée de 3 ans à compter de 2022 (rendus des rapports annuels aux 31 décembre 2022, 2023, et 2024).

Ce rapport 2024 reprend la trame classique de tous les rapports annuels. Nous rassemblons l'ensemble des observations glaciologiques de l'année en cours, ainsi qu'un historique des observations présentant l'évolution de l'état du glacier au cours du temps depuis que les observations existent sur le glacier. Le glacier de Gébroulaz est un glacier emblématique du massif de la Vanoise, sentinelle des changements climatiques en cours dans les Alpes. Le glacier de Gébroulaz est intégré au Service National d'Observation GLACIOCLIM (les GLACIers, un Observatoire du CLIMat, <http://glacioclim.osug.fr>), financé en grande partie par le CNRS, l'Université de Grenoble (OSUG) et avec le soutien du Parc de la Vanoise. D'autre part, l'ensemble de ces observations ainsi que les mesures Radar effectuées en juin 2023 (pour la mesure des épaisseurs de glace) ont permis de rendre une étude sur le devenir du glacier à la société EDF. Une partie de ces résultats est résumée à la fin de ce rapport.

Le suivi du Glacier de Gébroulaz par l'IGE a été mené en 2024 au cours de trois campagnes de terrain entre le 13 mai et le 15 octobre 2024. Une campagne de mesure a été réalisée en complément le 27 août 2024. Enfin, le réseau de balises a été entièrement renouvelé le 14 novembre 2024. Nous avons pour cela bénéficié de l'accès via le refuge de Peclet-Polset.

Les responsables de ces mesures de terrain sont O. Laarman et B. Jourdain, accompagnés de personnels de l'IGE. Le traitement des données et la rédaction du rapport ont été réalisés par D. Six et O. Laarman fin d'année 2024.

Les différentes campagnes se sont déroulées ainsi :

. Le 15 mai 2024, pour les mesures de bilans hivernaux sur tout le glacier. Cette mission a été opérée par 5 agents en 1 journée. En zone d'accumulation, 6 carottages ont été effectués (voir points verts de la carte de la *Figure 1*) pour obtenir les hauteurs de neige hivernale. Ces hauteurs de neige sont ensuite converties en hauteurs d'eau grâce aux profils de densité que nous réalisons sur place (mesures du volume et de la masse des carottes de neige). En zone d'ablation, nous avons estimé la hauteur de neige par sondage, que nous convertissons également en hauteur d'eau. Chaque sondage est réalisé aux emplacements des balises d'ablation enfouies sous la neige à cette époque de l'année. Vingt et un sondages ont ainsi été réalisés dans la zone basse du glacier. Un carottage a également été réalisé en zone d'ablation au niveau de la balise 5. Les résultats de ces mesures sont donnés en *Annexe XI*.



Carottages hivernal sur le glacier de Gébroulaz (B. Jourdain, mais 2024)

. Le 27 août 2024 (4 personnes), pour le relevé de l'émergence du réseau de balises des zones d'accumulation et d'ablation. Au cours de cette journée, nous avons également réalisé les mesures topographiques classiques : vitesses du glacier (grâce aux déplacements mesurés des balises, voir les résultats *section IV*, variations d'épaisseur pour les 4 profils en travers du glacier (voir les profils en blanc sur la carte de la *Figure 1* (nommés Polset, Pécelet, suprême (SS') et supérieur) et résultats *section III* et position du front (*section V*). Ces mesures sont réalisées à l'aide d'un GPS différentiel bi-fréquence. Les résultats annuels sont comparés aux années précédentes dans des graphiques afin de suivre l'évolution du glacier. Des tableaux en annexes regroupent les résultats depuis le début des observations.

. Enfin, le 15 octobre 2024 pour une dernière mesure des émergences des balises à la fin de la saison hydrologique afin de déterminer les bilans de masse annuels en fin de saison d'ablation en chaque point du glacier. Cumulant les valeurs d'accumulation mesurées au printemps aux bilans annuels, nous pouvons en déduire, en tout point, la fonte estivale sur le glacier (voir *section II*). Ces émergences ont été relevées dans toute la zone d'ablation du glacier et également en zone d'accumulation. 2 personnes de l'IGE ont été mobilisées à la journée pour cette mission.

. Finalement, le 14 novembre 2024, 5 personnes se sont mobilisées sur le glacier pour renouveler le réseau de balises d'ablation, les dernières balises datant de 2022. Toutes les balises (2022 et 2024) ont été à nouveau topographiées pour en déterminer la position exacte.



Renouvellement du réseau de balises d'ablation, Novembre 2024 (photo : B. Jourdain)



Langue du glacier de Gébroulaz, août 2024 (photo : B. Jourdain)

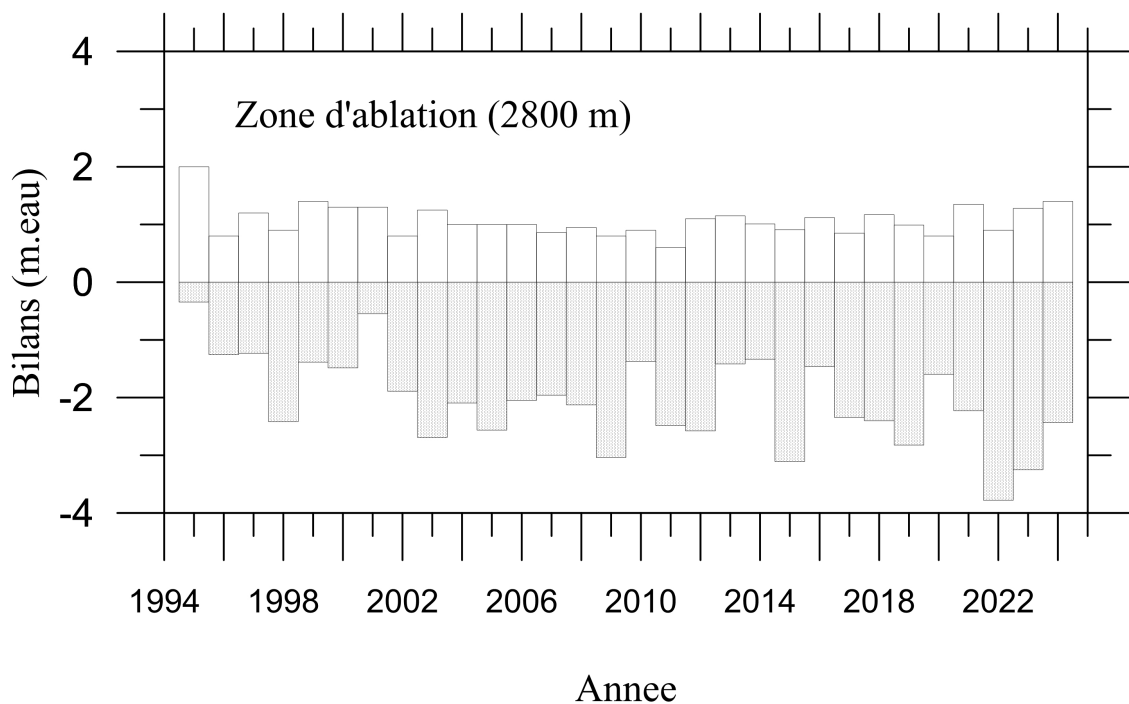
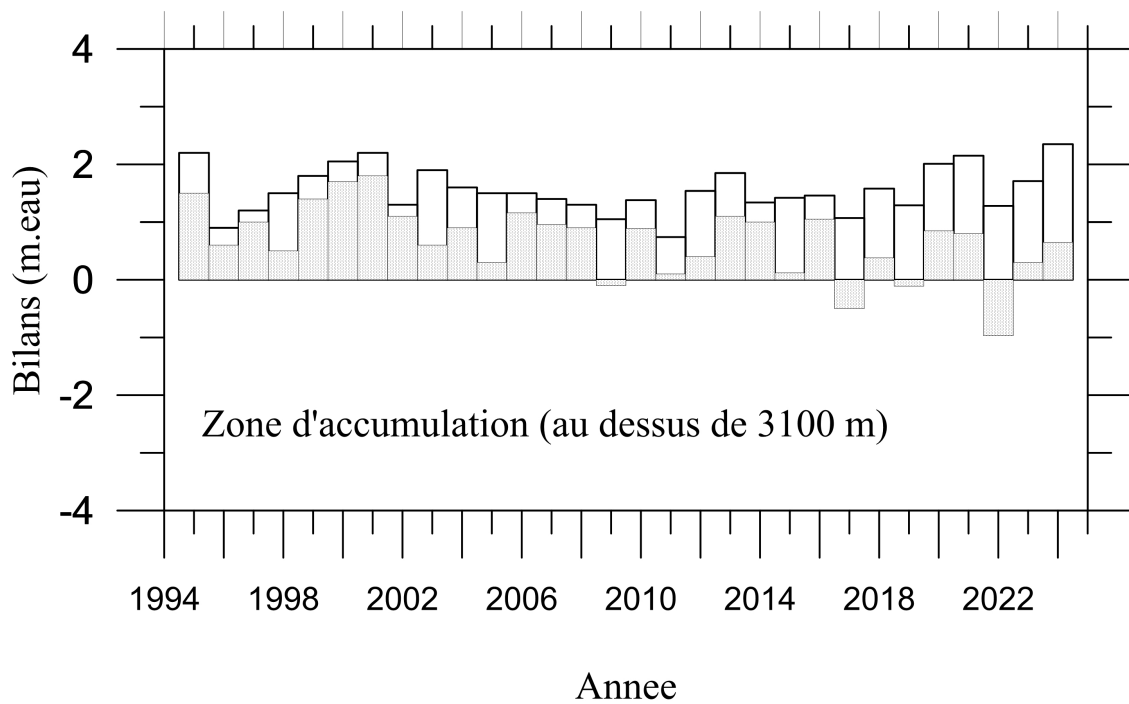


Figure 2: Bilans annuels (en gris) observés sur le glacier de Gébroulaz depuis 1994/1995 en zone d'accumulation (graphe du haut) et en zone d'ablation (graphe du bas). En zone d'accumulation comme en zone d'ablation, les bilans hivernaux (en blanc) sont représentés à partir de l'ordonnée zéro. Pour la zone d'accumulation, le bilan estival est la différence entre la partie blanche et la partie grisée. Pour la zone d'ablation, le bilan estival est la somme algébrique de la partie blanche 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 (pour les années 2008/2009, 2016/2017, 2018/2019 et 2021/2022, le bilan de masse est négatif dans la zone d'accumulation au-dessus de 3100 m) et en zone d'ablation la quantité de glace disparue.

## II. Bilans de masse de l'année 2024

### a. Bilan hivernal

Pour rappel, en ce qui concerne la mesure du bilan hivernal, nous procédons comme suit : en zone d'accumulation tout d'abord, nous réalisons chaque année 6 carottages à l'aide d'un carottier PICO (*Figure 1*, points verts et *Annexe XI* pour les mesures de hauteur de neige en chaque point). Les carottages permettent d'observer la stratigraphie du manteau neigeux et de reconnaître le névé (ou la glace) des années antérieures. Ils permettent également de mesurer la densité du manteau neigeux (et donc donnent accès à l'équivalent en eau) à partir de la mesure de la masse et du volume des carottes. En zone d'ablation, nous mesurons les accumulations de neige aux sites des balises d'ablation (points rouges de la *Figure 1*). Ces balises sont invisibles au mois de mai lors de la campagne de carottages (elles sont enfouies sous la neige) mais elles ont été localisées à l'aide d'un instrument GPS de navigation. Les bilans de masse hivernaux en zone d'ablation sont réalisés par sondages (avec une sonde à neige). Ces sondages sont utilisés uniquement en zone d'ablation dans la région du glacier où il n'y a pas de risque de confusion de la détection de la couche de l'année passée (puisque la surface de l'automne précédent est en glace). Certaines années, en zone d'ablation, ces observations sont complétées par un ou deux carottages qui permettent de mesurer la densité du manteau neigeux également dans cette région (un à la balise 5 en mai 2024).

Les bilans hivernaux sont reportés sur la *Figure 2*, en zone d'accumulation du glacier d'une part (au dessus de 3100 m : sites de forage 11, 3, 4, 1) et en zone d'ablation d'autre part (vers 2800 m : balises 4, 5 et 6) depuis 1994. En 2024, en zone d'accumulation, au-dessus de 3100 m, la valeur de l'accumulation hivernale est de +2.4 m d'eau (partie blanche de la *Figure 2*, en haut), valeur très supérieure à la moyenne des 29 dernières années, qui est de +1.55 m d'eau (l'incertitude sur la mesure des bilans hivernaux est supérieure à 20 cm d'eau. La variabilité temporelle de l'accumulation hivernale est de 0.38 m d'eau). Cette valeur de bilan hivernal est la plus forte valeur mesurée depuis le début des mesures à cette altitude. En zone d'accumulation, l'année hydrologique 2023/2024 se caractérise ainsi par un stock de neige hivernal très important. La *Figure 2* montre également la très forte variabilité interannuelle de l'accumulation annuelle.

En zone d'ablation vers 2800 m, l'accumulation hivernale est de +1.40 m d'eau, là encore une valeur supérieure à la moyenne qui est de + 1,07 m d'eau dans cette région.

### b. Bilan estival

En zone d'accumulation, l'ablation estivale est mesurée grâce aux balises implantées au printemps dans les trous de carottages. En zone d'ablation, l'ablation est obtenue par la lecture de l'émergence de balises dans la glace dont le renouvellement du réseau s'effectue tous les 2 ou 3 ans sur Gébroulaz. Il avait été renouvelé en juillet 2020 puis août 2022.

