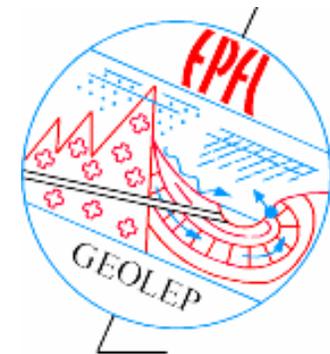




## Routes et changement climatique en montagne : un problème chaud à résoudre la tête froide.

**Aurèle PARRIAUX**

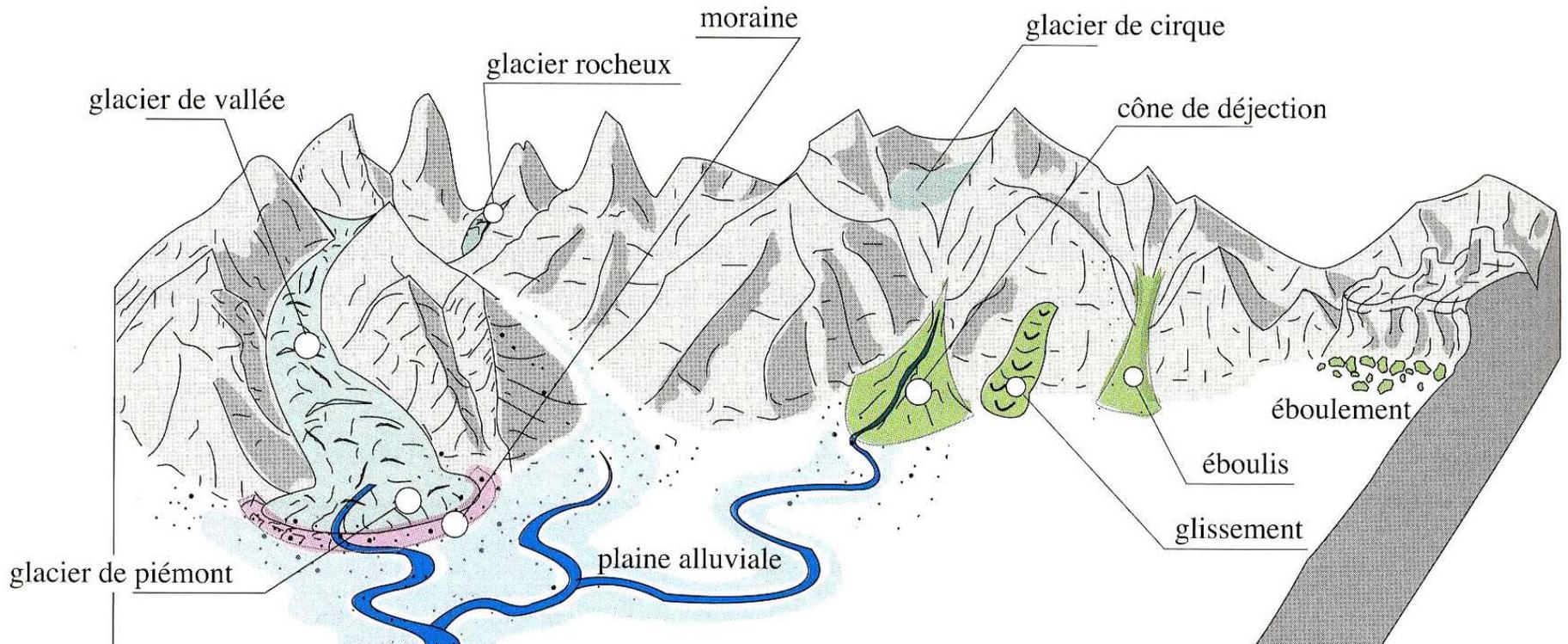
- Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Laboratoire de géologie de l'ingénieur et de l'environnement
- Professeur
- [Aurele.parriaux@epfl.ch](mailto:Aurele.parriaux@epfl.ch)



