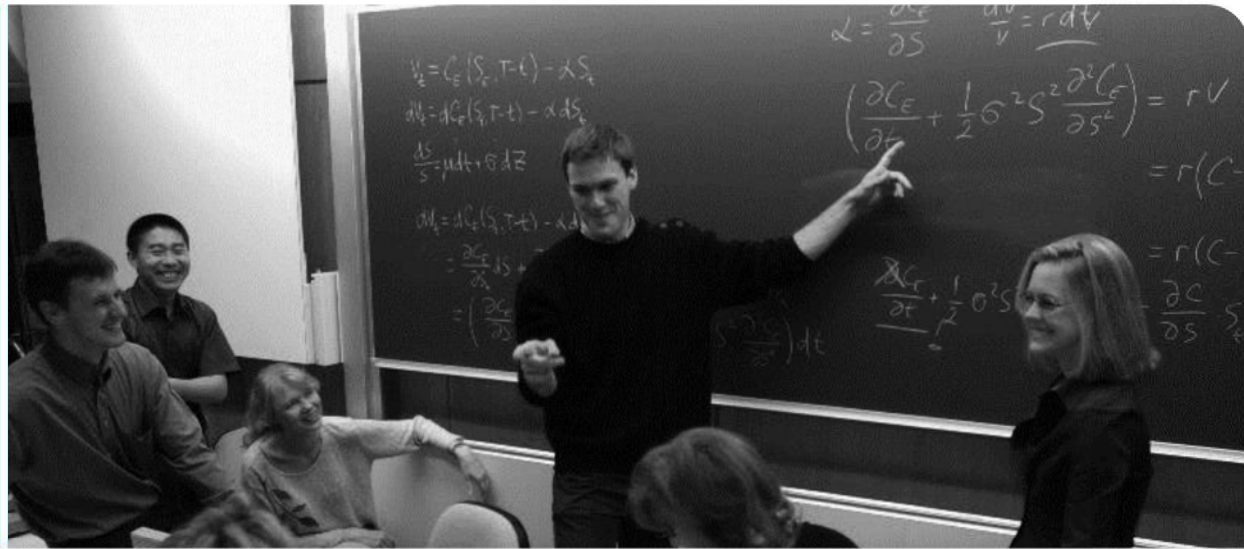




UNIL | Université de Lausanne



## Le Val d'Arolla comme lieu de recherche scientifique

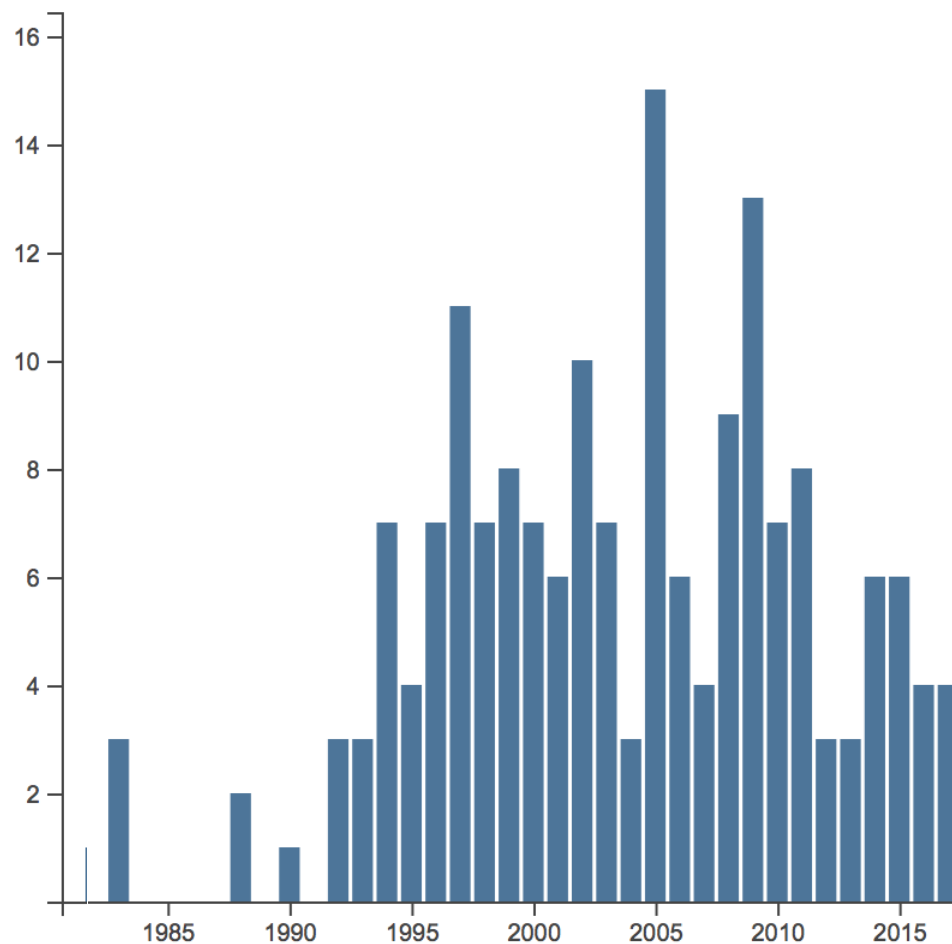
Stuart N. Lane  
Institute of Earth Surface Dynamics

[stuart.lane@unil.ch](mailto:stuart.lane@unil.ch)

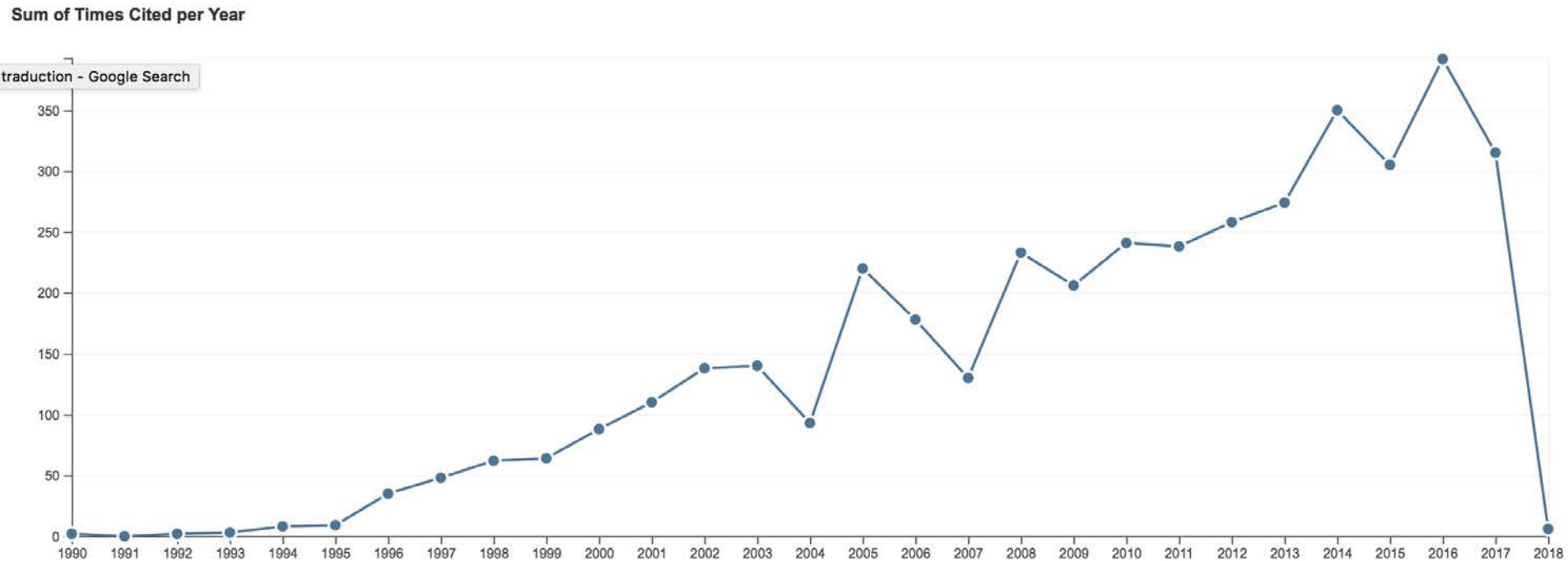
# Introduction : le Val d'Arolla

**180** Total

No. d'articles  
scientifiques  
publiés par  
année  
concernant le  
Val d'Arolla



# Introduction : le Val d'Arolla



Le Val d'Arolla devient de plus en plus connu et reconnu ...

# Introduction : le Val d'Arolla



Chemin au-dessous  
des Plans de Bertol

septembre 2010

env. 200-300 étudiant(e)s  
universitaires viennent au  
Val d'Arolla de l'étranger  
chaque année pour les  
camps de terrain

# Introduction : le Val d'Arolla

Le colloque : l'origine

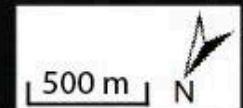
Projet de recherche 2012-2017 – “cycle” de 5 ans

Focus sur les effets du réchauffement climatique rapide sur les environnements alpins, surtout le paysage – processus géomorphologiques et écosystèmes – dans le contexte d'un environnement fortement anthropisé



## ... et c'était un grand projet ... nos remerciements ...

1. Aux membres de l'équipe qui ont aidé avec ce projet: surtout
  1. en thèse: Maarten Bakker, Chrystelle Gabbud, Natan Micheletti, Gilles Antoniazza
  2. en master: Marie Boillat, Pascal Perolo, Benoît Regamey, Lisa Ruëger, Sébastien Ruttiman, Jean-Noël Saugy, Amélie Savioz, Réanne Meylan
2. Aux collègues Lausannois, surtout Christian Kaiser, Christophe Lambiel et Emmanuel Reynard
3. Aux collègues des projets SEDFATE et HYDROENV (Paolo Burlando, Stéphanie Girardclos, Jean-Luc Loizeau, Peter Molnar, Paolo Perona, Christopher Robinson, Fritz Schlunegger et doctorants)
4. Au soutien du Fonds National Suisse, des états de Vaud et du Valais et la commune d'Evolène
5. À la Grande Dixence SA, Alpiq SA et HYDRO Exploitation SA pour l'autorisation d'utiliser leurs données (et surtout Michel Follonier, Christian Constantin, Damien Courtine, Michael Imboden, Eric Zimmerli)
6. Aux résidents et propriétaires du Val d'Arolla et surtout Joan Pralong et Jean-Paul et Ghislaine Bornatici (Hôtel de la Tsa)
7. La société de la Murithienne



# Introduction : le Val d'Arolla

Le colloque : l'objectif

Donner un « retour » aux personnes qui nous ont aidé à l'échelle locale

Avoir un échange avec des personnes avec un intérêt plus large

Indiquer les options pour mieux comprendre ([ebibalpin.unil.ch](http://ebibalpin.unil.ch), articles scientifiques)

# Les grandes questions et la structure

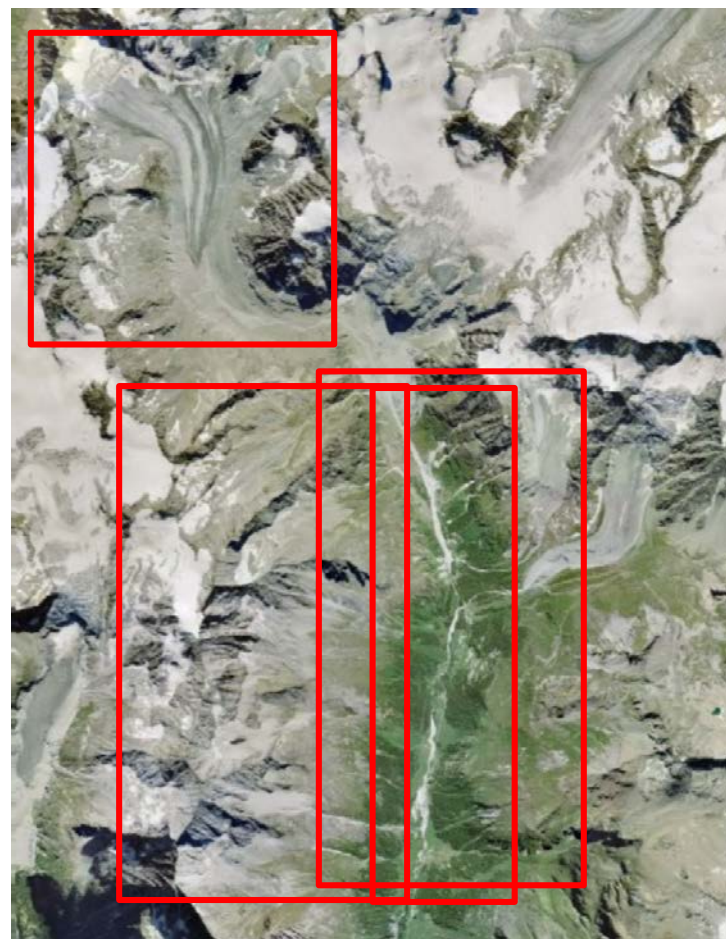
1. **Quelle est la réponse du paysage ?** Quels sont les éléments du paysage sensibles au réchauffement? Est-ce que le taux de livraison des sédiments à l'aval va augmenter?
2. **Quels sont les effets des prises d'eau sur les transferts sédimentaires ?** Sur le dépôt des sédiments ? Sur le flux à l'aval ? En comparaison avec les effets du changement climatique

## PAUSE CAFE

3. **Quels sont les impacts sur les écosystèmes ?** Sur la faune aquatique ? En été et en hiver ? Quelles sont les implications pour la gestion des cours d'eau alpins ? Les débits minimums ?