En zone d'accumulation, le bilan estival de 2024 est égal à -1.7 m d'eau, comparé à la moyenne de la période 1995-2022 qui est de -0.87 m d'eau. La fonte estivale, y compris dans ces régions de très haute montagne a donc été extrêmement importante (il s'agit même de la deuxième valeur la plus forte observée depuis le début des mesures dans cette zone d'accumulation en 1994. En 2022, cette fonte avait atteint la valeur record de -2.25 m d'eau). Associé à un bilan hivernal qui lui été très bénéficiaire, le bilan annuel 2024 dans cette zone du glacier, est positif (+0.65 m d'eau), quasiment égal à la moyenne des bilans depuis 1994 dans cette région qui est de +0.75 m d'eau (la valeur est positive car on est en zone d'accumulation). Cette année

2023/2024 a donc été très contrastée. Certes le stock de neige hivernal avait été très excédentaire dans les zones hautes du glacier, mais l'été a très largement entamé ce stock de neige.

Dans la zone d'ablation vers 2800 m, le bilan estival est égal à -3.83 m d'eau, valeur, là encore, extrêmement négative (le bilan estival de 2022 s'établissait au record de -4.68 m d'eau). La moyenne des bilans estivaux depuis 1994 est de -2.9 m d'eau. Associé à une accumulation excédentaire certes, le bilan annuel dans cette région du glacier est de -2.43 m d'eau.

### **c. Bilan de masse annuel global du glacier**

Le bilan de masse annuel du glacier est calculé à partir des observations de bilans mesurés dans la zone d'altitude 2700-2850 m et d'une analyse des variations de ces bilans dans cette zone. Pour faire ce calcul, nous utilisons un modèle de variations linéaires du bilan de masse : pour appliquer cette méthode, nous supposons que les variations temporelles du bilan de masse annuel sont similaires sur l'ensemble du glacier. Cette hypothèse a été validée sur plusieurs glaciers alpins. Ce modèle a le gros avantage de calculer des variations temporelles de bilans qui ne sont pas affectées par des observations ponctuelles manquantes. Ce type d'analyse permet d'obtenir ainsi une série temporelle de bilans de masse sur l'ensemble de la période de mesure. Le bilan de masse correspond à l'équivalent de la lame d'eau perdue (ou gagnée) sur l'ensemble de la surface. Un nouveau modèle de bilan de masse (dit « non linéaire ») a été développé par C. Vincent et nous souhaitons dorénavant l'appliquer sur Gébroulaz pour mieux tenir compte des résultats de la zone d'accumulation. Il sera mis en œuvre dès 2025 et les calculs des bilans de masse annuels seront forcément plus précis.

Le bilan de masse de l'année 2023/2024 est très négatif, de -1.24 m d'eau, bien plus négatif que le bilan annuel moyen sur la période 1994-2024, qui est de -0.82 m d'eau. Si l'on restreint la moyenne aux 20 dernières années (les plus déficitaires), la moyenne s'établit à -1.08 m d'eau. L'année 2023/2024 est donc plus négative que cette moyenne, même si des années comme 2022, 2023, 2019, ou 2009 étaient encore bien plus négatives.

Le tableau ci-dessous récapitule les 22 dernières années de bilan de masse du glacier de Gébroulaz. A cause de la méthode de calcul (modèle linéaire) et de l'ajustement à la photogrammétrie aérienne (voir ci-dessous), ces données annuelles sont recalculées chaque année et donc évoluent très légèrement d'année en année. Le rang (depuis les années les plus négatives) est également donné.



Année	Bilan (m w.e)	Rang
2003	-1,45	6
2004	-0,85	15
2005	-1,32	8
2006	-0,80	16
2007	-0,71	17
2008	-0,88	14
2009	-1,79	4
2010	-0,13	21
2011	-1,24	10
2012	-1,33	7
2013	-0,17	20
2014	-0,09	22
2015	-1,86	3
2016	-0,22	19
2017	-1,10	12
2018	-1,16	11
2019	-1,58	5
2020	-0,35	18
2021	-0,98	13
2022	-2,54	1
2023	-2,05	2
2024	-1,24	9

#### d. Bilans de masse cumulés, par photogrammétrie et mesures lidar.

Grâce aux mesures lidar aéroportées de 2021, qui ont une précision décimétrique, nous avons pu recalibrer les bilans géodésiques sur différentes périodes. Ainsi, pour obtenir le bilan de masse cumulé de l'ensemble du glacier sur la période, nous utilisons les observations photogrammétriques de 1998 et 2003 et les observations lidar hélicoptérées de 2012 et 2021, totalement indépendantes des mesures de terrain. Ces campagnes aériennes permettent d'obtenir des modèles numériques de terrain du glacier et les pertes d'épaisseur globales sur ces différentes périodes. Les bilans de masse cumulés depuis 1907 sont reportés sur la *Figure 3*. Ils indiquent une forte décline depuis le milieu des années 80 avec une accélération de cette décline depuis 2003.

De 1995 à 2024, la moyenne des bilans est de -0.82 m d'eau/an ; depuis 2003, la perte moyenne s'accroît et s'élève à -1.08 m d'eau/an (+35%).

Depuis 1907, le glacier a perdu une lame d'eau de 39.4 m, soit 43.8 m de glace en moyenne sur toute sa surface (*Figure 3*). Bien sûr, les parties hautes du glacier perdent moins que les parties basses. Notons que sur les 36 dernières années (depuis le milieu des années 80), les dix années les plus déficitaires se situent après 2003. La couverture morainique de la langue atténue sans doute le déficit de masse du glacier mais il n'est probablement pas fondamental au vu de la comparaison entre les bilans obtenus à partir des balises (implantées dans les parties dépourvues de couverture morainique) et les bilans géodésiques qui prennent en compte la totalité de la surface du glacier.

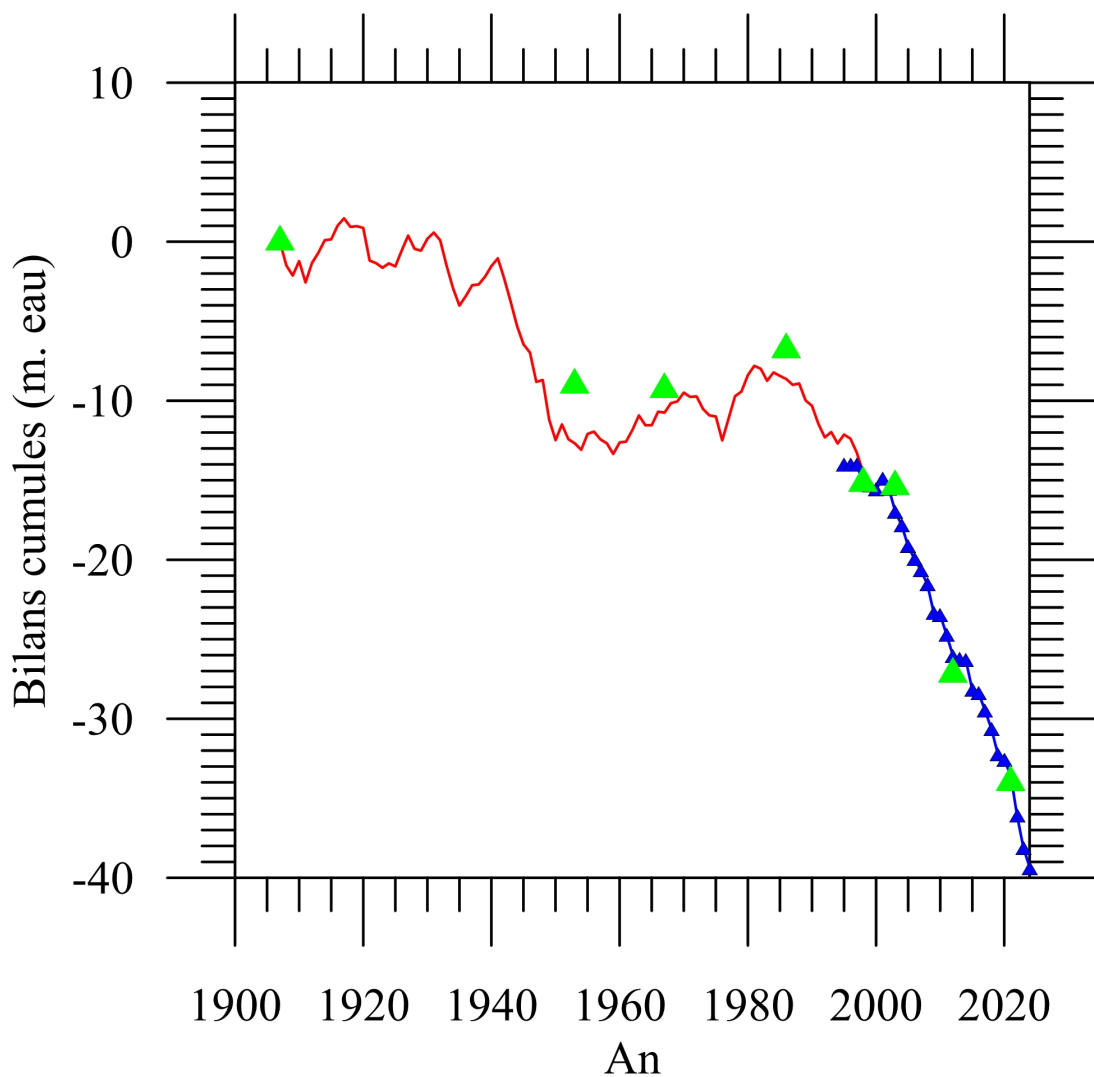


Figure 3: Bilans de masse cumulés du glacier de Gébroulaz depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle. Ces bilans représentent la variation d'épaisseur moyenne sur l'ensemble de la surface du glacier, exprimée en mètres d'eau. Ainsi, le glacier de Gébroulaz a perdu l'équivalent d'une lame d'eau de 39.4 m d'eau depuis 1907. 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 (IGE) grâce aux clichés photogrammétriques aériens, d'autre part de la carte topographique du service géographique de l'Armée établie en 1905/1907. La courbe continue rouge résulte d'un modèle de calcul réalisé à partir des données météorologiques des stations de plaine ou de vallée (Précipitations de Besse en Oisans entre le 1<sup>er</sup> octobre et le 31 mai, et températures de Lyon entre 1<sup>er</sup> mai et le 31 septembre).

### III. Variations des épaisseurs aux profils transversaux

#### a. Historique des mesures de ces profils.

Les mesures de variations d'épaisseurs du glacier sont réalisées sur la langue glaciaire sur 4 profils transversaux indiqués sur les *Figures 1* et *6* (zoom sur le front et les profils les plus bas), à l'aide d'instruments de topographie GPS (récepteurs GPS différentiel bi-fréquence). L'altitude moyenne de chacun des profils est calculée à partir des points topographiques (GPS) relevés sur le terrain et la méthode dite « des aires » : entre les deux extrémités d'un profil transversal, fixées une fois pour toutes, l'altitude de chaque segment est pondérée par la distance de ces segments. On obtient donc une altitude moyenne (qui n'est pas une moyenne arithmétique) qui est indépendante de l'échantillonnage de points mesurés sur le terrain. Les altitudes sont reportées dans les tableaux de l'*Annexe III*.

Les variations d'altitude sont mesurées depuis le début des observations par les Eaux et Forêts en 1904 sur les profils inférieur et supérieur. On peut voir une large interruption entre 1954 et 1983, qui correspond par ailleurs à une période de crue du glacier. Le profil inférieur est totalement déglacé depuis 2002 suite au recul de la langue (illustré *Figure 5, en haut*). Le profil dit « suprême » et le profil dit « supérieur » sont mesurés depuis 1986. L'appellation du profil « supérieur » a été donnée par les Eaux et Forêts au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Il se situe pourtant aujourd'hui dans la zone inférieure du glacier.

Les mesures sur les deux profils dit « Pecllet » (à 2850 m) et « Polset » (à 3000 m) ont débuté en août 2007 pour compléter le suivi des variations d'épaisseurs du glacier dans des zones plus élevées de la zone d'ablation et pour rendre compte de la perte d'épaisseur en fonction de l'altitude.

Depuis 1993, nous avons rétabli l'ancien profil « Suprême 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 (Nivellement Général de la France). L'altitude de 1986 est issue de la restitution photogrammétrique des clichés du 11 septembre 1986. Dans ce rapport, les altitudes sont calculées selon le système NGF (*annexe III*). Depuis 2022, nous ne calculons plus l'altitude sur le profil le plus bas (profil dit « supérieur ») même s'il est toujours topographié, car d'une part, le front du glacier est aujourd'hui au niveau de ce profil, et d'autre part, parce que la couverture morainique de la rive gauche fausserait totalement l'altitude moyenne de la perte de glace.

#### b. Variations d'épaisseur en 2024

Les *Figures 4a, 4b* montrent la perte d'altitude de la surface glaciaire pour quelques années depuis le début des mesures, et pour 2024 (en bleu) le long des profils. Les variations d'altitude sont relativement homogènes d'une rive à l'autre du glacier. Les variations d'épaisseur dépendent à la fois des bilans de masse de surface et de la dynamique du glacier. Les valeurs de l'altitude moyenne de chaque profil sont ensuite calculées et reportées *Figure 5* (en haut). On note une homogénéité spatiale de la perte d'épaisseur depuis le milieu des années 90 pour les profils SS' et Supérieur.