# Environnement "Montagne"

ENVIRONNEMENT BORÉAL ET POLAIRE

ENVIRONNEMENT DE VERSANT



# Pourquoi traiter spécifiquement les régions de montagne ?

## **Beaucoup de caractéristiques propres :**

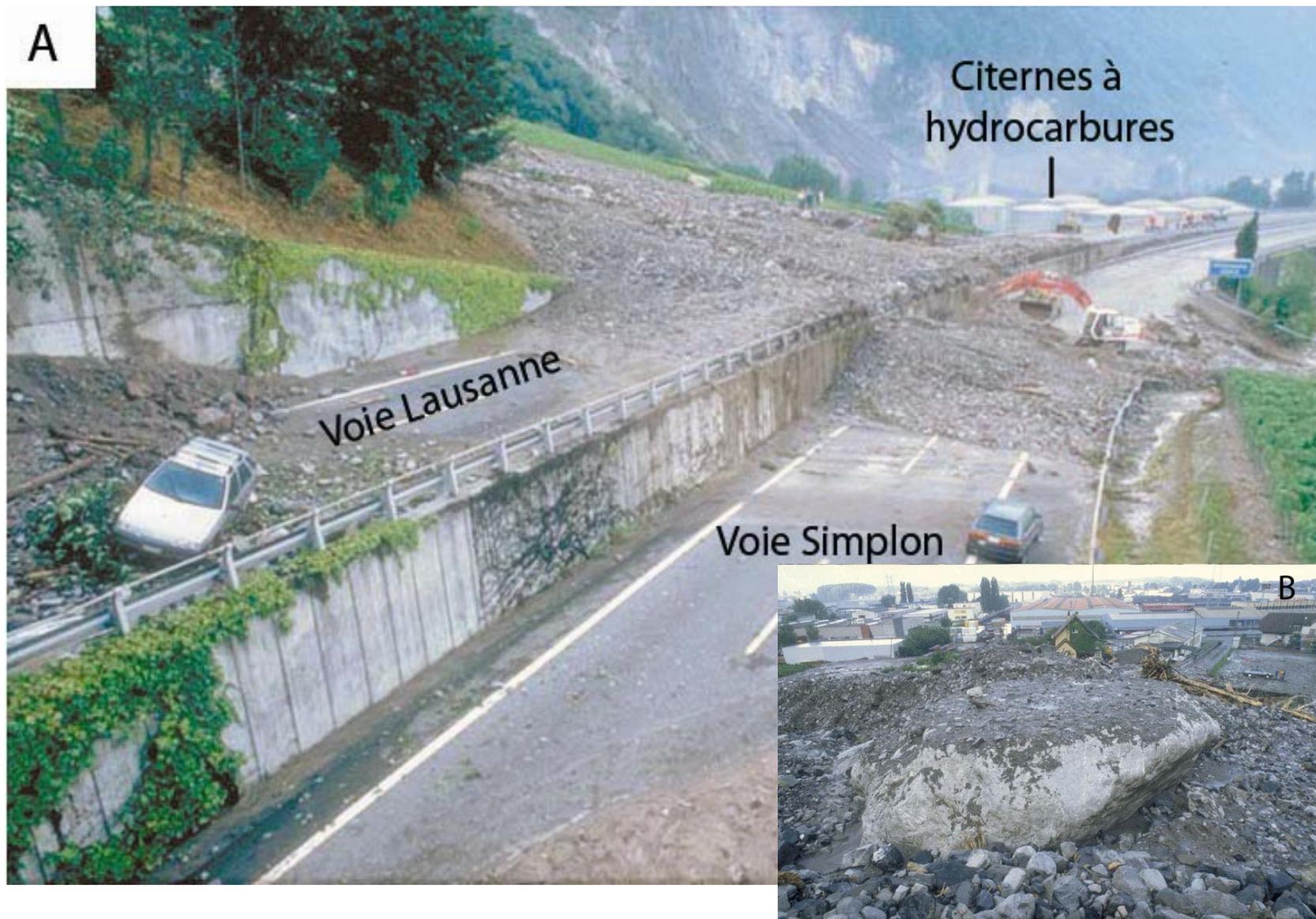
- plus hautes altitudes donc basses températures
- effets topographiques tridimensionnels
- eau liquide et solide
- hétérogénéité de la couverture neigeuse
- microclimats
- géologie complexe
- effet des glaciations du Quaternaire
- érosion active
- pentes en équilibre limite
- activité sismologique importante