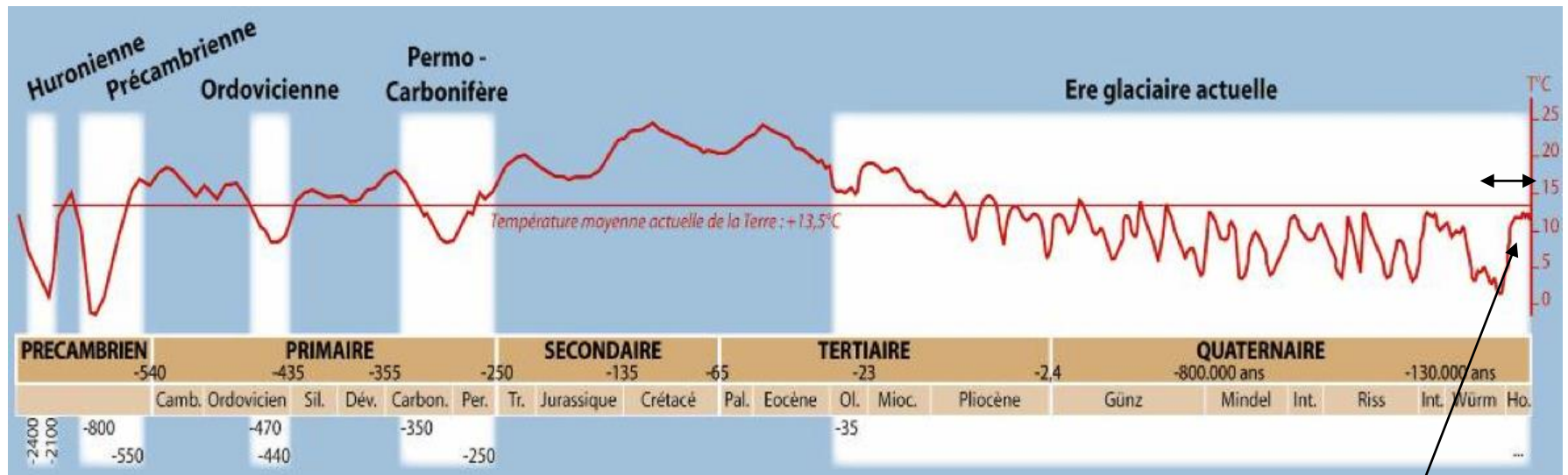
**TABLE RONDE** Marco Cortesi (ALPIQ), Daniel Devanthéry (Canton du Valais), Manuel Nitsche (OFEV), Stuart Lane (UNIL)

## APERO





# Les changements climatiques dans le contexte de l'histoire de la terre



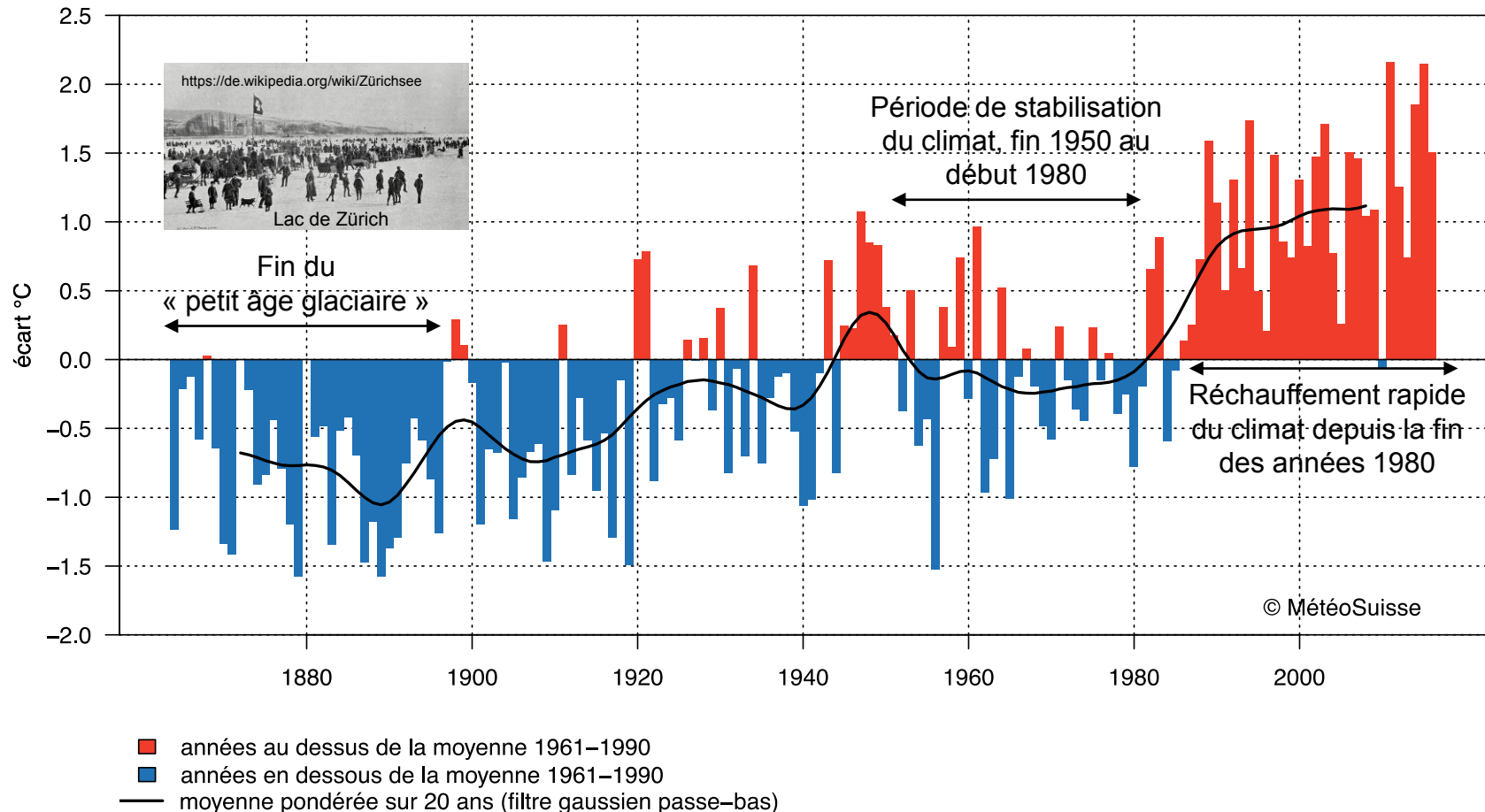
Remerciements : S.Coutterand et M. Desmet, Univ. Savoie

L'Holocène

# Les changements climatiques dans le contexte de l'histoire de la terre

température annuelle – nord de la Suisse au-dessus de 1000 m/m – 1864–2016

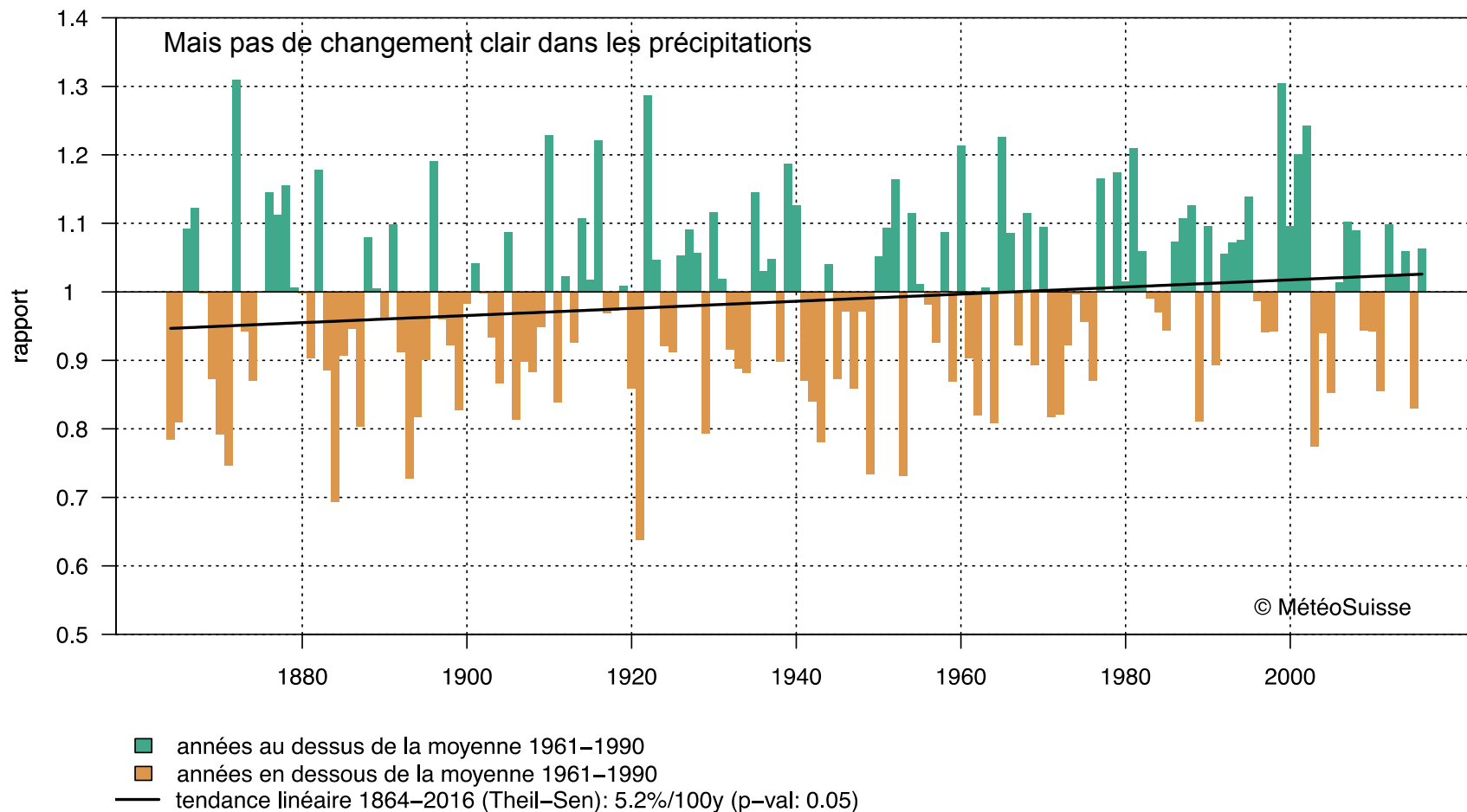
écart à la moyenne 1961–1990



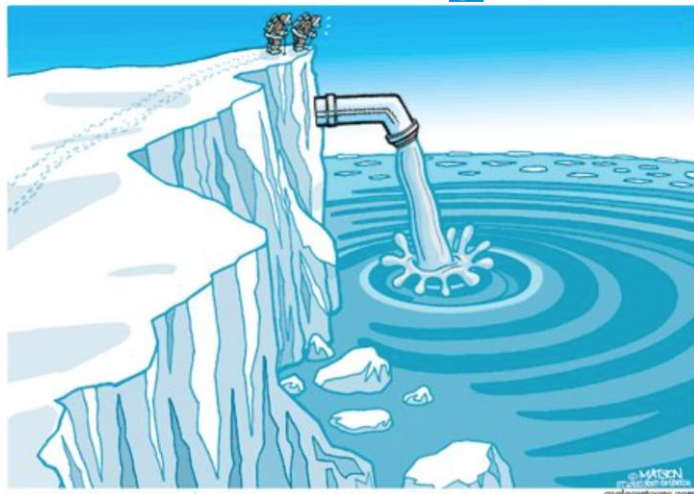
# Les changements climatiques dans le contexte de l'histoire de la terre

## précipitation annuelle – Suisse – 1864–2016

rapport avec la moyenne 1961–1990



# Le recul des glaciers et la fonte du pergélisol

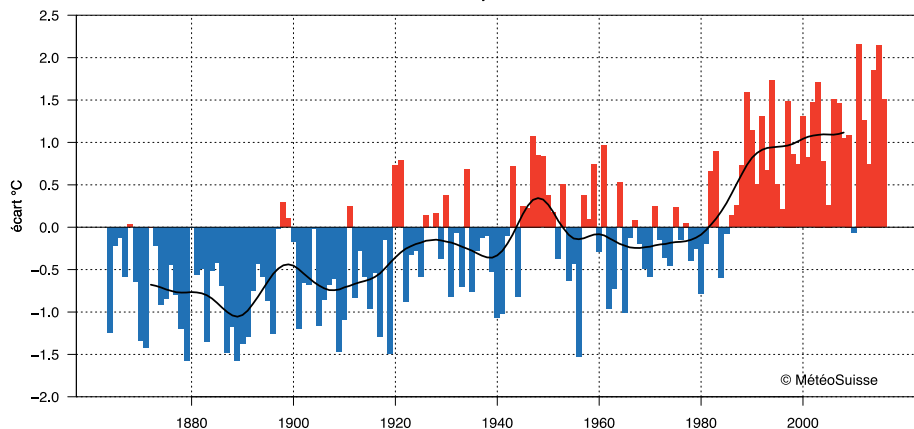


"HOW ON EARTH DO WE TURN IT OFF?"

caglecartoons.com

Température diminue de  $1^{\circ}\text{C}$  par 150 m  
 $2.0^{\circ}\text{C} = 300$  m d'altitude (*dans la moyenne*)

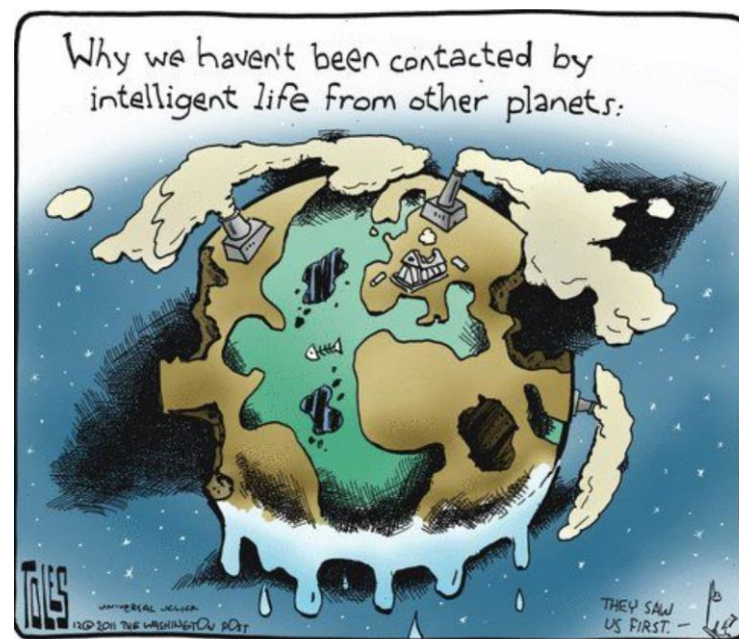
température annuelle – nord de la Suisse au-dessus de 1000 m/m – 1864–2016  
 écart à la moyenne 1961–1990