Dans le tableau suivant, et pour chacun des profils, nous reportons les variations d'altitude depuis quelques années. Nous observons des pertes d'épaisseurs en relation avec l'altitude :

	Polset	Pecllet	SS'	Supérieur
2021	-0,1 m	-1,6 m	-2,5 m	-2,7 m
2022	-1.9 m	-3 m	-3.2 m	/
2023	-1.5 m	-2.9 m	-3.9 m	/
<b>2024</b>	<b>0 m</b>	<b>-2.0 m</b>	<b>-3.1 m</b>	<b>/</b>

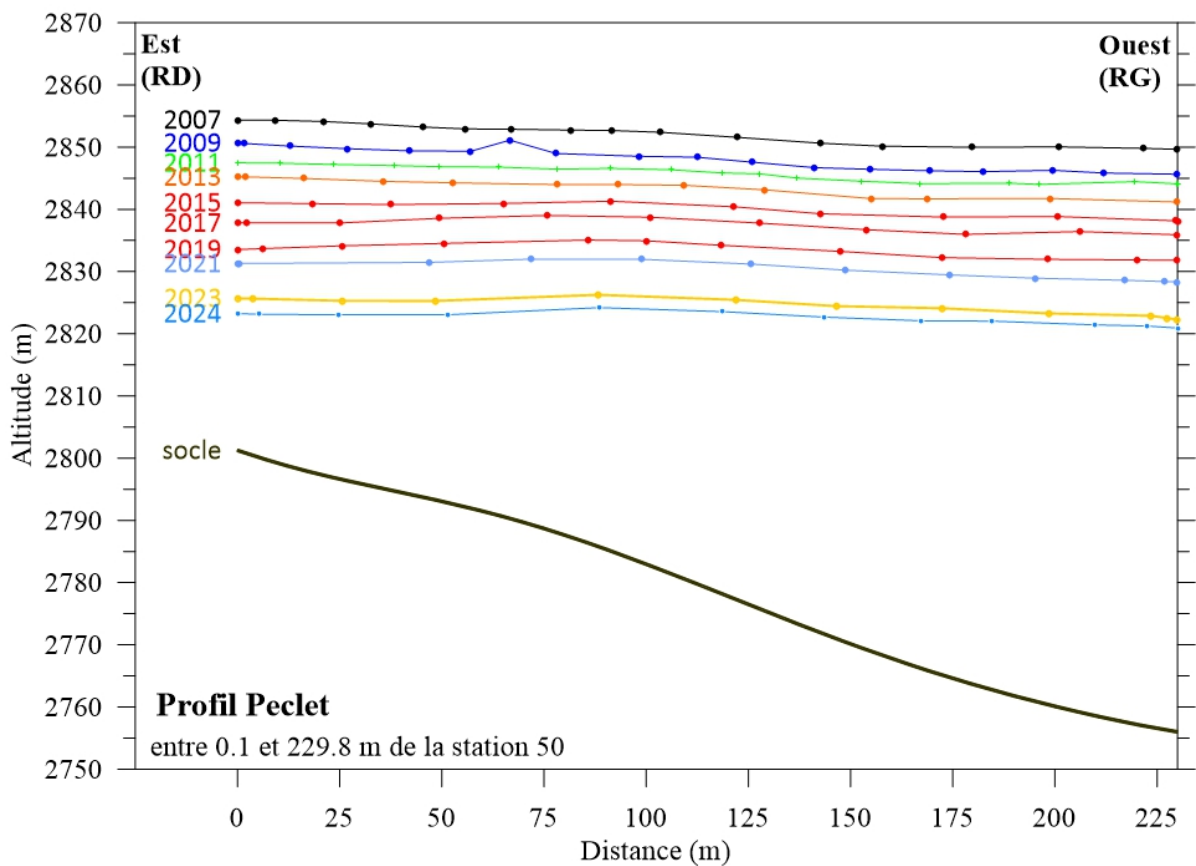
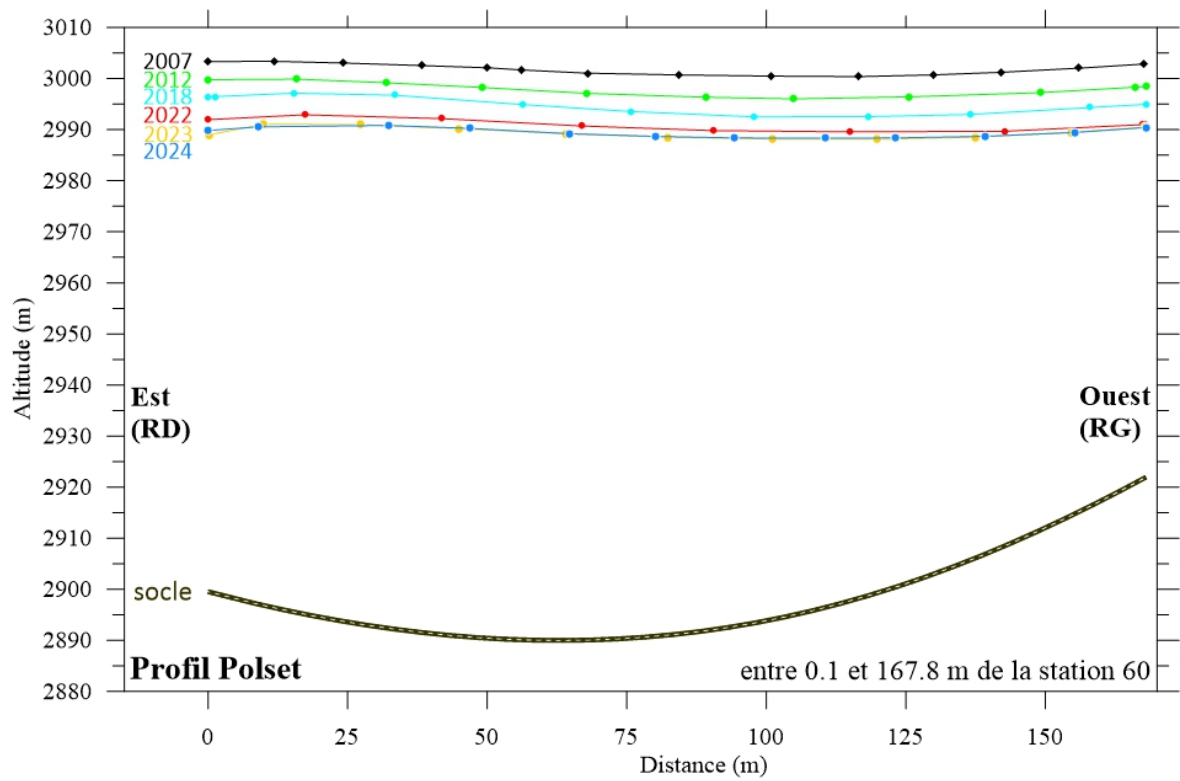


Figure 4a : Variations d'altitude aux profils Polset (3000 m d'altitude) et Peclet (2850 m d'altitude). La situation de ces profils est reportée sur la Figure 1. RD et RG signifient Rive Droite et Rive Gauche.

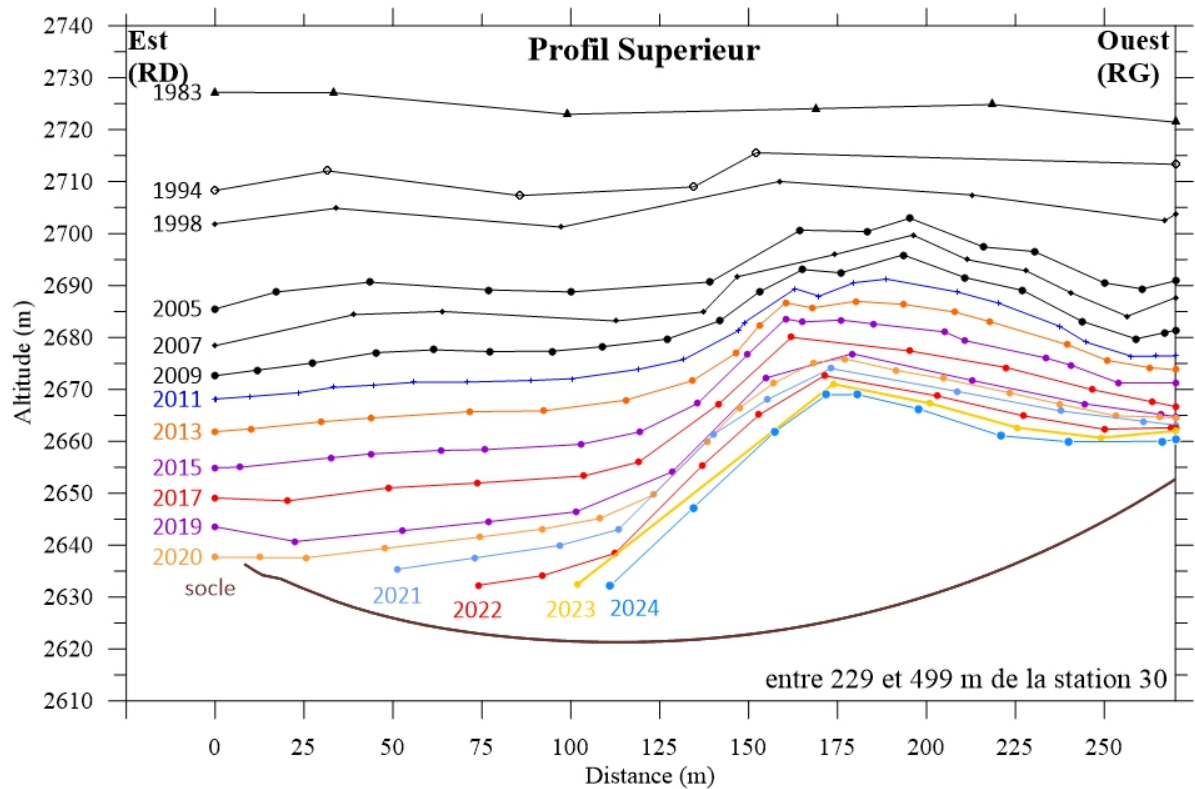
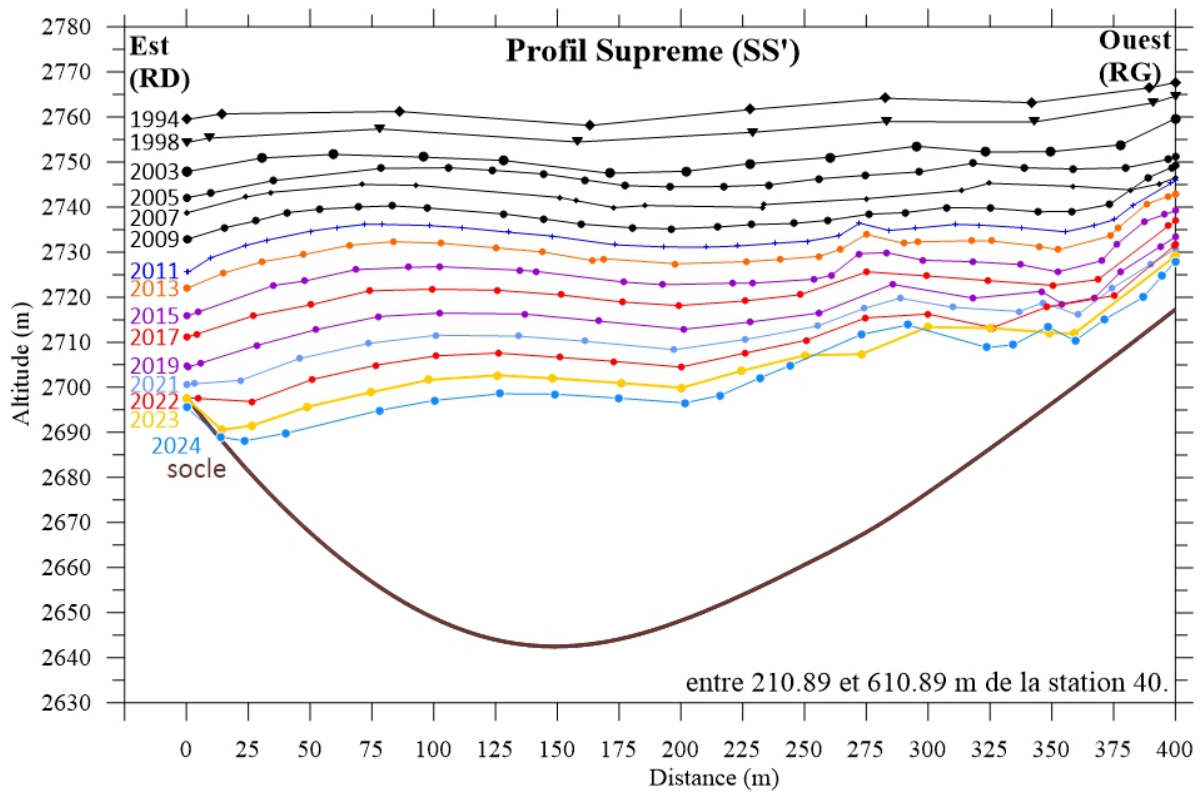


Figure 4b : Variations d'altitude aux profils Suprême et Supérieur (profils vus de l'aval). La situation de ces profils est reportée sur les Figures 1 et 6. RD et RG signifient Rive Droite et Rive Gauche.

