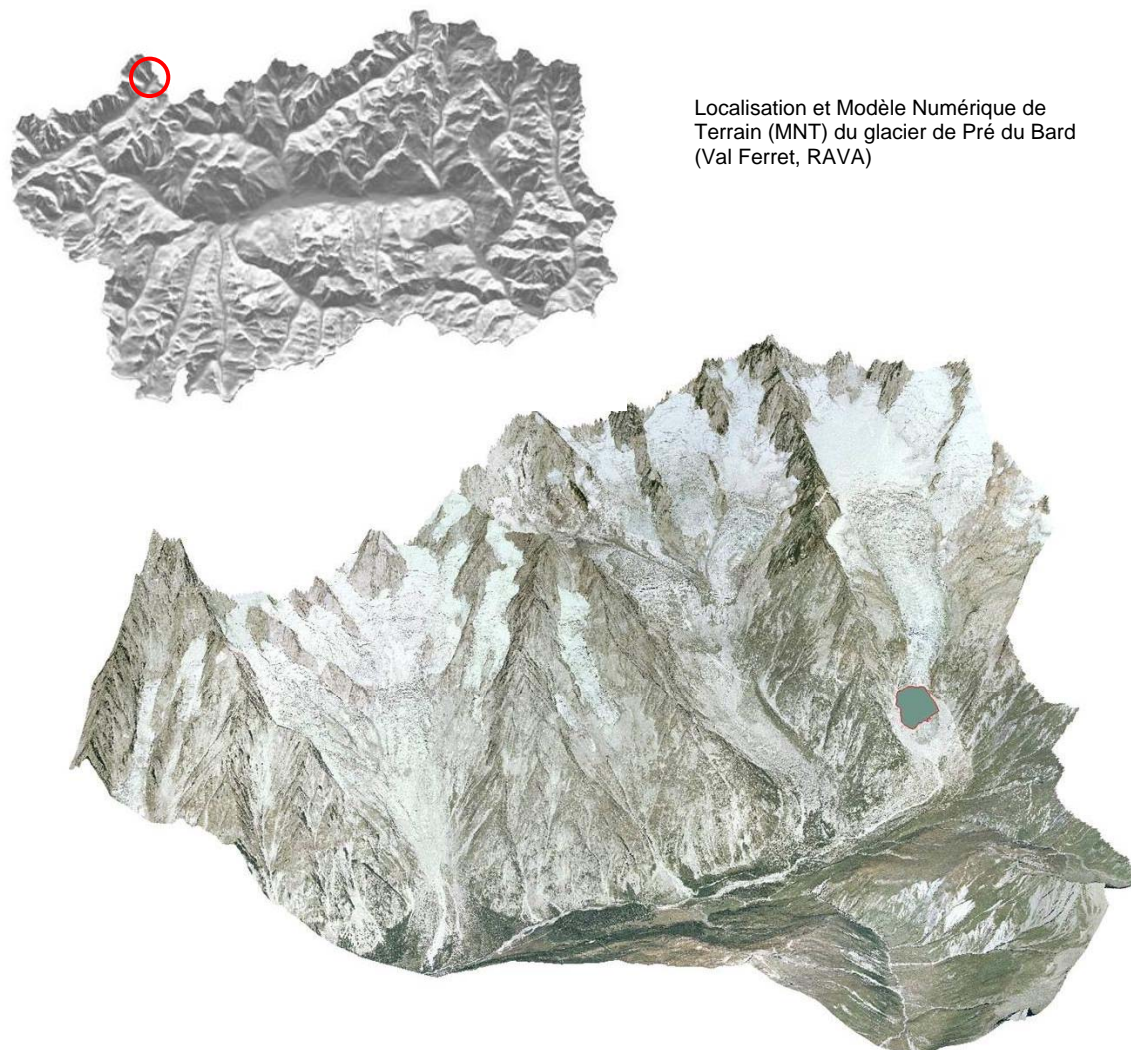


6.2.2. Application de technologies avancées pour l'évaluation des ressources hydriques glaciaires et des dynamiques évolutives relatives (projet LIDARTAVAL)
Fabrizio DIOTRI



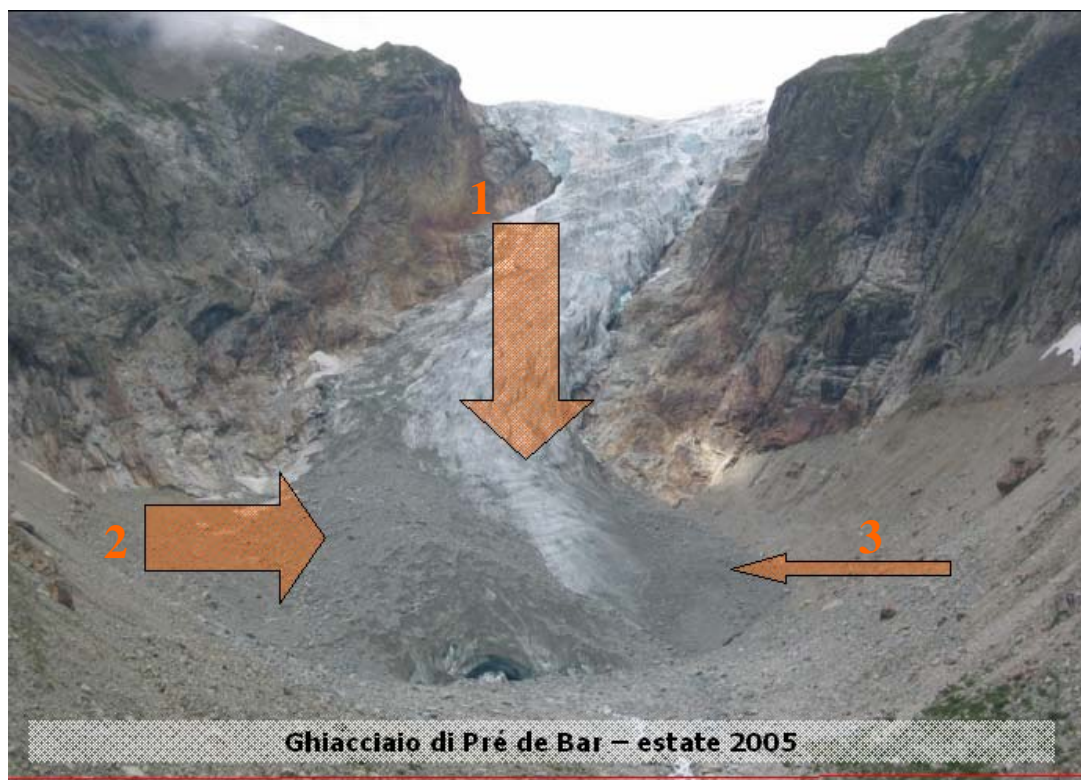
Localisation et Modèle Numérique de Terrain (MNT) du glacier de Pré du Bard (Val Ferret, RAVA)