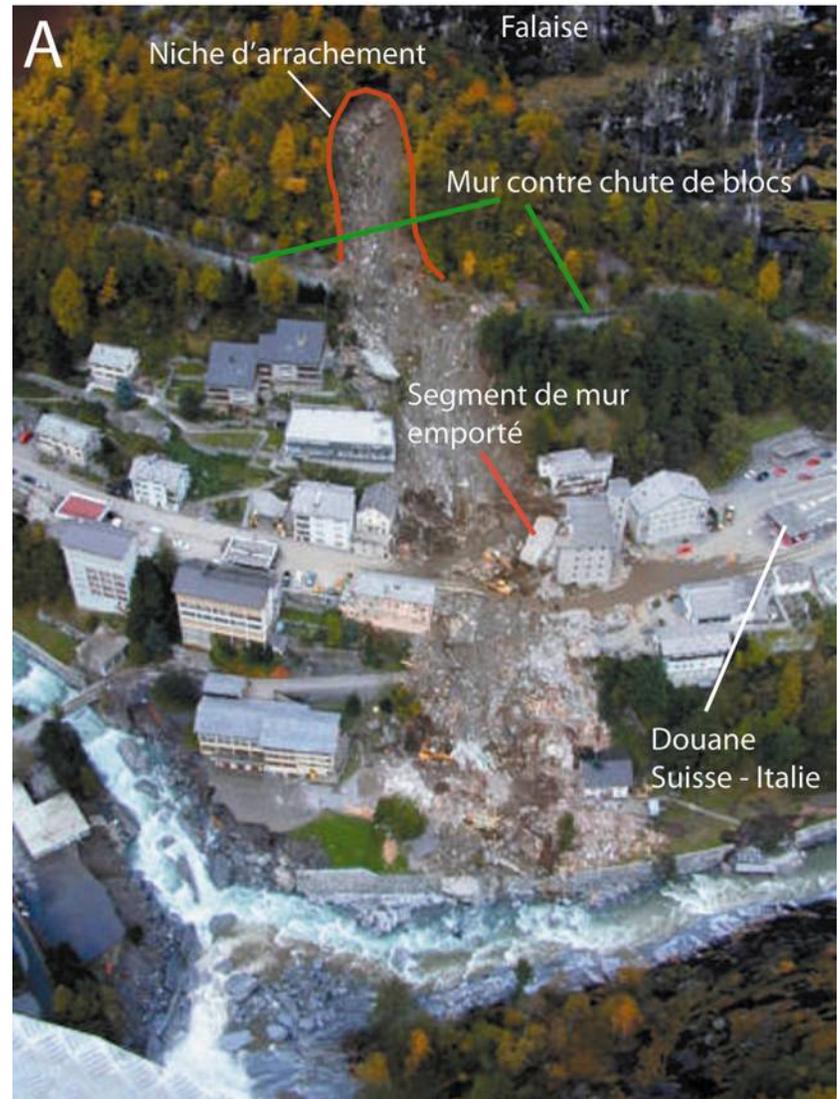
# Routes vulnérables

- stabilité fragile
- maintenance difficile
- faible densité du réseau routier
- trafic touristique
- dangers naturels