$2.0^{\circ}\text{C}$

■ années au dessus de la moyenne 1961–1990  
 ■ années en dessous de la moyenne 1961–1990  
 — moyenne pondérée sur 20 ans (filtre gaussien passe-bas)

© MétéoSuisse

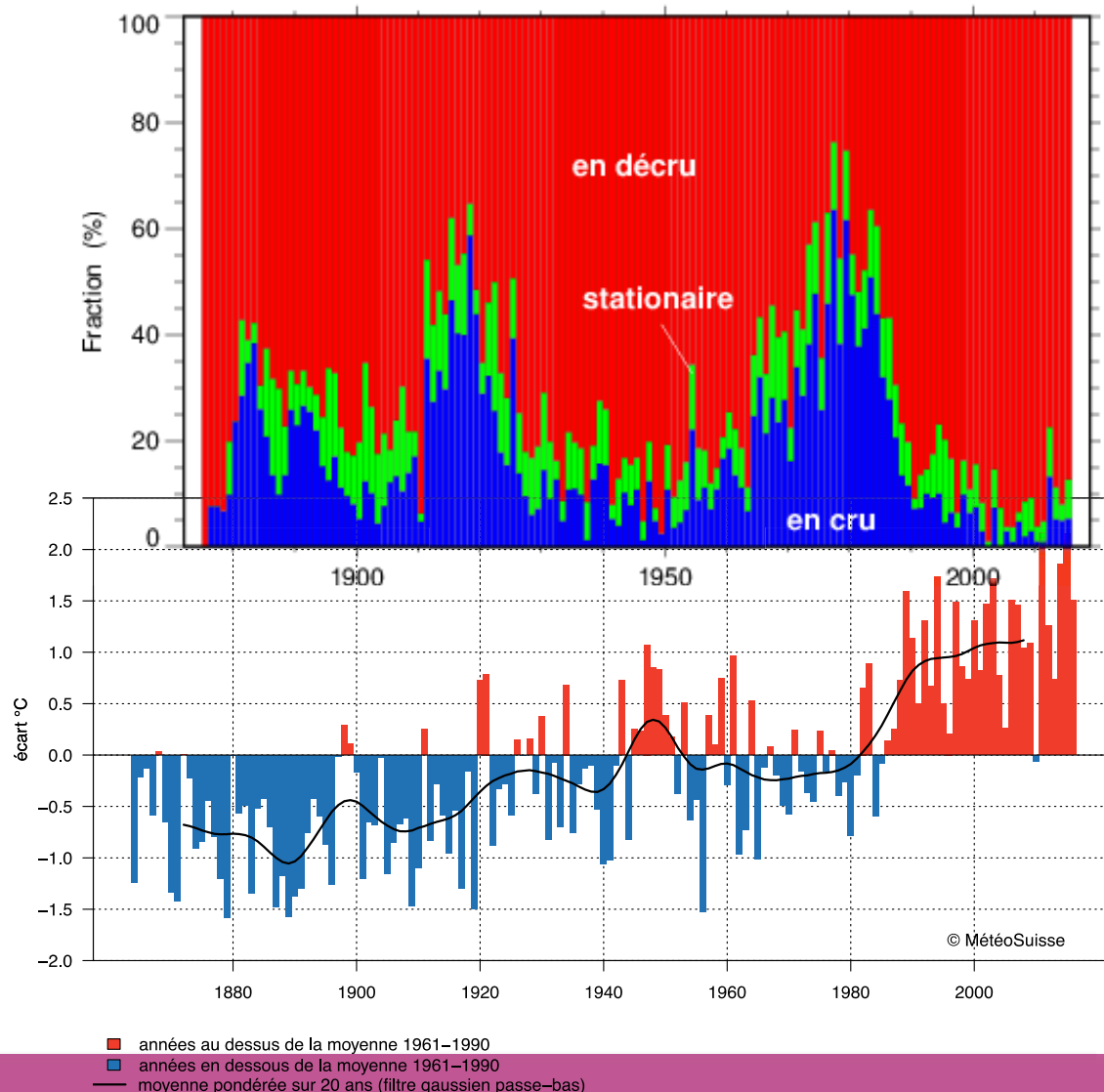




# Le recul des glaciers et la fonte du pergélisol

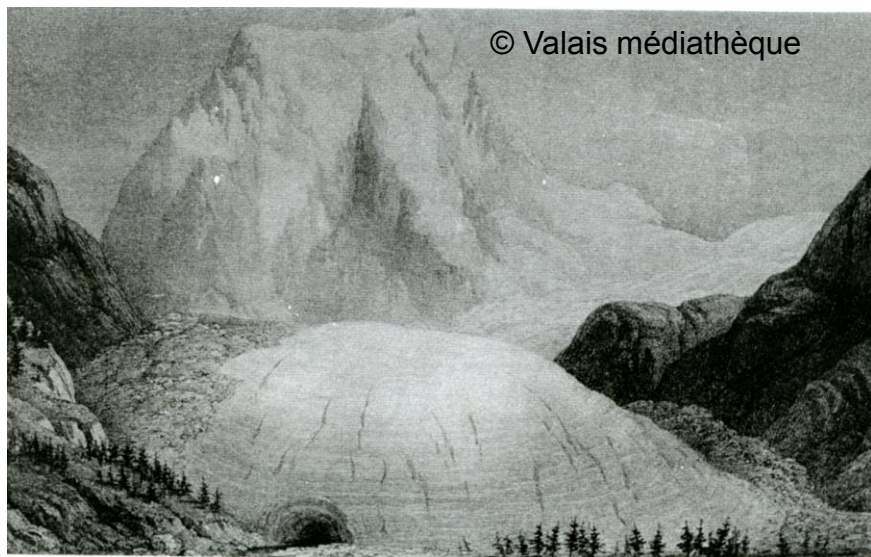
La grande sensibilité de nos pays et nos glaciers au réchauffement climatique

le réseau de relevés glaciologiques (GLAMOS) ETHZ/ScNAT



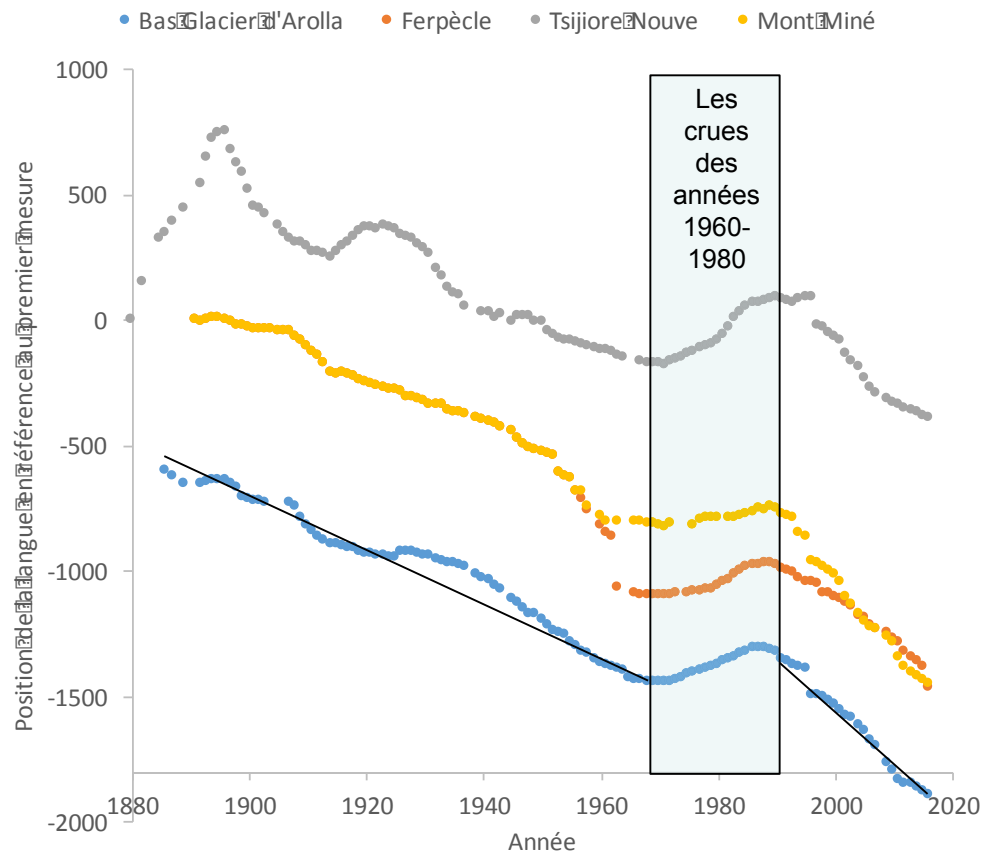
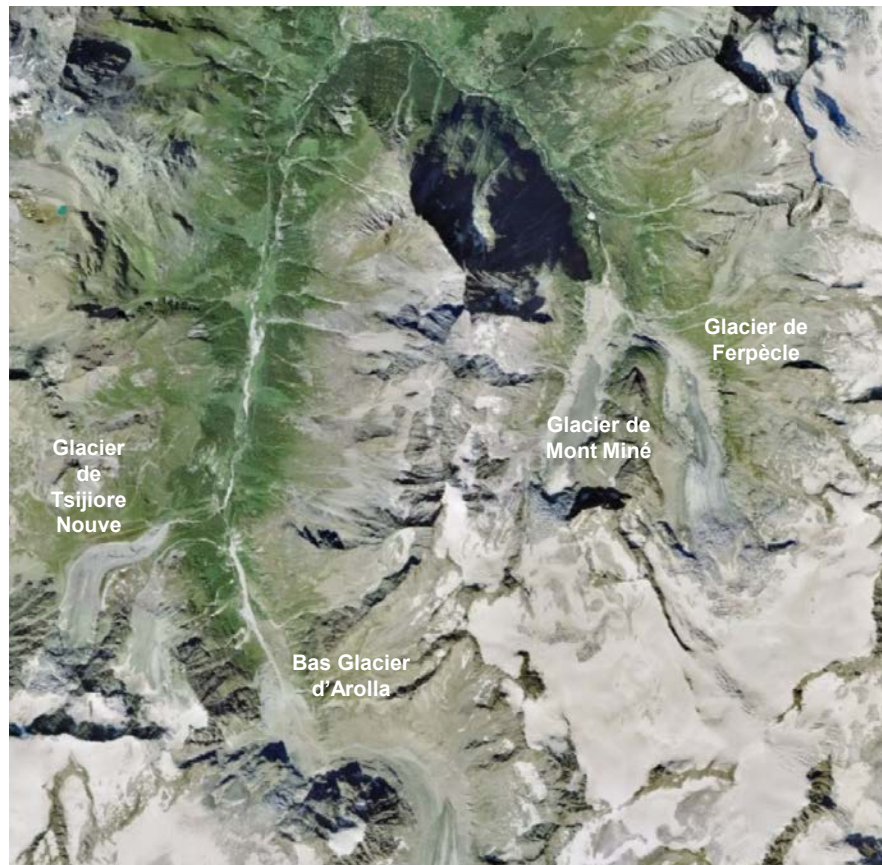
# Le recul des glaciers et la fonte du pergélisol

## Bas Glacier d'Arolla (Glacier de Mont Collon)



# Le recul des glaciers et la fonte de pergélisol

© SwissTopo

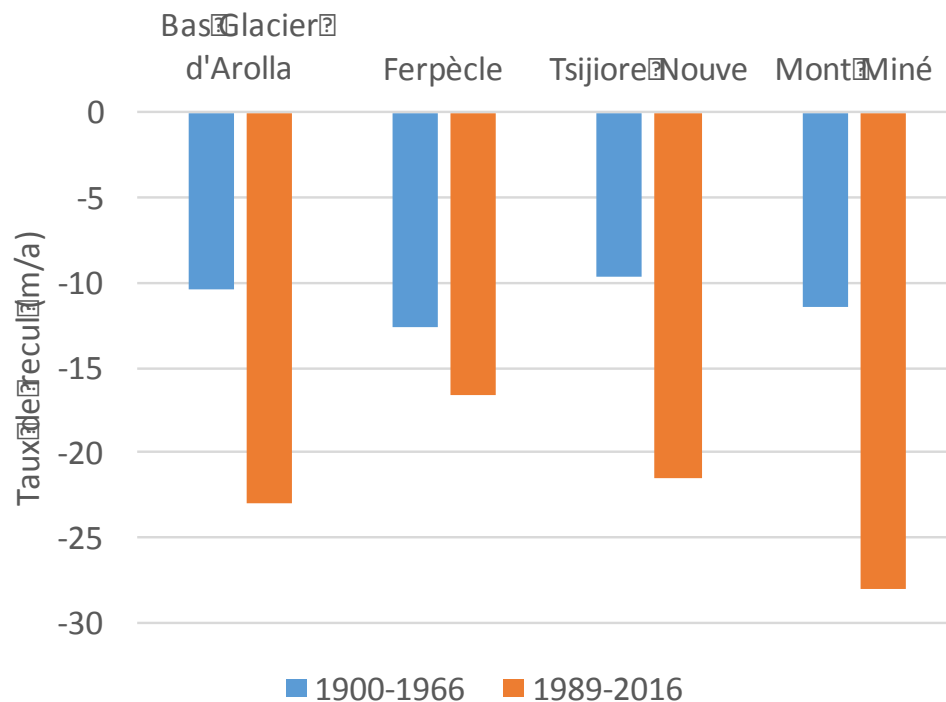
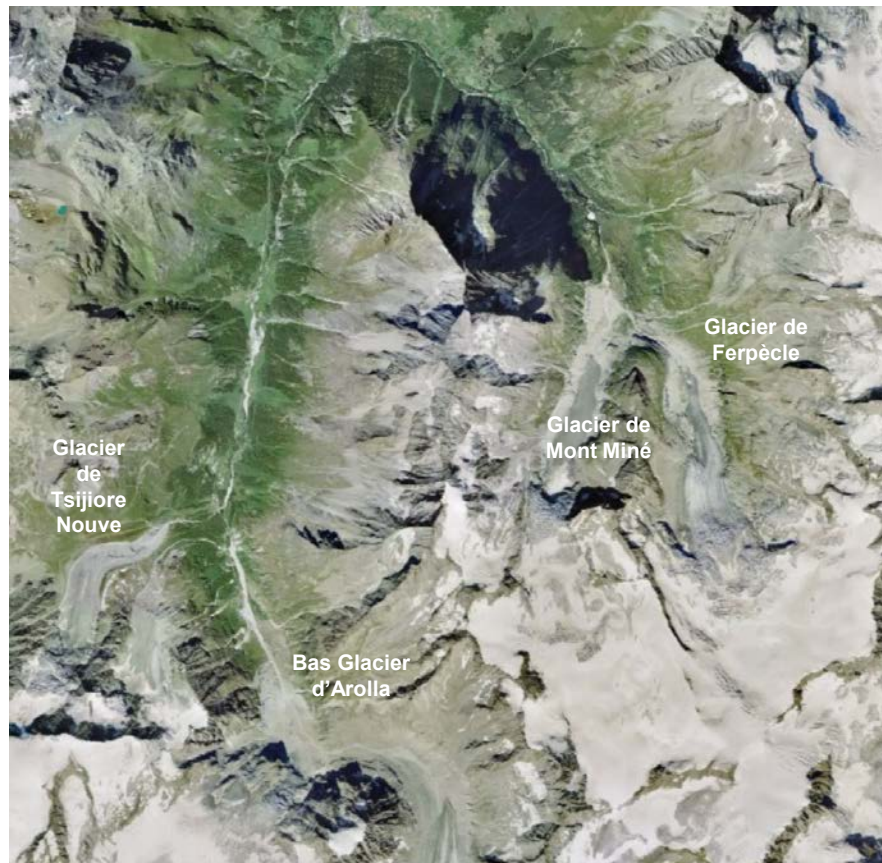