L'étude concerne le glacier de Pré du Bard, situé au fond du Val Ferret, à la frontière du Valais. Les structures impliquées sont ARPA, FMS (Fondation Montagne Sûre), Università degli Studi di Milano, Politecnico di Torino ; les projets impliqués sont les suivants :

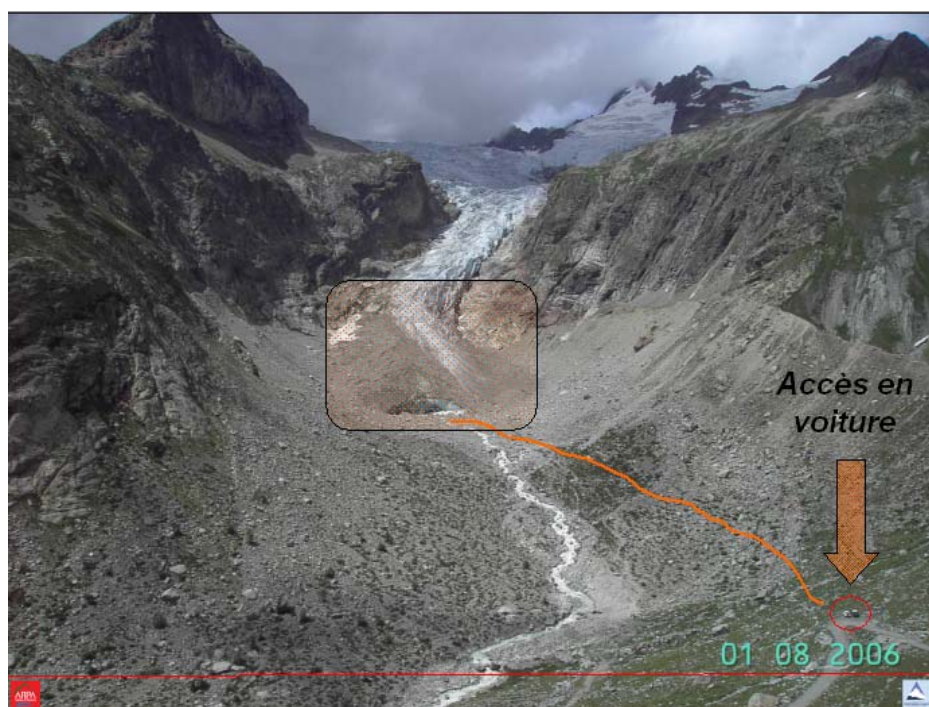
1. FMS : Comune de Courmayeur (+ POLITO)
 2. FMS et ARPA : projet LIDARdataVAL (Fondazione CRT)
 3. ARPA : Projet Interreg III A Alcotra n. 121 COGEVA – VAHSA (Serv. Aree Protette).
- Les activités ont démarré en 2005 et la fin est prévue pour 2007.

Raisons du choix du Pré du Bar comme site d'investigation :

1. Le glacier est « vallivo » : la portion terminale se trouve à basse altitude (environ 2050 m), d'où la possibilité de monitoring dynamique très rapide.
2. La langue terminale (photo ci-dessous) présente une zone de glace découverte (1), une zone couverte d'éboulis (2) et une couverte de fines (3), ce qui offre la possibilité d'investiguer le phénomène d'ablation différentielle.
3. Les aspects logistiques ne sont pas négligeables : l'accès est facile et relativement sûr.



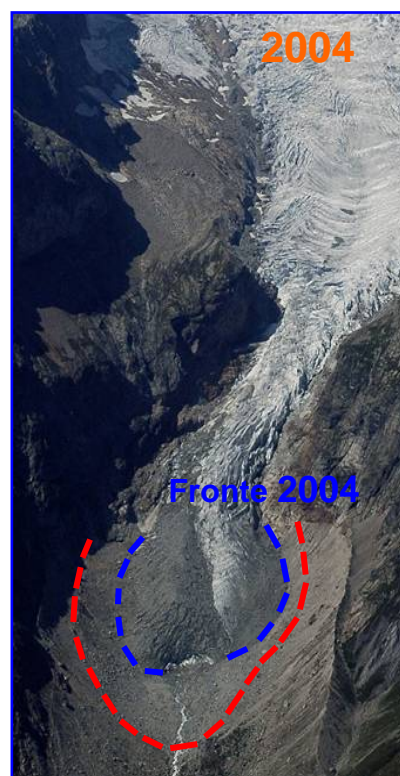
Différentes zones de la langue terminale (voir texte)



Accessibilité du site

Les activités de surveillance se concentrent seulement sur la langue terminale : les résultats et considérations présentés ici ne sont pas extrapolables à l'ensemble du corps du glacier. Dans le futur, une extension d'une partie des investigations au glacier tout entier est prévue.

Entre 1992 et 2004, le retrait du glacier s'est encore aggravé : les étés très chauds qui se sont succédé depuis quelques années ont induit des variations très rapides (photos ci-dessous).



Activités réalisées :

En 2005

- deux campagnes LIDAR, en stade initial et final d'ablation ;
- installation de 19 poteaux d'ablation (8+4+7) sur de la glace et des portions couvertes d'éboulis, avec des mesures d'ablation environ tous les 15 jours ;

En 2006

- installation de 22 poteaux d'ablation (9+4+9) sur de la glace et des portions couvertes d'éboulis (repositionnement de poteaux de 2005), avec des mesures d'ablation environ tous les 7 jours ;
- installation de stations météo :
 - o capteurs de température au front et en partie supérieure de la langue pour avoir un gradient altitudinal ;
 - o individualisation de sites de mesures intensives sur la partie couverte d'éboulis.