# Risque « Laves torrentielles »



# Risque « glissement – coulée »



# Risque "éboulement"

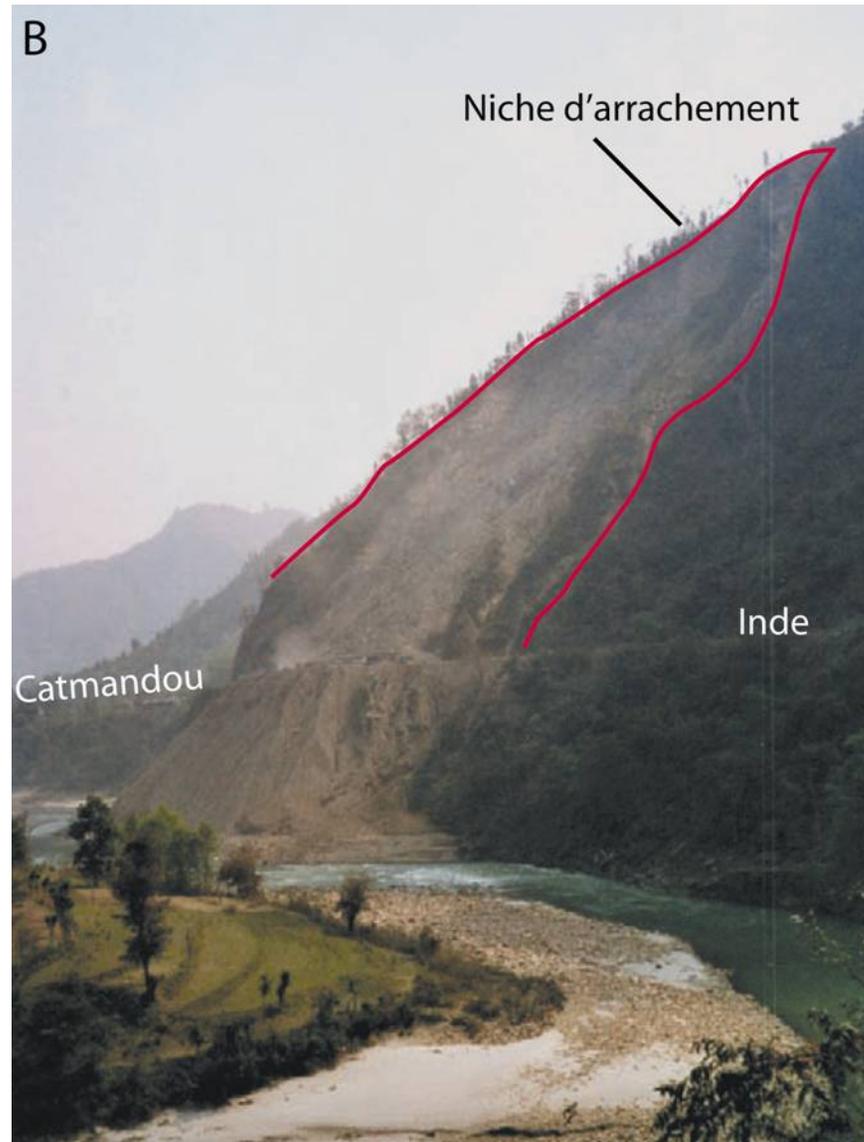


# Des Alpes à l'Himalaya



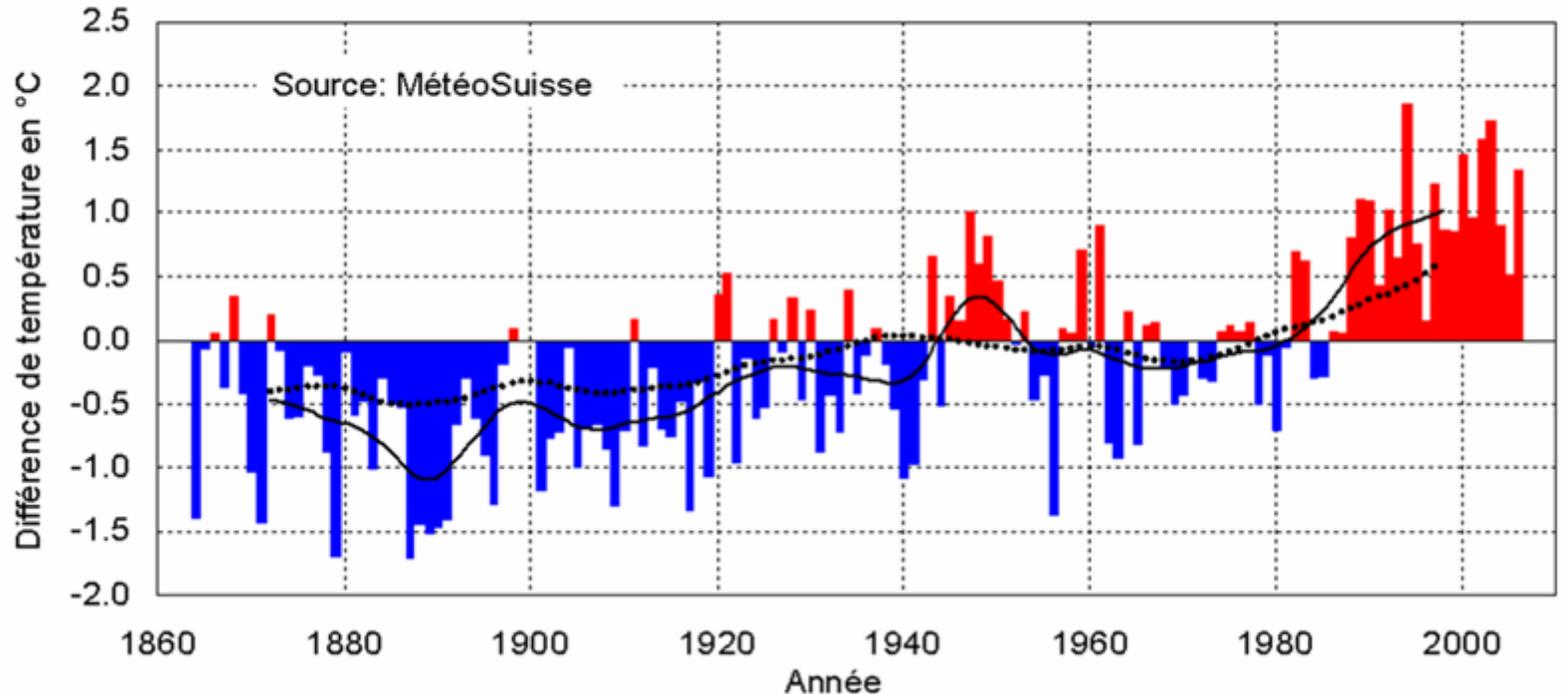
Inde

Népal



# Réchauffement : les faits

Différence annuelle moyenne de la température en Suisse 1864 - 2006  
par rapport à la norme annuelle (1961-1990)