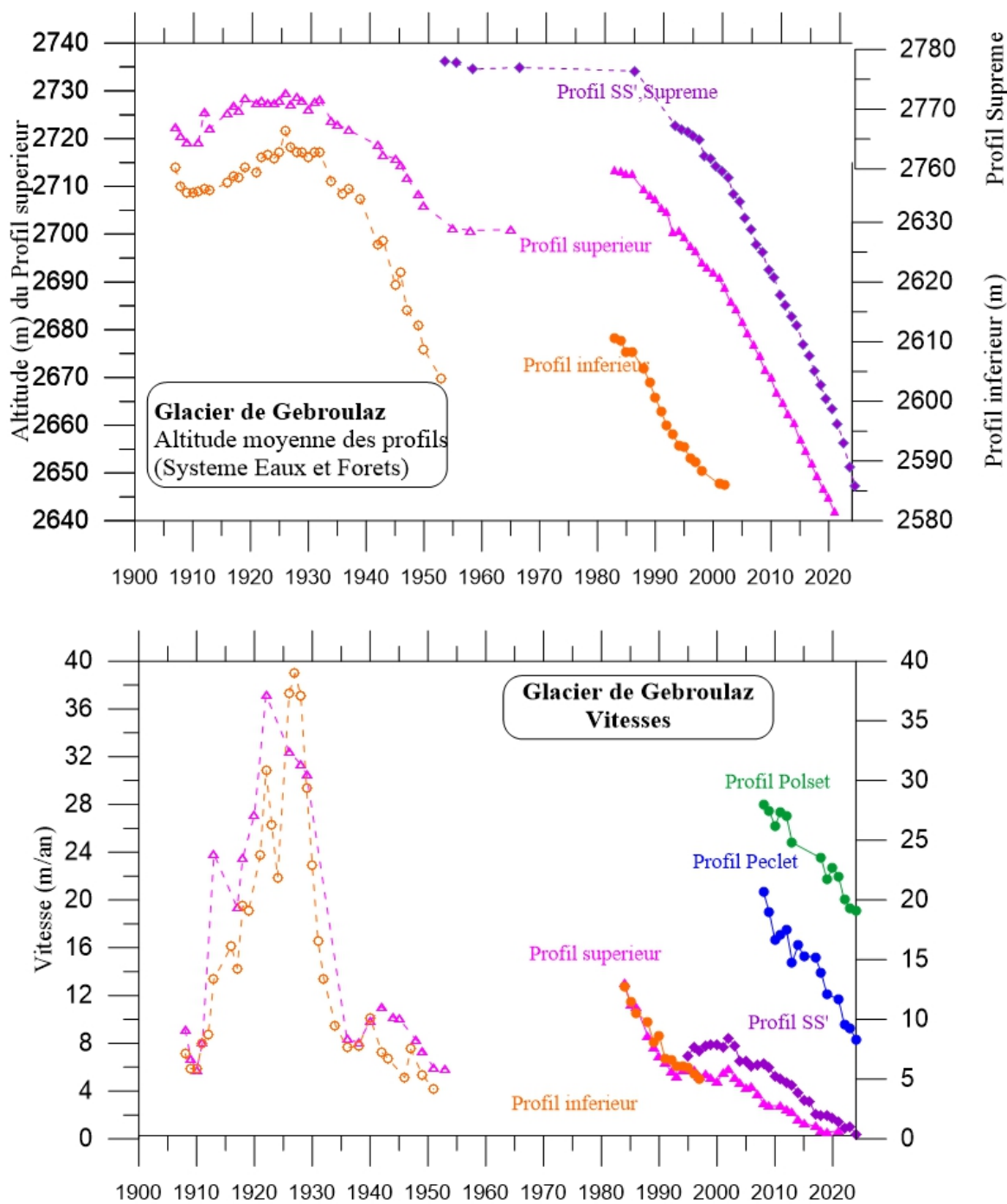


Figure 5 : Variations des épaisseurs aux trois profils transversaux Suprême, Supérieur et Inférieur (haut de la figure) et variations de vitesses sur ces trois profils (depuis 1983, les vitesses sont celles du centre du glacier) (bas de la figure). Les altitudes moyennes des profils Peclet et Polset ne sont pas représentées sur cette figure. Les mesures entre 1907 et 1954 ont été réalisées par les Eaux et Forêt ; à partir de 1983, les observations ont été faites par le Laboratoire de Glaciologie de Grenoble (IGE). Il n'y a pas eu de mesures de vitesses sur le glacier entre 1954 et 1983. Les altitudes des profils inférieur et supérieur sont exprimées dans le système altimétrique des Eaux et Forêts, qui diffèrent de plusieurs mètres du système NGF (Cf. Tableaux de l'Annexe III).

## IV. Variations des vitesses d'écoulement du glacier

### a. Méthode de mesures

Les vitesses d'écoulement en surface du glacier (*Figure 5*, bas de la figure) sont mesurées à partir du déplacement des balises au centre du glacier, à l'aide des instruments de topographie GPS différentiel. Ces déplacements sont calculés sur une année entière en m/an. Ils sont connus avec une précision de 5 cm environ ; en fait, la précision dépend de la matérialisation du point mesuré (la balise implantée dans le glacier), plutôt que la précision (millimétrique) de la mesure géodésique elle-même. Toutes ces observations de vitesses sont reportées en *annexes I et XI*.

### b. Résultats

Les calculs des vitesses des balises sont donnés en annexe. Elles nous permettent de calculer la vitesse moyenne sur chaque profil. En 2024, nous avons pu calculer les vitesses de l'ensemble des balises implantées en 2022. La vitesse au profil Polset est calculée à partir des vitesses des balises 23 et 24, celle du profil Pecllet, correspond à la vitesse de la balise 5 et la vitesse au profil SS' est calculée avec les balises 12 et 13. Il n'est plus possible de calculer de vitesse sur le profil Supérieur, le front se situant désormais au niveau de ce profil. D'une façon générale, le glacier ralentit, en lien avec les pertes d'épaisseur du glacier.

L'aspect chaotique des courbes de vitesses mesurées aux profils Polset et Pecllet (*Figure 5*) sont à mettre en relation avec la localisation des balises utilisées pour estimer ces vitesses. En effet, la variabilité spatiale de la vitesse est importante dans ces deux régions et les estimations de vitesses ne sont pas déterminées exactement aux mêmes sites puisque les balises avancent avec l'écoulement du glacier et ne sont pas renouvelées chaque année.

Ces mesures de vitesse, tout comme les bilans de masse, la position du front ou les variations d'épaisseurs sont les 4 variables essentielles à mesurer annuellement si l'on veut contraindre les modèles d'évolution du glacier.

## V. Variations de la position du front

La position du front a été topographiée en 2024. Elle est très proche en rive droite du profil « supérieur ». La détection de la présence de glace en rive gauche est toujours très délicate puisque sur cette rive, le glacier est couvert d'une épaisse couverture morainique. Aussi, il est très difficile de délimiter sur le terrain le bord du glacier en rive gauche. L'estimation de la rive gauche reste donc subjective et on peut supposer que son évolution est lente, sous cet amas de débris.

En rive droite, la délimitation ne pose aucun problème puisque le glacier est dépourvu de débris morainiques. De ce fait, il est encore extrêmement compliqué de mesurer le recul du front et une mesure annuelle n'a pas de sens au vu de l'imprécision de la détermination de la forme du glacier en rive gauche. Nous observons par ailleurs plusieurs exutoires du torrent, à la fois en rive droite mais aussi en rive gauche. Les différentes topographies annuelles de la position du front sont données *Figure 6*.

En 2018, nous avons recalculé les fluctuations du front depuis 1983 à partir d'une méthode de perte de surface sur une distance donnée en rive droite. Cette perte n'est pas forcément représentative de la perte en rive gauche.

Depuis 1983 (maximum de la dernière avancée), le front a reculé de 240 m. Entre 1990 et 2020, le recul était égal à 180 m. C'est un recul modéré par rapport à d'autres glaciers (*Figure 7*), à nouveau en raison de la forte couverture morainique de la rive gauche.

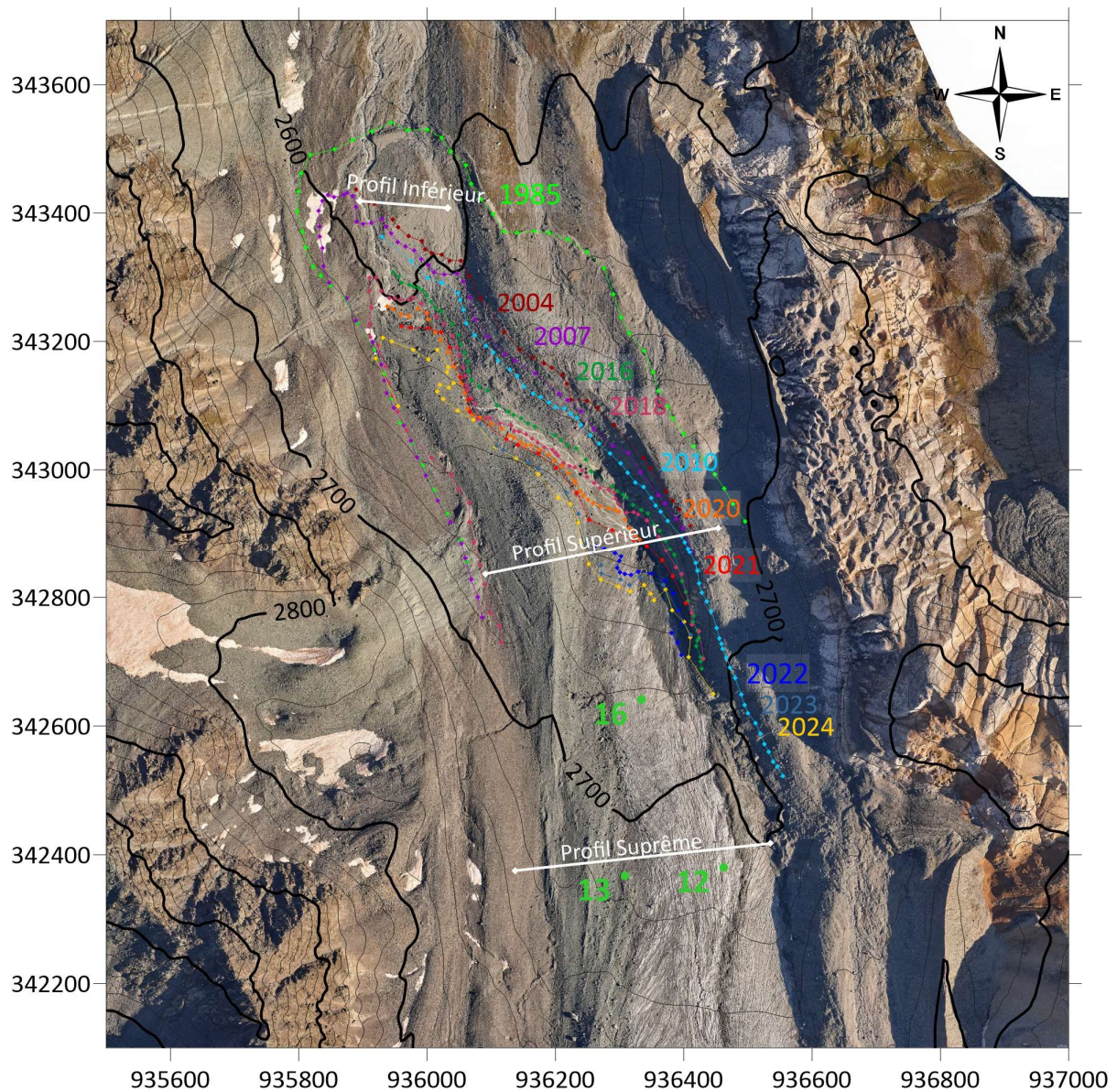


Figure 6 : Evolution du front du glacier depuis 1985 (en jaune pour 2024). Localisation des balises d'ablation implantées en bas du glacier en 2024 en vert. Les trois profils transversaux du bas sont également représentés. Dans la zone basse du glacier, il est complexe de déterminer la glace active des moraines et de ce fait de calculer le recul du front.





Front du Glacier de Gébroulaz, août 2024 (Photo : O. Laarman)

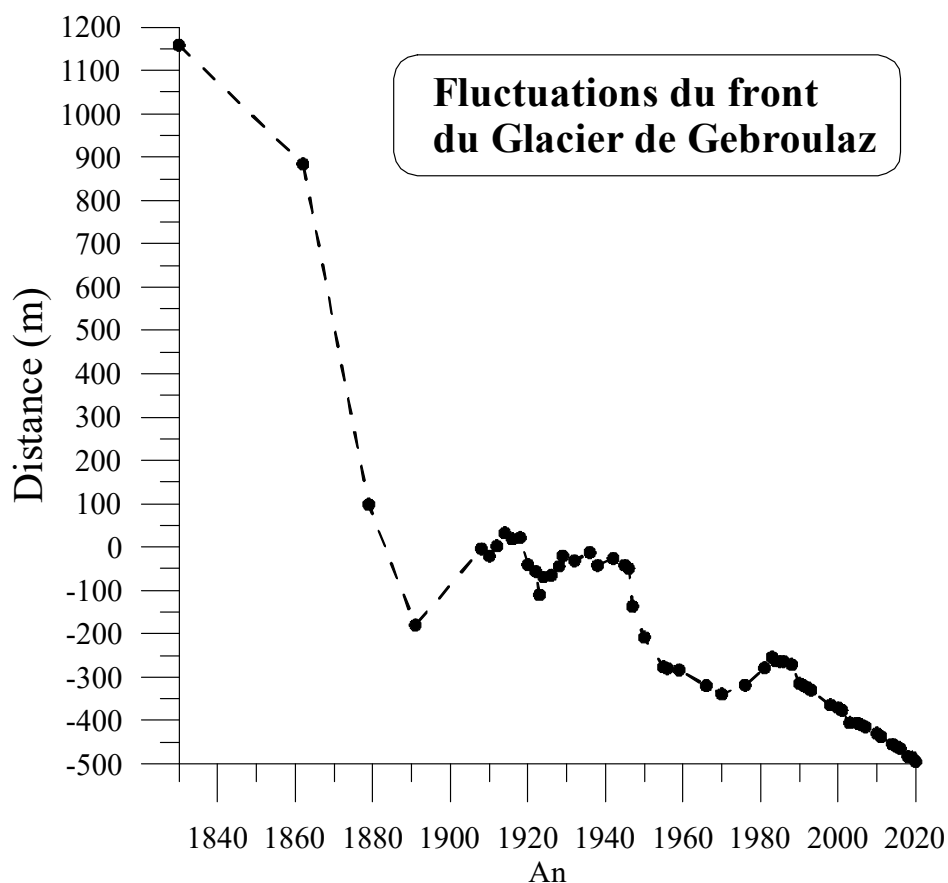


Figure 7 : Fluctuations de longueur du glacier de Gébroulaz depuis 1830.

