



# Les satellites (et les hommes) au chevet des glaciers



Etienne Berthier,  
OMP-LEGOS, Toulouse



Mise à jour 11:08

**LE FIGARO · fr** ACTUALITÉ ÉCONOMIE CULTURE

INFO EN IMAGES BLOGS DÉBATS SANTÉ SUIVRE LE FIGARO PRÉSIDENTIELLE

Présidentielle International Société High-tech & Web Sciences Santé En

ACTUALITÉ > Environnement [S'abonner au Figaro.fr](#)

# Des glaciers de l'Himalaya résistent au réchauffement

Mots clés : Glacier, Réchauffement Climatique, Himalaya, CNRS

Par [Marielle Court](#)

Mis à jour le 17/04/2012 à 10:39 | publié le 16/04/2012 à 09:38 Réactions (18)



## GLACIERS DE L'HIMALAYA : LE GIEC N'EST PAS PARFAIT

**Libération**

**{SCIENCES}**

Par *Sylvestre Huet, journaliste à Libération*



Scandaleux ! Il y a une erreur à la page 493 des 974 pages du rapport 2007 du groupe II du **Giec**. Celui qui s'occupe du volet "Impacts, adaptation et vulnérabilités" du changement climatique... et donc n'est pas écrit par les climatologues, mais par leurs collègues biologistes, géographes, économistes, etc.



**Etienne Berthier,  
OMP-LEGOS, Toulouse**

# Glacier Qori Kalis (Pérou)



# Glacier Muir (Alaska)

**1875**

E. Trutat



# Glaciers Aneto et Maladeta

**2009**

G. Nogué



Association Pyrénéenne de Glaciologie

# Des glaciers ont déjà disparus. Chacaltaya (Bolivie)



**1996.** © Francou

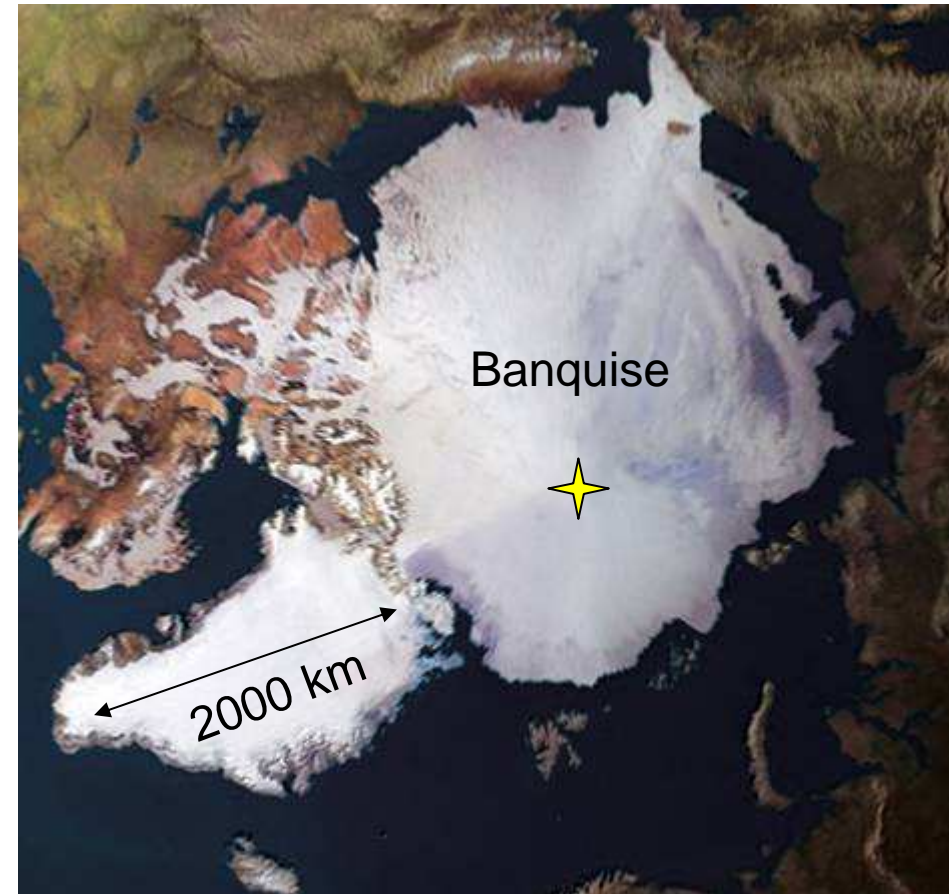
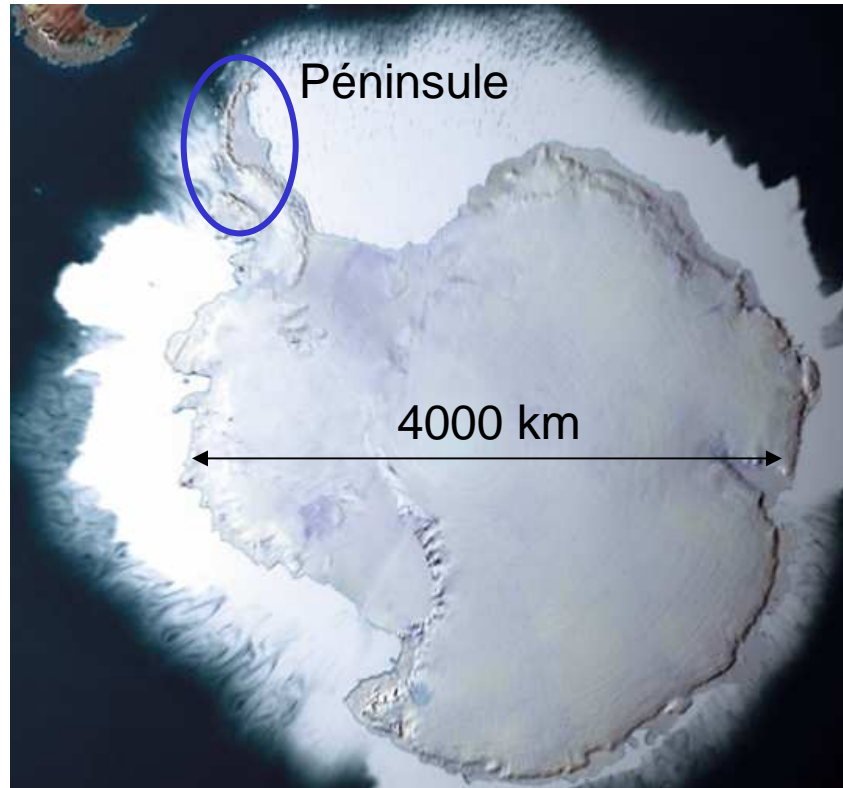


**2008.** © Ginot

# Plan de l'exposé

- I. Tous de Glace, mais tous différents**
- II. Un glacier, comment ça marche?**
- III. Fluctuations glaciaires et climatiques**
- IV. Conséquences du recul des glaciers**

# Calottes polaires $\neq$ Banquise



Antarctique :

Surface =  $12.1 * 10^6 \text{ km}^2$  (24x France)

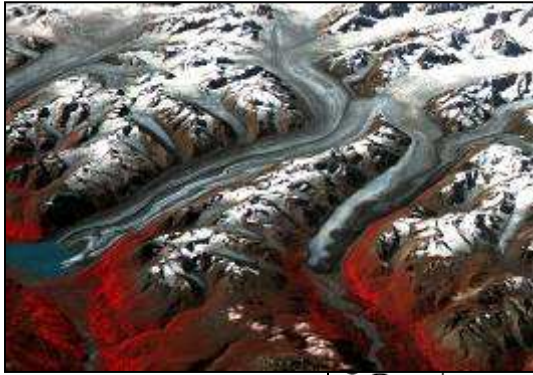
Epaisseur moyenne = 2200 m

Eq. Niveau marin =  $\sim 60 \text{ m}$

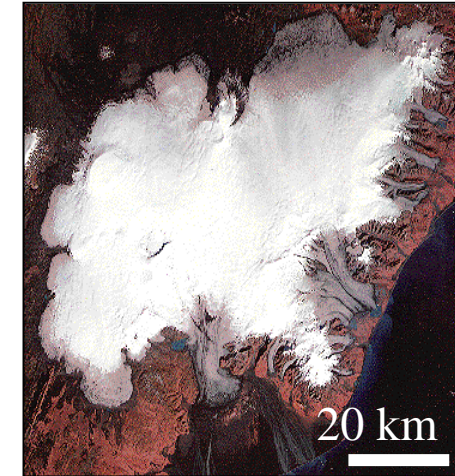
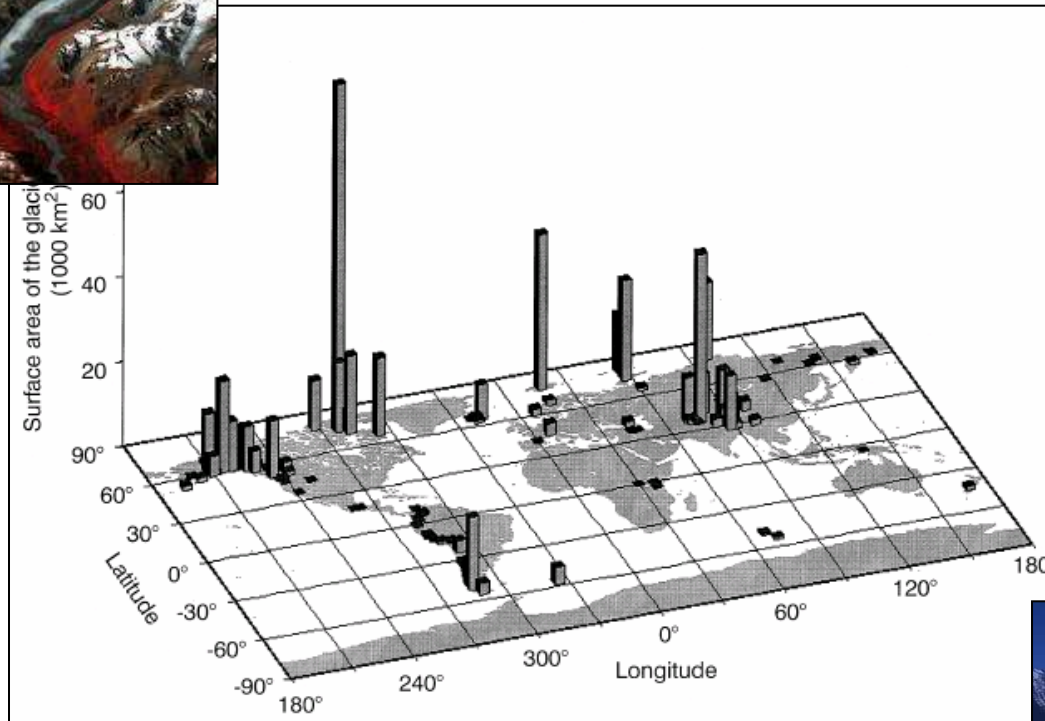
*L'Arctique. Distinguez  
banquise & calotte polaire*

Groenland  $\sim 6 \text{ m}$  eq. Niveau marin

# Les Glaciers de Montagne



*Champs de glace  
d'Alaska*



*Vatnajökull (Iceland)*

Surface = 700 000 km<sup>2</sup>  
Epaisseur moy. = 250 m  
Eq. Niveau marin = 0.6 m

*Mer de Glace*





# Les Glaciers de Montagne

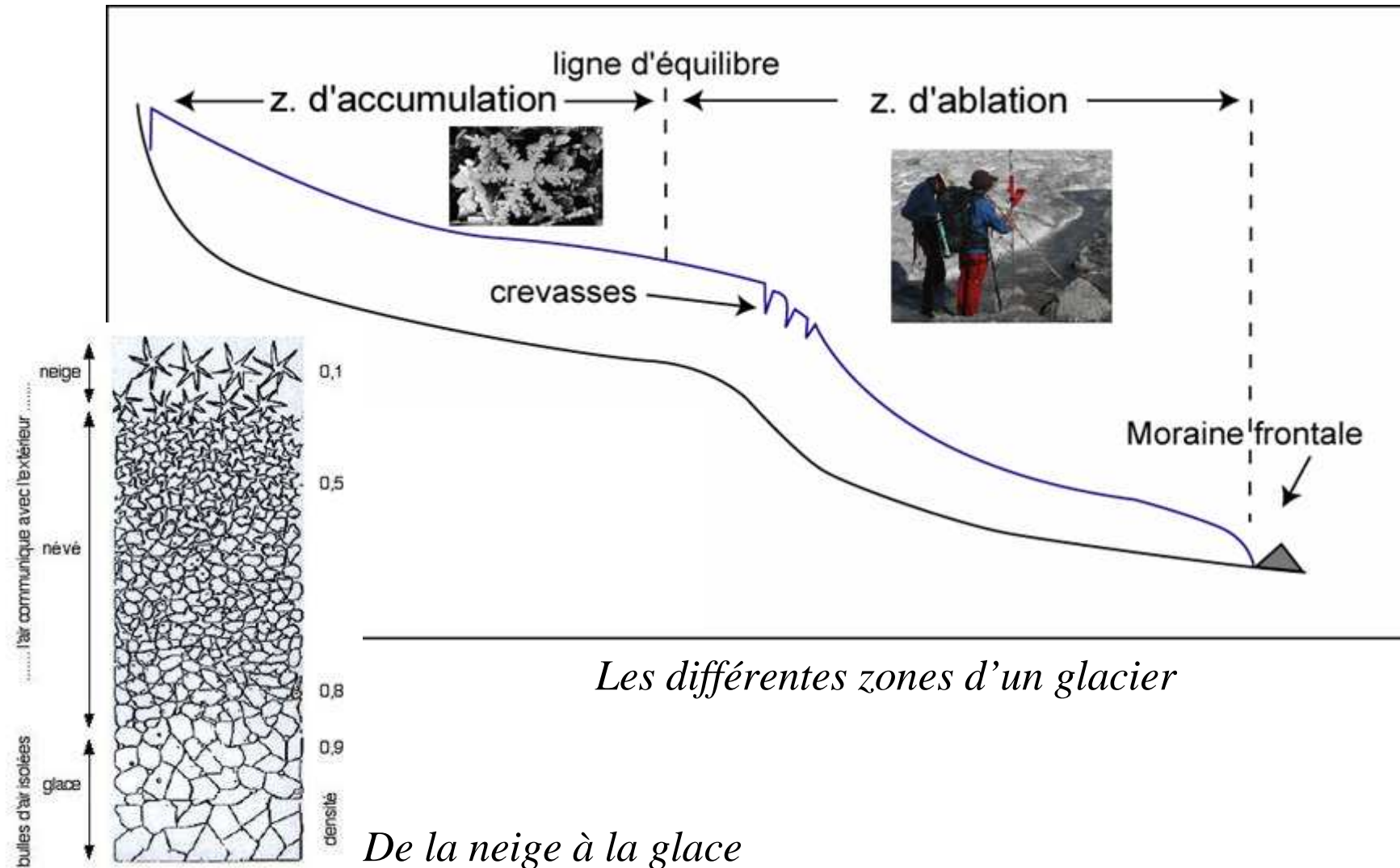


*Mer de Glace (Alpes)*

# Plan de l'exposé

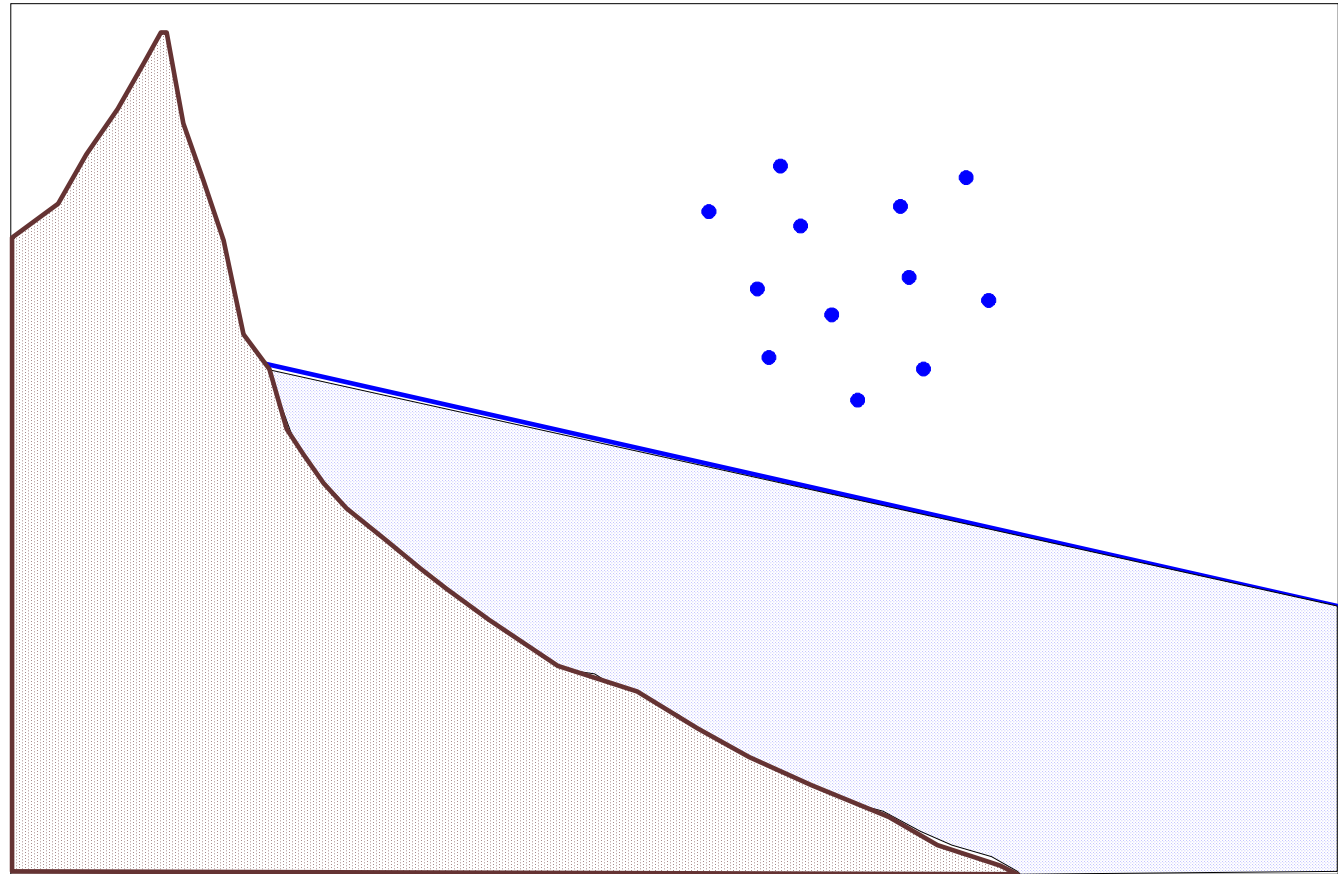
- I. Tous de Glace, mais tous différents
- II. Un glacier, comment ça marche?
- III. Fluctuations glaciaires et climatiques
- IV. Conséquences du recul des glaciers