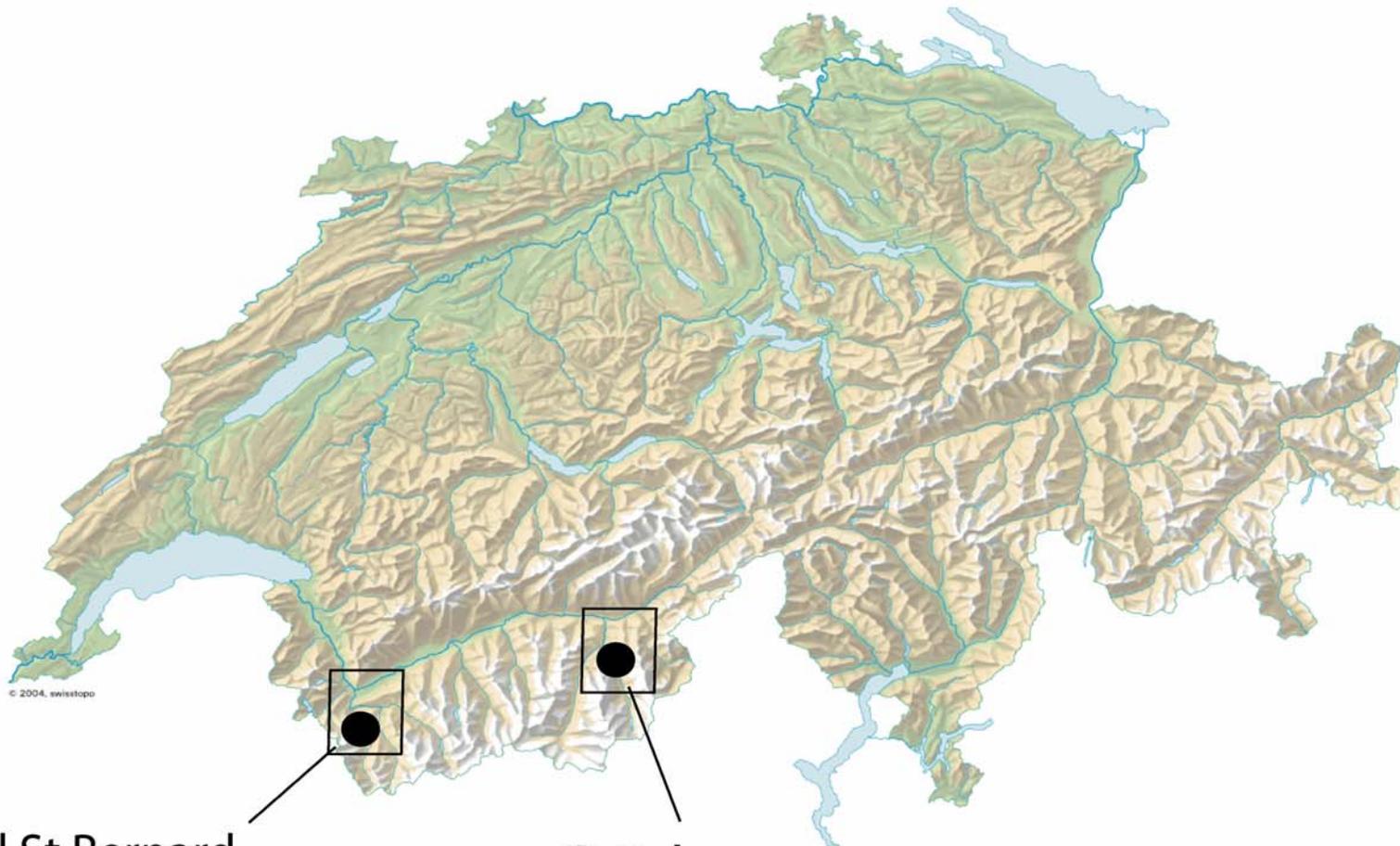


-  Années inférieures à la norme 1961-1990
  -  Années supérieures à la norme 1961-1990
  -  Moyenne pondérée sur 20 ans (filtre passe-bas Gauss)
  -  Moyenne pondérée sur 20 ans de la température de surface de l'hémisphère nord
- Année 2006: +1.35 °C (rang 5)
- Source: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/crutem3nh.txt>