Objectifs de ces mesures :

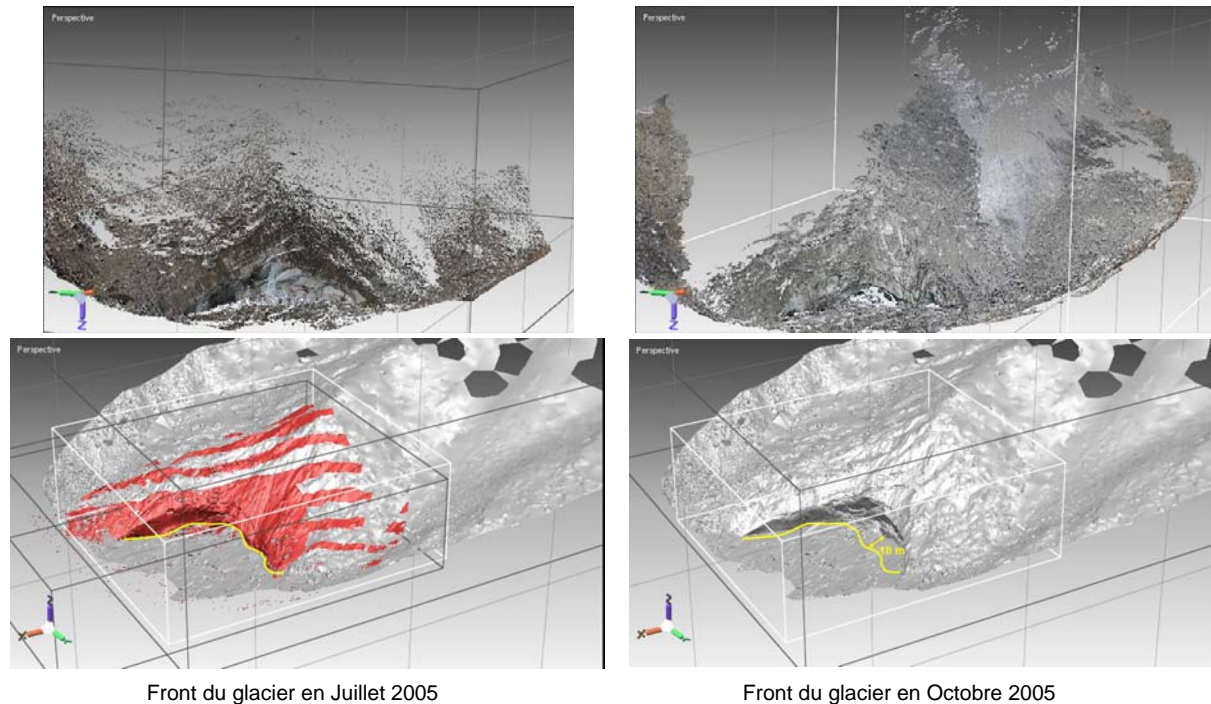
Campagnes Lidar : obtenir des informations détaillées des variations volumétriques au cours des différents stades d'ablation ;

Poteaux d'ablation : analyser l'ablation différentielle glace-couverture d'éboulis et analyser les évolutions temporelles des taux de fusion.

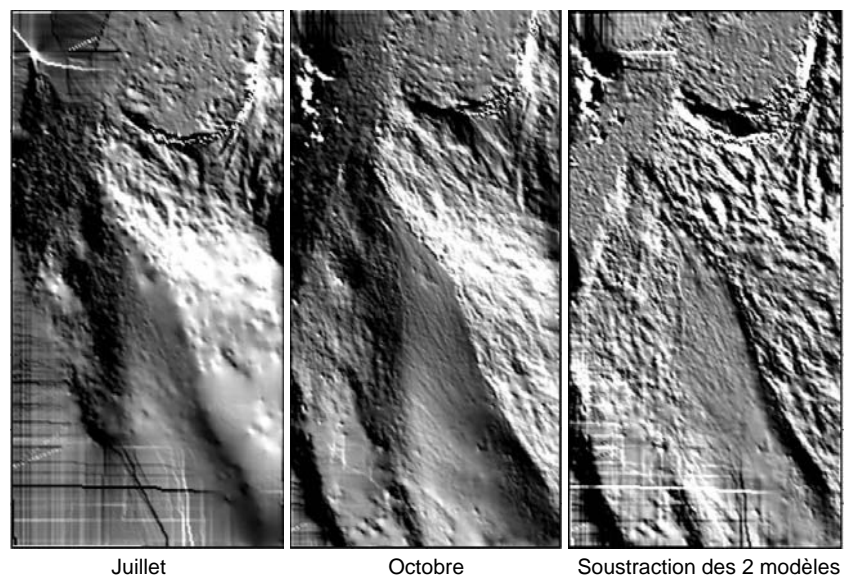
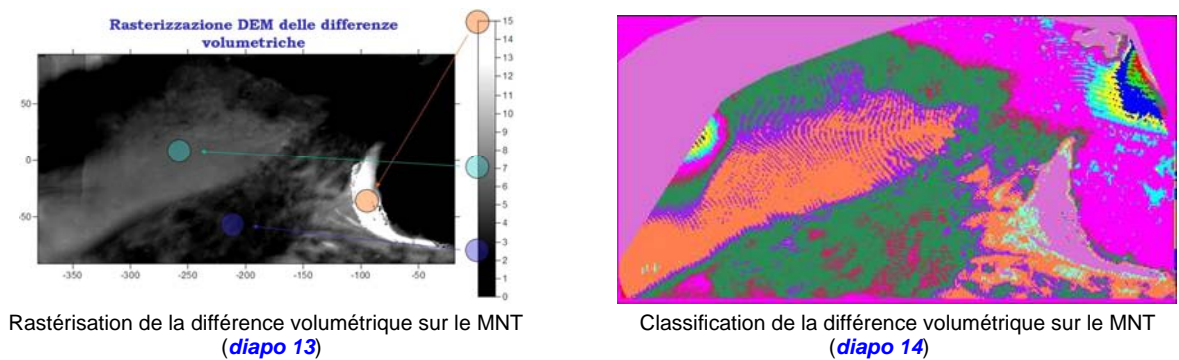
Stations météo : appréhender les propriétés thermiques de la couverture détritique et l'effet relatif d'isolation thermique exercé sur la glace + corréler les dynamiques de fusion avec l'évolution des principaux paramètres météorologiques.