## VI. Simulations futures du glacier de Gébroulaz

Nous reprenons ici les quelques éléments conclusifs de l'étude rendue en 2024 à EDF Petite

Hydro sur le devenir du glacier de Gébroulaz. Cette étude comprenait des observations Radar pour l'estimation des épaisseurs de glace actuelle, puis des simulations sur l'évolution du glacier en fonction de différents scénarios climatiques. Les simulations futures se basent quant à elle sur la capacité des modèles à reproduire les comportements passés observés à partir de l'ensemble des mesures disponibles sur Gébroulaz.

Cette étude a été menée principalement par Adrien GILBERT (IGE) grâce à des outils de modélisation des glaciers développés en partie à l'IGE (modèle de dynamique glaciaire ELMER-Ice). Les observations RADAR ont été présentées dans le rapport au Parc en 2023 mais nous les avons laissées dans ce rapport 2024 pour une appréciation complète de cette étude.

## **VI.1 Mesures des épaisseurs de glace**

Une campagne de mesure de la forme du lit rocheux et des épaisseurs de glace a pu être menée sur le glacier à l'aide d'un instrument RADAR opéré par l'IGE les 28 et 29 juin 2023. Vingt-deux profils ont été réalisés afin de couvrir une large superficie du glacier.

Après un traitement des observations réalisé également par l'IGE, nous pouvons interpoler les mesures des épaisseurs de glace et déterminer la forme du lit rocheux sur l'ensemble du glacier.

Sur la *Figure 8*, nous faisons ainsi apparaître (avec l'autorisation d'EDF) la forme du lit rocheux et sur la *Figure 9*, les épaisseurs de glace restantes sur le glacier en septembre 2021.

Ainsi, nous avons pu mesurer qu'au maximum, il reste 55 m de glace vers les balises 1, 2 et 3 c'est-à-dire vers 2860 m d'altitude. Un peu plus bas sur le glacier, vers les balises 12 et 13, il reste au maximum 70 m de glace. Nos mesures montrent qu'il reste au maximum 110 m de glace aux alentours de 3000-3100 m, approximativement vers les balises d'ablation 23-24 et vers la balise d'accumulation 6.

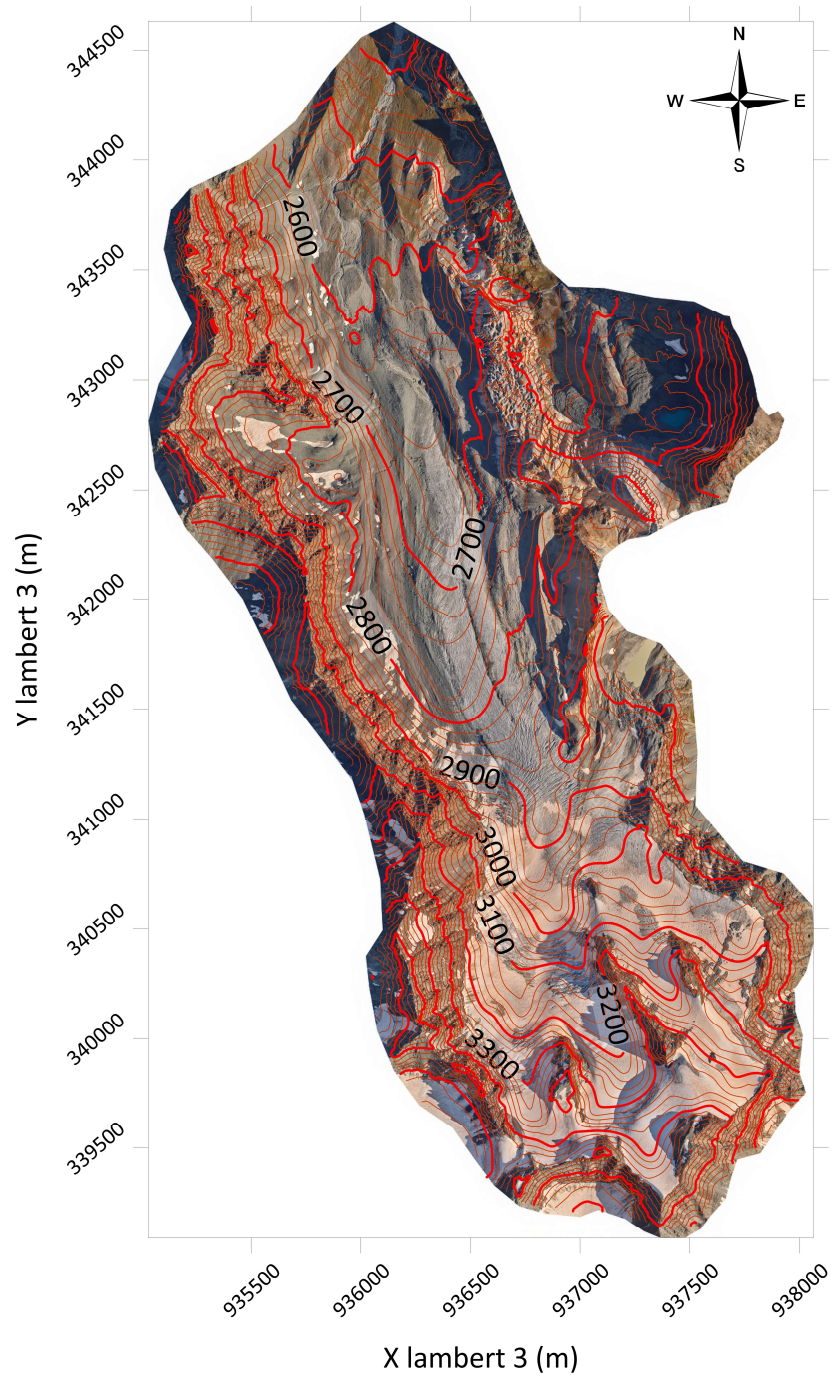


Figure 8 : Topographie (Modèle Numérique de Terrain) du lit rocheux sous le glacier de Gébroulaz

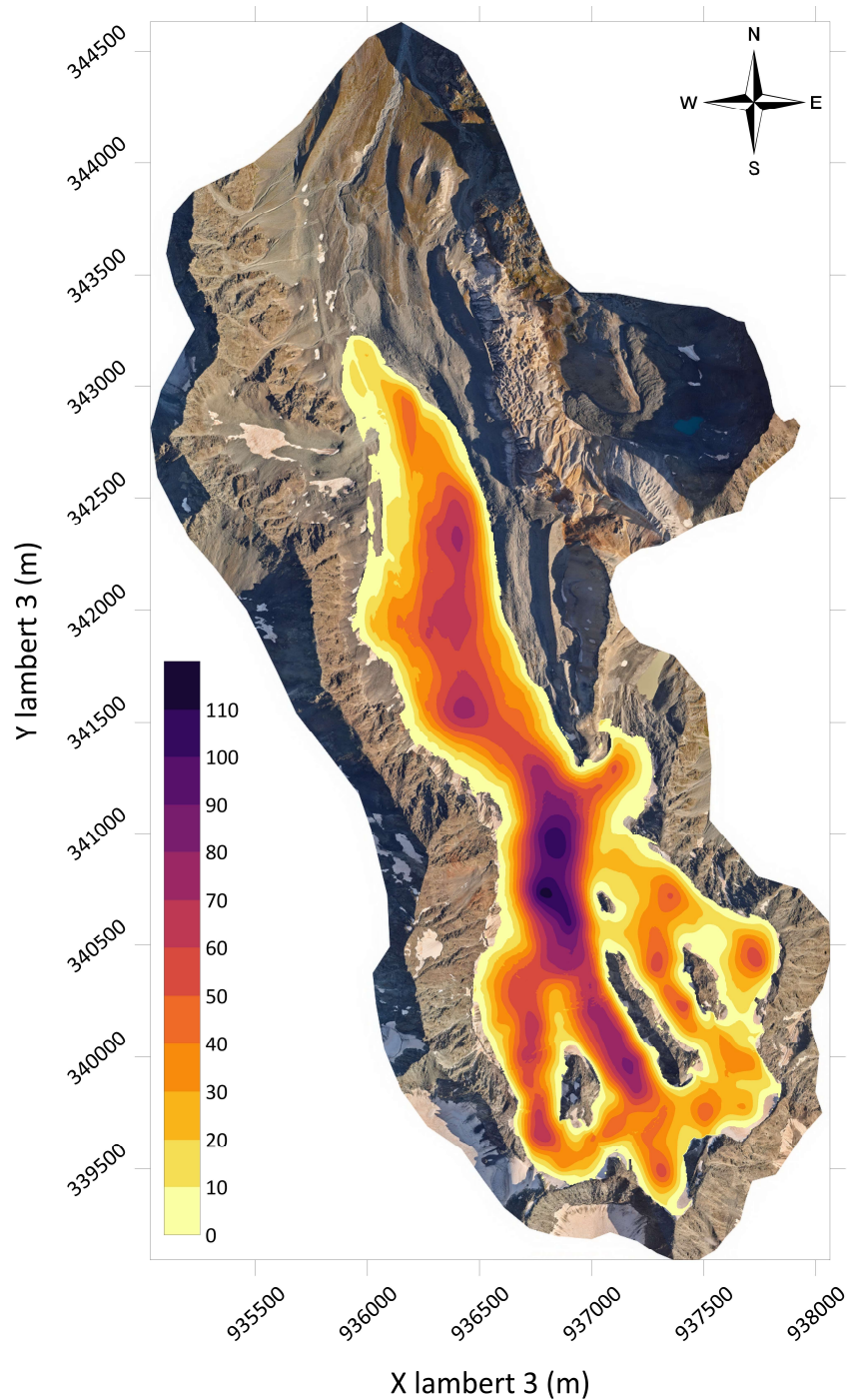


Figure 9 : Epaisseurs de glace du glacier de Gébroulaz, d'après la campagne RADAR de Juin 2023

## VI.2 Simulations futures

Nous ne présentons pas dans ce rapport l'ensemble des données, ni les modèles ni la calibration utilisée pour parvenir aux résultats présentés ci-dessous. Ces résultats ont été envoyés à EDF en septembre 2024.

Nous rappelons ici cependant les scénarios climatiques choisis, ainsi que les incertitudes de nos modèles (glaciologiques) et des données météorologiques pour le futur du glacier de Gébroulaz.

## a) Scénario climatiques futurs

Les scénarios climatiques futurs ont été extraits de l'exercice CMIP6 réalisé pour le dernier rapport du GIEC (IPCC, 2023). Nous avons extrait une vingtaine de simulations issues de différents centres de recherche pour chaque scénario d'émission SSP (du plus optimiste le SSP126, au plus pessimiste, le SSP585).

Pour chaque modèle, les séries temporelles de températures et précipitations journalières ont été extraites des simulations historiques (1850-2015) et futures (2015-2100). La simulation historique permet de réaliser la descente d'échelle (correction des biais du modèle climatique) sur le climat de référence du Glacier de Gébroulaz à 2700 m donné par les réanalyses SAFRAN sur la période 2000-2022. Pour chaque scénario d'émission SSP, les simulations glaciologiques sont ensuite effectuées avec l'ensemble des modèles climatiques pour évaluer l'incertitude associée à chaque scénario. Un ensemble d'évolutions glaciaires est donc produit pour chaque scénario SSP. Les scénarios climatiques moyens et leurs écarts types associés sont représentés en 10.

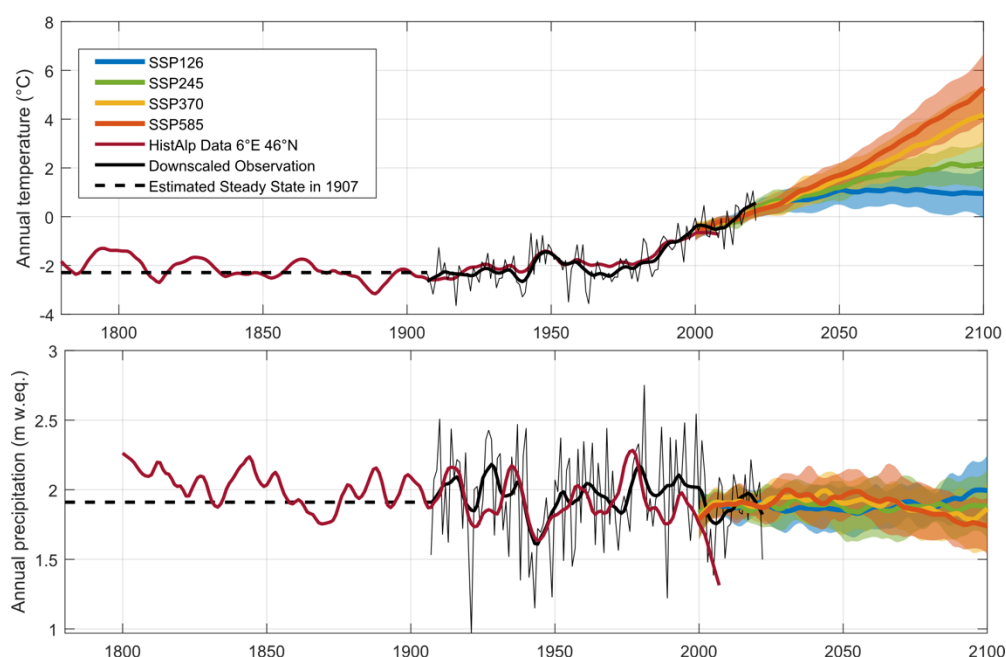


Figure 10 – Températures et précipitations totales à 2700 m sur le glacier de Gébroulaz reconstituées à partir des données de la station Lyon-Bron, de Besse-en-Oisans, des réanalyses SAFRAN et des mesures d'accumulation hivernale GLACIOCLIM (en noir) et comparées aux données de la base de données HISTALP (en rouge, ajustées en moyenne sur la reconstitution). La ligne en tiret noir indique le climat stationnaire reconstitué à partir de l'extension du glacier en 1907. La moyenne et l'écart type des modèles climatiques sur la période future sont représentés en couleur pour chaque scénario d'émission (SSP126, SSP245, SSP370 et SSP585).