# Fonctionnement d'un glacier

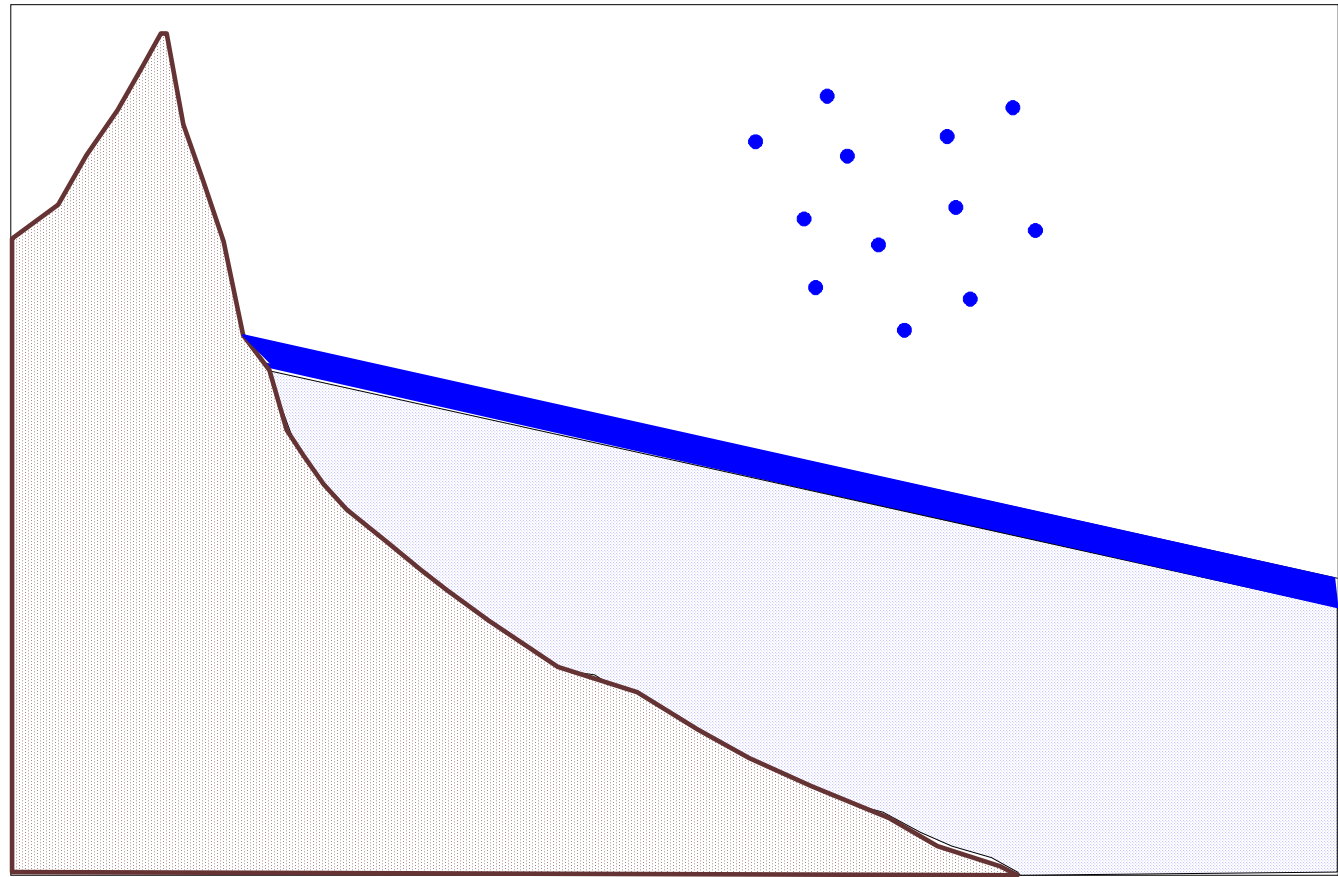


# Zone d'accumulation

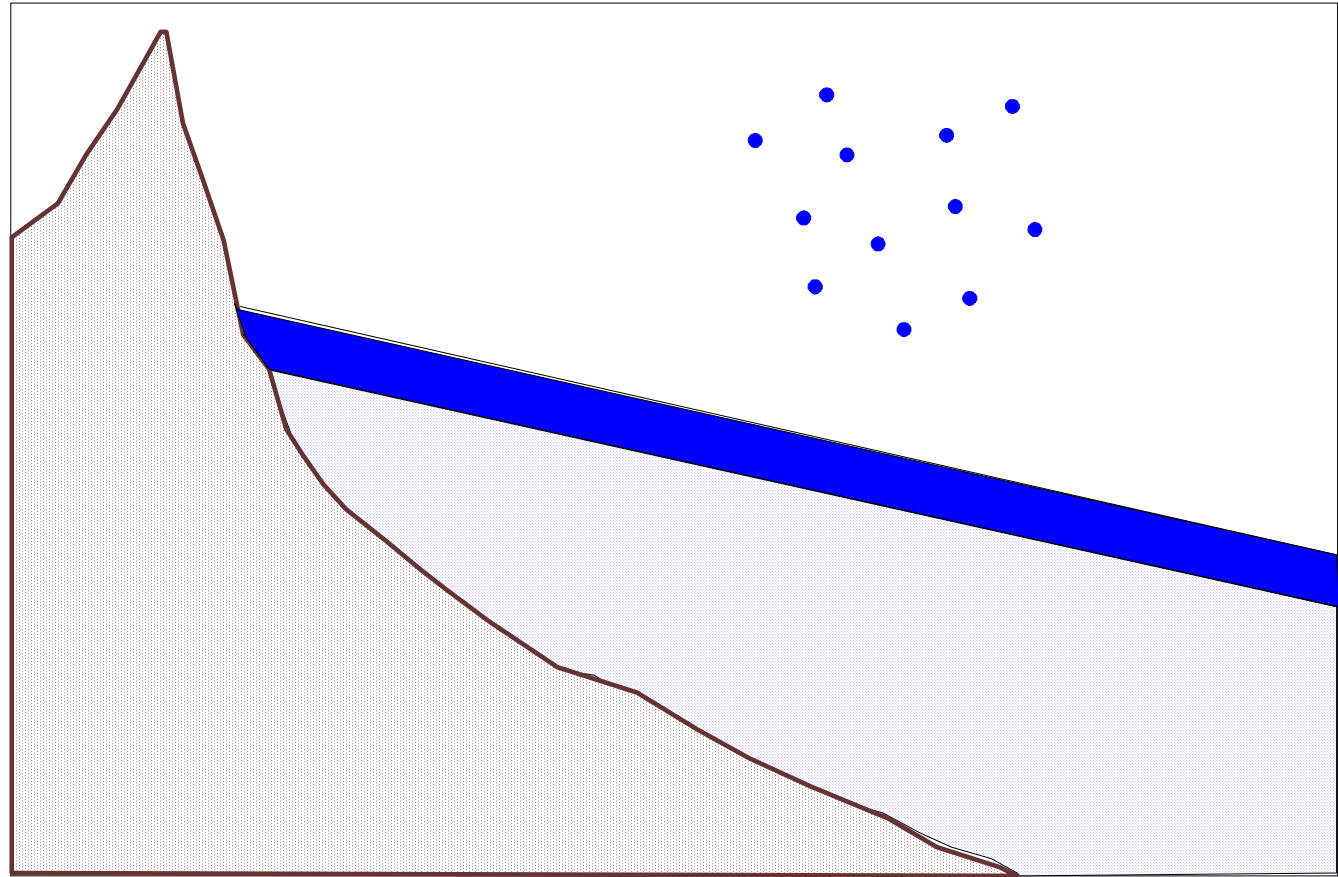
**Septembre**  
**Octobre**



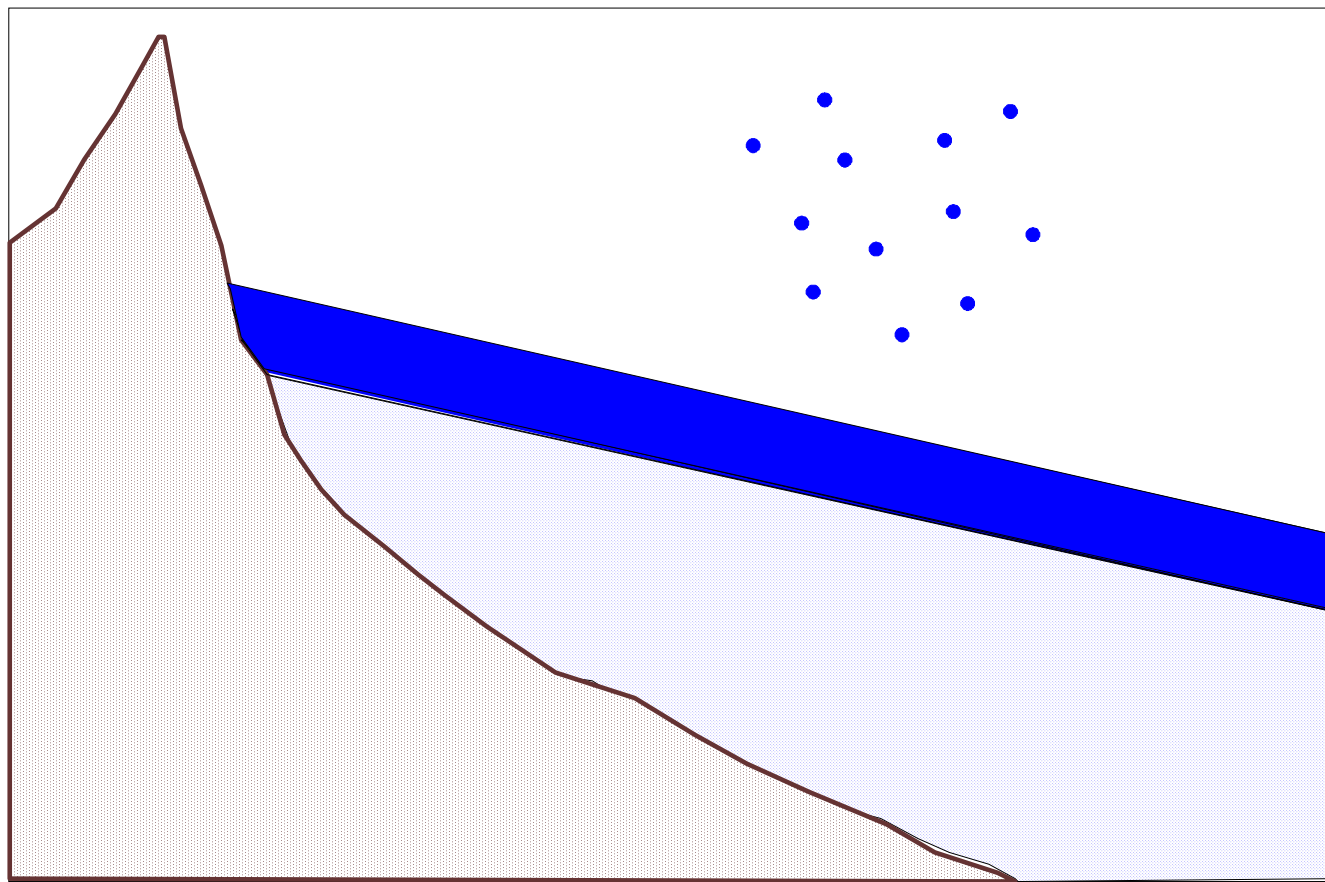
**Novembre**  
**Décembre**



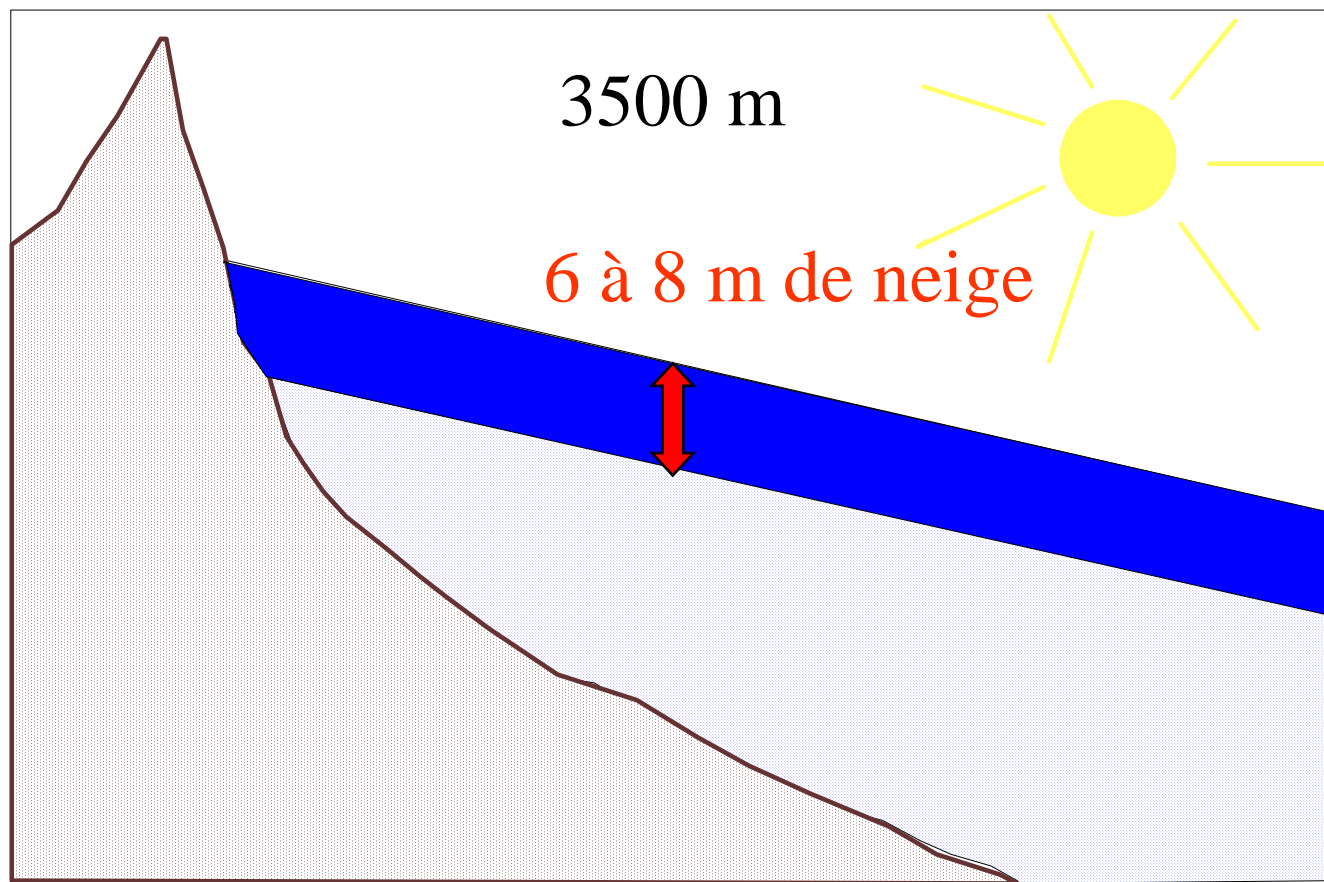
**Janvier**  
**Février**



**Mars**  
**Avril**

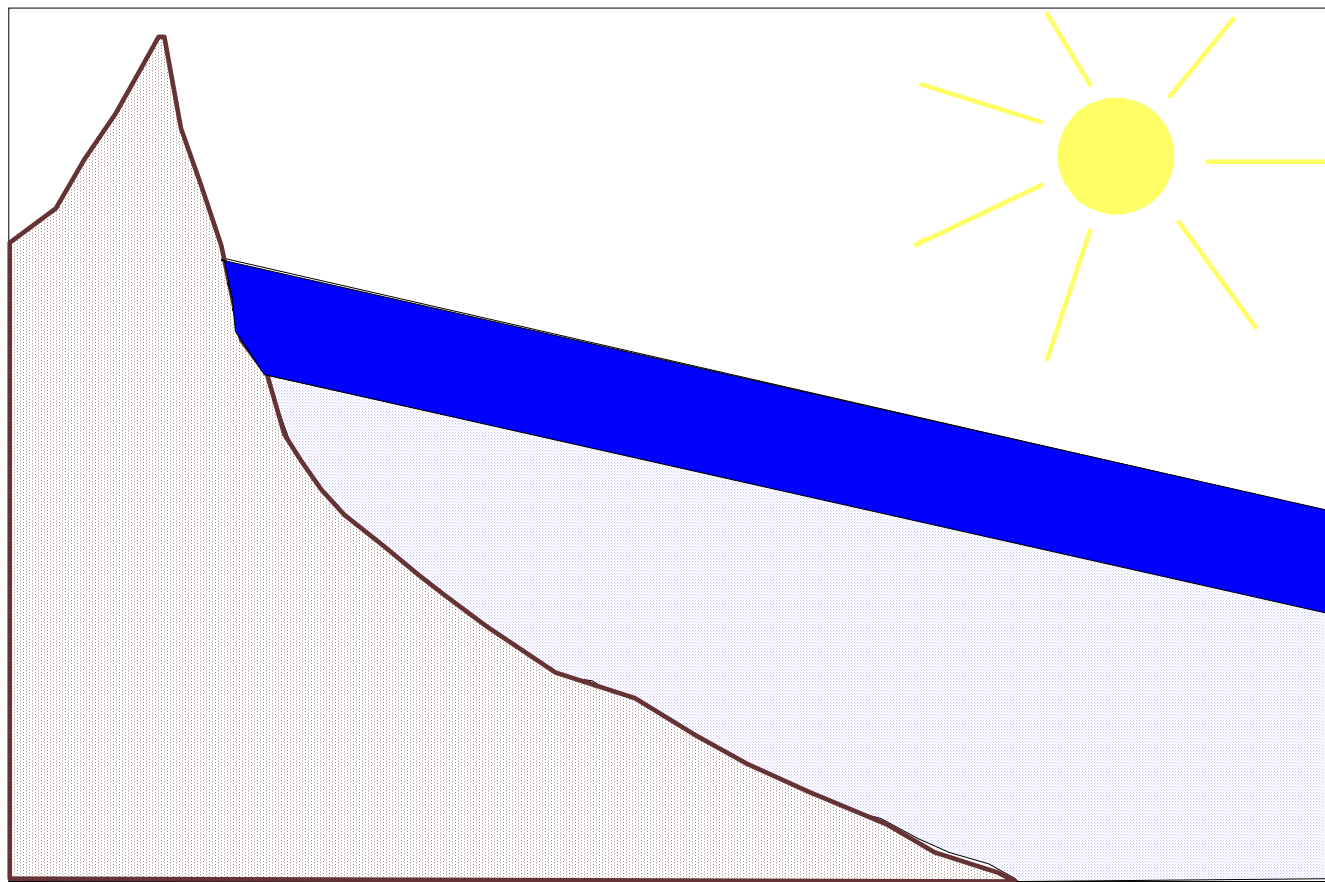


**Début  
mai**

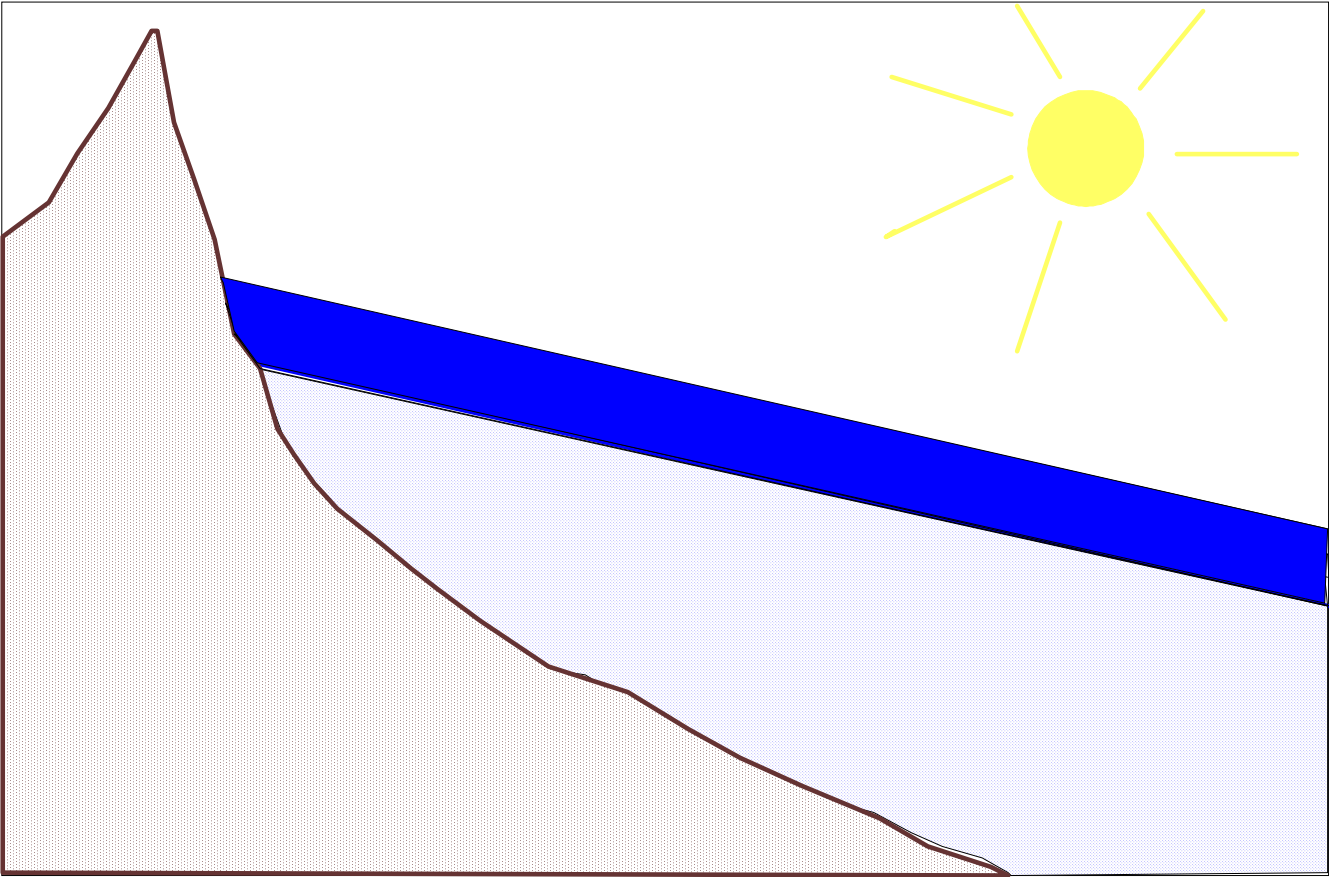




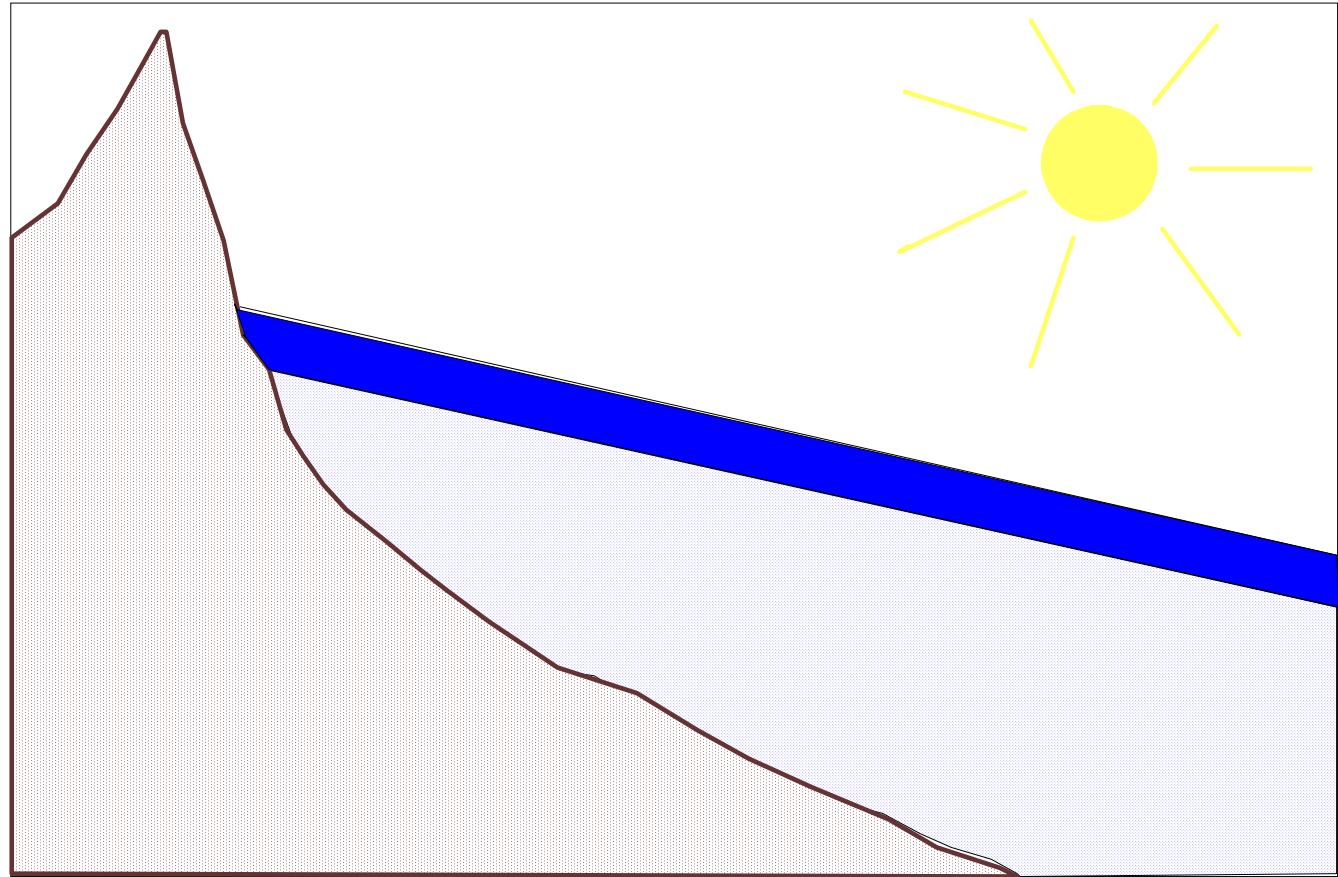
**Mai**  
**Juin**



**Juillet**  
**Août**

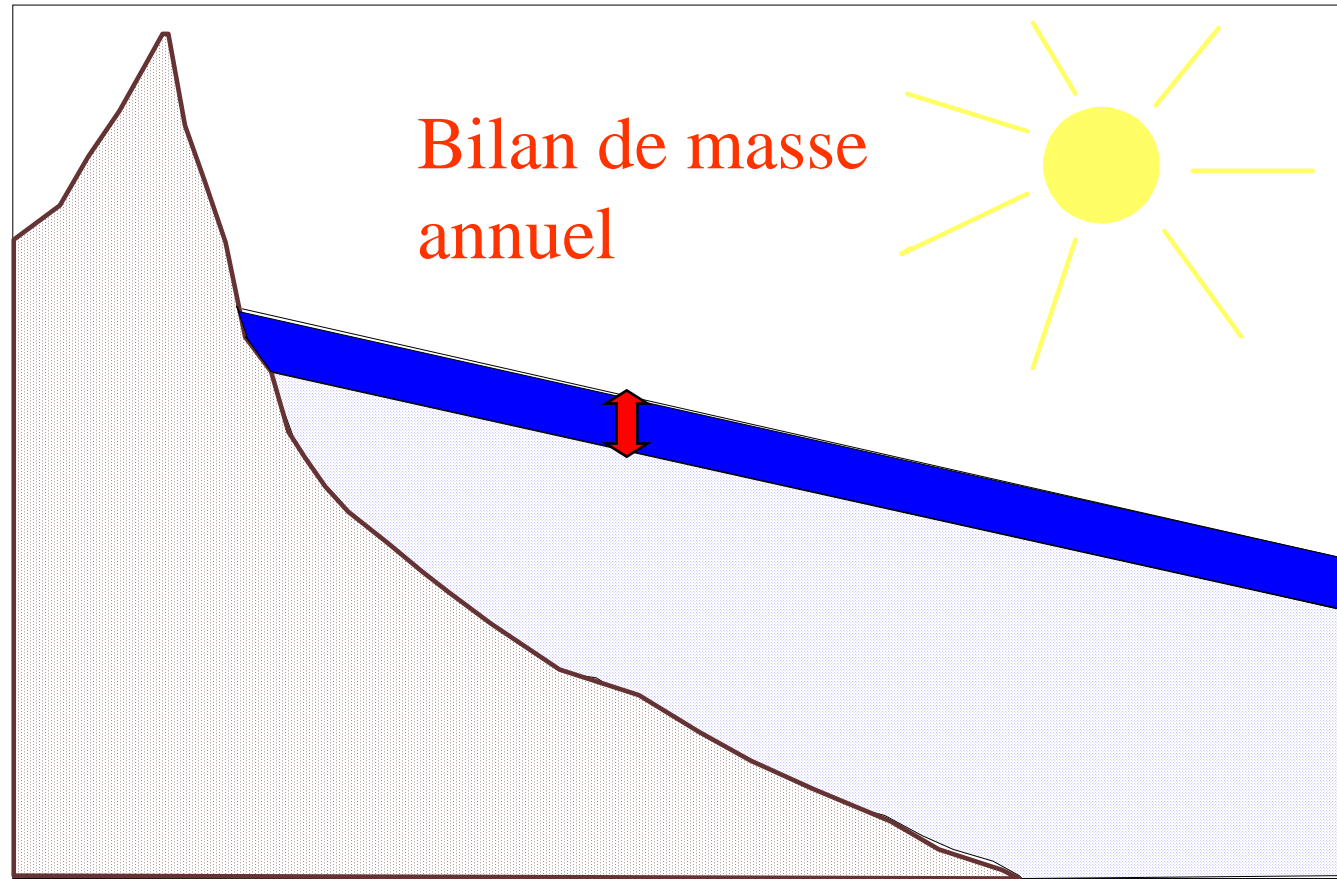