# Des faits ... aux effets

= > Passage à l'échelle locale

= > Recherche expérimentale sur le terrain

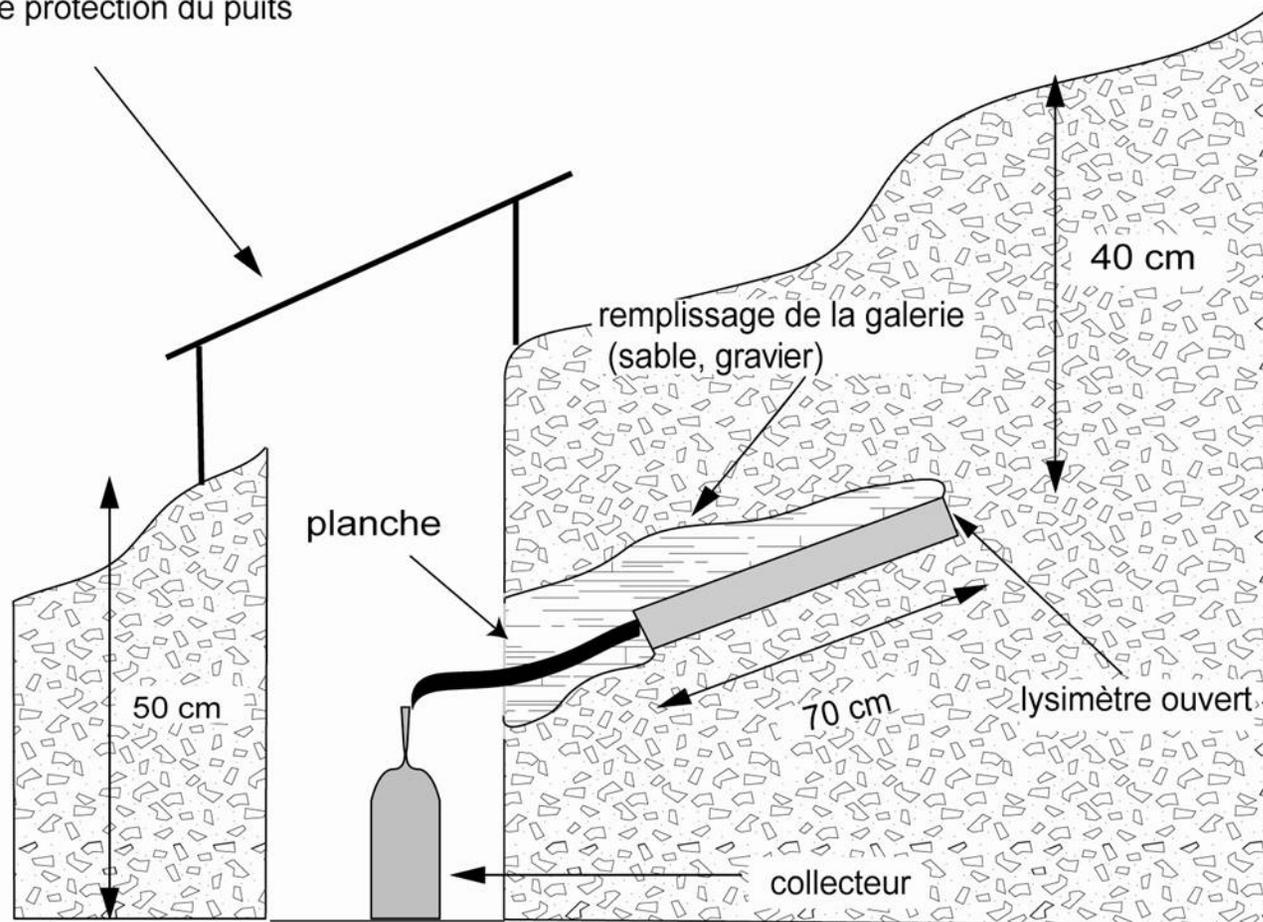