## b) Evolution du glacier

Les résultats montrent que le glacier est probablement amené à disparaître d'ici 2100 pour les scénarios SSP370 et SSP585 (scénarios pessimistes) alors qu'il pourrait atteindre un nouvel équilibre à partir de  $\approx 2060$  dans le cas du scénario optimiste SSP126 (Figures 11 et 12). Le glacier est à la limite de la disparition en 2100 dans le cas du scénario médian SSP345.

La variabilité entre les modèles est plus importante pour les scénarios SSP126 et SSP345 ce qui conduit à plus d'incertitude quant à l'étendue future du glacier. Certains modèles issus du scénario SSP126 prédisent même un glacier de volume supérieur à l'actuelle en 2100. En revanche, il y a très peu d'incertitude sur l'évolution du glacier à l'horizon 2050 tous SSP et modèles confondus.

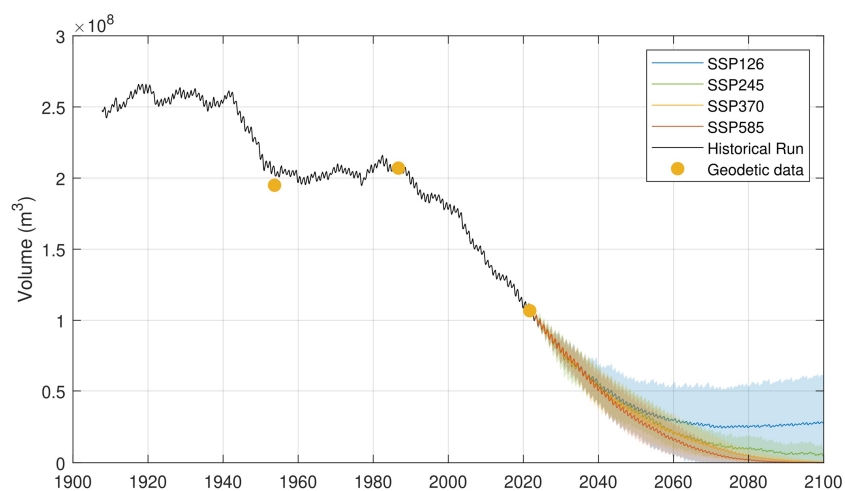


Figure 11 : Volume de glace modélisé (lignes) et observé (points jaunes) sur les périodes historiques et futures

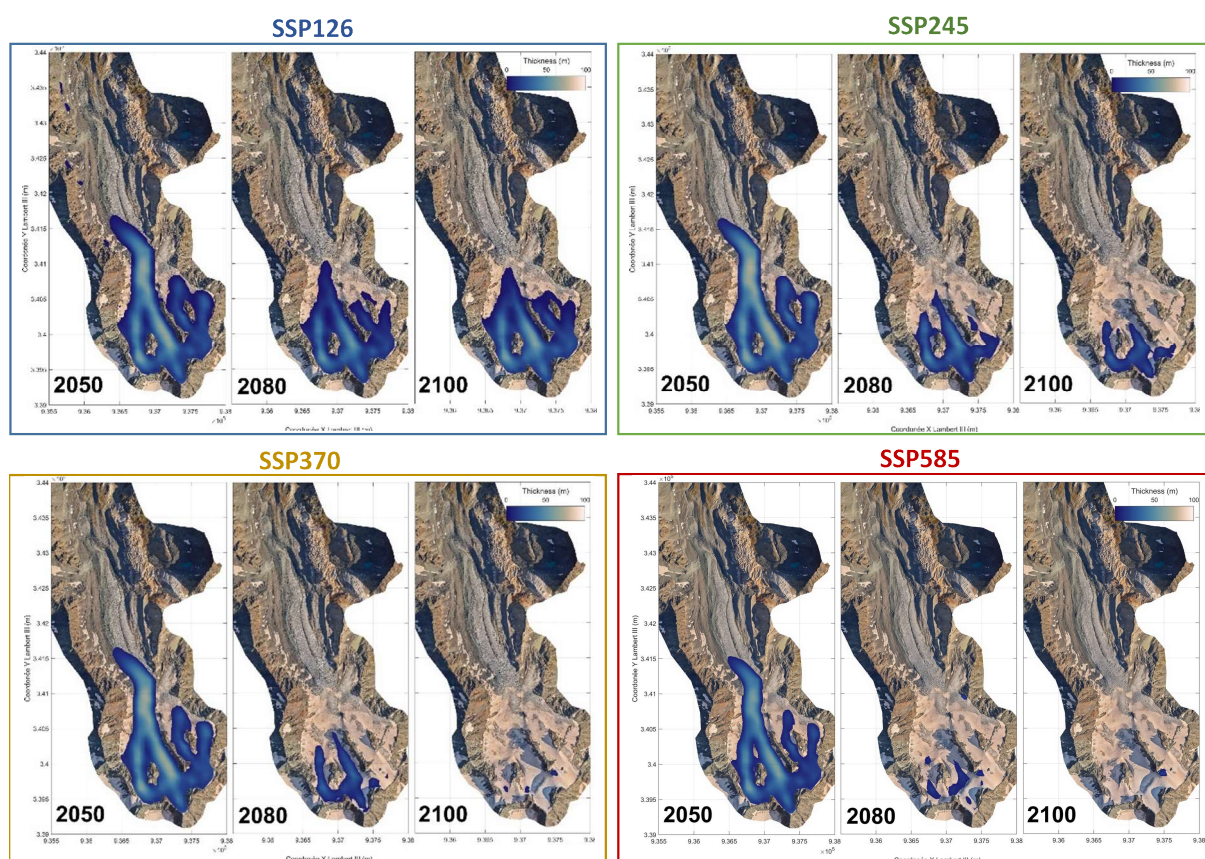


Figure 12 : Epaisseur moyenne de glace modélisée dans le futur pour chaque scénario d'émission

## VI. Conclusions

L'ensemble de nos mesures sur le glacier de Gébroulaz montre que l'année 2024 se caractérise par un bilan de masse annuel sur l'ensemble du glacier négatif, malgré un enneigement hivernal conséquent à toutes les altitudes.

Le bilan annuel est de -1.24 m d'eau, plus négatif que le bilan annuel moyen sur la période 1994-2024, qui est de -0.82 m d'eau ; plus négatif également que le bilan moyen des 20 dernières années pourtant très déficitaires (-1.08 m d'eau). Cette année, c'est l'équivalent d'une lame de glace de 1.40 m qui a été rabotée sur l'ensemble de la surface, les parties basses perdant bien plus que les parties hautes.

Grâce à un hiver bien enneigé, les parties hautes du glacier ont cependant réussi à conserver un peu de neige.

Chacune des mesures réalisées sur le glacier sont essentielles pour calibrer les modèles d'évolutions des glaciers. Sans ces longues séries d'observations (bilans de masse, vitesses, longueurs, variations d'épaisseur), il serait impossible de déterminer aussi finement l'évolution du futur de Gébroulaz.

Grâce aux mesures LIDAR aéroportées réalisées en 2021, nous avons pu déterminer les bilans géodésiques de ce glacier (variations de masse et de volume) sur l'ensemble de la série de mesures. Ainsi, nous avons « recalé » notre série de bilans mesurés « in-situ ». Puis, une collaboration avec EDF sur le glacier de Gébroulaz a permis de déterminer les épaisseurs de glace restantes sur ce glacier via des observations RADAR menées en Juin 2023. Nos mesures montrent qu'il reste au maximum 110 m de glace aux alentours de 3000-3100 m, approximativement vers les balises d'ablation 23-24 et vers la balise d'accumulation 6. Enfin, des simulations numériques ont été réalisées à partir d'un modèle de bilan de masse, d'un modèle de dynamique glaciaire et de scénario climatiques adaptés aux zones de montagne et à l'altitude de Gébroulaz (pour la correction des précipitations notamment).

Les modèles développés et calibrés sur la période historique de mesures ont été forcés par un ensemble de scénarios climatiques issus de l'exercice CMIP6 utilisé lors du dernier rapport du GIEC (IPCC, 2023) pour modéliser un ensemble de possibilités d'évolutions futures du glacier. Les résultats montrent que le glacier peut subsister dans les deux scénarios climatiques les plus optimistes alors qu'il aura probablement disparu d'ici 2100 pour les deux scénarios les plus pessimistes. Dans tous les cas le glacier est amené à perdre au minimum 75% de son volume sur le siècle en cours.

Les observations du glacier de Gébroulaz sont essentielles dans le cadre des recherches sur les relations glaciers-climat et ce glacier fait partie d'un *Service d'Observation* national (GLACIOCLIM), reconnu par l'Institut National des Sciences de l'Univers (du CNRS) et le Ministère de la Recherche (<http://glacioclim.osug.fr>) et constitue l'une des plus longues séries d'observations dans les Alpes.

Le glacier de Gébroulaz est également intégré dans la base de données internationale du WGMS (*World Glacier Monitoring Service* de l'UNESCO) ainsi que dans le réseau CRYONET, programme du *Global Cryosphere Watch* (Organisation Météorologique Mondiale). Il fait partie aussi de la base de données de l'ONERC (*Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique*).

Le soutien du Parc de la Vanoise est indispensable à ce suivi récurrent du glacier et nous tenons à remercier le Parc pour son engagement auprès de l'IGE depuis de nombreuses années. En particulier, nous remercions nos contacts privilégiés en les personnes de Vincent AUGÉ et Nicolas GOMEZ, tous deux facilitateurs de nos échanges scientifiques, techniques et administratifs.

*A Saint Martin d'Hères, IGE, 19 décembre 2024*

***Delphine SIX, Olivier LAARMAN, Bruno JOURDAIN***

## 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 Polset	Profil Pecllet	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
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	lit rocheux
17.08.2004			6.5 m/an	4.4 m/an	lit rocheux
9.08.2005			6.5 m/an	4.0 m/an	rocher
19.08.2006			6.1 m/an	4.1 m/an	rocher
14.08.2007			6.2 m/an	3.5 m/an	rocher
27.08.2008	28.0 m/an	20.7 m/an	6.3 m/an	2.7 m/an	rocher
31.08.2009	27.5 m/an	19.0 m/an	6.0 m/an	2.5 m/an	rocher
10.08.2010	26.2 m/an	16.7 m/an	5.2 m/an	Non mesurable	rocher
23.08.2011	27.4 m/an	17.1 m/an	5.0 m/an	2.5 m/an	rocher
14.08.2012	27.0 m/an	17.5 m/an	4.7 m/an	2.2 m/an	rocher
20.08.2013	24.8 m/an	14.8 m/an	4.5 m/an	2.0 m/an	rocher
25.08.2014	Non mesurée	16.2 m/an	3.8 m/an	1.4 m/an	rocher
26.08.2015	Balises trop éloignées du profil	15.3 m/an	3.2 m/an	1.0 m/an	rocher
01.09.2016			3.1 m/an		rocher
23.08.2017	/	15.2 m/an	2.1 m/an	0.8 m/an	rocher
26.09.2018	23.4 m/an	13.9 m/an	1.9 m/an	0.4 m/an	rocher
09.09.2019	21.7 m/an	12.1 m/an	1.9 m/an	0.3 m/an	rocher
26.08.2020	22.7 m/an	/	1.7 m/an	/	rocher
06.09.2021	22.0 m/an	11.7 m/an	1.4 m/an	0.3 m/an	rocher
22.08.2022	20.0 m/an	9.6 m/an	0.9 m/an	*	rocher
01.09.2023	19.3 m/an	9.4 m/an	0.9 m/an	*	rocher
27.08.2024	19.1 m/an	8.3 m/an	0.4 m/an	*	



**ANNEXE II : Variations du front de 1983 (m) à 2020, à partir d'une référence correspondant au front de 1911 environ.**

1983	-254,4
1984	-263,0
1985	- 263,7
1986	263,7
1988	-271,0
1990	-315,2
1991	-319,1
1992	-324,2
1993	-329,9
1998	-364,5
2000	-370,7
2001	-376,5
2003	-405,6
2005	-406,2
2006	-410,61
2007	-415
2010	-430
2011	-437,5
2014	-455,2
2015	-460
2016	-465
2017	/
2018	-484
2019	-485
2020	-495
2021	/
2022	/
2023	/
2024	/

## ANNEXE III: Variations des épaisseurs aux profils transversaux

### Profils Peclet et Polset :

Date	Altitude Peclet NGF (m)	Altitude Polset NGF (m)
14.08.2007	2851.8	3001.7
27.08.2008	2850.3	3000.7
31.08.2009	2848.0	2999.0
10.08.2010	2847.2	2999.5
23.08.2011	2845.7	2998.8
14.08.2012	2844.2	2997.6
20.08.2013	2843.2	2998.0
25.08.2014		2999.3 (neige)
26.09.2015	2840.0	2997.6
01.09.2016	2839.3	2997.3
23.08.2017	2837.6	2996.7
26.09.2018	2835.5	2994.4
09.09.2019	2833.6	2993.5
26.08.2020	2832.3	2992.8
06.09.2021	2830.7	2992.7
22.08.2022	2827.7	2990.8
01.09.2023	2824.8	2989.4
27.08.2024	2822.8	2989.4