données tirées du réseau de relevés glaciologiques (GLAMOS) ETHZ/ScNAT



# Le recul des glaciers et la fonte de pergélisol

© SwissTopo

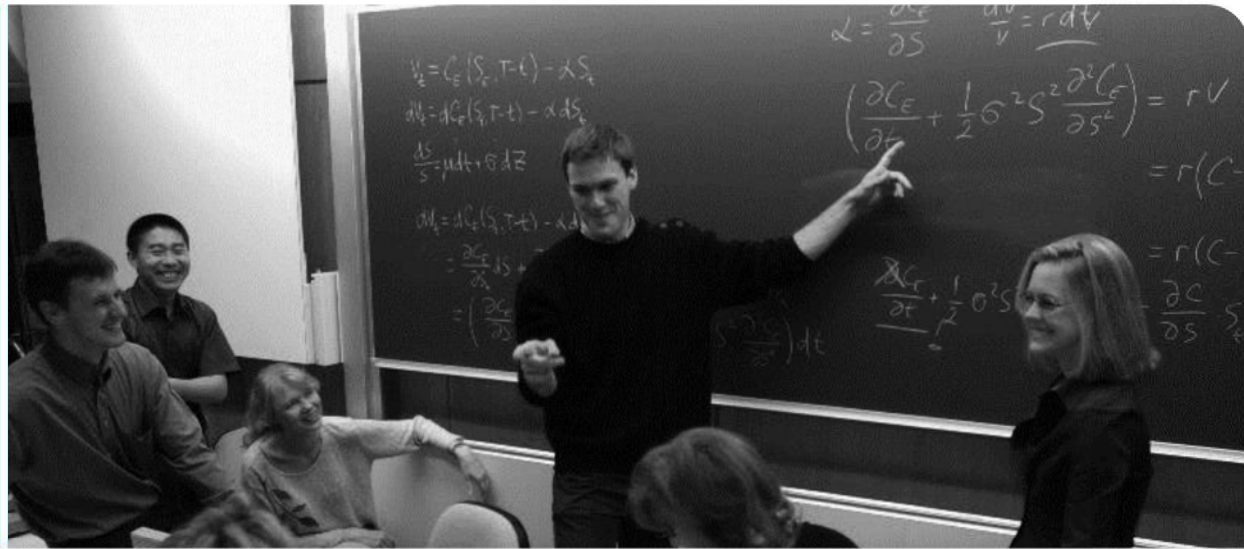


données tirées du réseau de relevés glaciologiques (GLAMOS) ETHZ/ScNAT





UNIL | Université de Lausanne



## Partie 1: Le paysage Alpin face aux changements climatiques : l'exemple du Val d'Arolla

Stuart N. Lane  
Chrystelle Gabbud, Natan Micheletti  
Institute of Earth Surface Dynamics

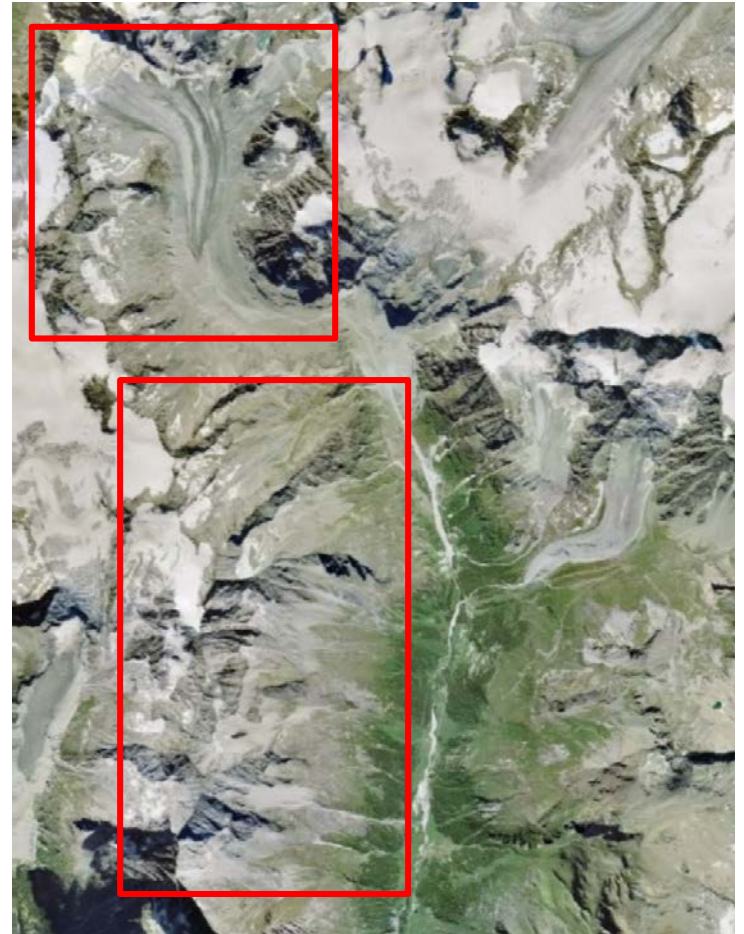
[stuart.lane@unil.ch](mailto:stuart.lane@unil.ch)

# Les grandes questions et la structure

1. **Quelle est la réponse du paysage ?** Quels sont les éléments du paysage sensibles au réchauffement? Est-ce que le taux de livraison des sédiments à l'aval va augmenter?

Projets de Master

Dr. Natan Micheletti  
Thèse (Canton de Vaud)



# Quelle est la réponse du paysage?

Ce n'est pas fini ... par ex. le Bas Glacier d'Arolla (Glacier de Mont Collon)

Bas Glacier 1856  
Bas Glacier 1895  
Bas Glacier 1986

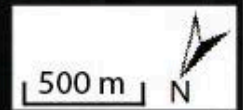


2005

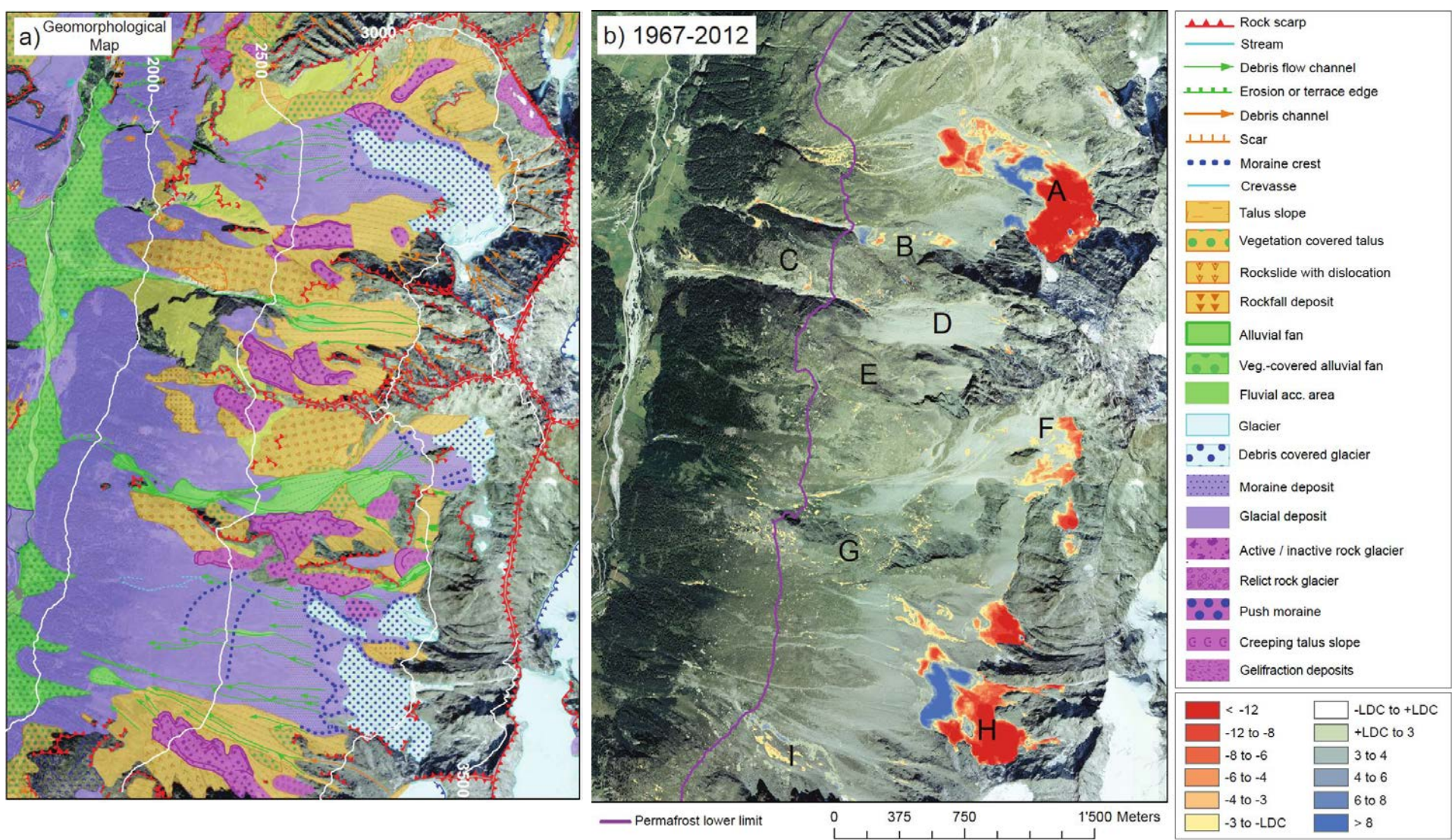


# Quelle est la réponse du paysage ?

1. Fonte de  
pergélisol et  
mobilisation des  
sédiments



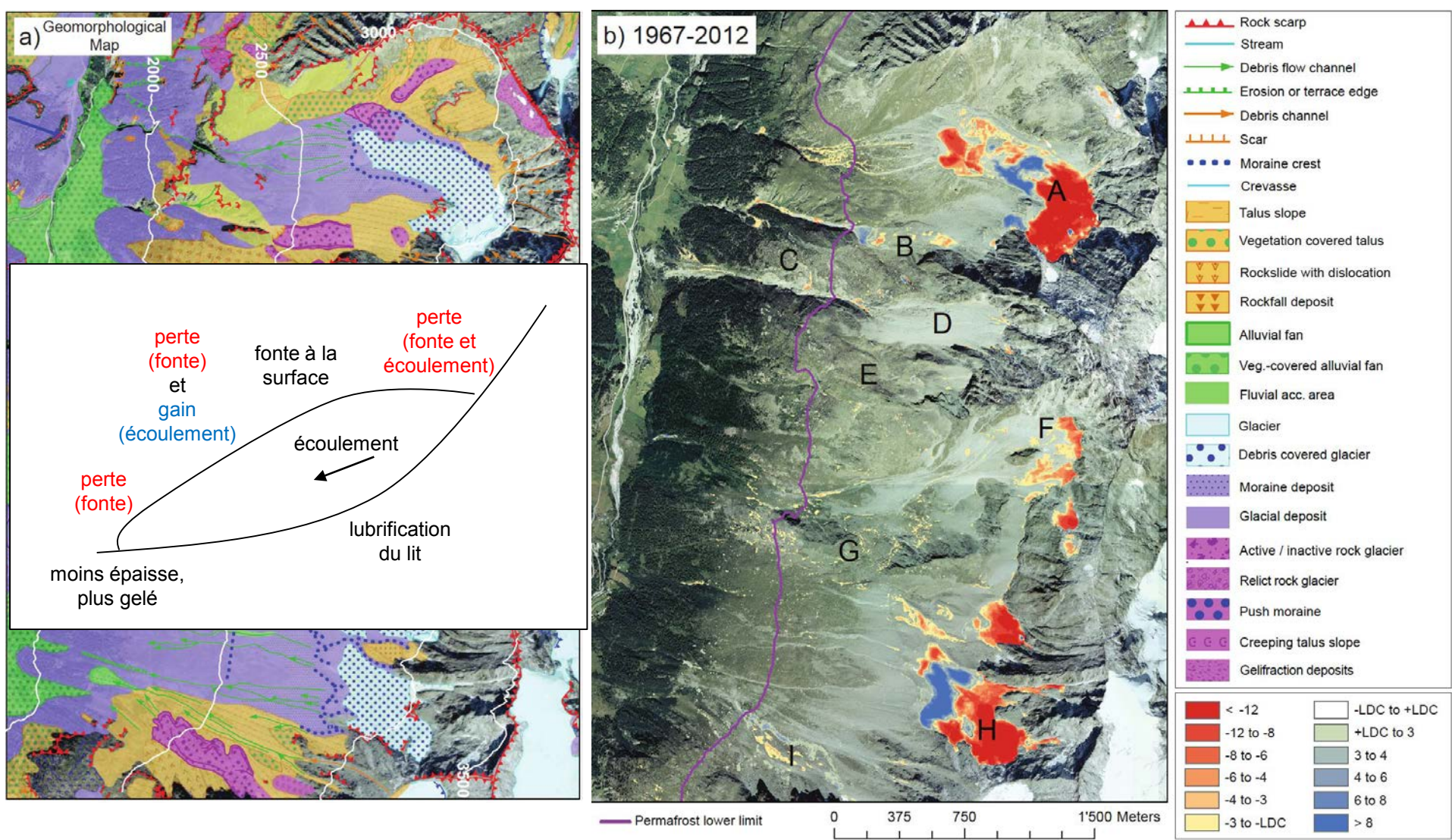




Micheletti, N., Lambiel, C. and Lane, S.N. 2015. *Journal of Geophysical Research - Earth Surface*