Grand St Bernard

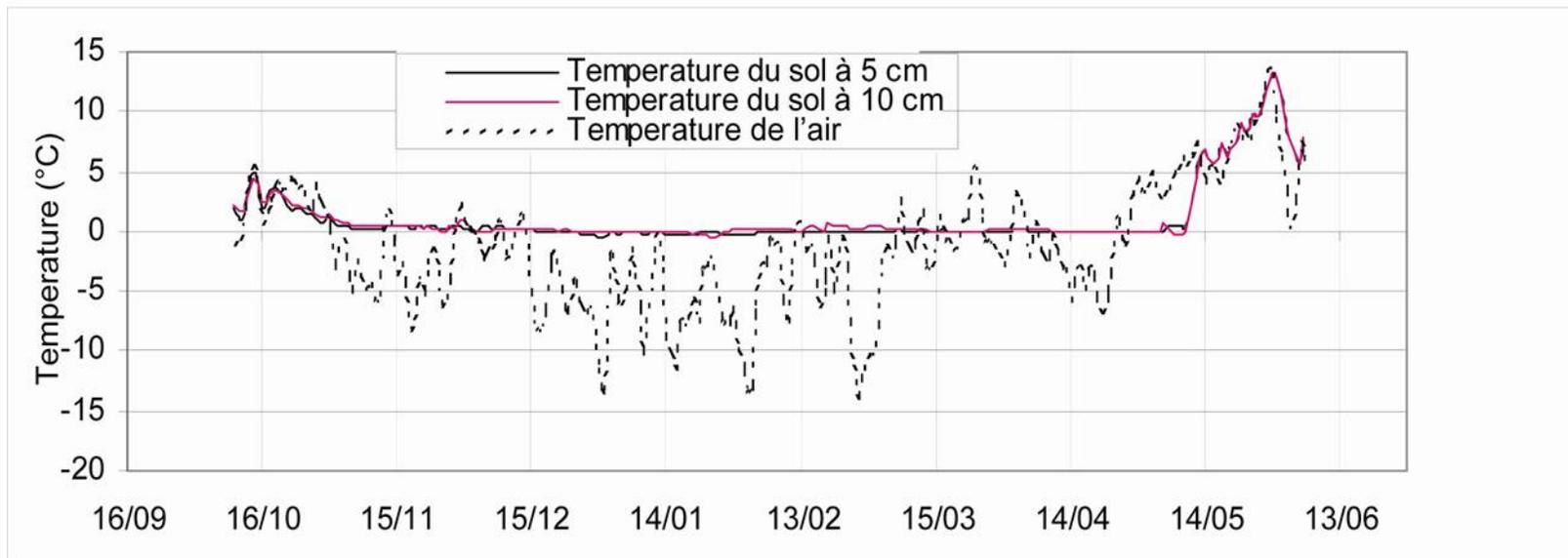
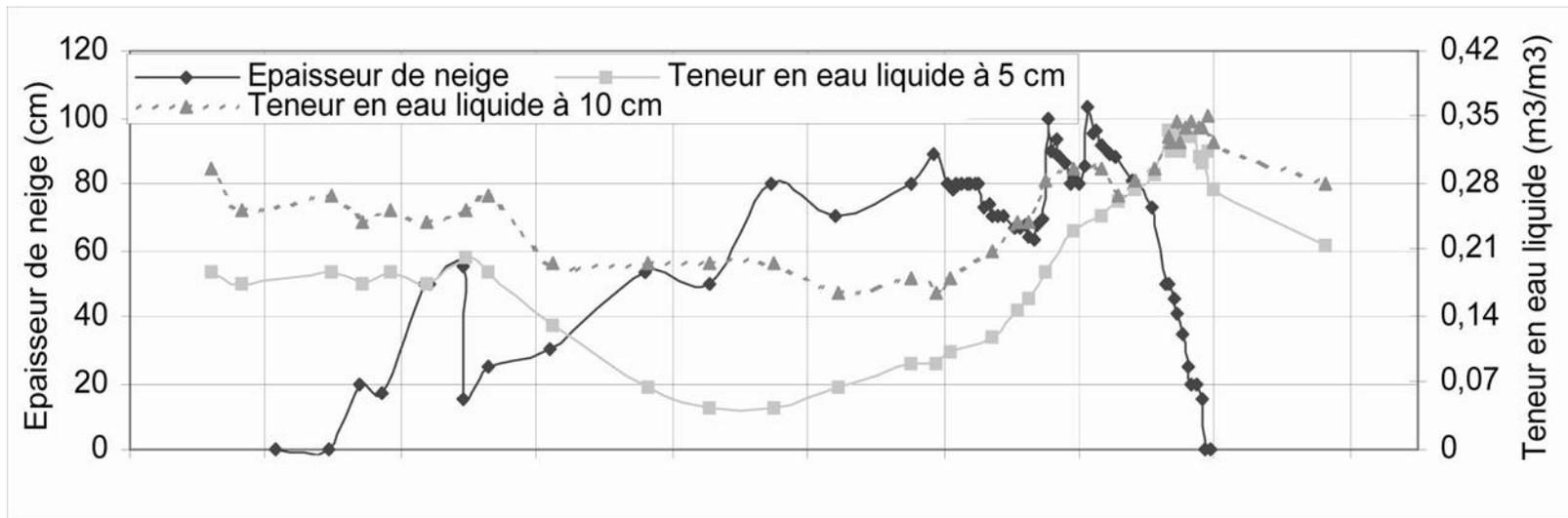
Grächen