Résultats scanner laser :

En seulement trois mois de suivi durant l'été 2005, le glacier a connu une évolution très rapide avec un recul de 18 m, comme l'illustrent les reconstitutions effectuées avec le modèle 3D (ci-dessous).



Sur la figure ci-dessus, chaque niveau de gris représente la variation d'épaisseur du glacier, qui a diminué de plus de 15 m par endroits. Là où la couverture de débris est importante, l'ablation ne représente en revanche qu'environ 2,5 m. Sur l'image classée des différences volumétriques (ci-dessous à droite), on retrouve ce phénomène d'ablation différentielle (parties découvertes en orange et parties couvertes en vert).



La soustraction des MNT de juillet et d’octobre (ci-dessus) illustre très bien le phénomène et permet de calculer des différences volumétriques, qui sont ensuite comparées aux valeurs obtenues avec la technique des poteaux ablatométriques :

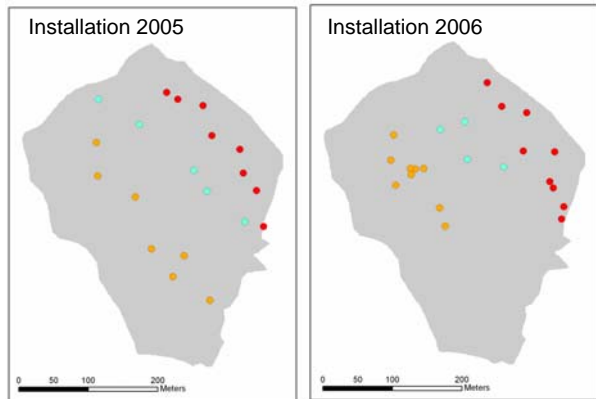
Volumes calculés avec le **scanner laser**, période du 05/08 au 14/10 2005, glace couverte/glace découverte : 225 077 m³.
 Volumes calculés avec les **poteaux d’ablation**, période du 05/08 au 03/09 2005, glace couverte/glace découverte: 203 366 m³.

L’ordre de grandeur des deux résultats est le même (la période d’observation étant un peu plus longue pour le scan laser). La technique des poteaux d’ablation fournit donc des valeurs assez fiables.

Installation des poteaux d’ablation (photos *diapos 18, 19 20*) :

Installation en 2005 de 19 poteaux à des périodes différentes (ci-contre):

- distribution homogène sur les trois portions de la langue ;
- distribution selon un gradient altitudinale
- distribution selon une gamme de variation de l’épaisseur des dépôts de couverture.

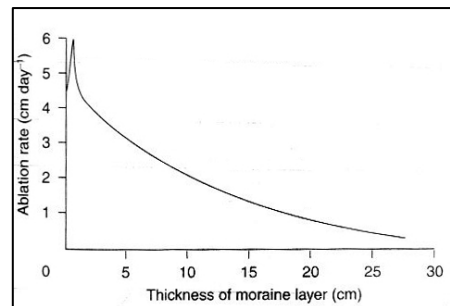


Installation en 2006 de 22 poteaux (schéma de droite): les mesures de 2005 ont montré que la variabilité des taux de fusion est très étalée par la variation de l’épaisseur des dépôts. A une distribution homogène selon l’altitude on a préféré une distribution au hasard qui permet d’échantillonner une meilleure gamme d’épaisseur de la couverture détritique.

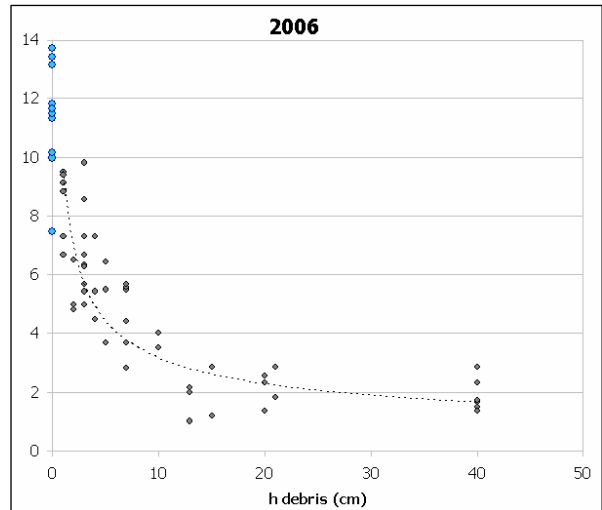
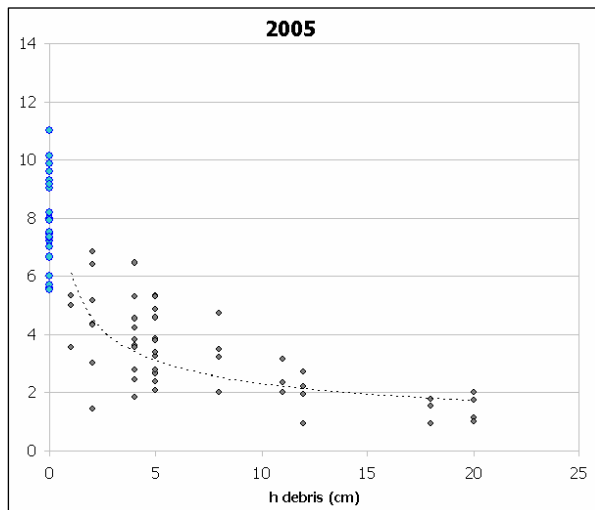
Résultats :

(1) Relation entre les taux de fusion et l’épaisseur de la couverture détritique :