Micheletti, N. and Lane, S.N. 2016. Water yield and sediment export in small, partially glaciated Alpine watersheds in a warming climate. *Water Resources Research*



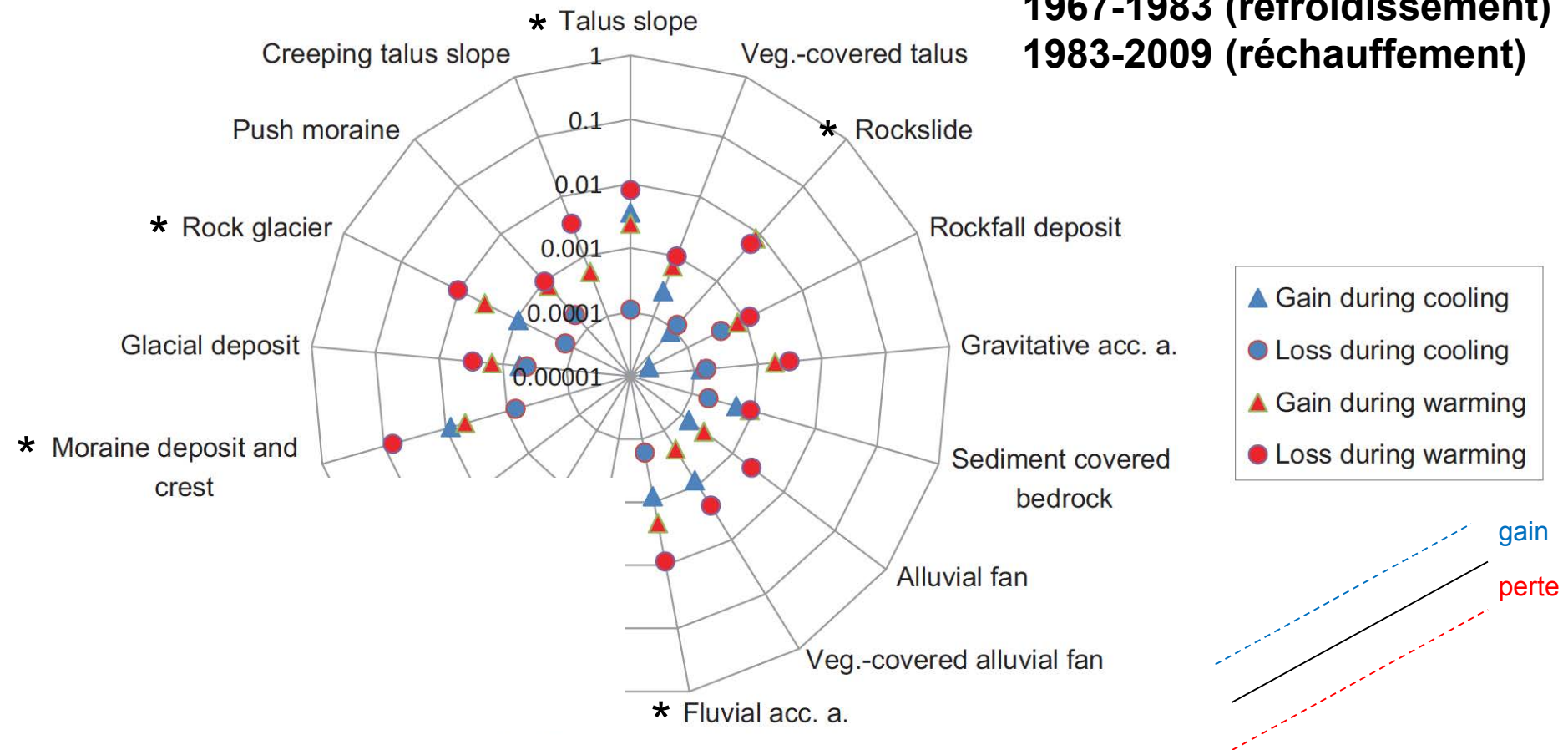


Micheletti, N., Lambiel, C. and Lane, S.N. 2015. *Journal of Geophysical Research - Earth Surface*

Micheletti, N. and Lane, S.N. 2016. Water yield and sediment export in small, partially glaciated Alpine watersheds in a warming climate. *Water Resources Research*

# Un paysage assez stable ...

Changements en m / an  
1967-1983 (refroidissement)  
1983-2009 (réchauffement)



Micheletti, N., Lambiel, C. and Lane, S.N. 2015. *Journal of Geophysical Research - Earth Surface*

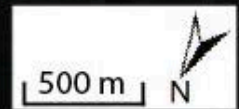
Micheletti, N. and Lane, S.N. 2016. Water yield and sediment export in small, partially glaciated Alpine watersheds in a warming climate. *Water Resources Research*



# Quelle est la réponse du paysage ?

1. Fonte de  
pergélisol et  
mobilisation des  
sédiments

2. La connexion  
entre les pentes et  
la plaine alluviale





# La connexion et la déconnexion sédimentaire

Satarma



Fonte du pergélisol  
Disponibilité des sédiments

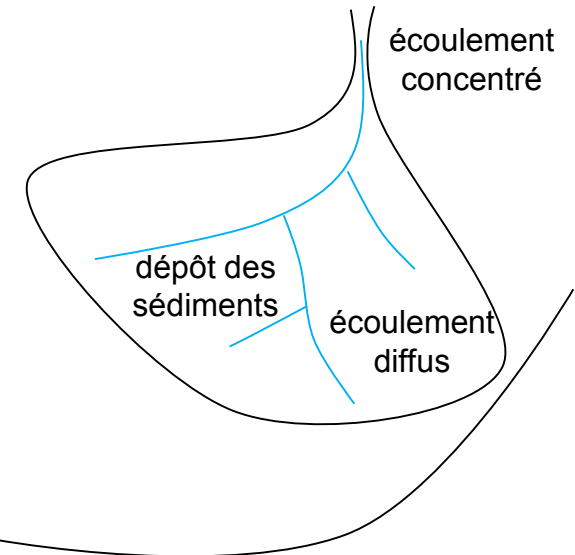
**Déconnexion  
géomorphologique**  
par ex. moraines et  
héritage glaciaire

A

Au-dessus de la Remointse d'Arolla  
© Pierre Odier c. 1900-1930, médiathèque du Valais



**Déconnexion  
hydrologique**  
par ex. les cônes  
alluviaux

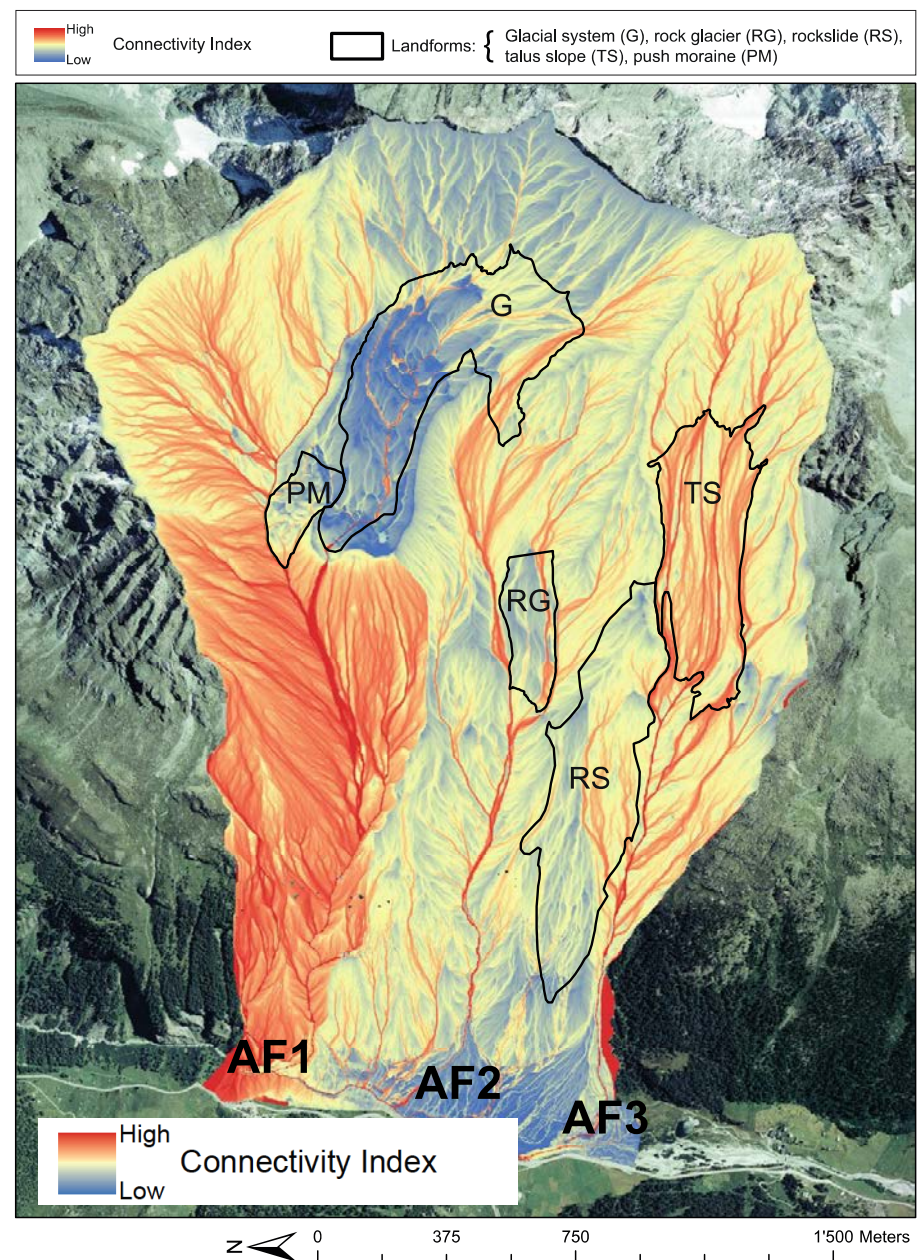


A

**A = accumulation des sédiments**

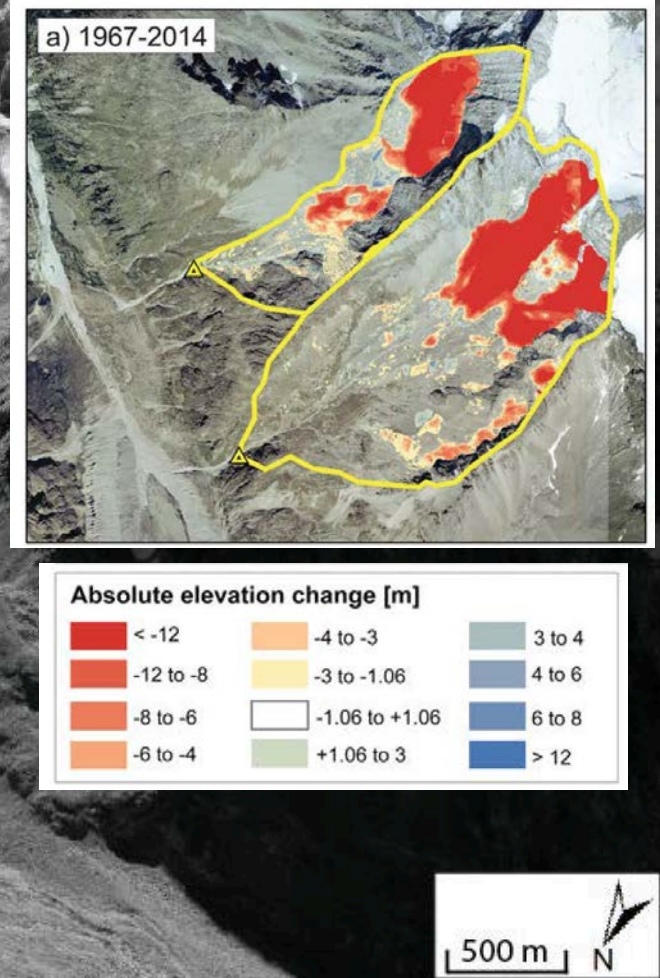
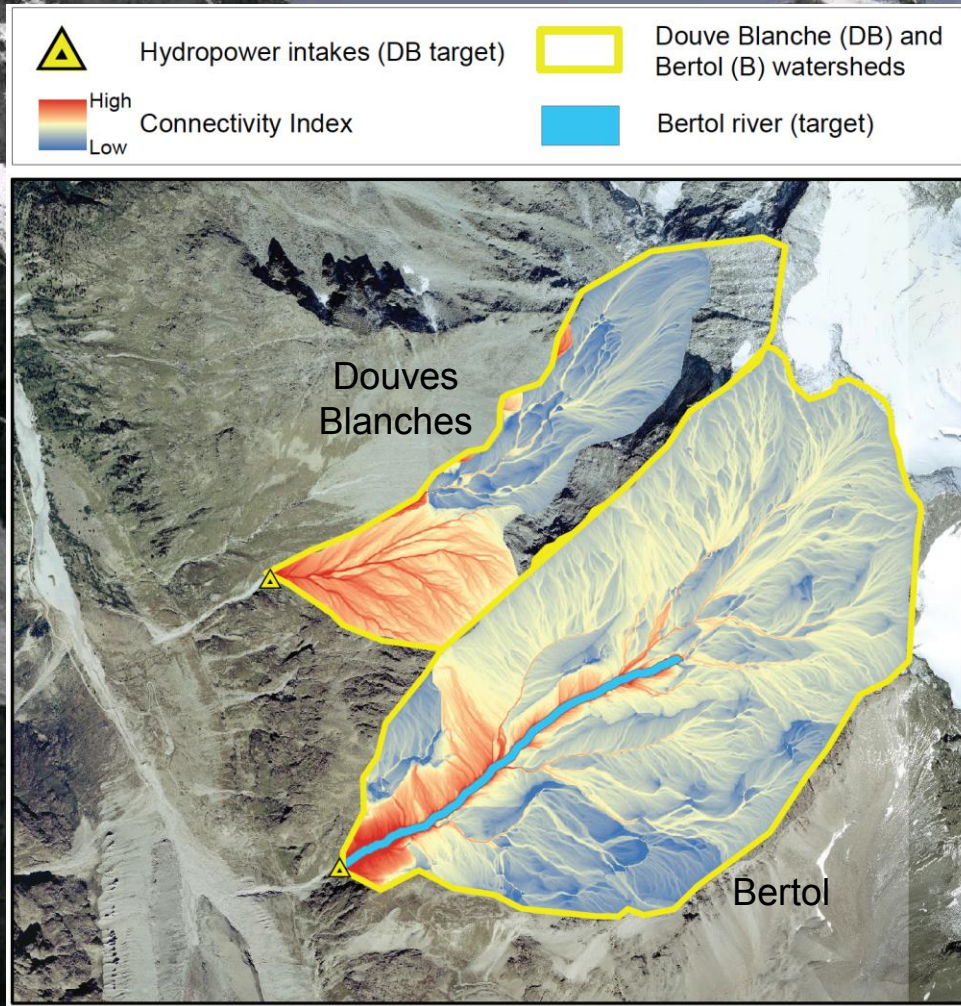