### 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
16.08.2004	2754.4	2749.7
09.08.2005	2751.7	2747.0
18.08.2006	2749.8	2745.1
14.08.2007	2747.4	2742.7
27.08.2008	2746.0	2741.3
31.08.2009	2743.0	2738.3
10.08.2010	2741.8	2737.1
23.08.2011	2738.9	2734.3
14.08.2012	2737.2	2732.5
20.08.2013	2735.3	2730.6
25.08.2014	2733.8	2729.1
26.09.2015	2730.5	2725.8
01.09.2016	2728.7	2724.0

23.08.2017	2726.1	2721.4
26.09.2018	2723.7	2719.0
09.09.2019	2721.4	2716.7
26.08.2020	2719.8	2715.1
06.09.2021	2717.3	2712.6
22.08.2022	2714.1	2709.4
01.09.2023	2710.0	2705.5
27.08.2024	2706.9	2702.4

### 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 (m)	Altitude NGF (m)
12.08.1983	2713.1	2724.4
21.08.1984	2712.8	2724.1
25.10.1985	2712.3	2723.6
20.08.1986	2712.3	2723.6
1987		
25.08.1988	2709.2	2720.5
01.09.1989	2707.9	2719.2
01.09.1990	2707.2	2718.5
30.08.1991	2705.1	2716.4
20.08.1992	2704.5	2715.8
17.08.1993	2700.3	2711.6
11.08.1994	2700.4	2711.7
17.08.1995	2699.1	2710.4
05.09.1996	2697.3	2708.6
02.09.1997	2696.3	2707.6
01.09.1998	2693.9	2705.2
31.08.1999	2692.9	2704.2
24.08.2000	2691.6	2702.9
28.08.2001	2690.7	2702.0
21.08.2002	2688.5	2699.8
27.08.2003	2685.6	2696.9
16.08.2004	2684.1	2695.4
09.08.2005	2681.5	2692.8
18.08.2006	2678.9	2690.2
14.08.2007	2676.6	2687.9
27.08.2008	2674.2	2685.5
31.08.2009	2671.4	2682.7
10.08.2010	2669.7	2681.0
23.08.2011	2666.7	2678.0
14.08.2012	2664.6	2675.9
20.08.2013	2662.2	2673.5
25.08.2014	2660.2	2671.5
26.08.2015	2656.8	2668.1
01.09.2016	2654.5	2665.8
23.08.2017	2651.7	2663.0
26.09.2018	2649.2	2660.5
09.09.2019	2646.5	2657.8
26.08.2020	2644.5	2655.8
06.09.2021	2641.8	2653.1
22.08.2022	*	*
01.09.2023	*	*



**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 (Lambert III)

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 <b>instable (1.2 m /an !)</b>
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) Plaquette	935932.67 343518.90 2588.70		XYZ contrôlées en 2020
Station crête 2003 N°82	935748.35 342126.59 3007.62		Plaquette
Station 50	936777.26 342659.72 2839.35		Repère métallique LGGE
Profil 50 Pecllet RD	936664.03 341663.75		Installé en 2007 Longueur du profil : 230 m
RG	936444.07 341596.64		
Profil 60 Polset RD	936895.85 340900.19		Installé en 2007 (sur le plateau vers 3000 m) Longueur du profil : 168 m
RG	936727.92 340896.87		
Plaquette Col	935748.350 342126.590		Z= 3007.620
Vis Col	935733.929 342151.654		Z = <del>3010.320</del> (coord. recalculées en 2017) 3010.68 (corrigeés en 2018)

## ANNEXE V: Coordonnées des extrémités des profils

	Latitude	longitude
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
Profil Peclet RD	45°17'45.096	6°37'48.182
Profil Peclet RG	45°17'43.297	6°37'37.941
Profil Polset RD (vers 3000 m)	45°17'20.008	6°37'56.978
Profil Polset RG	45°17'20.184	6°37'49.275

## ANNEXE VI: Coordonnées des balises d'ablation

Balise 1	45°17'35.8	6°37'42.0
Balise 2	45°17'38.6	6°37'44.7
Balise 3	45°17'41.4	6°37'48.5
Balise 4	45°17'45.4	6°37'48.1
Balise 5	45°17'44.5	6°37'43.9
Balise 6	45°17'41.5	6°37'35.8
Balise 7	45°17'53.5	6°37'47.5
Balise 8	45°17'53.4	6°37'42.1
Balise 9	45°17'54.1	6°37'34.3
Balise 10	45°17'53.7	6°37'28.9
Balise 11	45°18'08.4	6°37'44.6
Balise 12	45°18'08.9	6°37'40.6
Balise 13	45°18'08.6	6°37'33.2
Balise 14	45°18'08.4	6°37'25.9
Balise 15	45°18'16.6	6°37'28.6
Balise 16	45°18'17.7	6°37'35.4
Balise 17	45°18'18.3	6°37'39.4
Balise 18	45°18'20.8	6°37'36.4
Balise 19	45°18'23.7	6°37'36.0
Balise 20	45°18'27.7	6°37'33.1
Balise 21	45°17'39.6	6°37'32.5
Balise 22	45°17'20.0	6°37'56.9
Balise 23	45°17'20.1	6°37'53.8
Balise 24	45°17'20.1	6°37'51.6
Balise 25	45°17'20.2	6°37'49.3



## ANNEXE VII: Coordonnées des sites de mesures en zone d'accumulation

Site	11 vers col de Gébroulaz 3425 m	3 Sous le Dôme de Polset 3410 m	4 Combe de Polset  3220 m
Position Coord. Lambert	936860 339630	937580 339780	937370 340310
WGS 84	45°16'36.5" 6°37'51.0"	45°16'42.6" 6°38'25.6"	45°16'59.1" 6°38'19.2"

Site	5 Plateau  3020 m	1 Pied du Rognon 3100 m	6 Combe de Peclet 3070 m
Position Lambert	936900 340870		936846 340600
WGS 84	45°17'19.0" 6°37'57.1"	45°17'07.3" 6°38'11.7"	45°17'10.4 6°37'54.0

## ANNEXE VIII: Coordonnées des secteurs utilisés pour le calcul des bilans

Coordonnées origine	936200 341500
Taille de la maille	200 m
Largeur du secteur (X)	1000 m
Longueur du secteur (Y)	1400 m
Observations	Zone d'ablation

## ANNEXE IX : Points d'appui photogrammétriques

106	936979.6796	341405.7709	2941.2890 station
2	936031.0663	343689.6126	2581.2137 bache
225	935701.1221	343433.3981	2679.3117 plaquette
3	937106.7542	342417.5449	2847.1212 bache
5	935900.2621	342727.2263	2795.8325 bache
10	935792.2238	341665.7769	3071.9600 bache
2	936031.0663	343689.6126	2581.2137 bache (vers le front)
6	936983.9099	341390.0021	2941.3592 bache
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, sommet 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 Pecelet
52	936236.401	339996.700	3550.694 rocher proche de Pecelet
53	936306.128	339964.583	3513.467 croix
54	936330.841	339960.418	3507.000 rocher proche de Pecelet
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, sommet
8	937523.517	339568.998	3491.832 bache
7	937478.291	340302.934	3264.027 bache
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 sommet 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 sommet bloc
12	935745.796	343465.613	2627.400 sommet bloc
11	935707.716	343426.915	2665.114 sommet bloc
20	935947.186	342398.753	2804.343 sommet rocher
21	935937.767	342354.956	2807.148 sommet rocher
41	935930.420	342340.408	2816.082 sommet 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 X : Considérations sur le 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

En 2007 ont été rajoutés deux nouveaux profils :

- le profil de Pecllet ou profil 50-50b
- le profil Polset ou profil 60-60b

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 matérialisé 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 altéré la précision du réseau de triangulation, et en particulier lors du transfert des stations topographiques en rive gauche.

Néanmoins, ces imprécisions sur les coordonnées antérieures n'ont pas entaché 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.

Finalement, 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'.

## ANNEXE XI: Bilans et vitesses mesurées à partir des balises

### Zone d'accumulation, balises de 2024

point	date	x	y	z	haut. enf.	neige m	dens neig	bilan equiv. eau	vites hor. m/an	vites pente m/an
123	13.10.23	937160.00	340510.00	3130.00	0.01	0.00	0.00	2.25	0.0	0.0
124	13. 5.24	0.00	0.00	0.00	5.03	5.03	0.45			
124	27. 8.24	0.00	0.00	0.00	0.54	0.54	0.49	-2.00	0.0	0.0
323	13.10.23	937580.00	339780.00	3390.00	0.01	0.00	0.00	2.43	0.0	0.0
324	13. 5.24	0.00	0.00	0.00	5.55	5.55	0.44			
324	27. 8.24	0.00	0.00	0.00	1.73	1.73	0.49	-1.59	0.0	0.0
423	13.10.23	937370.00	340310.00	3200.00	0.01	0.00	0.00	2.38	0.0	0.0
424	13. 5.24	0.00	0.00	0.00	5.30	5.30	0.45			
424	27. 8.24	0.00	0.00	0.00	1.61	1.61	0.49	-1.60	0.0	0.0
623	13.10.23	936846.00	340600.00	3070.00	0.01	0.00	0.00	2.36	0.0	0.0
624	13. 5.24	0.00	0.00	0.00	5.38	5.38	0.44			
624	27. 8.24	0.00	0.00	0.00	0.65	0.65	0.49	-2.05	0.0	0.0
1123	13.10.23	936860.00	339630.00	3425.00	0.01	0.00	0.00	2.32	0.0	0.0
1124	13. 5.24	0.00	0.00	0.00	5.30	5.30	0.44			
1124	27. 8.24	0.00	0.00	0.00	1.60	1.60	0.49	-1.55	0.0	0.0

Nota: la hauteur enfouie est totale: glace+neige

### Zone d'ablation, balises de 2020 (balises restantes en 2024)

point	date	x	y	z	haut. enf.	neige m	dens neig	bilan equiv. eau	vites hor. m/an	vites pente m/an
2520	26. 8.20	936726.78	340901.20	2993.07	8.48	0.00	0.00	-0.36	0.0	0.0
2520	20.10.20	0.00	0.00	0.00	8.08	0.00	0.00			
2521	10. 6.21	0.00	0.00	0.00	13.38	5.30	0.47	2.49	0.0	0.0
								-4.36	19.8	19.9

!	2522!	22. 8.22!	936730.64!	340940.45!	2986.94!	6.00!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.79!	0.0!	0.0!
!	2522!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	5.12!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.85!	0.0!	0.0!
!	2523!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	9.74!	4.62!	0.40!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-2.17!	18.3!	18.4!
!	2523!	1. 9.23!	936732.80!	340959.19!	2984.41!	4.76!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.50!	0.0!	0.0!
!	2523!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	4.20!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.21!	0.0!	0.0!
!	2524!	27. 8.24!	0.00!	0.00!	0.00!	3.97!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.99!	0.0!	0.0!
!	2524!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	2.87!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	2420!	26. 8.20!	936779.99!	340902.95!	2989.78!	8.36!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.36!	0.0!	0.0!
!	2420!	20.10.20!	0.00!	0.00!	0.00!	7.96!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	2.12!	0.0!	0.0!
!	2421!	10. 6.21!	0.00!	0.00!	0.00!	12.46!	4.50!	0.47!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-2.24!	21.8!	22.0!
!	2421!	6. 9.21!	936781.84!	340925.44!	2986.54!	7.82!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.33!	0.0!	0.0!
!	2421!	18.10.21!	0.00!	0.00!	0.00!	7.45!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.71!	0.0!	0.0!
!	2422!	12. 5.22!	0.00!	0.00!	0.00!	10.95!	3.50!	0.49!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.60!	19.9!	20.0!
!	2422!	22. 8.22!	936783.69!	340944.45!	2982.17!	5.36!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.81!	0.0!	0.0!
!	2422!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	4.46!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.43!	0.0!	0.0!
!	2423!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	8.04!	3.58!	0.40!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-2.64!	19.2!	19.4!
!	2423!	1. 9.23!	936785.70!	340964.11!	2978.13!	3.12!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.50!	0.0!	0.0!
!	2423!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	2.56!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.40!	0.0!	0.0!
!	2424!	27. 8.24!	0.00!	0.00!	0.00!	2.12!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.78!	0.0!	0.0!
!	2424!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	1.25!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	2320!	26. 8.20!	936827.90!	340907.61!	2991.05!	8.96!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.40!	0.0!	0.0!
!	2320!	20.10.20!	0.00!	0.00!	0.00!	8.52!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	2.03!	0.0!	0.0!
!	2321!	10. 6.21!	0.00!	0.00!	0.00!	12.84!	4.32!	0.47!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-4.06!	22.0!	22.1!
!	2321!	6. 9.21!	936829.76!	340930.26!	2986.76!	6.26!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.23!	0.0!	0.0!
!	2321!	18.10.21!	0.00!	0.00!	0.00!	6.00!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.53!	0.0!	0.0!
!	2322!	12. 5.22!	0.00!	0.00!	0.00!	9.12!	3.12!	0.49!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.78!	20.0!	20.6!
!	2322!	22. 8.22!	936831.73!	340949.37!	2981.50!	5.72!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.82!	0.0!	0.0!
!	2322!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	4.81!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.38!	0.0!	0.0!
!	2323!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	8.27!	3.46!	0.40!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.35!	19.1!	19.5!
!	2323!	1. 9.23!	936833.74!	340968.98!	2975.67!	2.63!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.42!	0.0!	0.0!
!	2323!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	2.16!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.07!	0.0!	0.0!
!	2324!	27. 8.24!	0.00!	0.00!	0.00!	0.97!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.56!	0.0!	0.0!
!	2324!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	0.35!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!