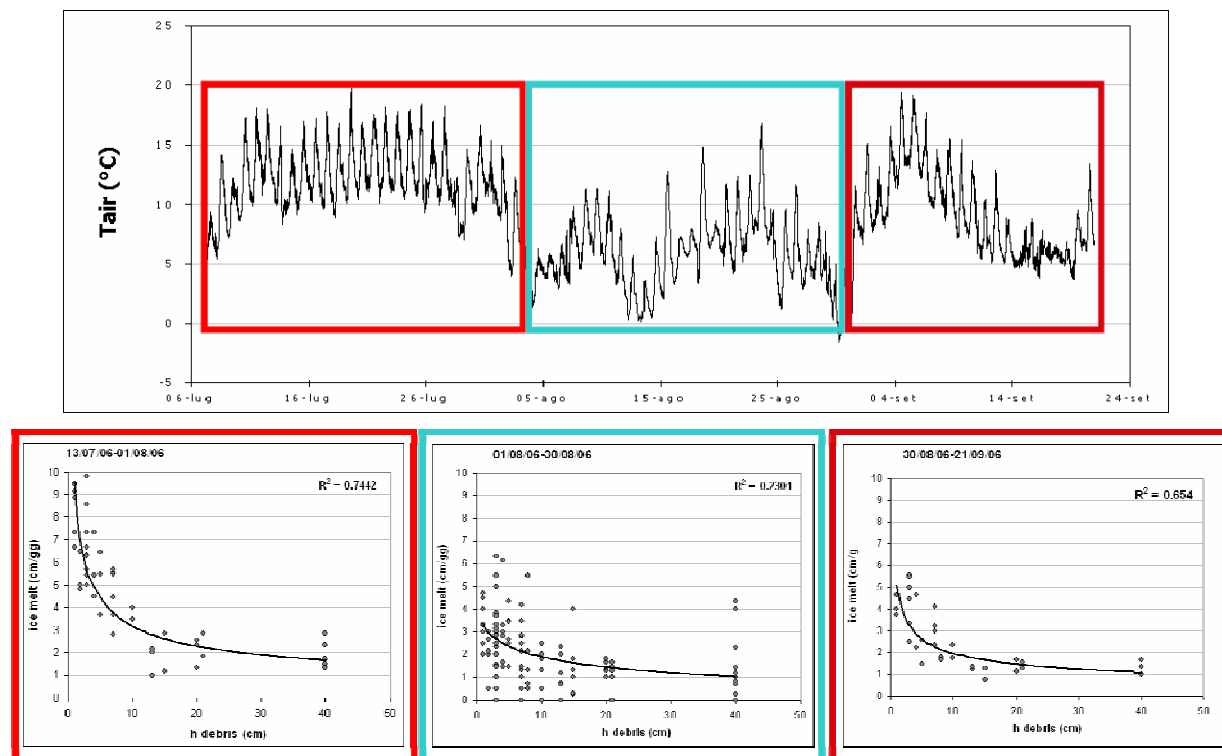
Relation théorique entre le taux d’ablation et l’épaisseur de la couverture détritique (d’après Benn & Evans, 1998 : *Glaciers and Glaciation*. Arnold, London, 734)



Evolutions observées :



Une couverture de débris d'1 cm protège déjà le glacier de l'ablation. Sur le graphique ci-dessus à gauche (poteaux installés selon une distribution régulière en 2005), on ne retrouve pas la corrélation prévue par la théorie, probablement du fait de la granulométrie des débris. En revanche, sur le graphique de droite (poteaux installés de façon plus dispersée en 2006), les résultats sont beaucoup plus proches de la relation théorique de Bern & Evans (1998).

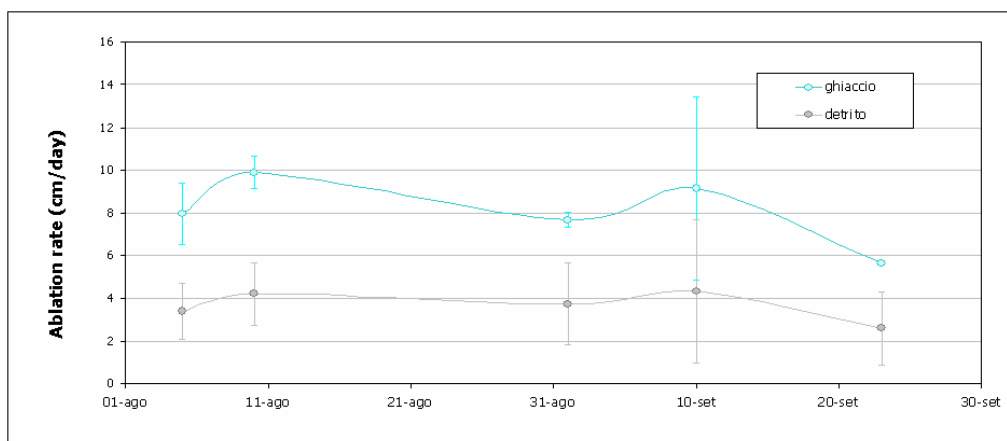


Evolution des taux d'ablation au cours de l'été 2006 en regard de la température de l'air

Sur la période du mois d'août, les taux de fusion sur glace et sur éboulis sont mal discriminés et la relation est nettement moins bonne qu'aux mois de juillet et de septembre. Cette absence de contraste marqué semble s'expliquer par une nette diminution de l'ablation liée à l'abaissement des températures.