# La connexion sédimentaire



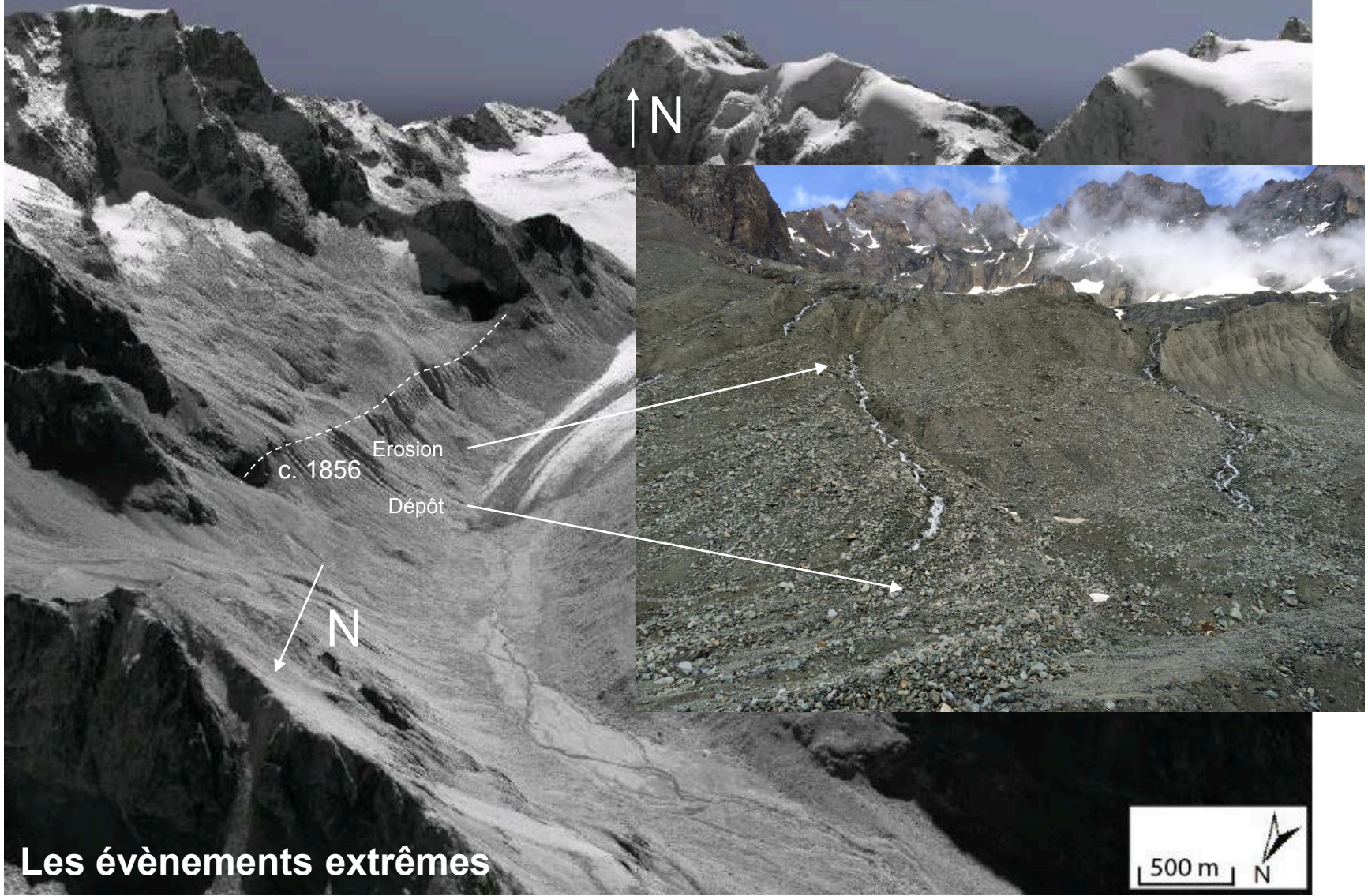


# L'importance de la déconnexion dans le paysage





# Augmentation dans la connexion sédimentaire et la déconnexion sédimentaire



Les évènements extrêmes

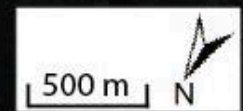


# Quelle est la réponse du paysage ?

1. Fonte de  
pergélisol et  
mobilisation des  
sédiments

2. La connexion  
entre les pentes et  
la plaine alluviale

3. Evacuation  
des sédiments



**THE MANAGEMENT OF SEDIMENT TRANSPORTED BY GLACIAL  
MELT-WATER STREAMS AND ITS SIGNIFICANCE FOR THE ESTIMATION  
OF SEDIMENT YIELD**

by

A. Bezingé,

(Grande Dixence S.A., CH-1950 Sion, Valais, Switzerland)

M.J. Clark, A.M. Gurnell, and J. Warburton

(Department of Geography, University of Southampton, Southampton SO9 5NH, England, U.K.)

ebibalpin.unil.ch

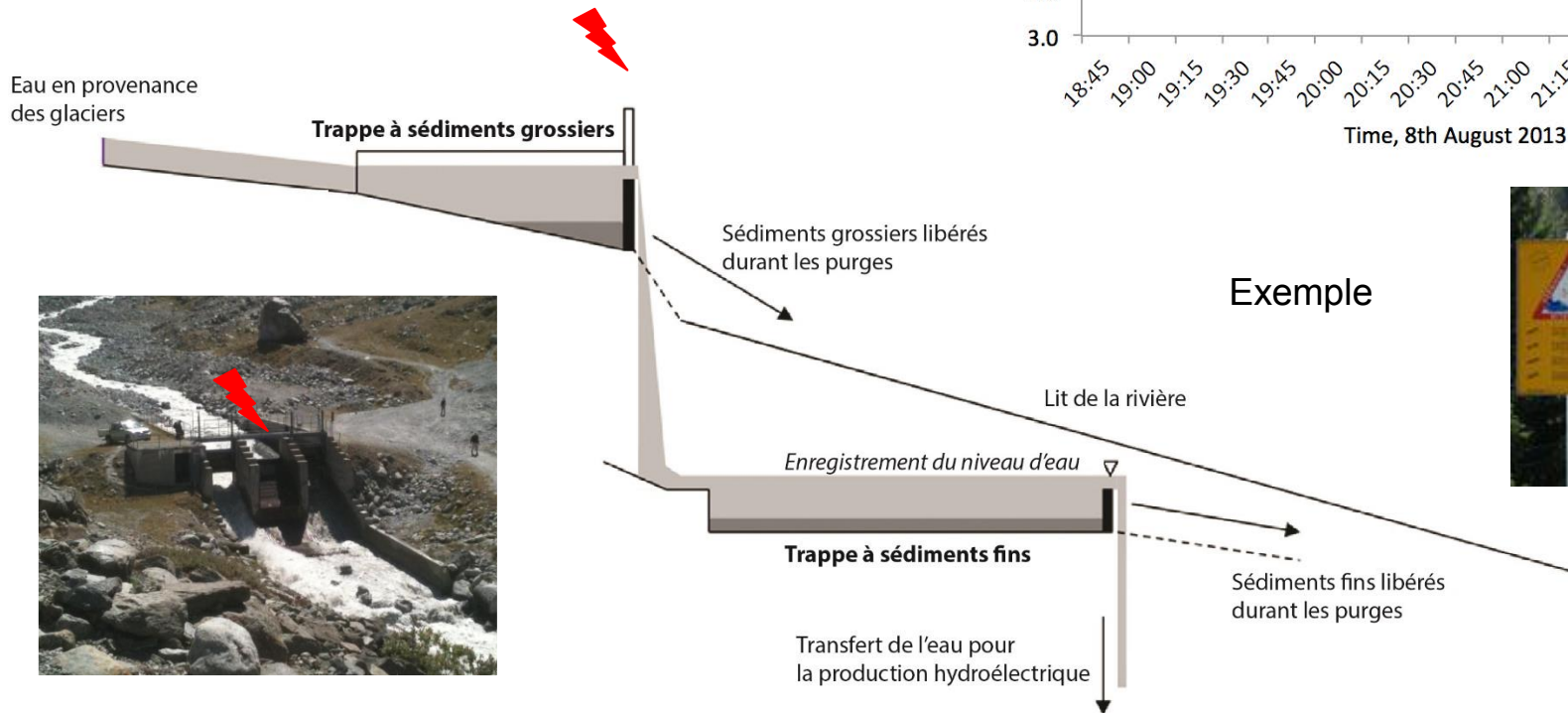
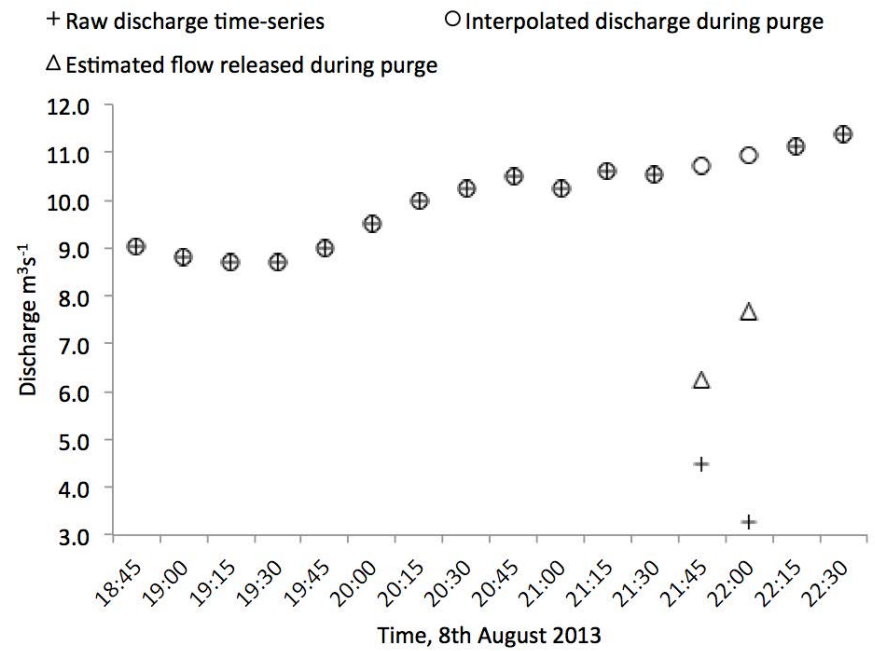