**Septembre**



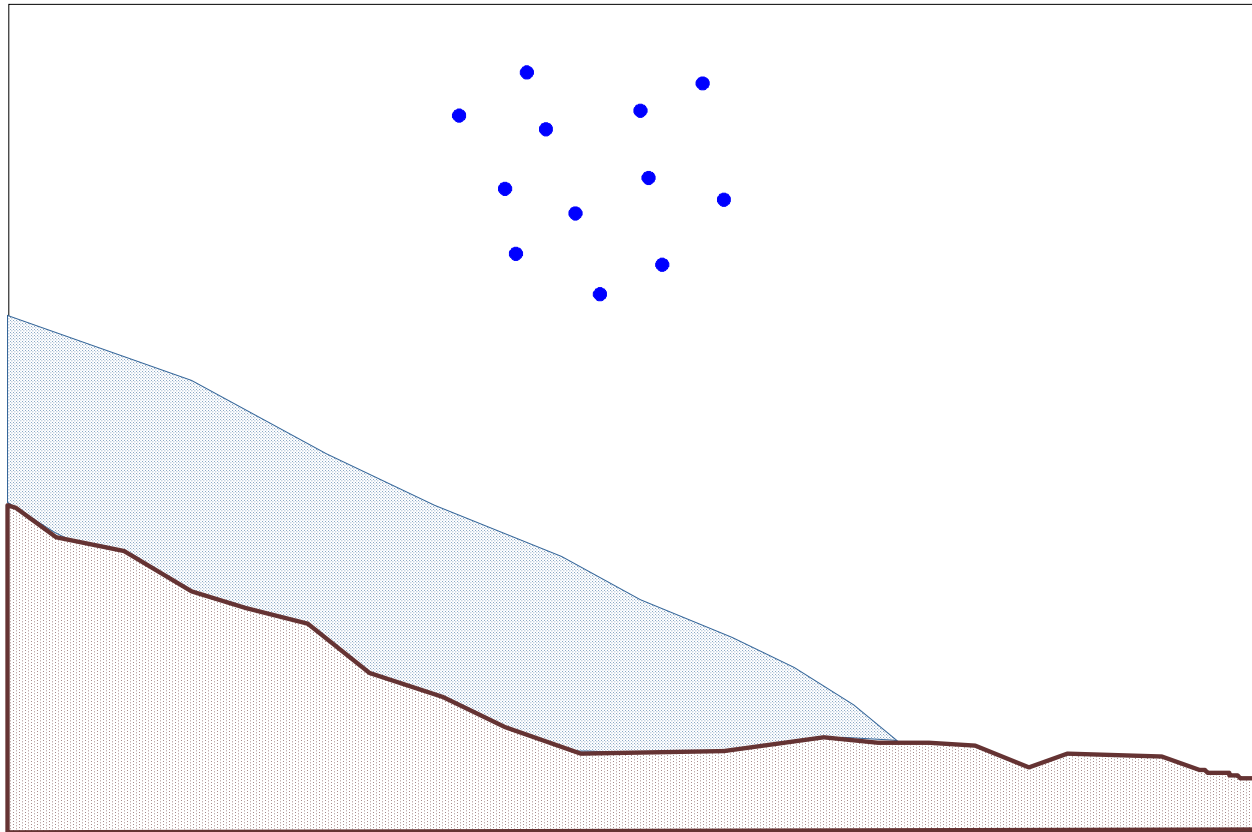
# Zone d'accumulation

Septembre

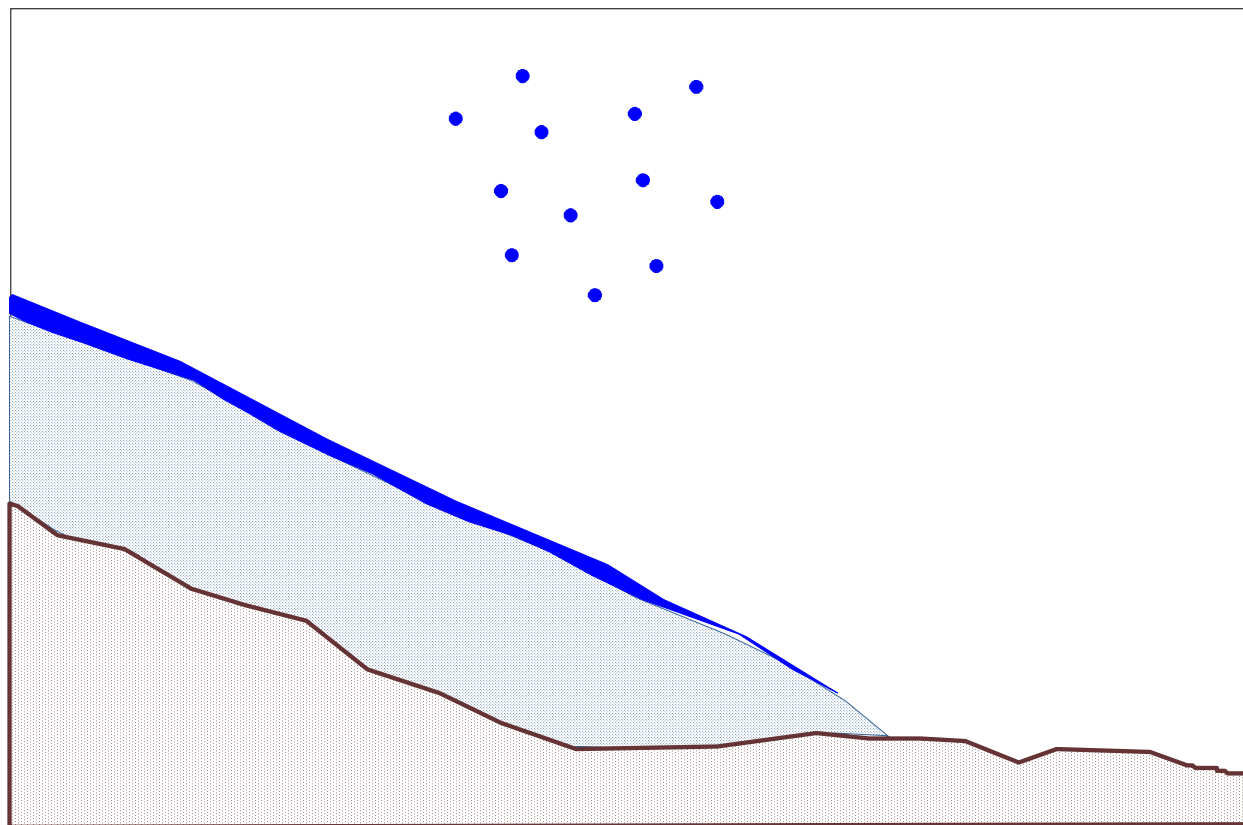




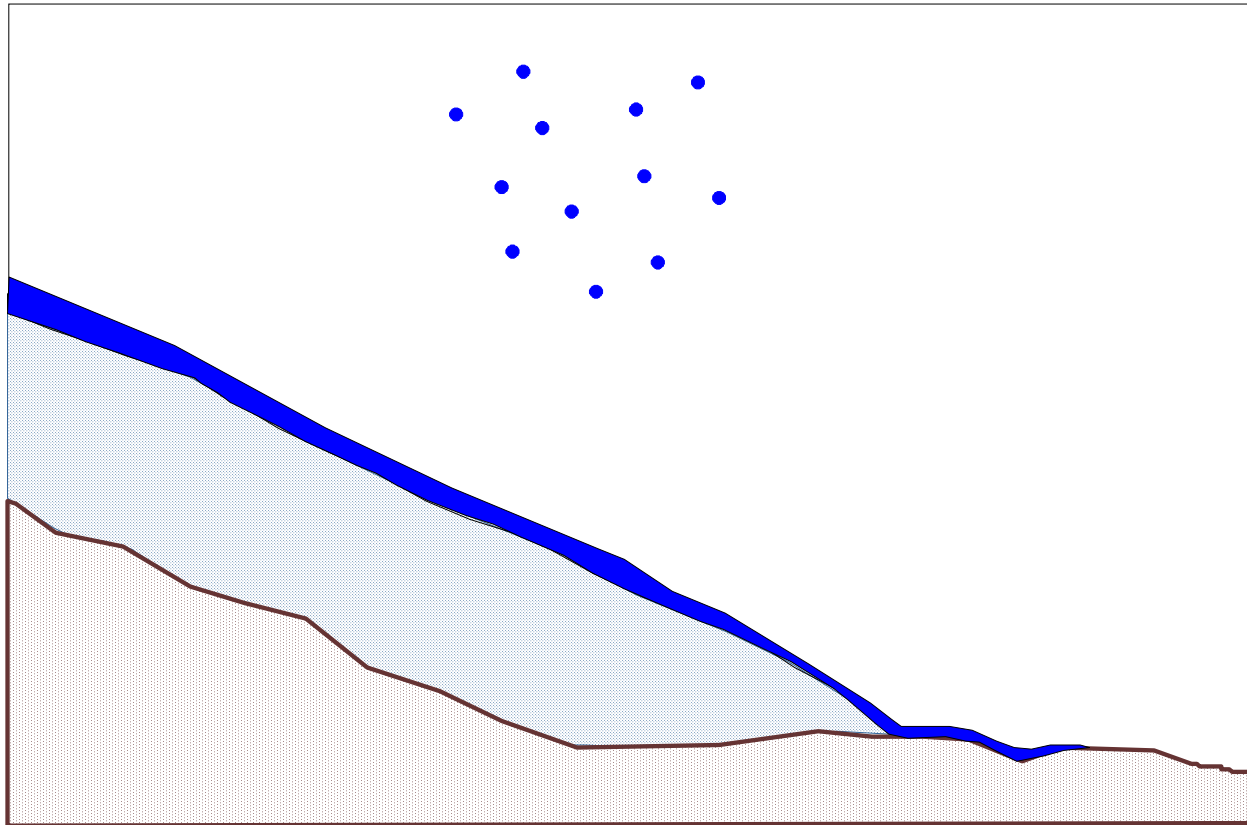
# Zone d'ablation



**Septembre**  
**Octobre**

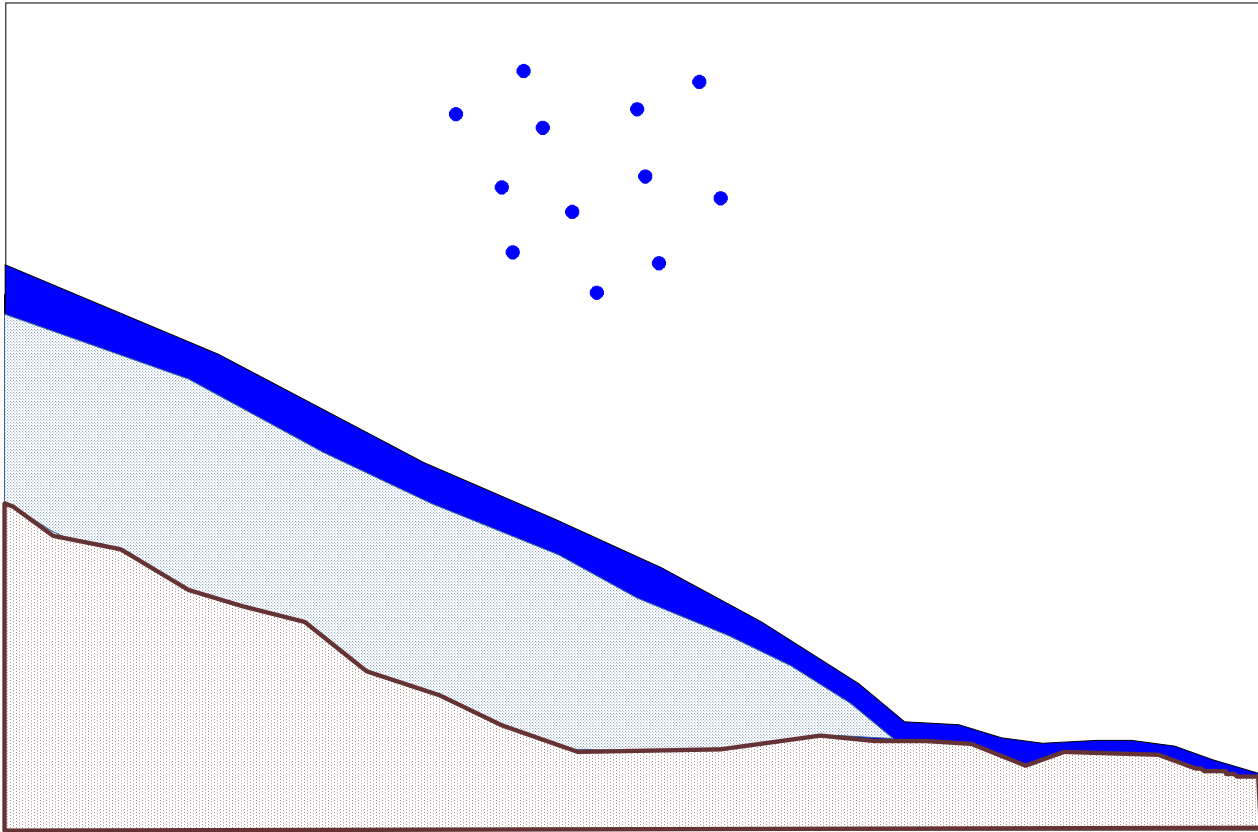


**Novembre**  
**Décembre**

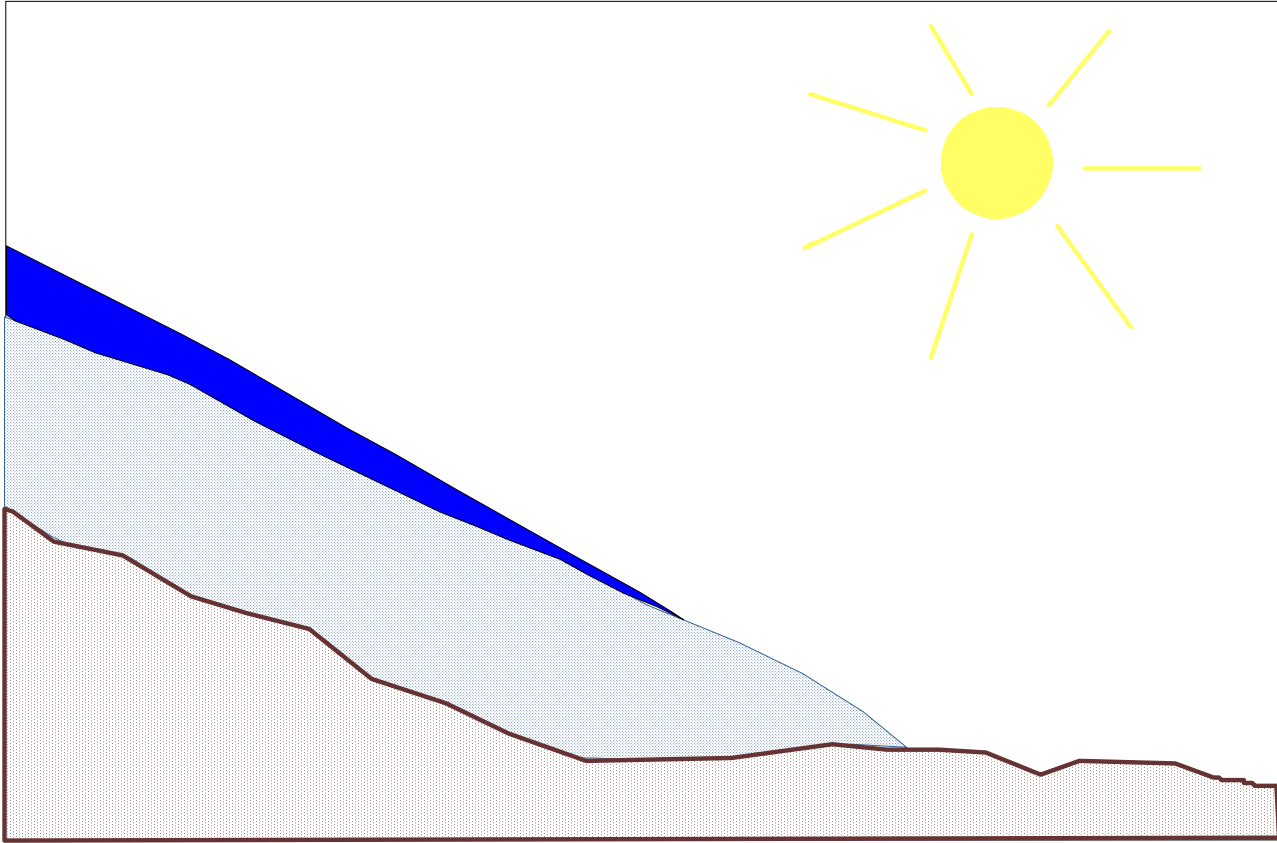


**Janvier**  
**Février**

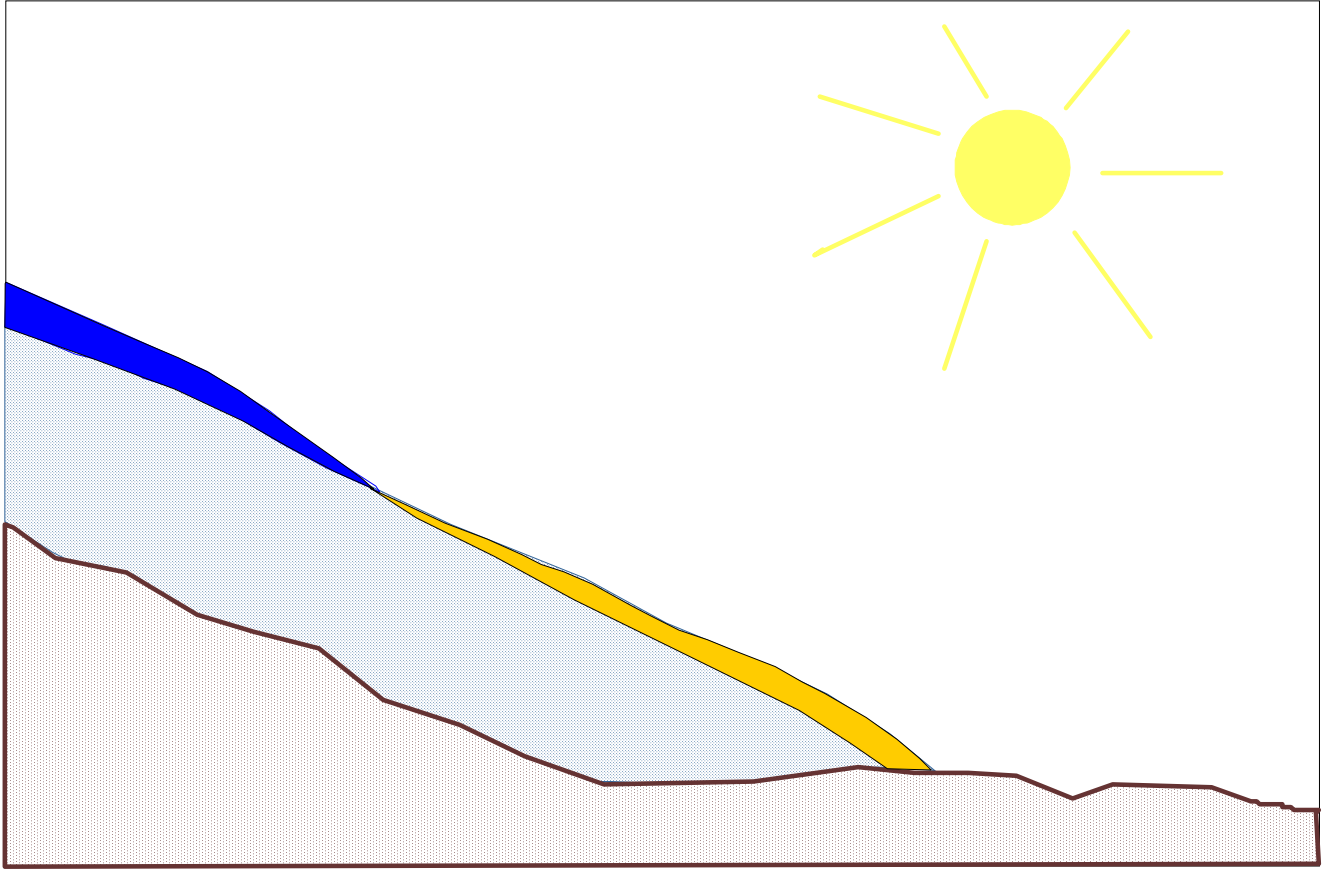




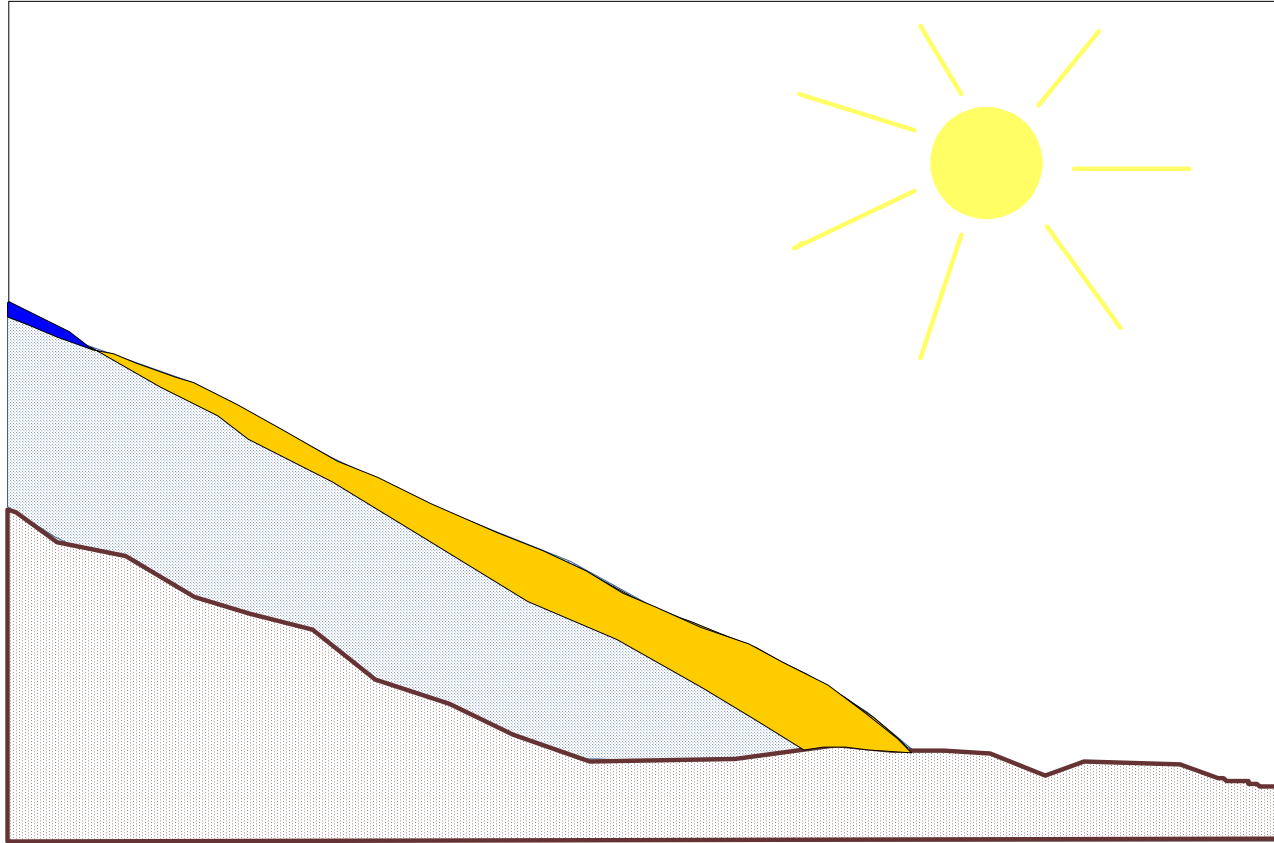
**Mars**  
**Avril**



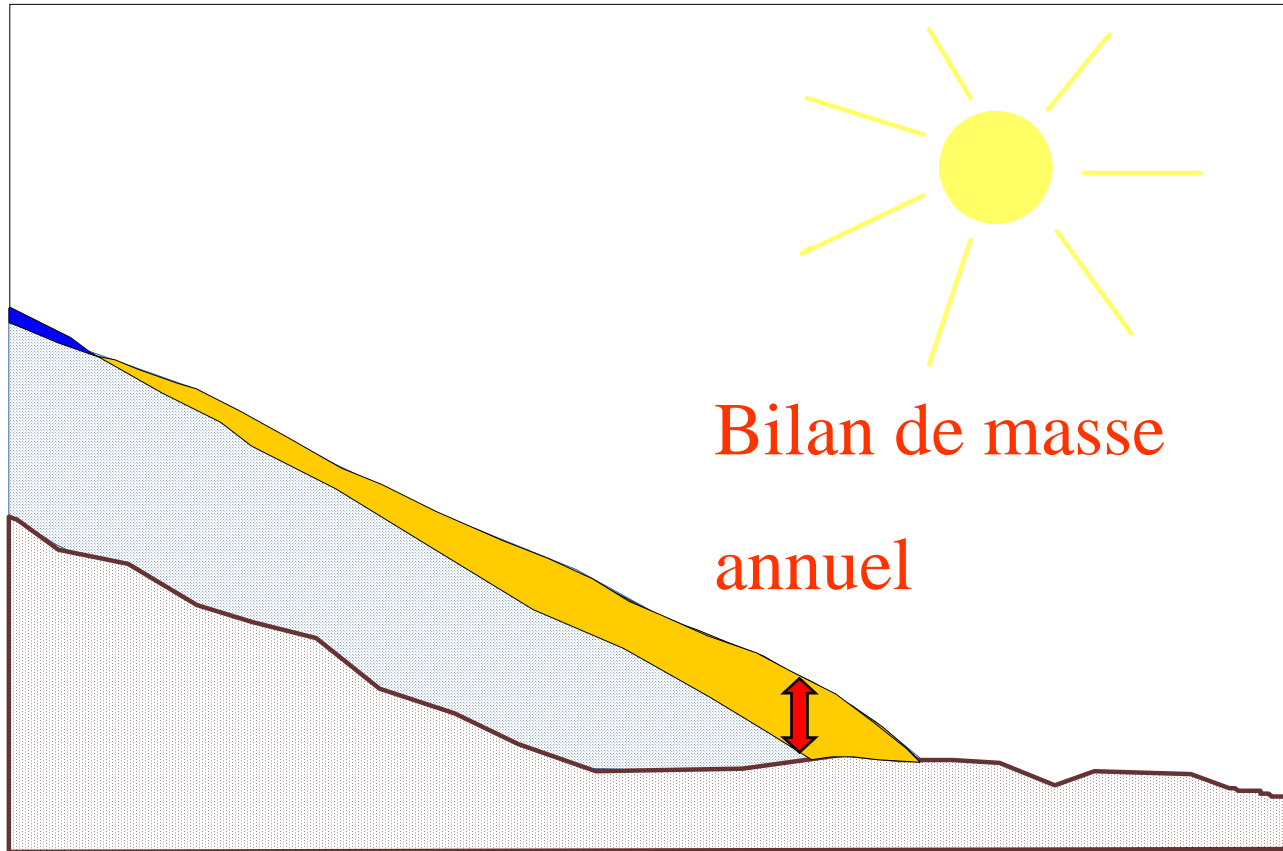