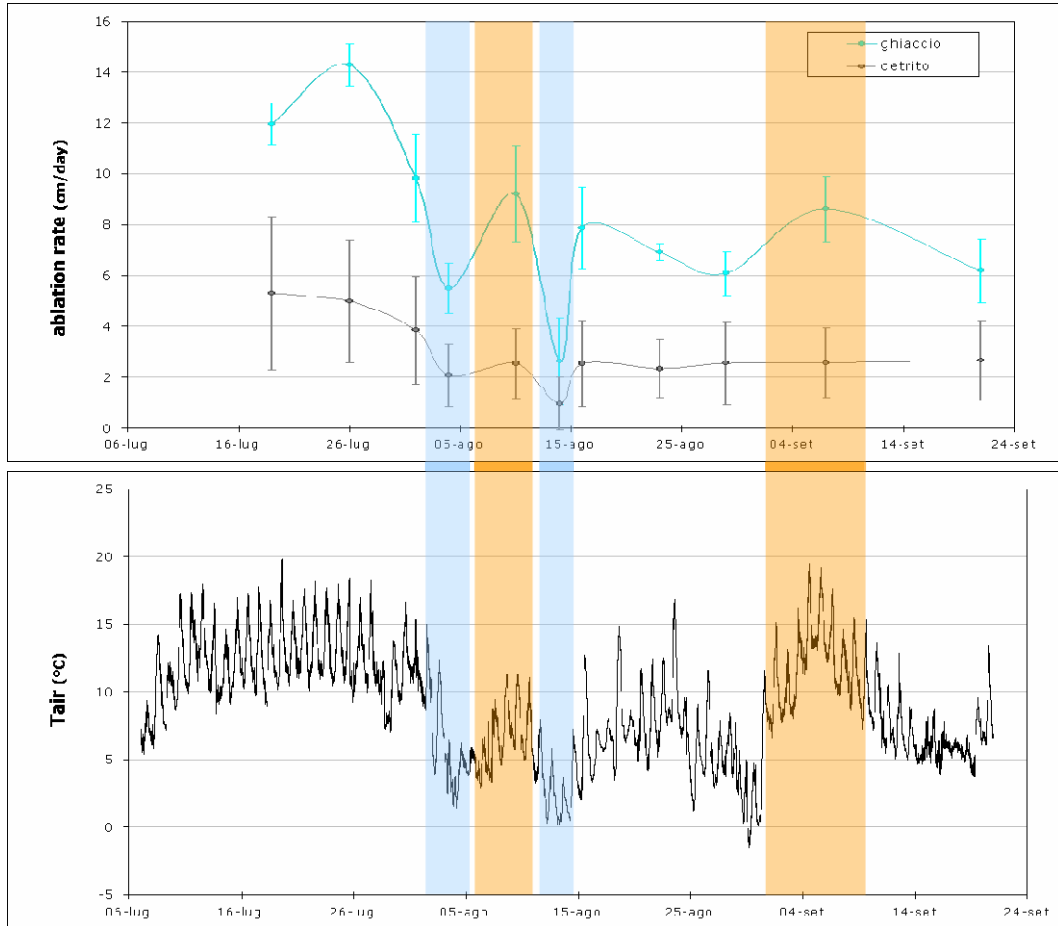
(2) Evolution temporelle des taux de fusion dans la période 2005 – 2006 :

En 2005 (ci-dessous), les taux d'ablation mesurés sur la glace découverte et sur les débris présentent un écart relativement constant, de l'ordre de 4 cm/jour.



Evolution des taux d'ablation sur glace et sur débris au cours de l'été 2005

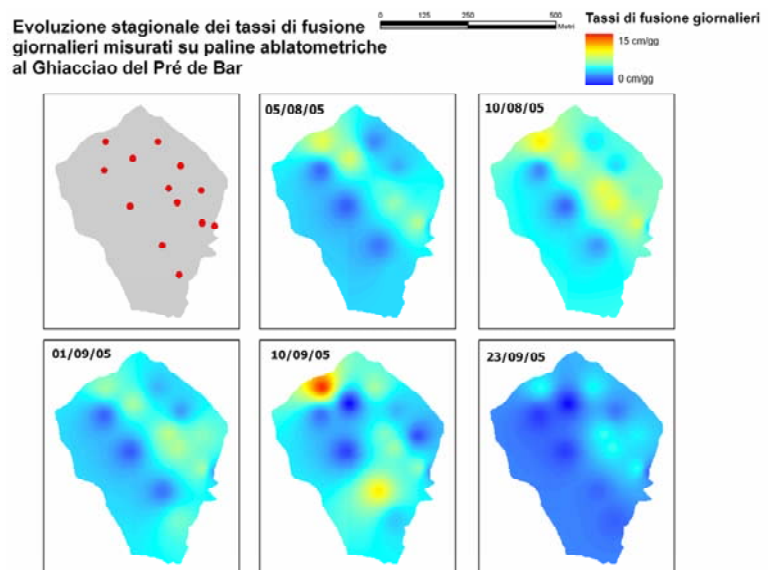
En 2006 (ci-dessous), la variabilité est plus forte, ce qui peut être lié à une quantité plus importante de données. Les premiers jours de septembre, les taux de fusion sont nettement inférieurs à ceux qui ont été enregistrés en juillet, malgré des températures aussi élevées (mais sur une période plus courte). Là aussi, lorsque les températures sont plus faibles, on observe un contraste moins prononcé entre les taux d’ablation sur glace découverte et sous débris.

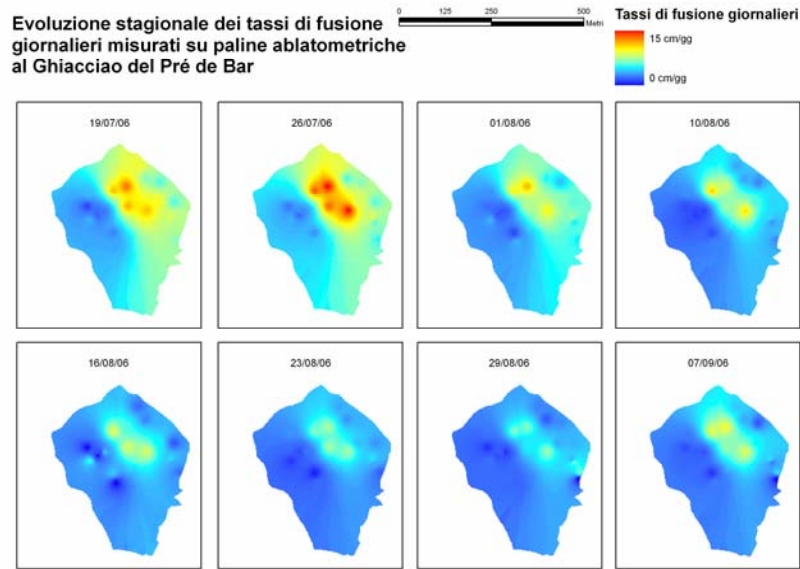


Evolution des taux d’ablation sur glace et sur débris ainsi que des températures au cours de l’été 2006