# Les prises d'eau

Les sédiments restent dans des bassins d'accumulation

Vidange des bassins quand ils sont remplis

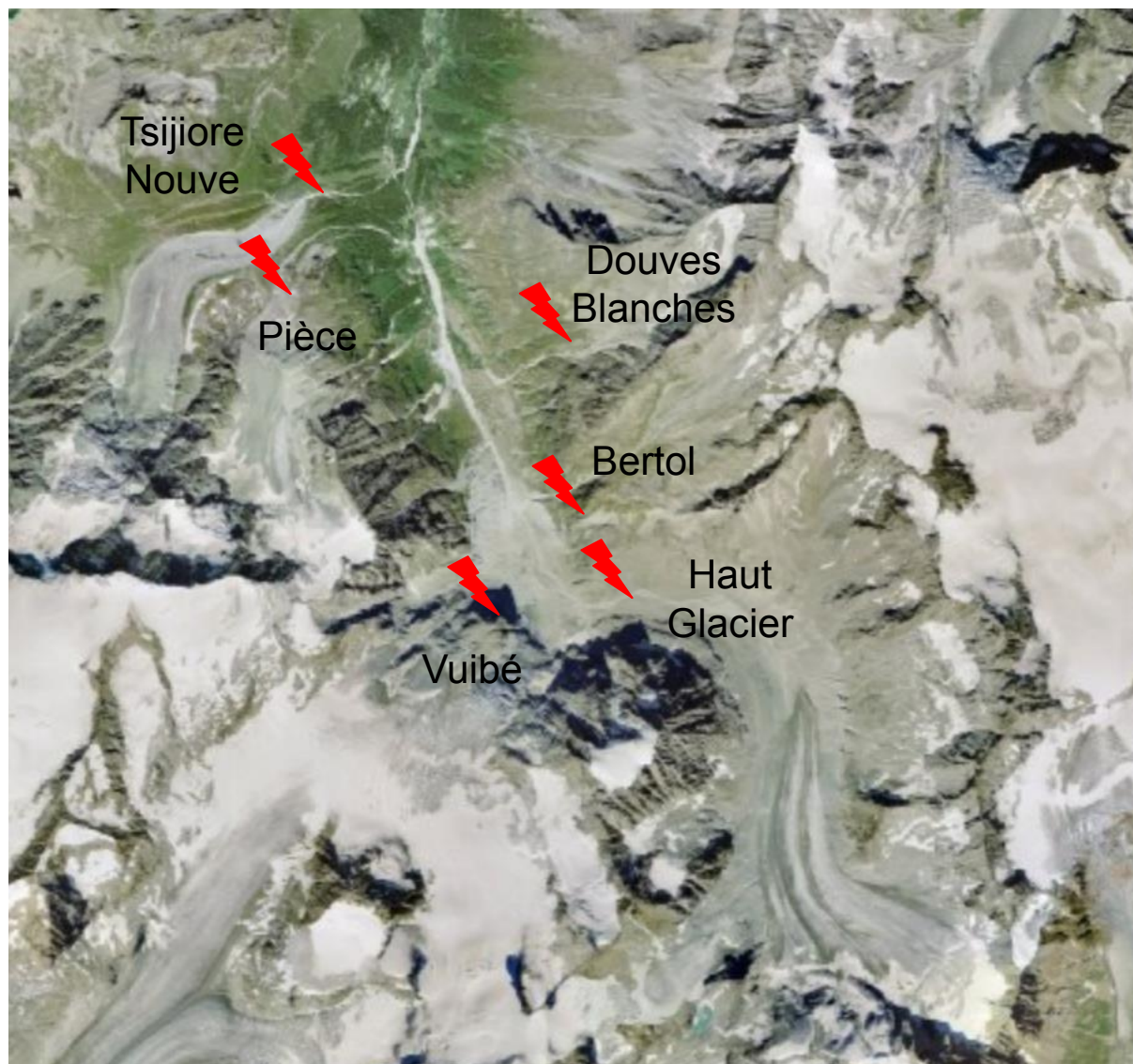
Fréquence élevée pendant l'été



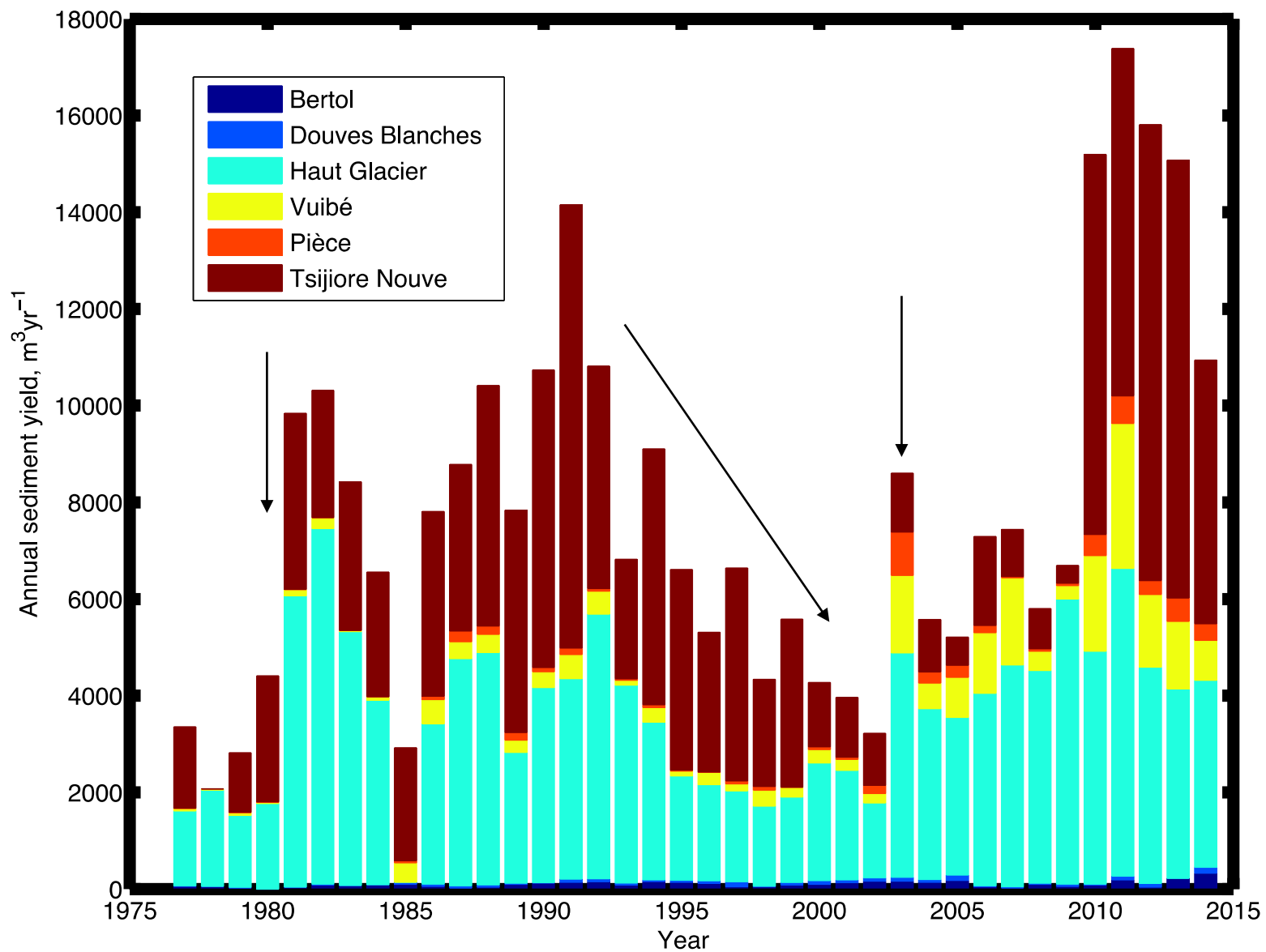
Exemple



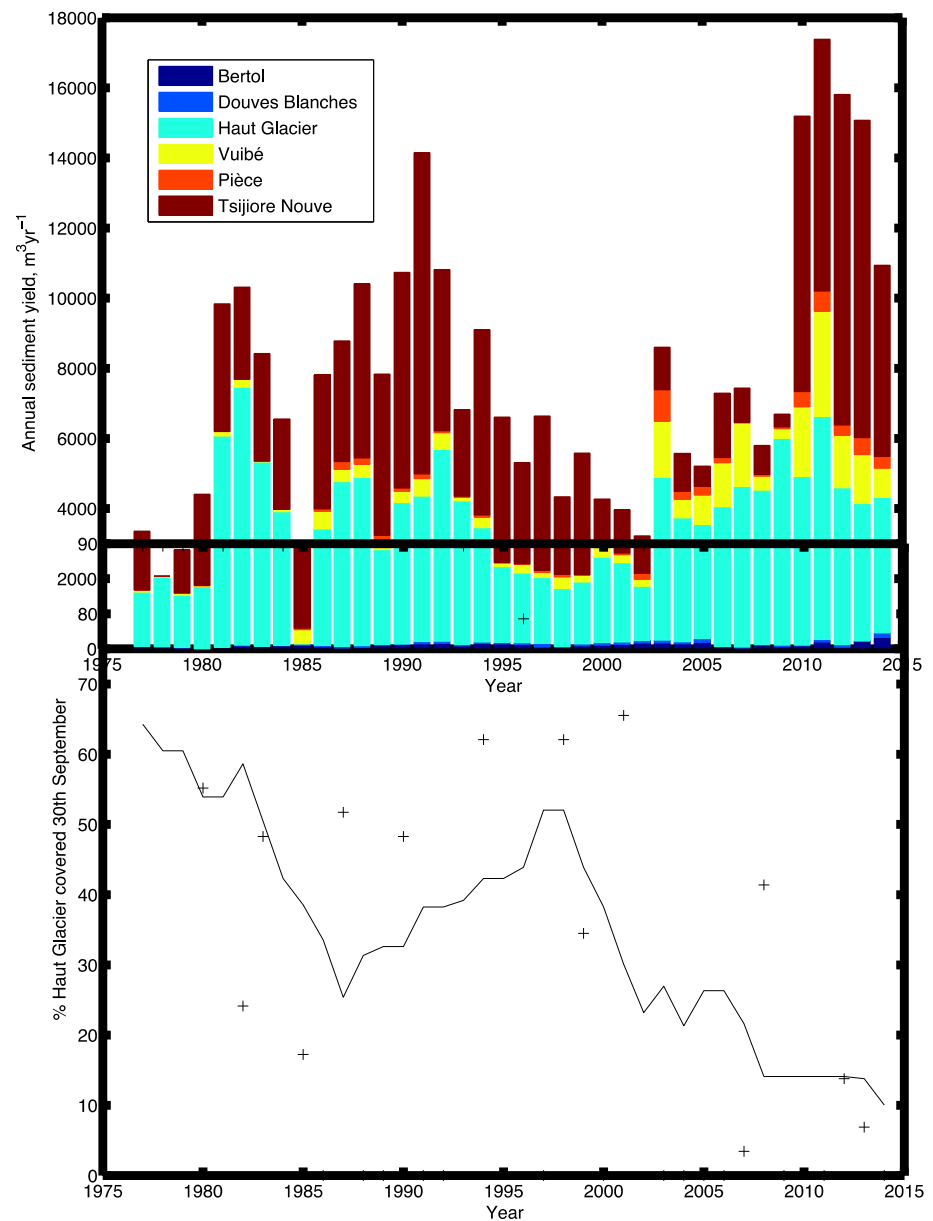






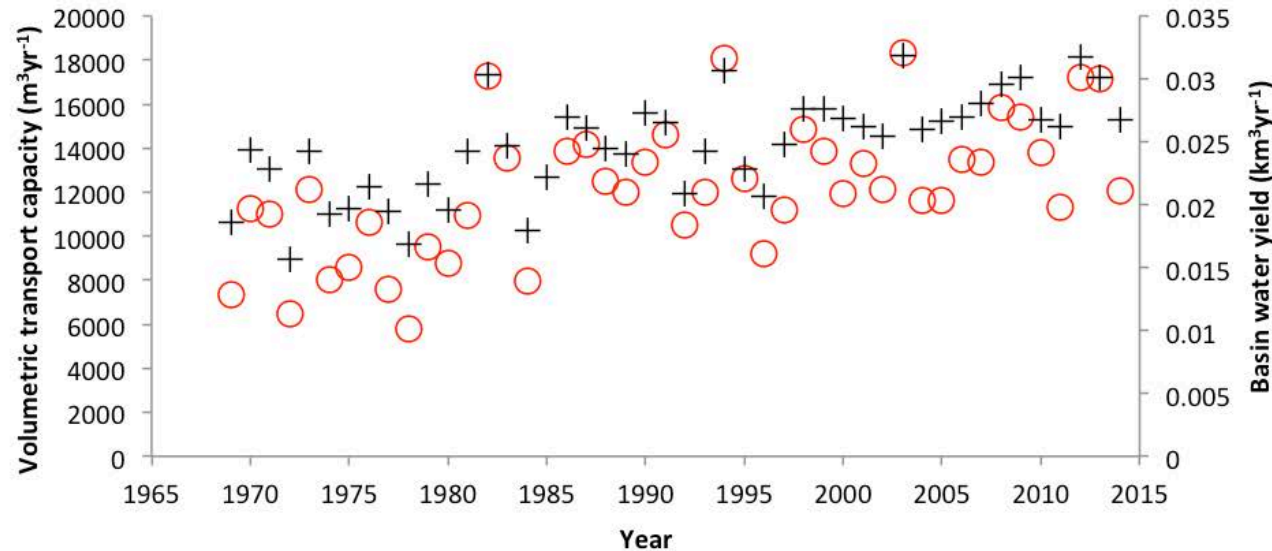


% Couverture neigeuse du  
Haut Glacier d'Arolla à la fin  
septembre



# Pourquoi ?

## 1. Les effets du rendement sur la capacité de transport



**Rendement en eau  
and évacuation  
potentielle -  
Haut Glacier d'Arolla**

○ Volumetric Transport Capacity  
+ Yield

Ferguson et al. (2007) and  
Nitsche et al. (2011)

$$v_{tot} = \frac{6.5(gRS)^{0.5} 2.5 \left( \frac{R}{D_{84}} \right)}{\left[ 6.5^2 + 2.5^2 \left( \frac{R}{D_{84}} \right)^{1.67} \right]^{0.5}}$$

Lane, Bakker, Gabbud,  
Micheletti, and Saugy, 2017.  
*Geomorphology*, 277, 210-27

$$v_0 = 6.5(gRS)^{0.5} \left( \frac{R}{D_{84}} \right)^{0.167} \quad S_0 = S \left( \frac{v_{tot}}{v_0} \right)^{1.5}$$

Sediment transport treatment  
after Rickenmann (2001)