**Mai**  
**Juin**



**Juillet**  
**Août**



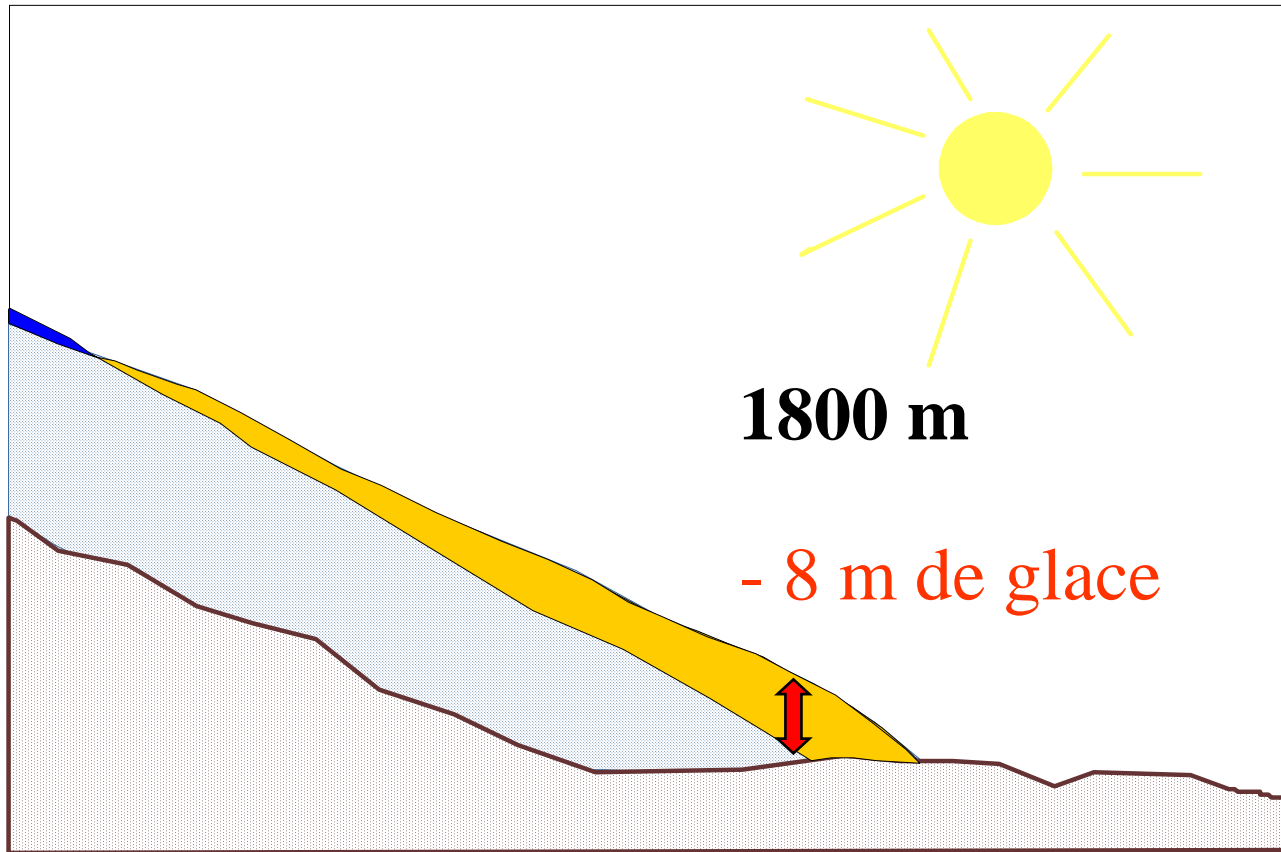
**Septembre**



Bilan de masse  
annuel

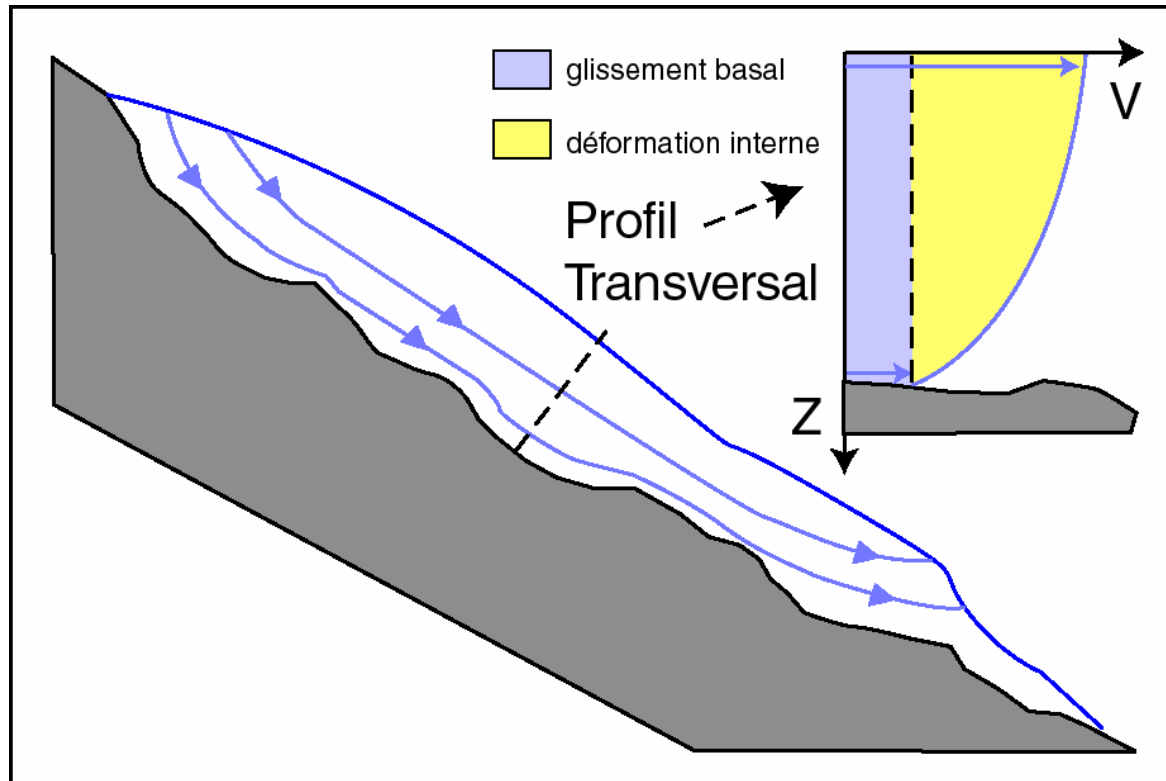
**Septembre**

# Zone d'ablation



**Septembre**

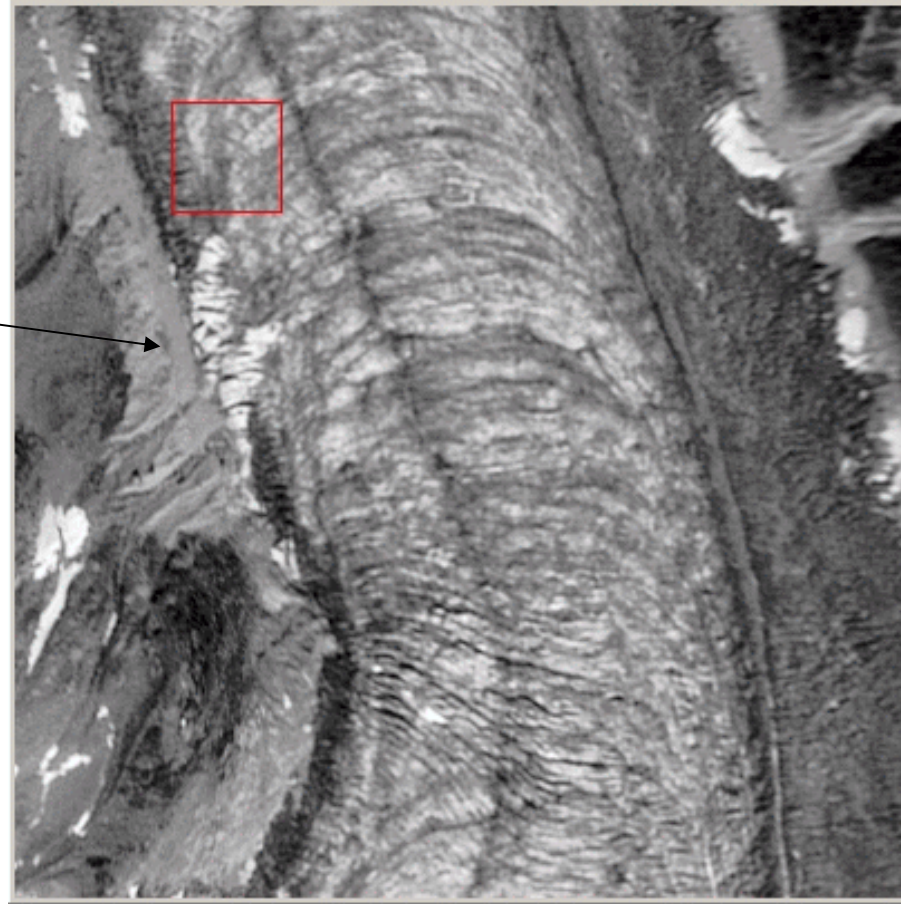
# Mouvement d'un glacier



*Le mouvement du glacier : somme de son glissement basal et de sa déformation interne*

Conséquence. Il faut un certain temps pour que le front du glacier réponde (avancée/recul) à un changement du climat (= du bilan de masse).