(3) Variation spatiale des taux de fusion ;

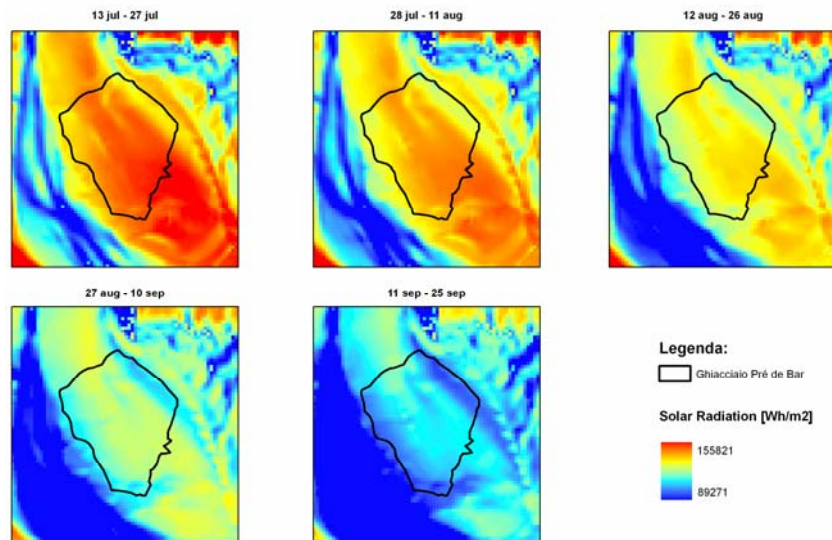
Les données ont été spatialisées par interpolation des taux de fusion journalier sur la période 2005-2006. Ces taux de fusion journaliers sont calculés avec la moyenne de la lecture périodique. L’interpolation est effectuée selon un algorithme non linéaire (IDW) des taux de fusion mesurés sur les seuls poteaux.





L’utilisation d’un modèle empirique basé sur les données météorologiques spatialisables (température et radiation solaire) combinée à l’exploitation de la relation notée entre les taux de fusion et l’épaisseur de dépôt peut fournir une possibilité pour disposer d’une information spatialisée des épaisseurs de débris, mais ce travail s’avère très difficile !

POTENTIAL INCOMING SHORTWAVE RADIATION



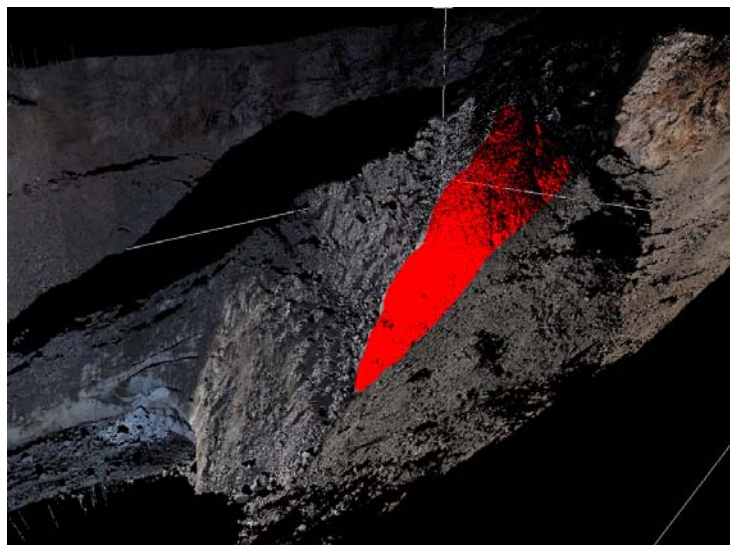
(4) Quantification des volumes de glace perdus (2005)

Superficie réelle de glace couverte : 10 200 m².

Fusion cumulée (moyenne des valeurs mesurées sur les poteaux) du 05/08/05 au 23/09/05 : 4.20 m.

Volume de glace perdu sur la période : 42 500 m³.

Quantification des volumes de glace perdus à l’aide du MNT

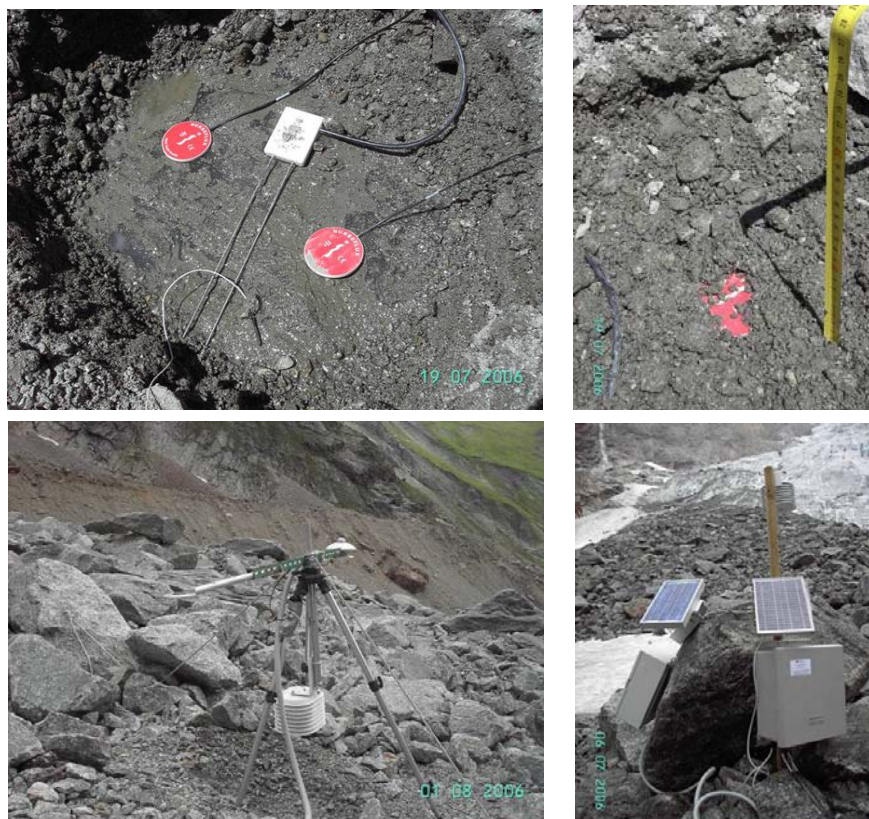


05/08/05-23/09/05	Fusione cum [m]	Superficie [m ²]	Volume [m ³]
Ghiaccio	4.17	10200	42520
Det_sx	2.31	21400	49514
Det_dx	1.61	69060	111332
TOT		100659	203366
06/07/06-21/09/06	Fusione cum [m]	Superficie [m ²]	Volume [m ³]
Ghiaccio	6.66	10200	67932
Det_sx	2.58	21400	55212
Det_dx	1.32	69060	91160
TOT		100659	214303