-----  
 Nota: la hauteur enfouie est totale: glace+neige

### Zone d'ablation, balises de 2022

point	date	x	y	z	haut. enf.	neige m	dens neig	bilan equiv. eau	vites hor.	vites pente
		m	m	m	m	m			m/an	m/an
122	22. 8.22	936529.74	341369.54	2864.69	9.78	0.00	0.00			
								-0.81	0.0	0.0
122	5.10.22	0.00	0.00	0.00	8.88	0.00	0.00			
123	27. 4.23	0.00	0.00	0.00	12.14	3.26	0.37	1.21	0.0	0.0
123	1. 9.23	936522.66	341378.43	2860.06	6.69	0.00	0.00	-3.18	11.0	11.3
								-0.44	0.0	0.0
123	13.10.23	0.00	0.00	0.00	6.20	0.00	0.00			
124	13. 5.24	0.00	0.00	0.00	10.41	4.21	0.45	1.89	0.0	0.0
124	15.10.24	0.00	0.00	0.00	5.53	0.00	0.00	-2.50	0.0	0.0
222	22. 8.22	936595.22	341474.58	2861.91	9.98	0.00	0.00			
								-0.95	0.0	0.0
222	5.10.22	0.00	0.00	0.00	8.92	0.00	0.00			
223	27. 4.23	0.00	0.00	0.00	11.02	2.10	0.37	0.78	0.0	0.0
223	1. 9.23	936587.89	341486.70	2855.55	6.13	0.00	0.00	-3.29	13.8	14.2
								-0.49	0.0	0.0
223	13.10.23	0.00	0.00	0.00	5.58	0.00	0.00			
224	13. 5.24	0.00	0.00	0.00	9.04	3.46	0.45	1.56	0.0	0.0
224	27. 8.24	936581.15	341497.95	2850.90	3.71	0.00	0.00	-3.24	13.3	13.5
								-0.44	0.0	0.0
224	15.10.24	0.00	0.00	0.00	3.22	0.00	0.00			
322	22. 8.22	936674.87	341548.80	2853.63	9.85	0.00	0.00			
								-0.85	0.0	0.0
322	5.10.22	0.00	0.00	0.00	8.91	0.00	0.00			
323	27. 4.23	0.00	0.00	0.00	11.48	2.57	0.37	0.95	0.0	0.0
323	1. 9.23	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	-3.57	0.0	0.0
323	13.10.23	0.00	0.00	0.00	5.42	0.00	0.00	-0.52	0.0	0.0
324	13. 5.24	0.00	0.00	0.00	8.25	2.83	0.45	1.27	0.0	0.0
324	27. 8.24	936666.53	341570.50	2842.32	3.43	0.00	0.00	-3.06	11.5	12.4
								-0.51	0.0	0.0
324	15.10.24	0.00	0.00	0.00	2.86	0.00	0.00			
422	22. 8.22	936662.68	341672.76	2826.51	9.82	0.00	0.00			
								-0.82	0.0	0.0
422	5.10.22	0.00	0.00	0.00	8.91	0.00	0.00			
								1.03	0.0	0.0

!	423!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	11.69!	2.78!	0.37!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.63!	0.0!	0.0!
!	423!	1. 9.23!	0.00!	0.00!	0.00!	6.02!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.63!	0.0!	0.0!
!	423!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	5.32!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.27!	0.0!	0.0!
!	424!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	8.08!	2.76!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.14!	6.8!	7.6!
!	424!	27. 8.24!	936659.73!	341686.20!	2817.53!	3.24!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.40!	0.0!	0.0!
!	424!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	2.80!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	522!	22. 8.22!	936574.27!	341633.59!	2829.78!	9.80!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.83!	0.0!	0.0!
!	522!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	8.88!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.05!	0.0!	0.0!
!	523!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	11.71!	2.83!	0.37!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.58!	9.3!	9.5!
!	523!	1. 9.23!	936571.00!	341642.63!	2824.93!	6.07!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.67!	0.0!	0.0!
!	523!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	5.33!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.53!	0.0!	0.0!
!	524!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	8.65!	3.32!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.32!	8.3!	8.5!
!	524!	27. 8.24!	936568.25!	341650.37!	2821.00!	3.34!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.42!	0.0!	0.0!
!	524!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	2.87!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	622!	22. 8.22!	936401.68!	341536.22!	2830.98!	9.90!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.95!	0.0!	0.0!
!	622!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	8.84!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	0.81!	0.0!	0.0!
!	623!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	11.02!	2.18!	0.37!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.72!	6.1!	6.1!
!	623!	1. 9.23!	936398.69!	341541.72!	2826.94!	5.60!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.76!	0.0!	0.0!
!	623!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	4.75!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.38!	0.0!	0.0!
!	624!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	7.74!	2.99!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.18!	6.0!	6.0!
!	624!	27. 8.24!	936395.90!	341546.90!	2824.41!	2.75!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.49!	0.0!	0.0!
!	624!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	2.21!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	722!	22. 8.22!	936593.18!	341903.71!	2790.94!	10.40!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.95!	0.0!	0.0!
!	722!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	9.34!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.29!	0.0!	0.0!
!	723!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	12.64!	3.30!	0.39!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.48!	0.0!	0.0!
!	723!	1. 9.23!	0.00!	0.00!	0.00!	6.90!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.58!	0.0!	0.0!
!	723!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	5.14!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.30!	0.0!	0.0!
!	724!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	7.96!	2.82!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.54!	2.9!	4.3!
!	724!	27. 8.24!	936592.67!	341909.50!	2781.99!	2.65!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.91!	0.0!	0.0!
!	724!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	1.64!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	822!	22. 8.22!	936533.64!	341894.69!	2785.73!	10.65!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.08!	0.0!	0.0!

!	822!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	9.45!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.68!	0.0!	0.0!
!	823!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	13.75!	4.30!	0.39!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.76!	3.6!	3.9!
!	823!	1. 9.23!	936533.18!	341898.39!	2781.83!	7.13!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.68!	0.0!	0.0!
!	823!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	6.37!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.97!	0.0!	0.0!
!	824!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	10.65!	4.28!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.41!	2.9!	3.1!
!	824!	27. 8.24!	936532.84!	341901.21!	2779.13!	4.77!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.69!	0.0!	0.0!
!	824!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	4.00!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	922!	22. 8.22!	936373.72!	341882.42!	2789.14!	12.55!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.03!	0.0!	0.0!
!	922!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	11.40!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.31!	0.0!	0.0!
!	923!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	14.64!	3.14!	0.39!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.96!	4.2!	4.4!
!	923!	1. 9.23!	936373.00!	341886.71!	2785.00!	8.46!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.80!	0.0!	0.0!
!	923!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	7.57!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.80!	0.0!	0.0!
!	924!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	11.48!	3.91!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.50!	3.4!	3.5!
!	924!	27. 8.24!	936372.77!	341890.05!	2782.24!	5.68!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.76!	0.0!	0.0!
!	924!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	4.84!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	1222!	22. 8.22!	936461.05!	342379.57!	2708.72!	10.59!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.34!	0.0!	0.0!
!	1222!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	9.10!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.28!	0.0!	0.0!
!	1223!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	12.39!	3.29!	0.39!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-4.73!	1.1!	2.4!
!	1223!	1. 9.23!	936461.83!	342380.38!	2702.66!	5.27!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.18!	0.0!	0.0!
!	1223!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	3.96!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.44!	0.0!	0.0!
!	1224!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	7.09!	3.13!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-4.47!	0.3!	1.9!
!	1224!	27. 8.24!	936462.11!	342380.39!	2697.43!	0.59!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.98!	0.0!	0.0!
!	1224!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	-0.50!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	1322!	22. 8.22!	936307.88!	342366.68!	2713.32!	9.84!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.55!	0.0!	0.0!
!	1322!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	9.23!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.64!	0.0!	0.0!
!	1323!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	13.44!	4.21!	0.39!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.64!	0.9!	1.1!
!	1323!	1. 9.23!	936308.03!	342367.56!	2710.44!	7.01!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.71!	0.0!	0.0!
!	1323!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	6.22!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	2.13!	0.0!	0.0!
!	1324!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	10.85!	4.63!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-4.13!	0.5!	1.0!
!	1324!	27. 8.24!	936307.96!	342368.03!	2707.41!	4.00!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.49!	0.0!	0.0!
!	1324!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	3.45!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!



!	1122!	22. 8.22!	936518.68!	342341.42!	2706.17!	10.50!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.35!	0.0!	0.0!
!	1122!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	9.00!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.35!	0.0!	0.0!
!	1123!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	12.47!	3.47!	0.39!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-4.39!	0.4!	1.5!
!	1123!	1. 9.23!	936518.72!	342341.86!	2701.28!	5.63!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.84!	0.0!	0.0!
!	1123!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	4.70!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.67!	0.0!	0.0!
!	1124!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	8.32!	3.62!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-4.10!	0.4!	0.9!
!	1124!	27. 8.24!	936518.55!	342341.46!	2697.76!	2.00!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.89!	0.0!	0.0!
!	1124!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	1.01!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	1622!	22. 8.22!	936334.17!	342641.42!	2678.44!	10.60!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.12!	0.0!	0.0!
!	1622!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	9.35!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.28!	0.0!	0.0!
!	1623!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	12.55!	3.20!	0.40!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-4.59!	0.3!	1.6!
!	1623!	1. 9.23!	936333.89!	342641.42!	2673.14!	5.67!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.06!	0.0!	0.0!
!	1623!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	4.49!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.33!	0.0!	0.0!
!	1624!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	7.38!	2.89!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.73!	0.6!	1.4!
!	1624!	27. 8.24!	936333.73!	342640.85!	2669.23!	1.82!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.95!	0.0!	0.0!
!	1624!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	0.76!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	1722!	22. 8.22!	936342.18!	342684.90!	2670.58!	7.48!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.05!	0.0!	0.0!
!	1722!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	6.31!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.31!	0.0!	0.0!
!	1723!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	9.59!	3.28!	0.40!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-5.06!	0.2!	1.5!
!	1723!	1. 9.23!	936342.02!	342684.87!	2664.89!	2.14!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-1.01!	0.0!	0.0!
!	1723!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	1.02!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.31!	0.0!	0.0!
!	1724!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	3.86!	2.84!	0.46!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	2222!	22. 8.22!	936892.50!	340905.33!	2991.02!	9.85!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.72!	0.0!	0.0!
!	2222!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	9.05!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.15!	0.0!	0.0!
!	2223!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	11.93!	2.88!	0.40!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.09!	18.3!	18.8!
!	2223!	1. 9.23!	936894.39!	340924.11!	2984.74!	6.90!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.31!	0.0!	0.0!
!	2223!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	6.56!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	1.58!	0.0!	0.0!
!	2224!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	10.07!	3.51!	0.45!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-3.01!	17.5!	17.9!
!	2224!	27. 8.24!	936895.54!	340941.40!	2979.58!	4.97!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.41!	0.0!	0.0!
!	2224!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	4.51!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----											
!	2322!	22. 8.22!	936832.54!	340898.12!	2991.05!	9.81!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	-0.71!	0.0!	0.0!

! 2322!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	9.02!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	1.38!	0.0!	0.0!
! 2323!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	12.48!	3.46!	0.40!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-3.08!	19.2!	19.5!
! 2323!	1. 9.23!	936834.18!	340917.81!	2985.61!	7.13!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-0.42!	0.0!	0.0!
! 2323!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	6.66!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	2.08!	0.0!	0.0!
! 2324!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	11.28!	4.62!	0.45!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-2.71!	19.1!	19.4!
! 2324!	27. 8.24!	936835.70!	340936.68!	2981.54!	5.96!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-0.49!	0.0!	0.0!
! 2324!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	5.41!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----										
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
! 2422!	22. 8.22!	936771.44!	340904.77!	2988.59!	9.82!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-0.81!	0.0!	0.0!
! 2422!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	8.92!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	1.43!	0.0!	0.0!
! 2423!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	12.50!	3.58!	0.40!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-2.62!	0.0!	0.0!
! 2423!	1. 9.23!	0.00!	0.00!	0.00!	7.60!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-0.38!	0.0!	0.0!
! 2423!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	7.18!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	2.13!	0.0!	0.0!
! 2424!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	11.92!	4.74!	0.45!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-2.82!	19.1!	19.5!
! 2424!	27. 8.24!	936775.03!	340943.19!	2980.76!	6.42!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-0.47!	0.0!	0.0!
! 2424!	15.10.24!	0.00!	0.00!	0.00!	5.90!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----										
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
! 2522!	22. 8.22!	936730.37!	340902.34!	2990.25!	9.83!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-0.89!	0.0!	0.0!
! 2522!	5.10.22!	0.00!	0.00!	0.00!	8.84!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	1.85!	0.0!	0.0!
! 2523!	27. 4.23!	0.00!	0.00!	0.00!	13.46!	4.62!	0.40!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-2.24!	18.2!	18.4!
! 2523!	1. 9.23!	936731.97!	340920.98!	2987.10!	8.40!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	-0.50!	0.0!	0.0!
! 2523!	13.10.23!	0.00!	0.00!	0.00!	7.84!	0.00!	0.00!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	2.28!	0.0!	0.0!
! 2524!	13. 5.24!	0.00!	0.00!	0.00!	12.90!	5.06!	0.45!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
-----										

Nota: la hauteur enfouie est totale: glace+neige