# Mouvement d'un glacier



*Le mouvement de la Mer de Glace observé par satellite  
(images du 19 juillet, 23 août et 18 septembre)*



# Plan de l'exposé

- I. Tous de Glace, mais tous différents**
- II. Un glacier, comment ça marche?**
- III. Fluctuations glaciaires et climatiques**
- IV. Conséquences du recul des glaciers**

# Les glaciers, preuve historique des fluctuations climatiques



Figure 1. Photographie du "Gros Caillou" sur le Plateau de la Croix-Rousse, Lyon (69

Leur observation loin des montagnes est la preuve que les glaciers  
(donc le climat) fluctuent au cours du temps

Agassiz (1840, Études sur les glaciers)

# Les peintures : indices du recul glaciaire



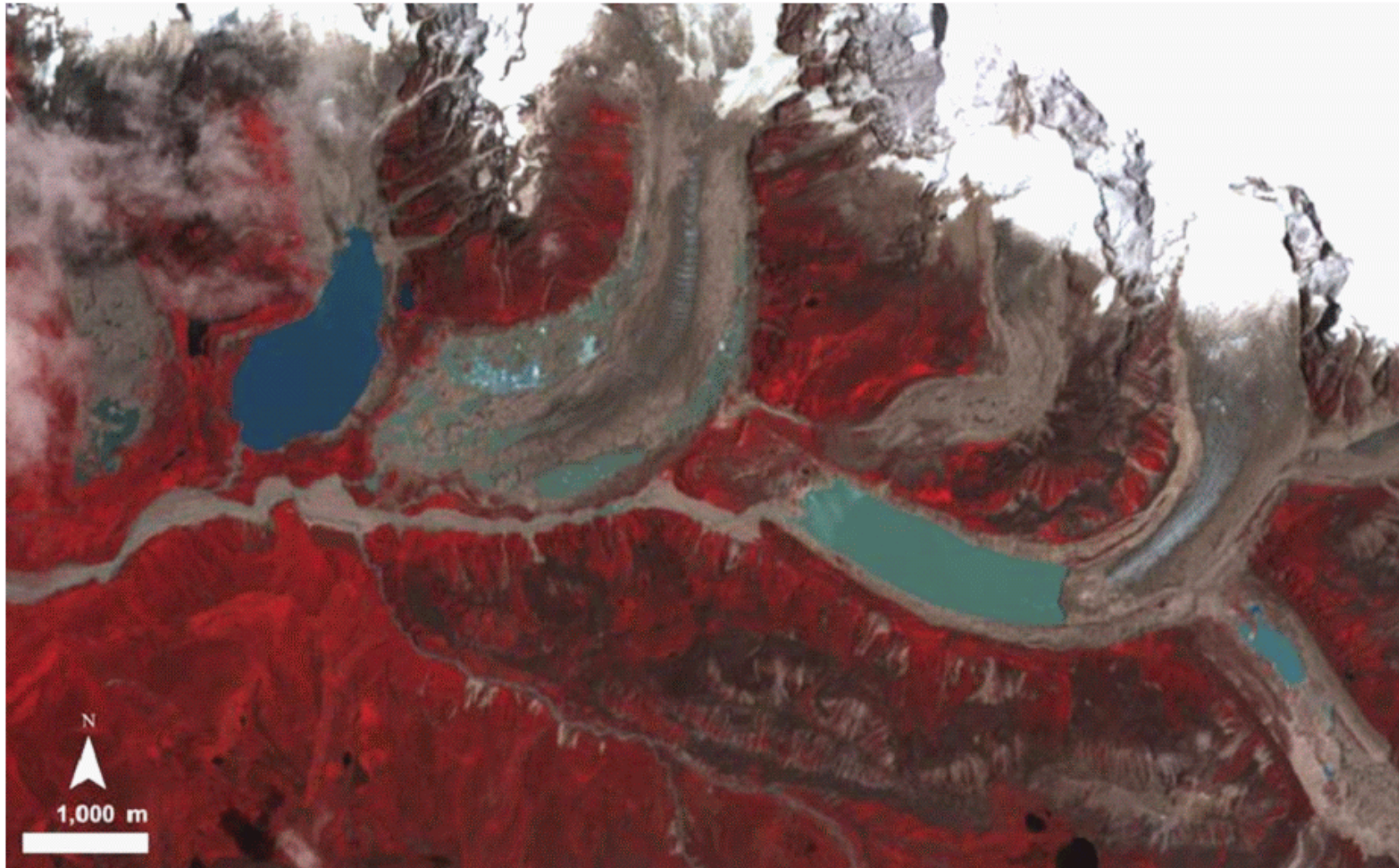
**Figure 33:** Valley of Chamonix with the advancing Mer de Glace, drawn by Jean-Antoine Linck (“La chaîne du Mont-Blanc vue de la Flégère”; signed down in the middle “J<sup>a</sup> Ant<sup>e</sup> Linck fec.”; watercolour and gouache; 62.0 x 85.5 cm; Musée d’art et d’histoire, Genève, Inv. Nr. 1915–75; Photograph by H. J. Zumbühl).

*La chaîne du Mont Blanc vue de la Flégère*  
*Tableau de Jean-Antoine Linck, 1810*

Zumbühl &  
Nussbaumer



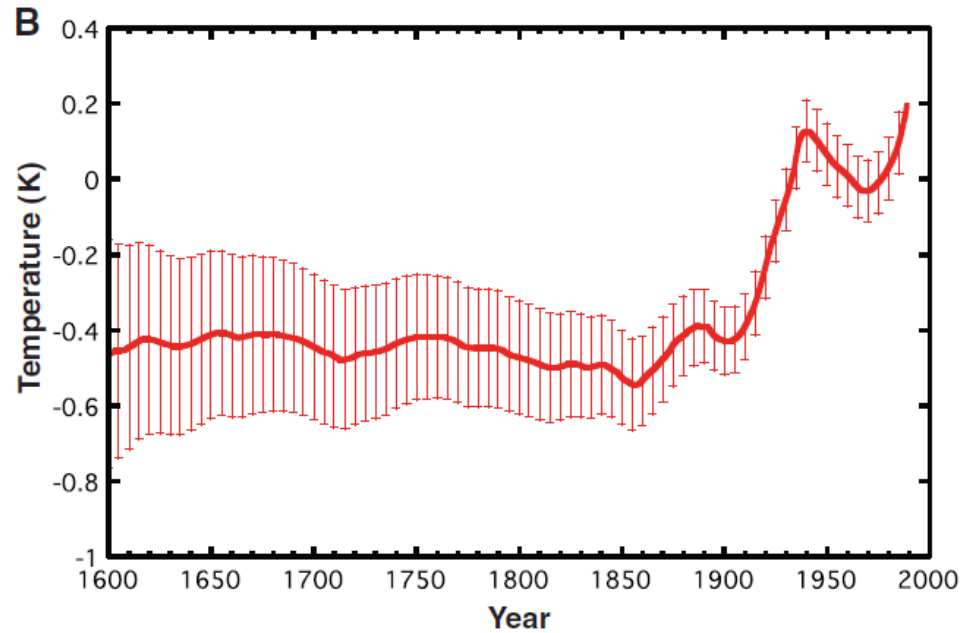
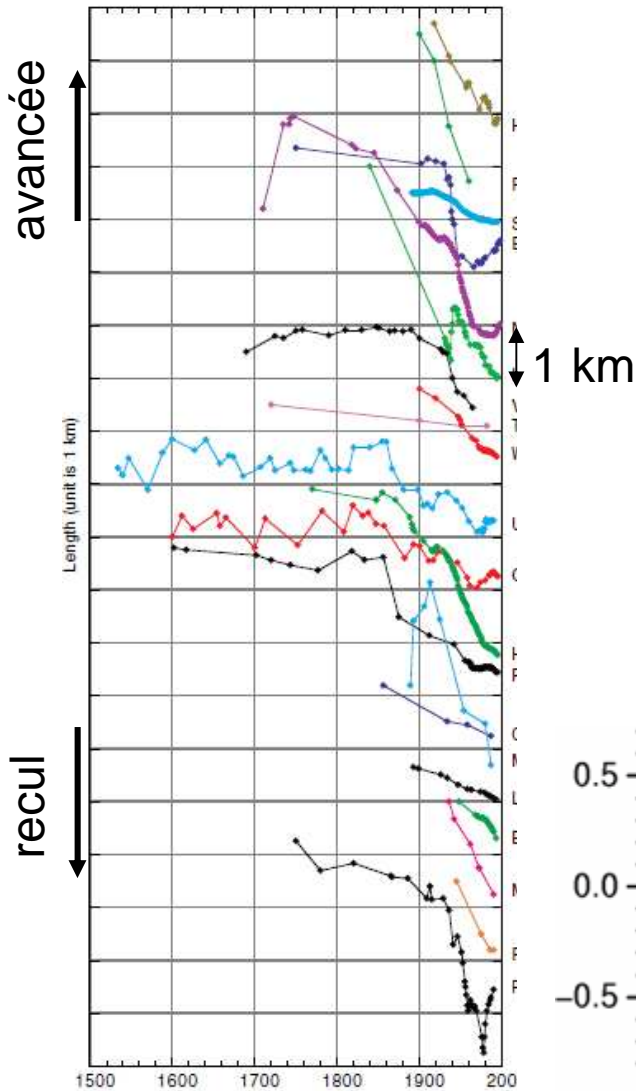
# Recul des glaciers : satellites



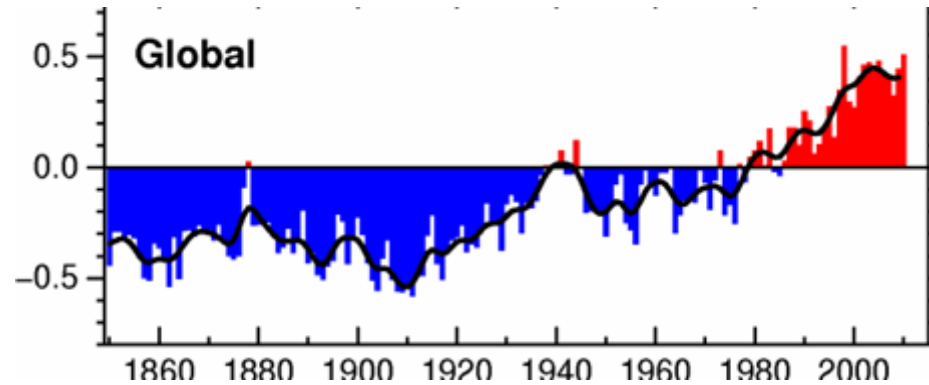
*Évolution des glaciers dans la région de l'Everest entre 2003 et 2009*

Kargel & Leonard

# Un thermomètre indépendant et global



Reconstruction de la température globale à partir de l'évolution de la longueur de 169 glaciers (Oerlemans, Science, 2005)

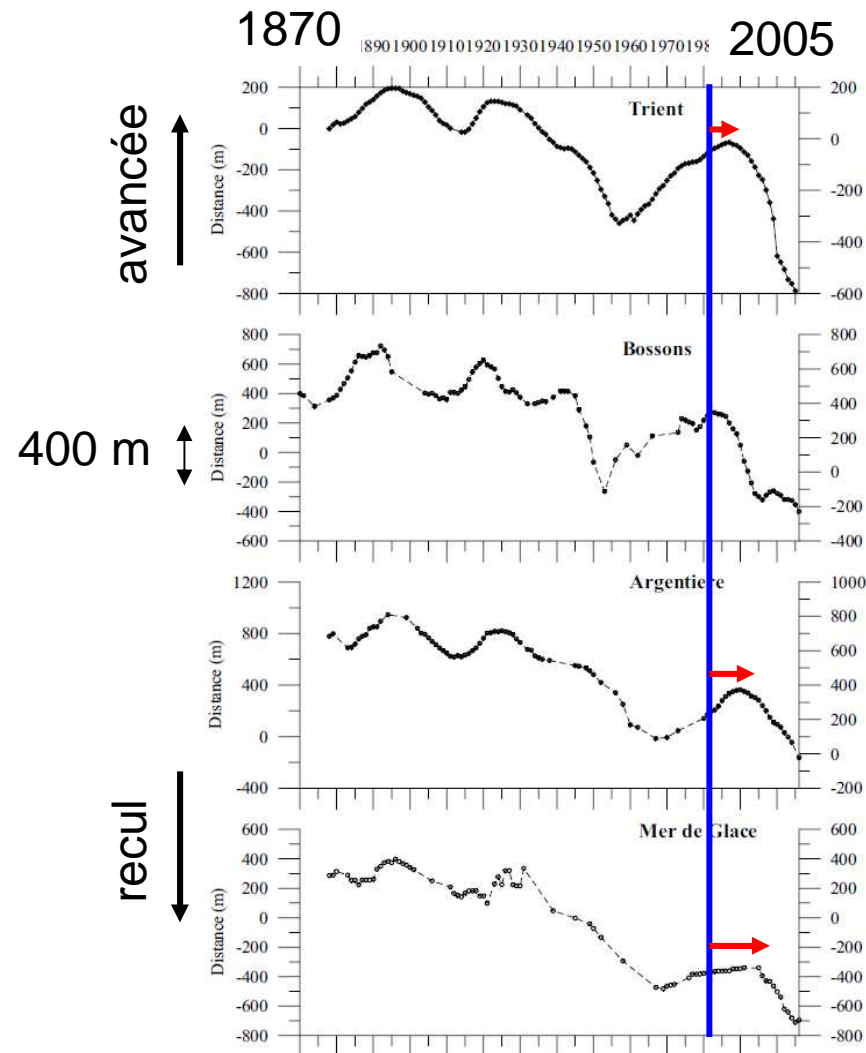


Ce que disent les thermomètres

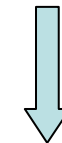
GIEC, 2007

Témoins indépendants de la hausse de la température globale  $\sim 0.6$  à  $0.7^\circ$

# L'interprétation des variations de longueur reste délicate



*Variation de longueur des glaciers dans le massif du Mont Blanc*



*Les glaciologues préfèrent étudier le bilan de masse*



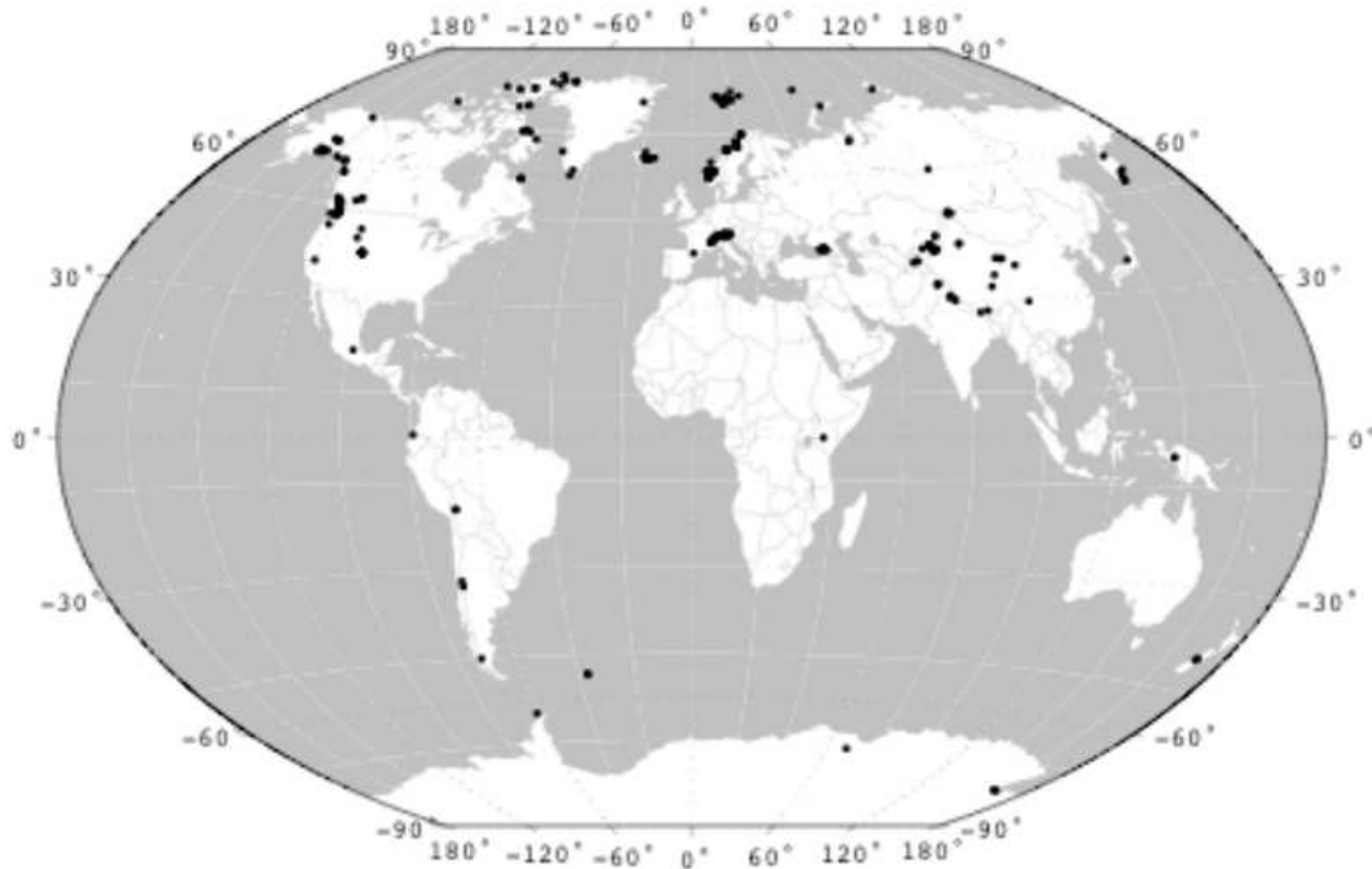
# Mesures d'accumulation et ablation



Association Pyrénéenne de Glaciologie



# Que nous apprennent ces bilans à l'échelle globale?



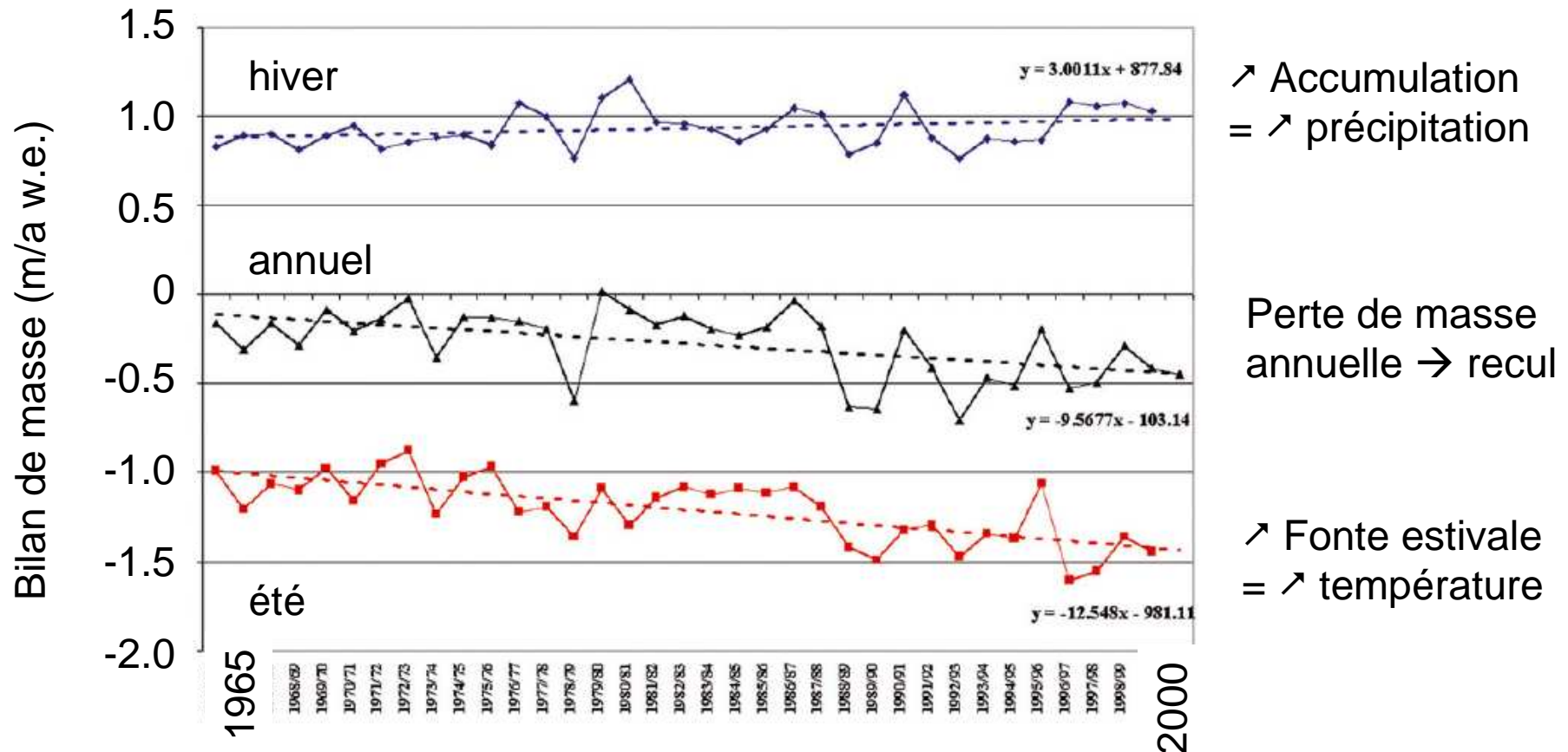
*Carte de localisation des glaciers pour lesquels des bilans de masse ont été mesurés au moins un an*