Quantification des volumes de glace perdus

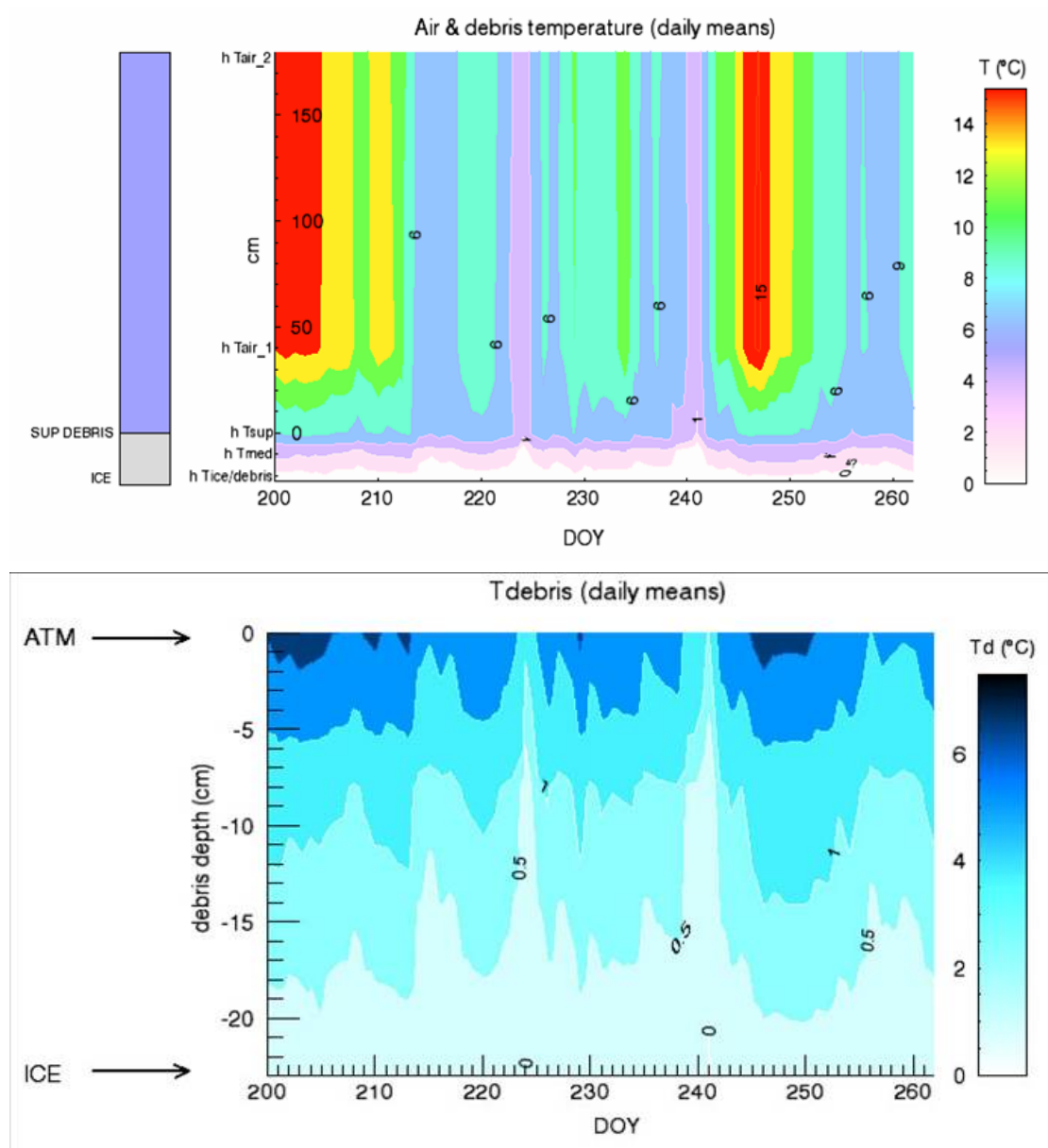
Site de mesures intensives sur la langue détritique

Le but est d'étudier les propriétés thermiques de la couverture détritique et l'effet associé d'isolement thermique exercé sur la glace.



Paramètres mesurés :

- température de l'air et humidité relative à deux altitudes différentes (pour un gradient vertical) ;
- radiations solaires : radiation de l'onde courte incidente et réfléchie (albédo, [0,305 – 2,8 μm] et radiation nette [0,2 – 100 μm]) ;
- température de la couverture détritique à trois profondeurs différentes ;
- flux de chaleur à l'intérieur de la couverture détritique à 3 profondeurs différentes ;
- humidité relative à l'intérieur de la couverture détritique à 3 profondeurs (TDR).



Développements futurs et approfondissements :

Fin de la campagne 2006 et traitement approfondi des données.

Poursuite des activités 2007 :

- Installation de 2 stations météo pour des mesures en parallèle dépôts / glacier ;
- Utilisation de capteurs de distance à ultrasons pour mesurer les taux d'ablation avec une meilleure fréquence temporelle ;
- Utilisation des données météo récoltées pour la validation des modèles (ex. modèles de radiation, modèles de fusion) ;
- Application des modèles de fusion (ex. grades - jours : nécessite une paramétrisation pour la couverture détritique) ;
- Application des méthodes d'analyse indirecte pour caractériser la température des dépôts (reprise IR).