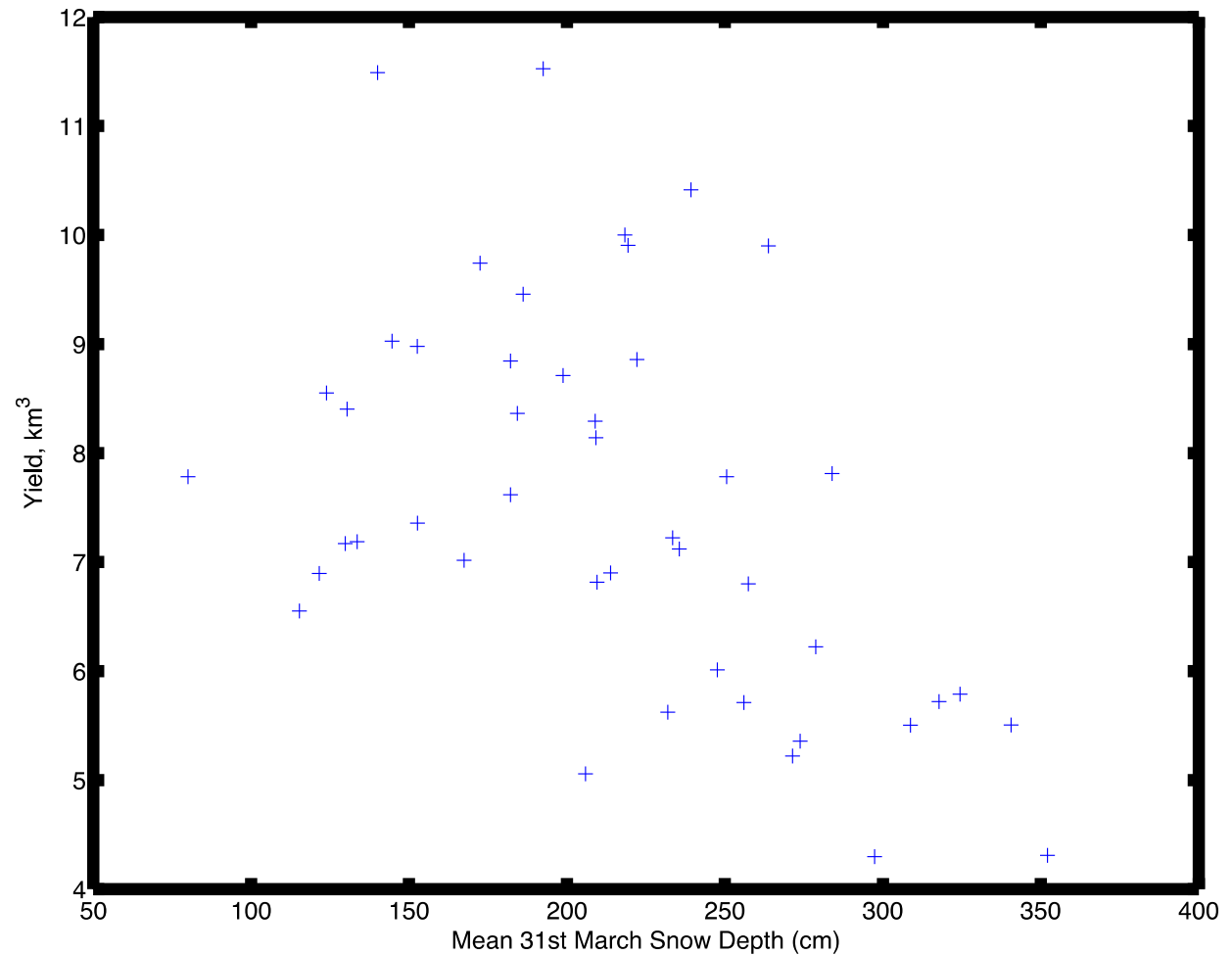
$$q_b = \left( \frac{s}{gD_{50}^3} \right)^{0.5} 2.5 \sqrt{r} (r - r_c) Fr$$

$$\theta_r = \frac{RS_0}{([\rho_s/\rho] - 1) D_{50}} \quad \theta_{rc} = \frac{R_c S_{0c}}{([\rho_s/\rho] - 1) D_{50}}$$

# Pourquoi ?

## 2. Les effets du recul de neige sur la fonte de glace

*moins* de neige,  
*plus* de rendement





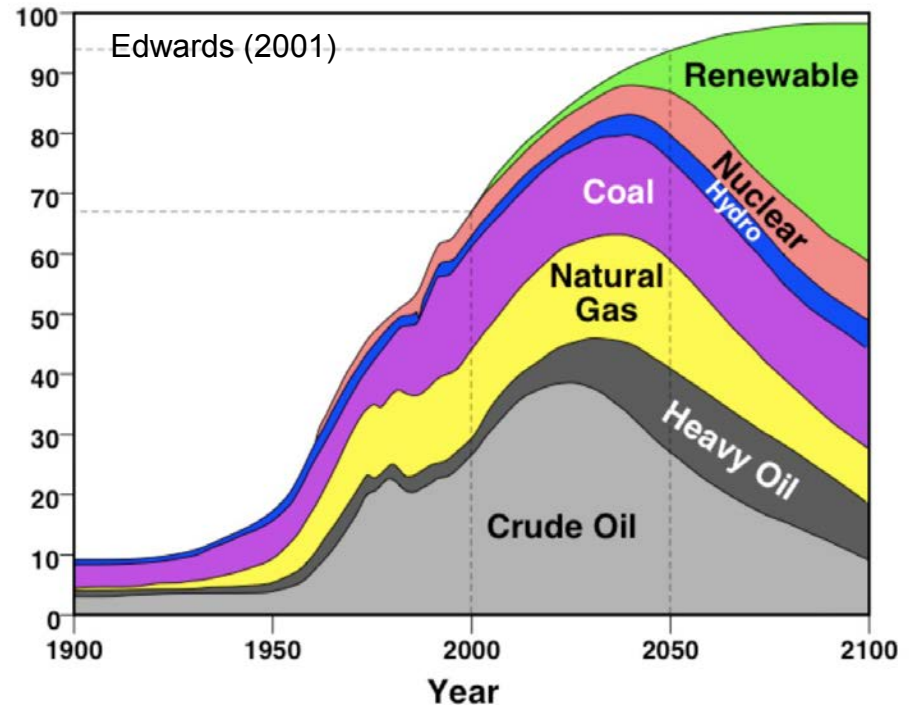
# Le futur ?

## 1. « Peak Water »

« Peak Oil » - d'après M.K. Hubbart (1956)

« Peak Water » - recul des glaciers induit une transition

- depuis l'augmentation du rendement par la fonte de glace;
- à la pénurie du rendement car il y a moins de glace à fondre, et donc une dépendance de plus en plus aux précipitations de l'hiver précédent



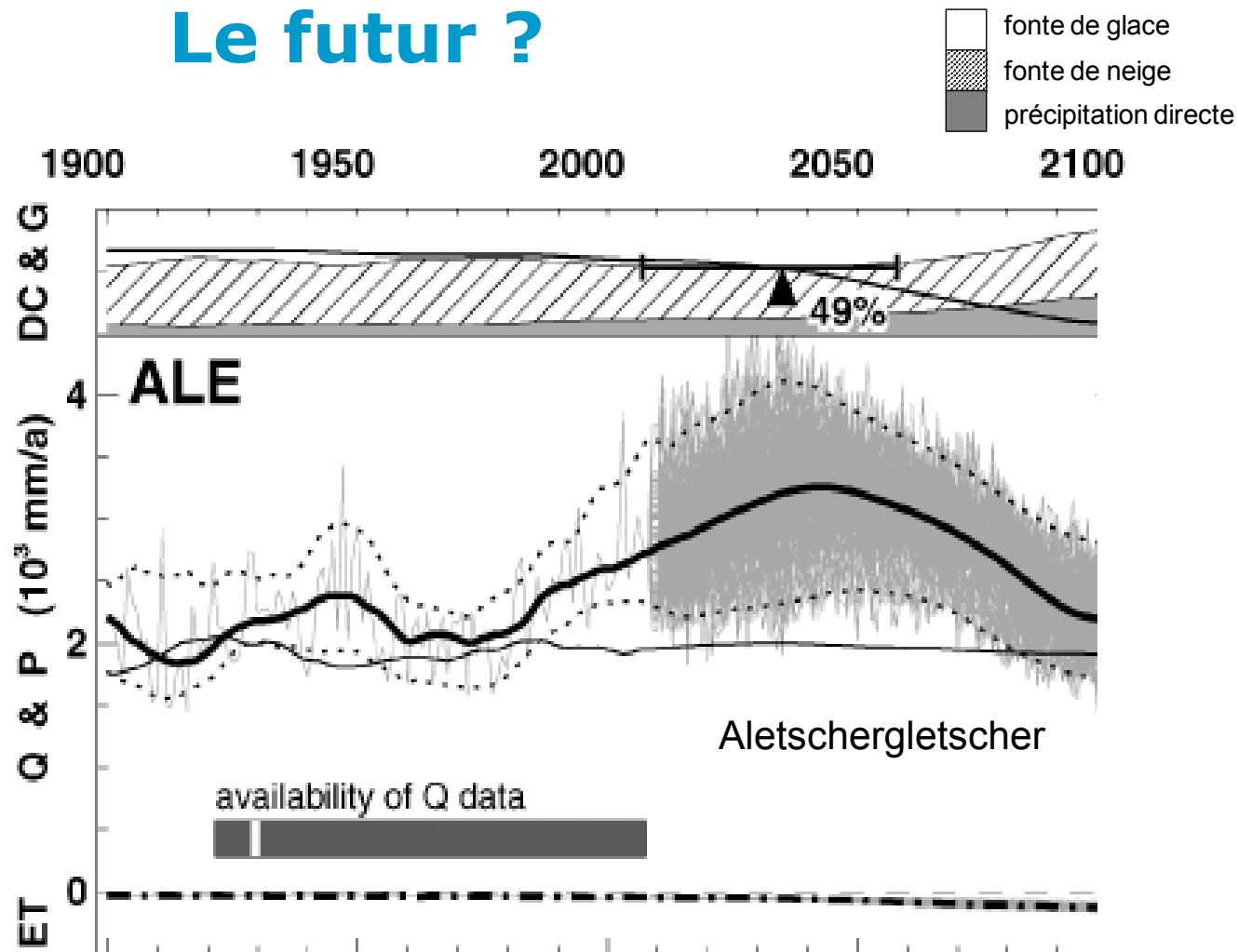
Un enjeu pour l'exploitation hydroélectrique

Edwards, J. D., 2001, Twenty-first-century energy; decline of fossil fuel, increase of renewable nonpolluting energy sources, in Downey, M. W., Threet, J. C., and Morgan, W. A., eds., Petroleum provinces of the twenty-first century: Tulsa, OK, United States, Association of Petroleum Geologists, AAPG Memoir 74, p. 21-34

# Le futur ?

## 1. « Peak Water »

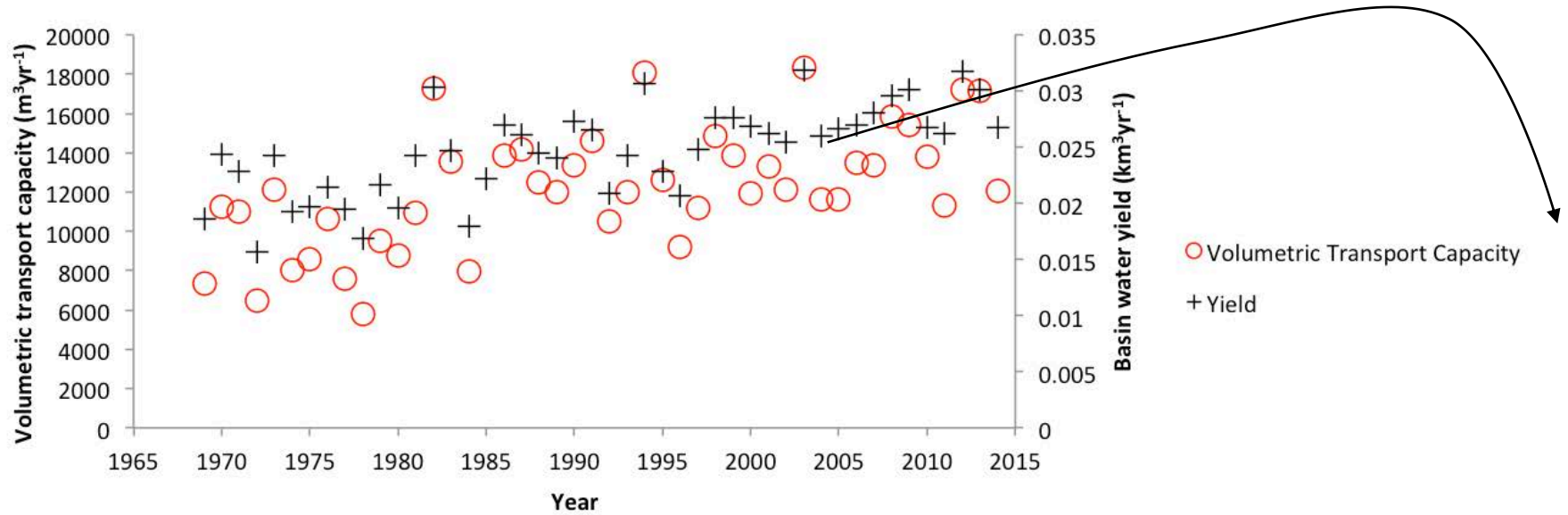
Rendement  
de l'eau  
(mm/a)



Farinotti, D., Usselmann, S., Huss, M., Bauder, A. and Funk, M., 2012. Runoff evolution in the Swiss Alps: projections for selected high-alpine catchments based on ENSEMBLES scenarios. Hydrol. Process., 26: 1909–24

# Le futur ?

## 2. « Peak Sediment ? »





# Les messages clés

1. La fonte du pergélisol et de la glace est responsable d'une augmentation dans le taux d'activité sur les versants depuis les années 1980
  1. le taux est significatif
  2. mais ce n'est pas d'une grand ampleur
2. La connexion sédimentaire reste limitée
  1. à cause de l'héritage glaciaire (par ex. les moraines)
  2. mais aussi à cause des cônes alluviaux à l'interface entre les versants et la plaine alluviale
  3. les événements extrêmes sont importants
3. L'exportation des sédiments des bassins englacés est devenue plus élevée
  1. ce n'est pas lié à une augmentation de l'activité sur les versants
  2. plutôt car l'augmentation dans le rendement de l'eau a augmenté la capacité de transport
  3. l'augmentation du rendement est une conséquence de la diminution de la neige sur les glaciers pendant la saison de fonte