Dyurgerov & Meier, 2006





# Que nous apprennent ces bilans?



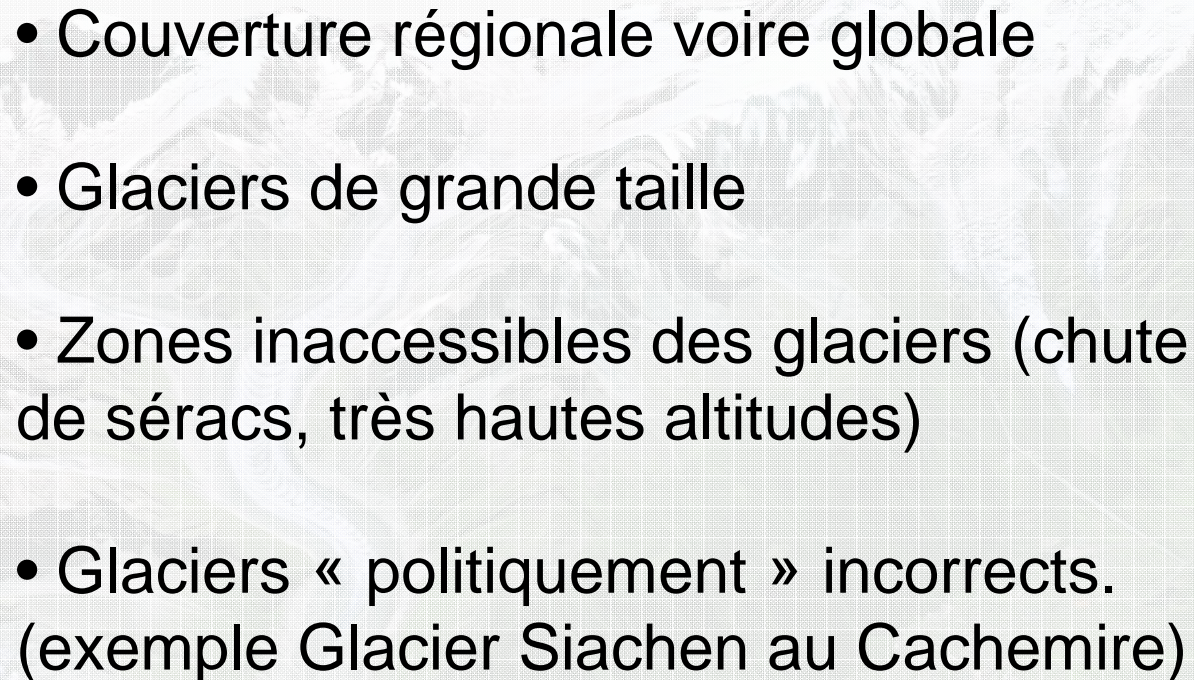
*Bilans de masse hivernaux, estivaux et annuels entre 1965 et 2000  
 pour 50 glaciers*

⇒ **Glaciers = indicateurs climatiques**

Ohmura et al, 2006

# Les observations satellitaires



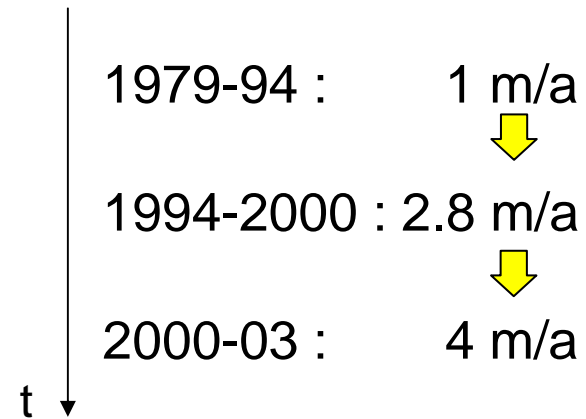
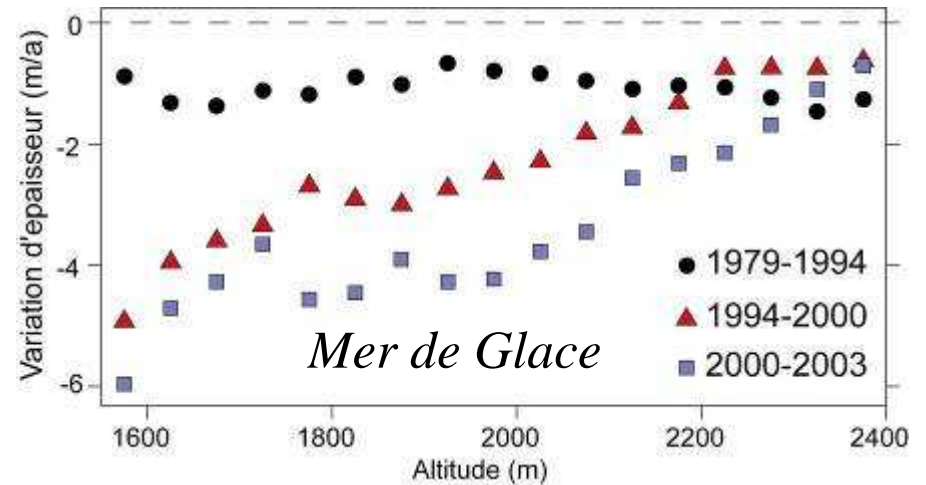
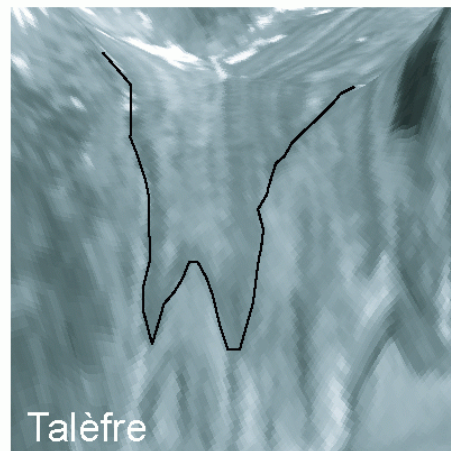
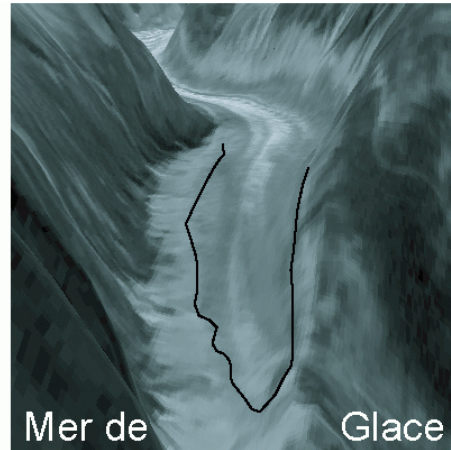
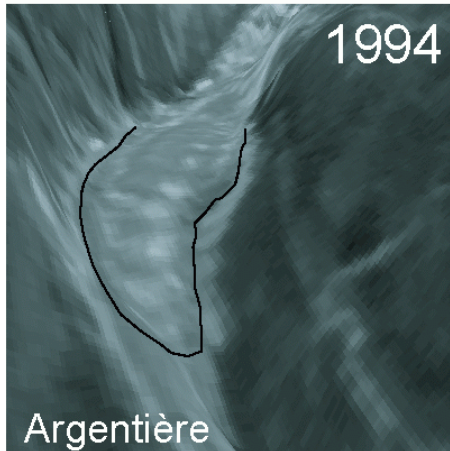
- 
- A satellite image of the Mont Blanc Massif, showing a vast mountain range with significant snow and ice cover. The terrain is rugged, with deep valleys and high peaks. The image is overlaid with a semi-transparent white box containing text.
- Couverture régionale voire globale
  - Glaciers de grande taille
  - Zones inaccessibles des glaciers (chute de séracs, très hautes altitudes)
  - Glaciers « politiquement » incorrects. (exemple Glacier Siachen au Cachemire)

*Image SPOT5 du Massif du Mont Blanc (août 2003) + Film*

# Amincissement des glaciers du Mt Blanc



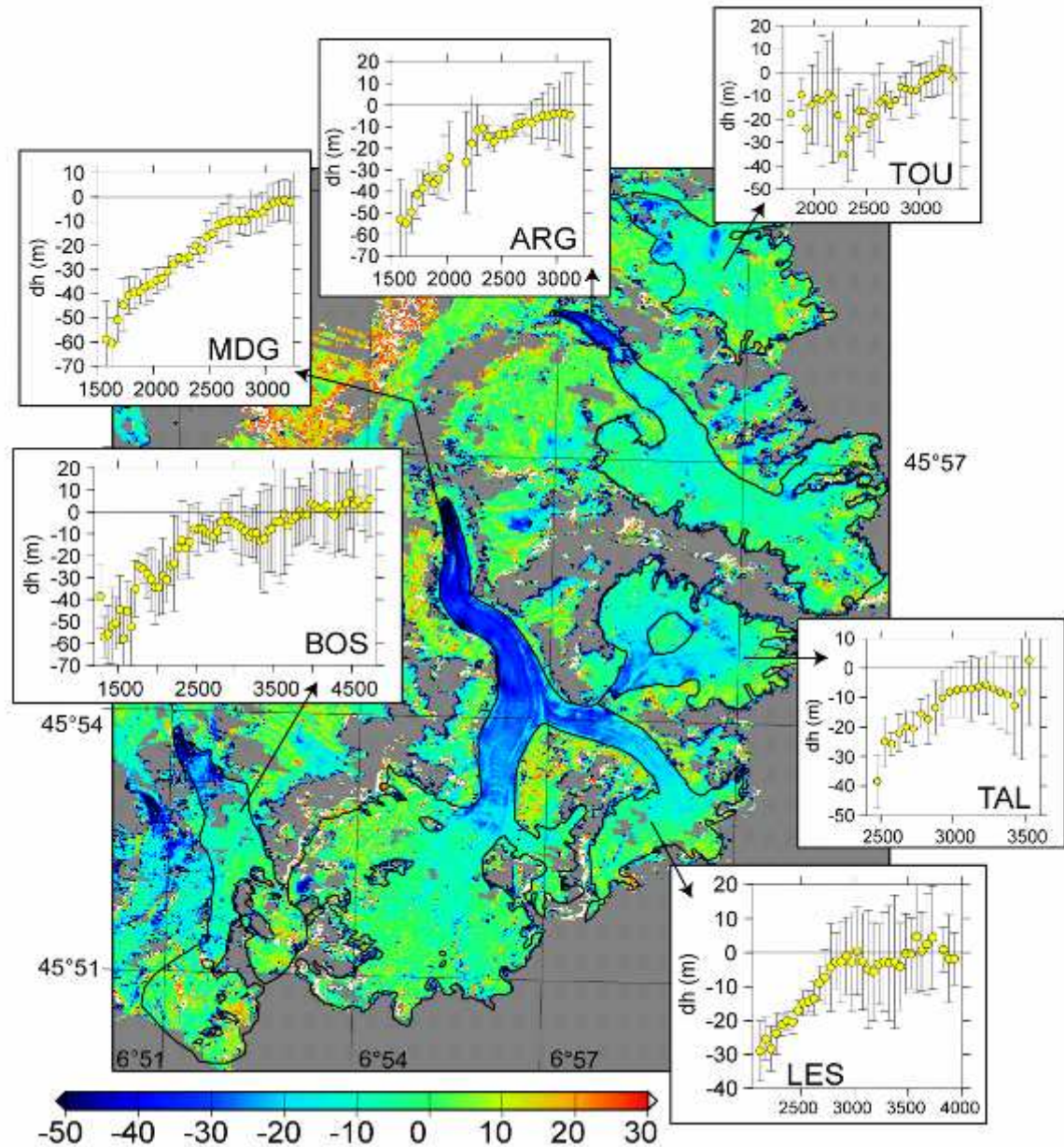
© CNES 2007 ; Distribution Spot Image



*Comparaison des topographies (MNT) des glaciers obtenues par satellite & accélération des pertes d'épaisseur pour la Mer de Glace*

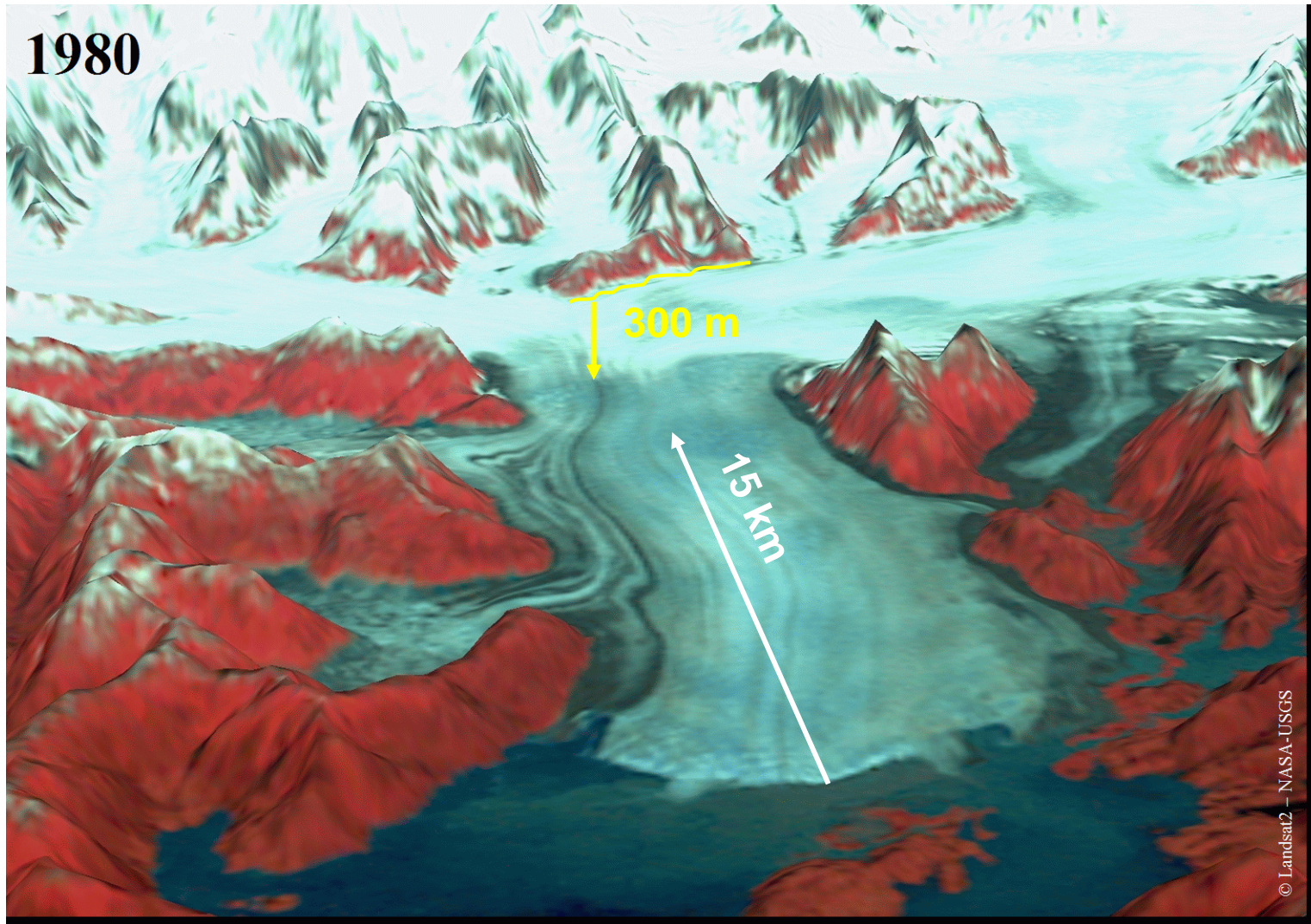


# Amincissement des glaciers du massif du Mt Blanc



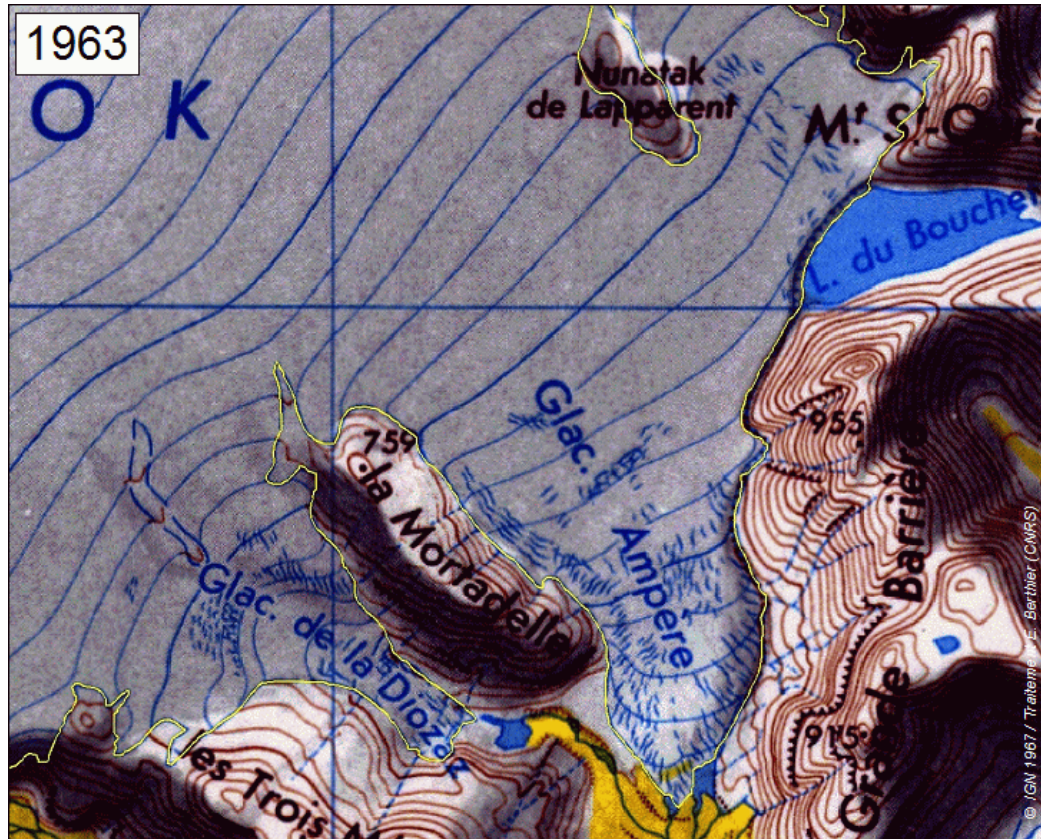
*Variation d'épaisseur des glaciers du Mont-Blanc entre 1979 et 2003*

# Amincissement des glaciers d'Alaska

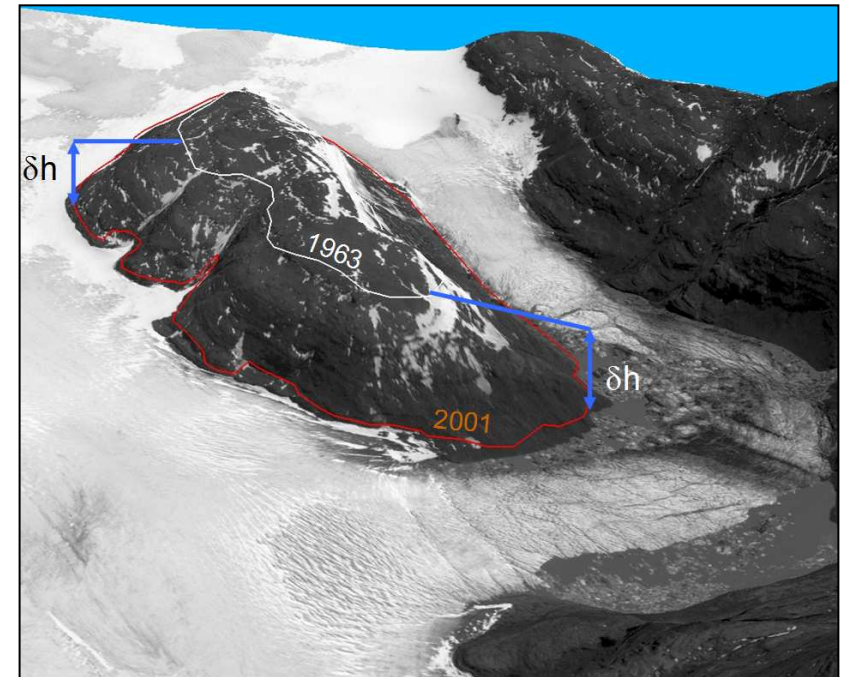


*Recul et amincissement du glacier Columbia Glacier entre 1980 & 2007*

# Retrait de la calotte Cook (Kerguelen)

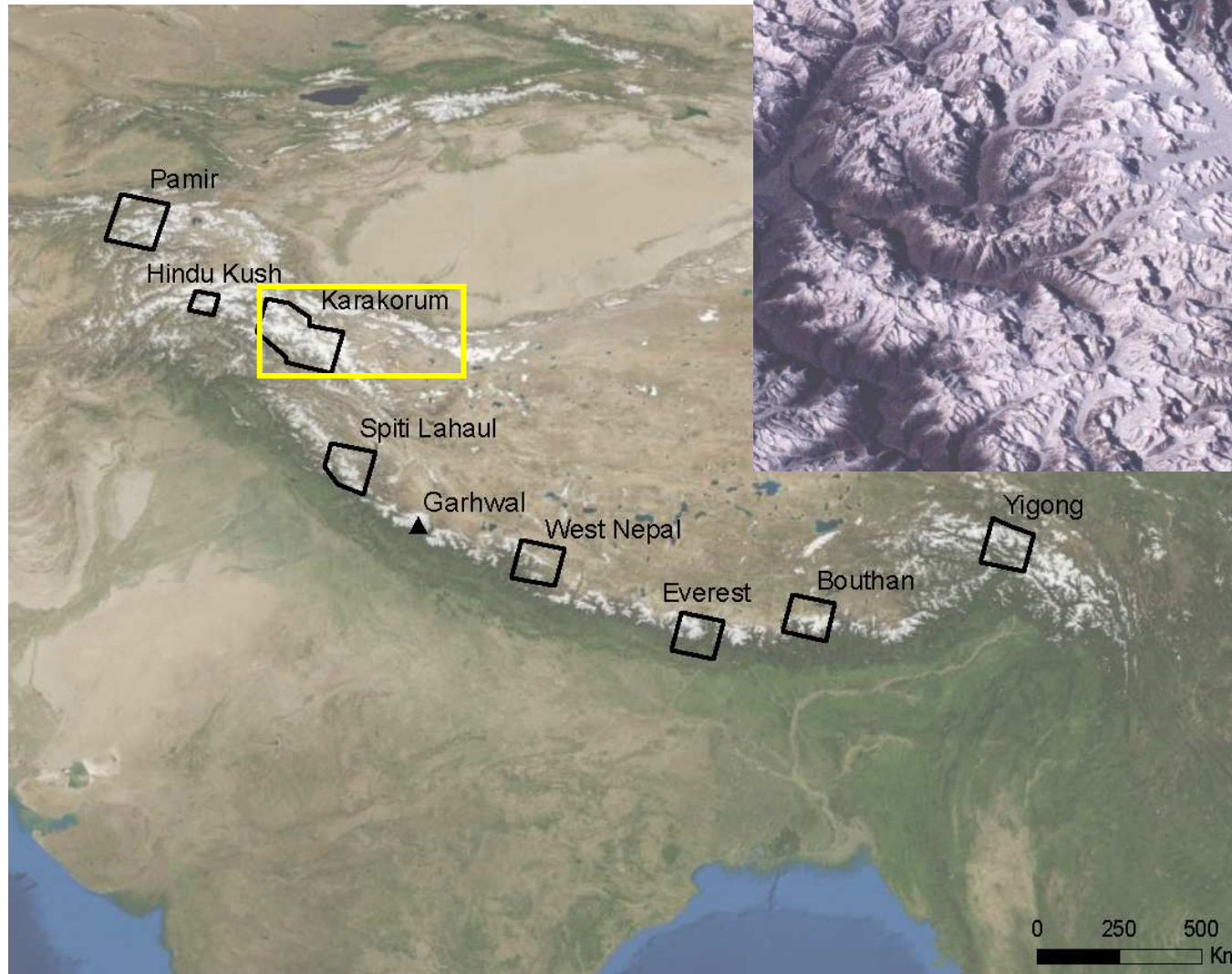


*Retrait du glacier Ampère entre 1963 et 2003. La calotte a perdu plus de 20% de sa surface*



*Amincissement du glacier Ampère autour du nunatak de Lapparent entre 1963 et 2001*

# Glaciers himalayens

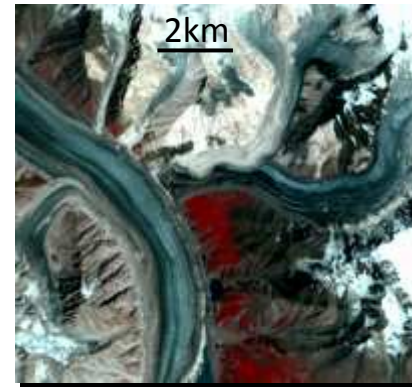
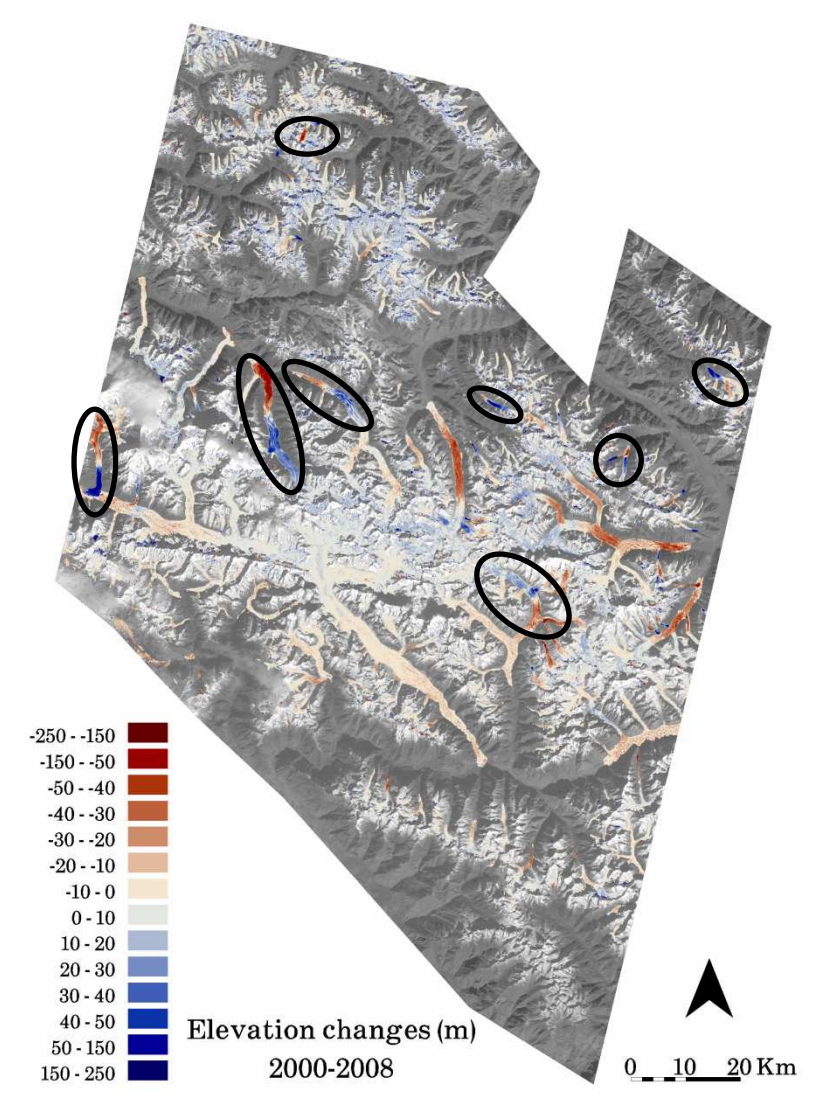


*Photo ISS*

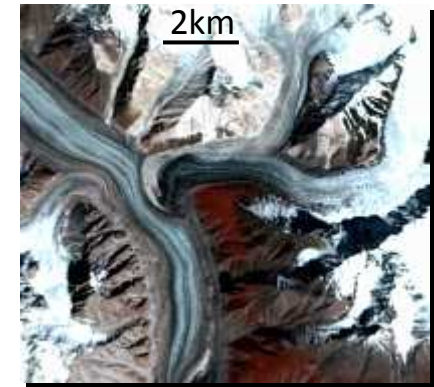
*Parmi les glaciers non polaires, la région où l'on dispose de moins de données in situ*

# Variations d'épaisseur des glaciers du Karakorum

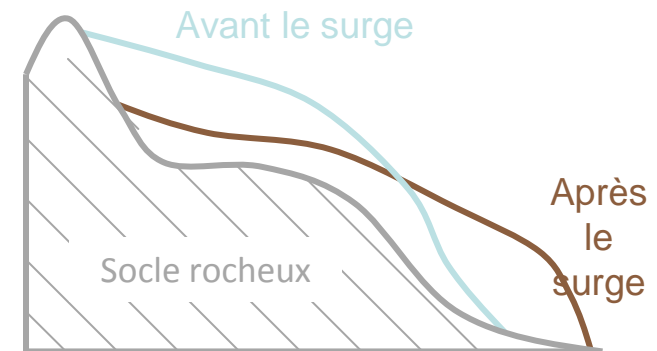
## Influence des « surges » et la « Karakoram Anomaly »



Juillet 2001



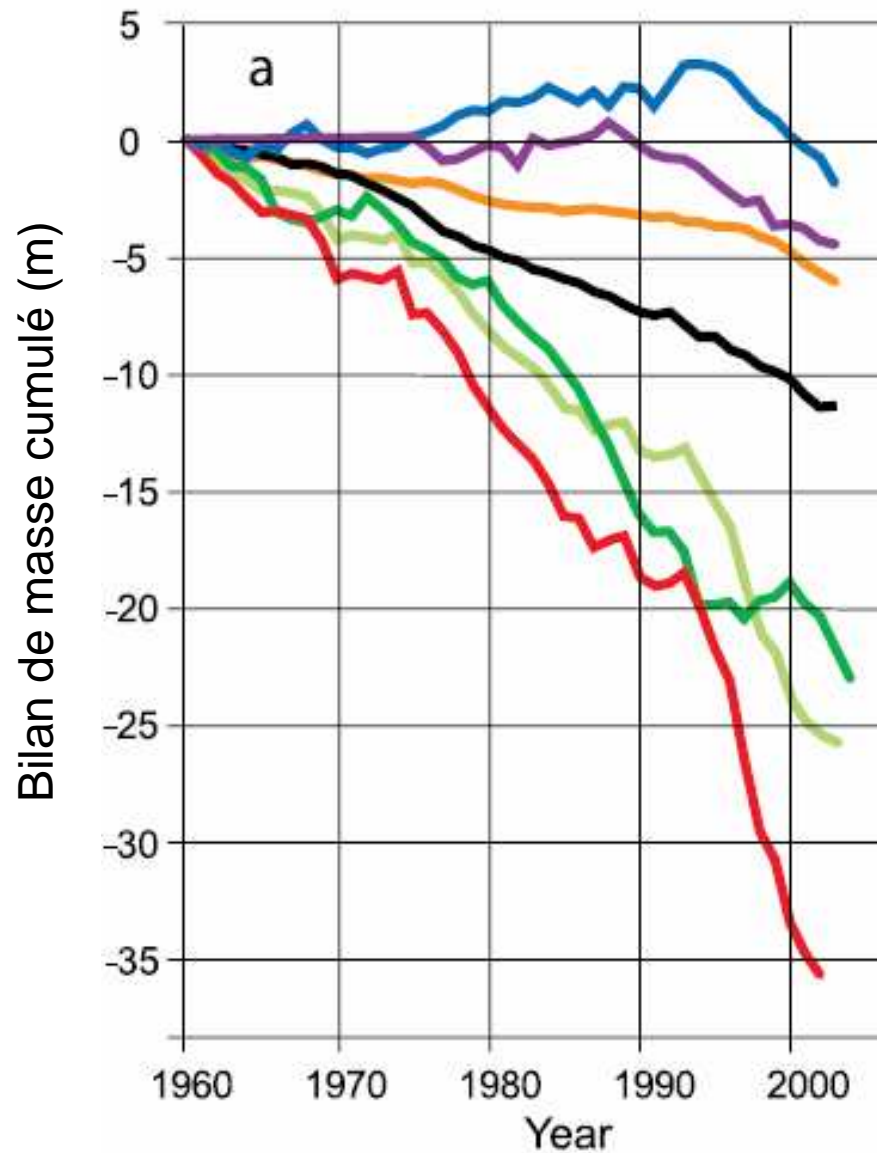
Septembre 2009



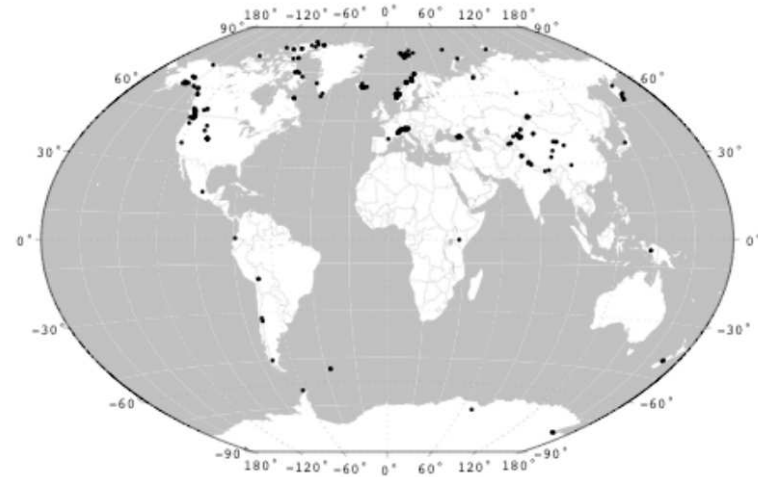
→ Des glaciers « hors-normes » qui grossissent: +10 cm/an (en moyenne)



# Bilans de masse régionaux



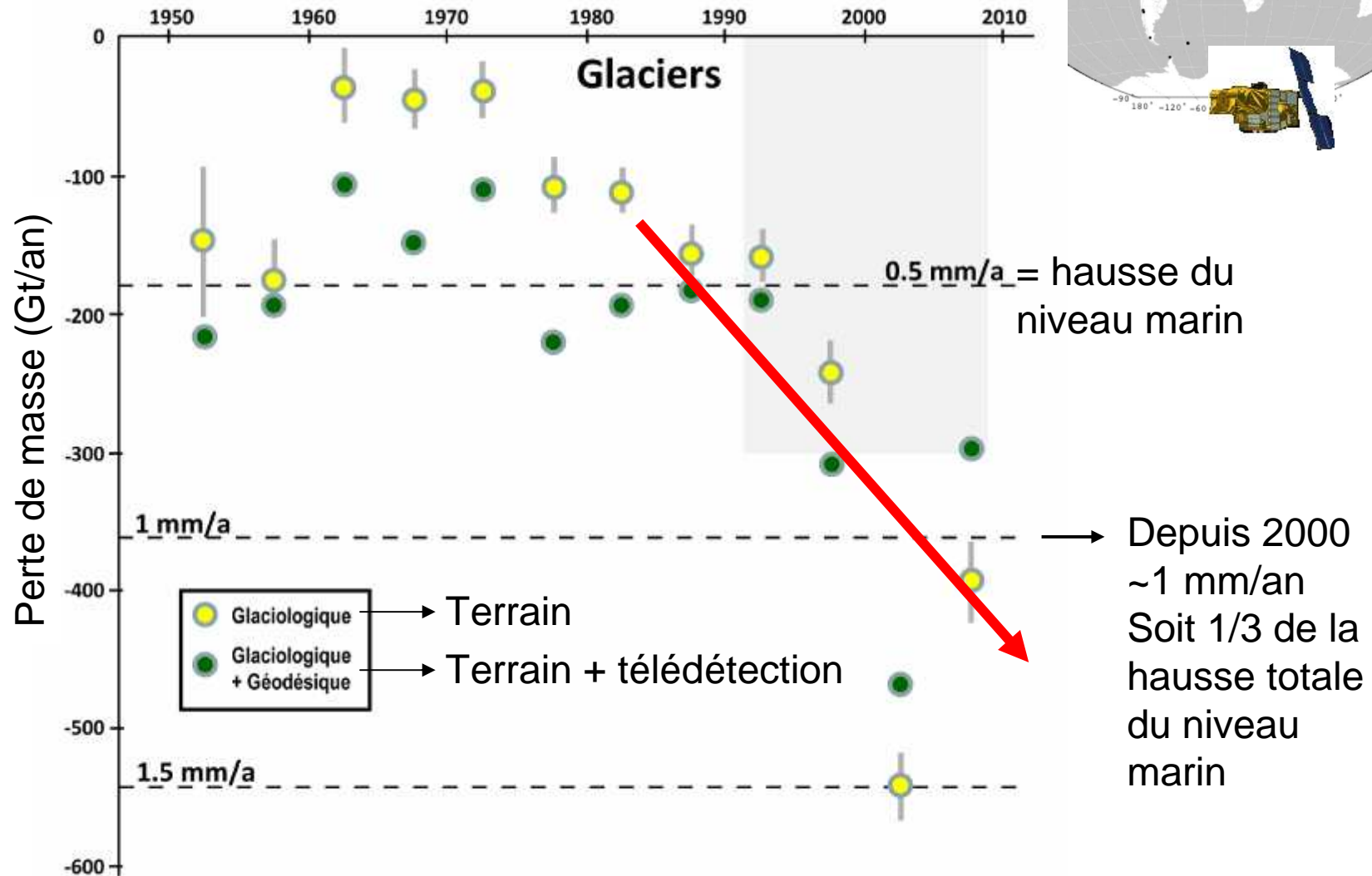
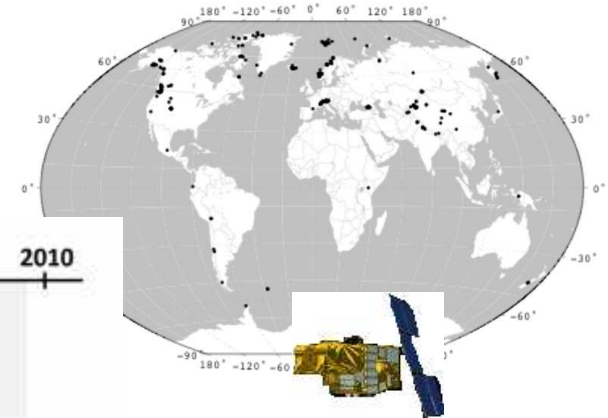
- Europe
- Andes
- Arctic
- Asian High Mts.
- NW USA+SW-Can.
- Alaska+Coast Mts.
- Patagonia



*Kaser et al, GRL, 2006*

*Bilans de masse cumulés (m) dans les différentes grandes régions glaciaires*

# Bilans de masse globaux



*Pertes totales de masse des glaciers de montagne par période de 5 ans depuis 1950*

# Bilan fluctuations récentes

- Le front d'une grande majorité des glaciers recule. Rares exceptions s'expliquent soit par leur dynamique soit par des précipitations excédentaires
- Dans presque toutes les régions du globe, les glaciers perdent de la masse depuis (au moins) les années 1990 et c'est la fonte accrue en été (donc l'augmentation des températures) qui explique ces pertes croissantes (chutes de neige hivernales varient peu)
- Le recul glaciaire généralisé et l'augmentation de la fonte estivale démontrent la hausse globale des températures

# Plan de l'exposé

- I. Tous de Glace, mais tous différents**
- II. Un glacier, comment ça marche?**
- III. Fluctuations glaciaires et climatiques**
- IV. Conséquences du recul des glaciers**

# Conséquences de la fonte glaciaire

## Tourisme & Ressource en eau



*Le recul des glaces du Kilimandjaro*



© CNES 2007 ; Distribution Spot Image

*Barrage hydroélectrique au pied du glacier Suisse du Pirletta*



# Bolivie, La Paz

→ Eau potable

**Si les glaciers disparaissent:**

En saison humide (oct-mars): - 9 %

En saison sèche (avril-sept): - 25 %

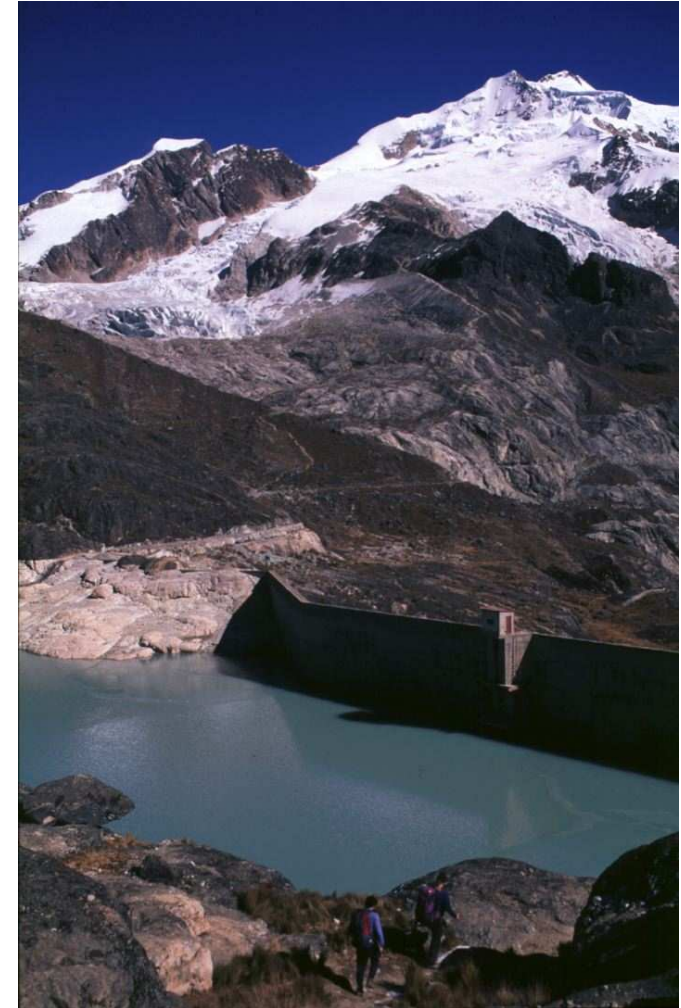
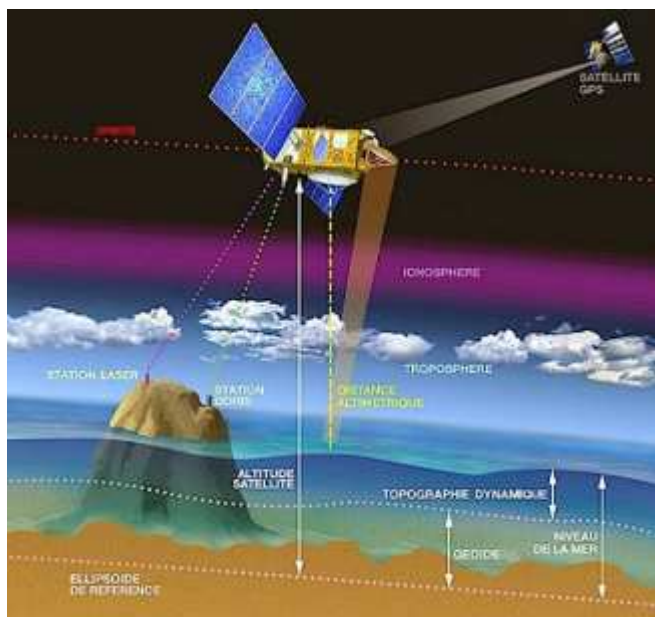


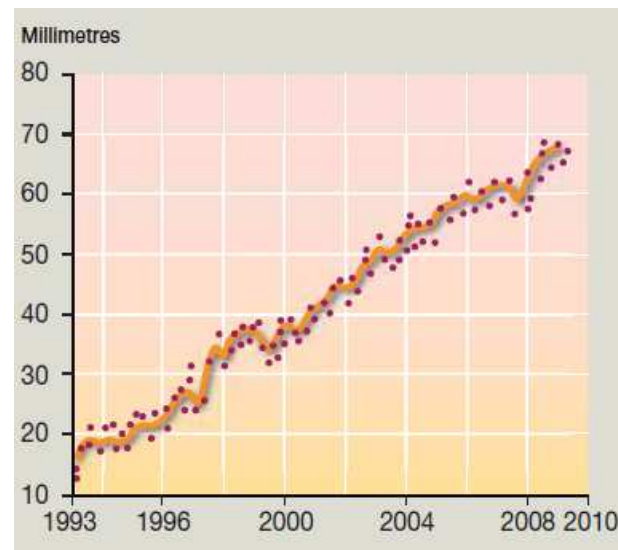
Photo : P.Wagnon, Glacier Zongo, Bolivie

# Conséquences de la fonte glaciaire

## Montée du niveau marin



*Mesure altimétrique des variations du niveau de la mer*



Hausse observée

~3.2 mm/a

*Cazenave et Rémy, 2011*  
*Church et al., 2011*

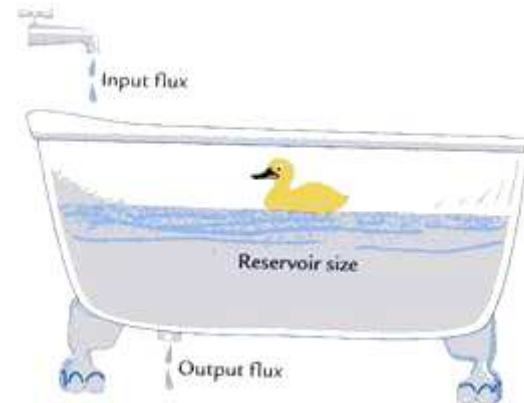


# Causes de la montée du niveau des mers

**Expansion (dilatation)  
thermique d'un océan  
qui se réchauffe  
→ Effet stérique**



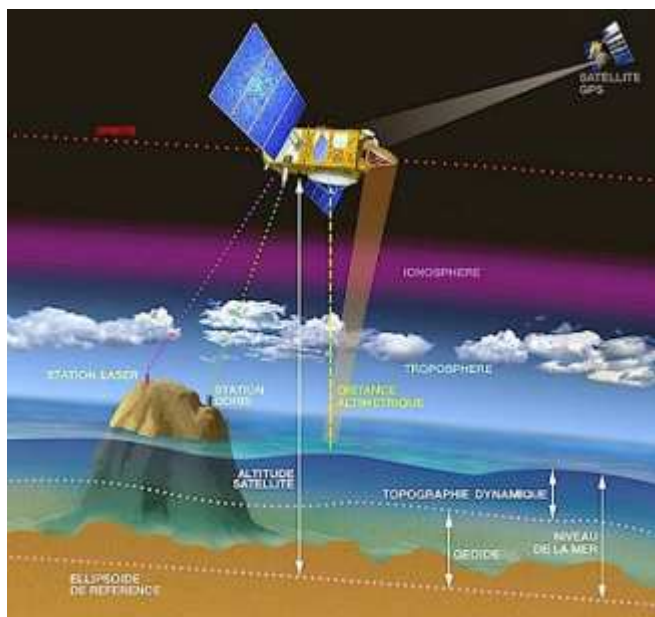
**Addition/soustraction de  
masse d'eau à l'océan  
(fonte des glaciers et des  
calottes polaires, effet  
des barrages, pompage  
des nappes phréatiques)**



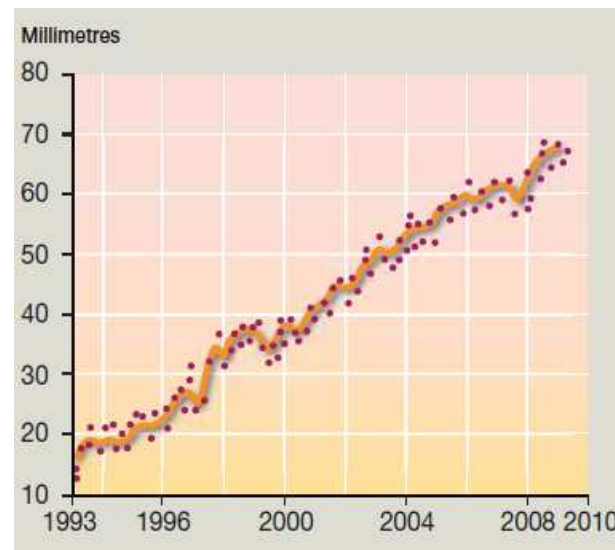
*Source: Anny Cazenave (LEGOS)*

# Conséquences de la fonte glaciaire

## Montée du niveau marin



*Mesure altimétrique des variations du niveau de la mer*

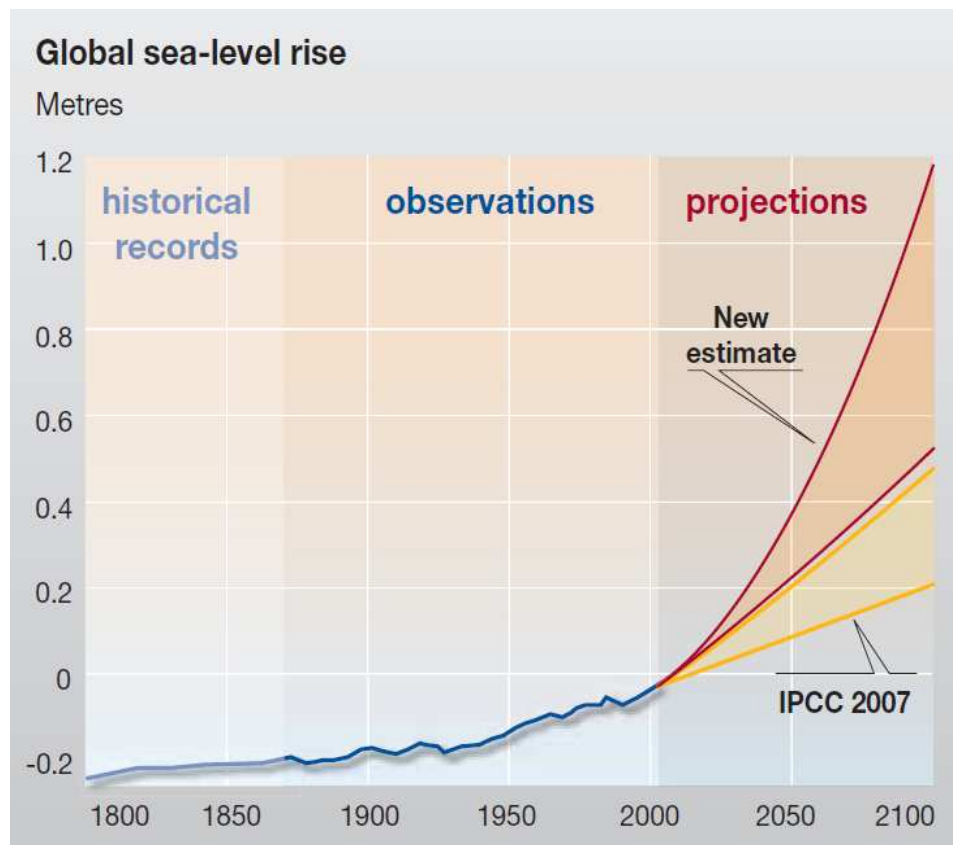


Hausse observée	~3.2 mm/a
Dilatation thermique	+0.9 mm/a
Calottes Polaires	+0.7 mm/a
Glaciers	+1.0 mm/a

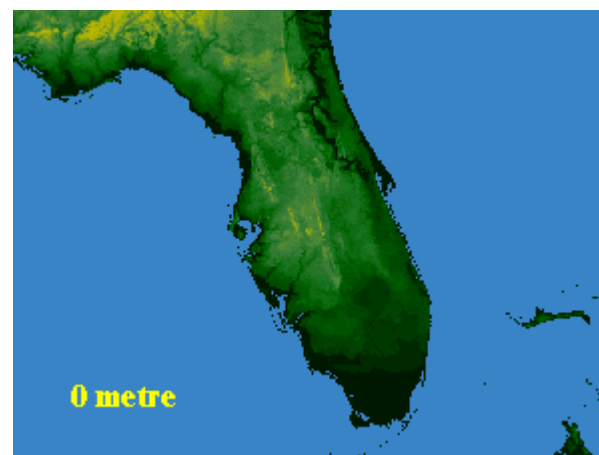
*Montée du niveau marin et ces causes pour 1993-2010*

# Conséquences de la fonte glaciaire

## Projection: montée future du niveau marin



*Montée prédite du niveau marin au 21<sup>e</sup> siècle (GIEC, 2007 et Rahmstorf, 2007)*



*Changement de la ligne de côte en Floride. 6 m = fonte totale du Groenland*

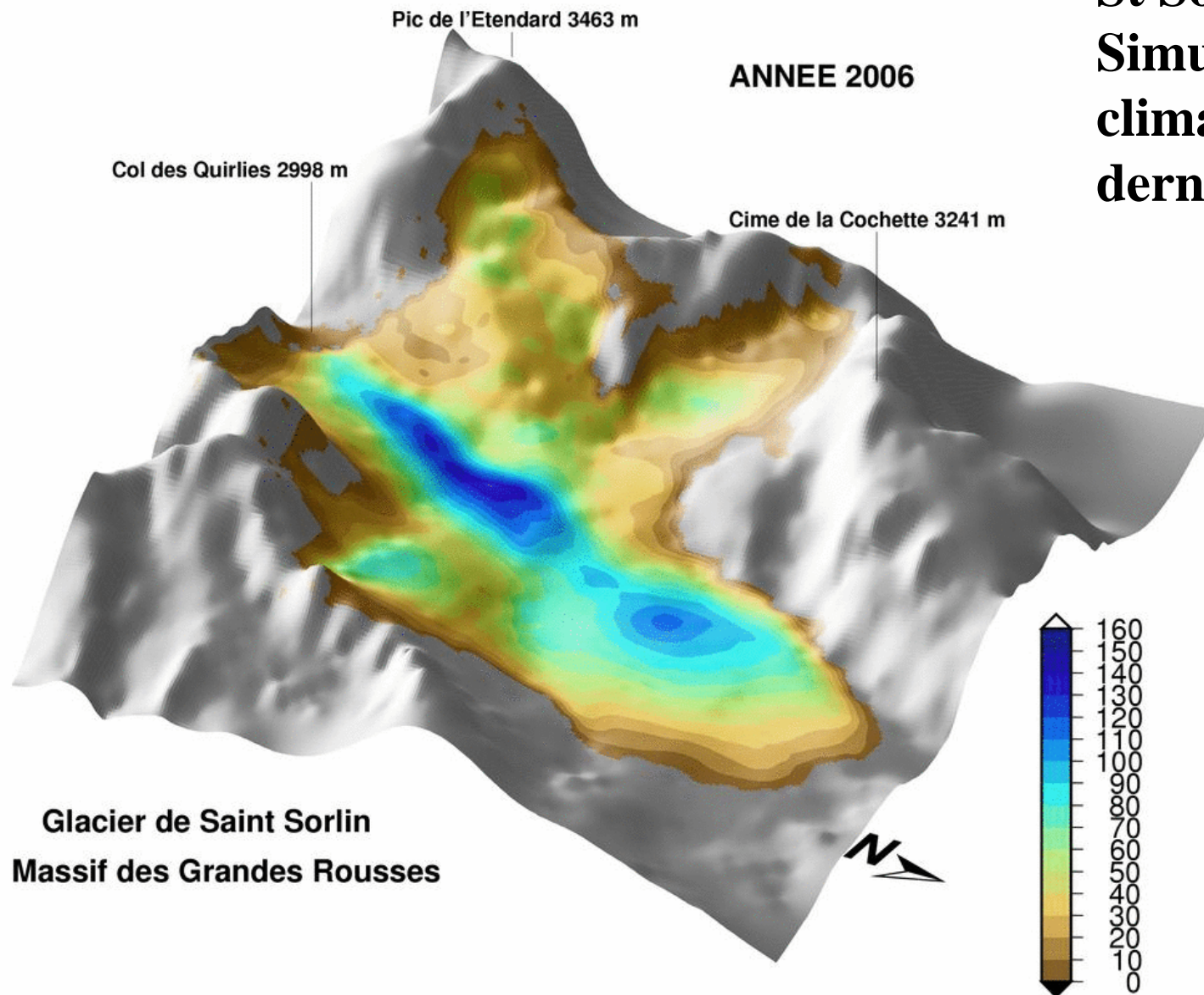
**→ 500 Millions de personnes vivent entre 0 et 5 m**

# Quel avenir pour les glaciers?

St Sorlin – Simulations avec le climat des 50 dernières années



# St Sorlin – Simulations avec le climat moyen des 50 dernières années



Épaisseur de  
Glace (m)

*Le Meur et al., 2007*

# St Sorlin - Simulations avec des projections climatiques (B1, GIEC)



Pic de l'Etendard 3463 m

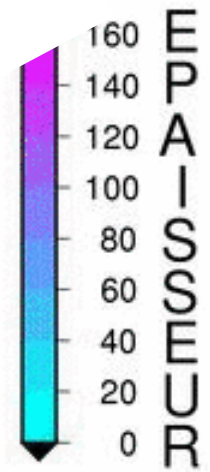
ANNEE 2000

Col des Quirliès 2998 m

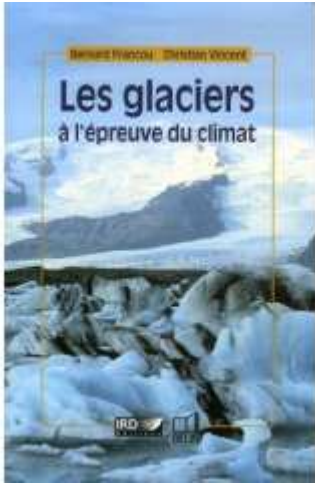
Cime de la Cochette 3241 m

le dauphiné  
LIBERE

Ils fondent pour  
leurs glaciers...



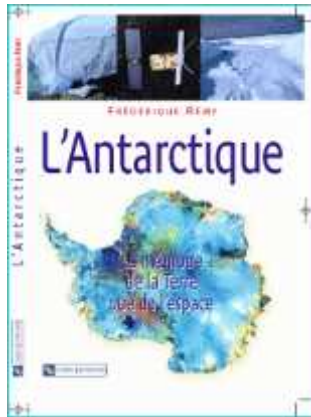
# Pour aller plus loin :



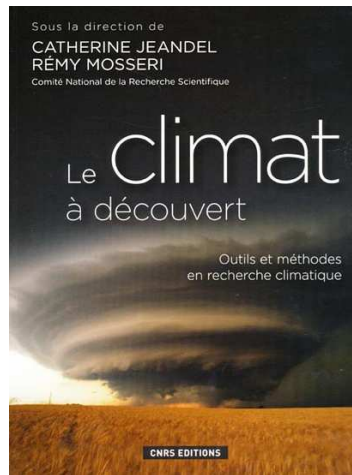
Francou & Vincent, 2007



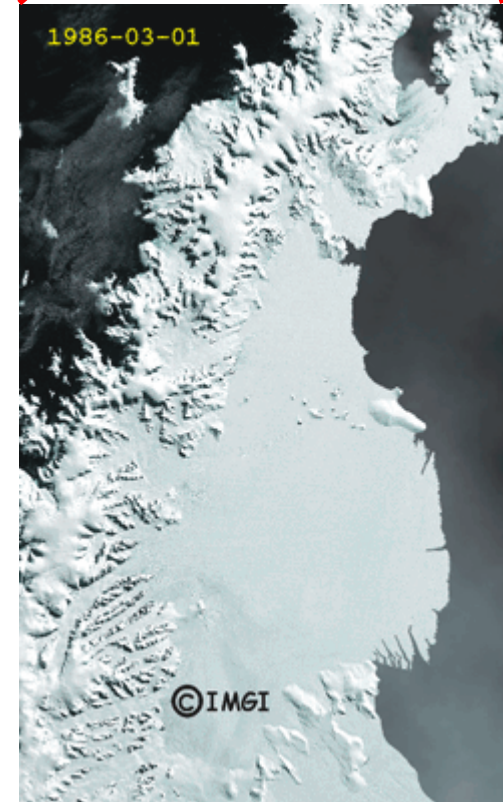
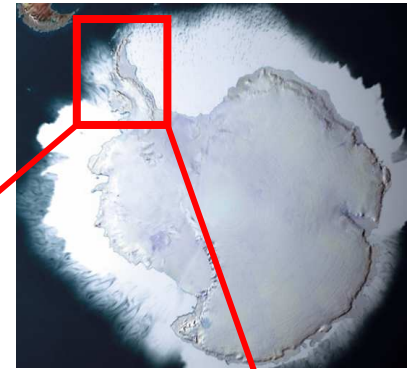
Bard, 2011



Rémy, 2003



Jeandel & Mosseri, 2011



Péninsule Antarctique (© Rott)