# Bilan hydrologique en conditions hivernales

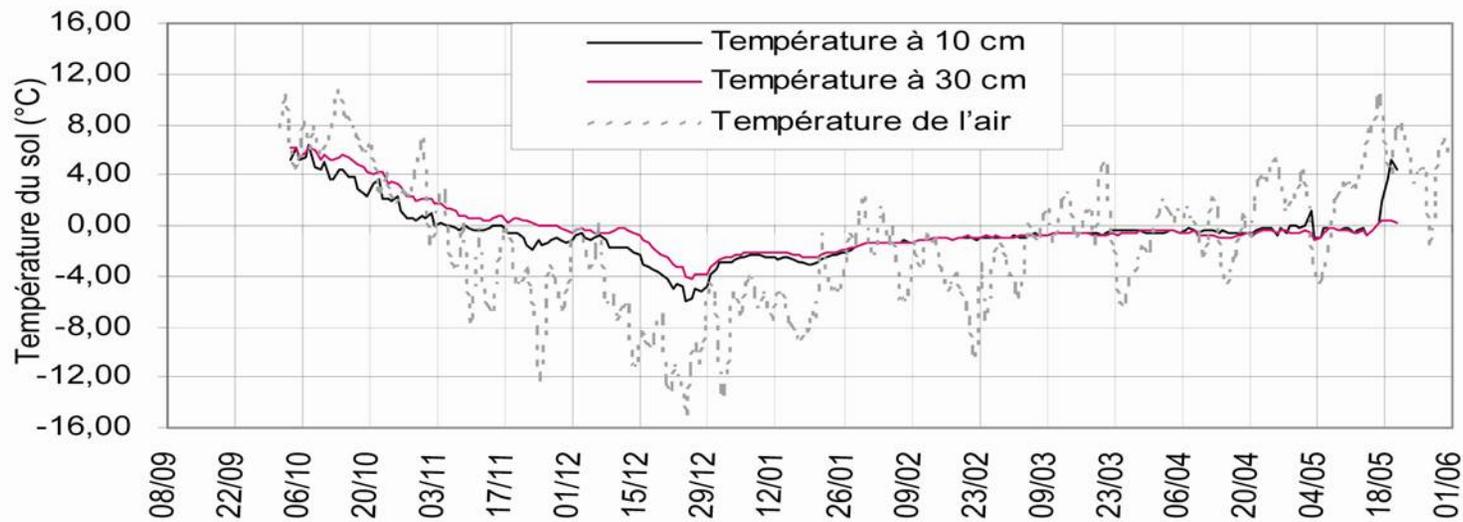
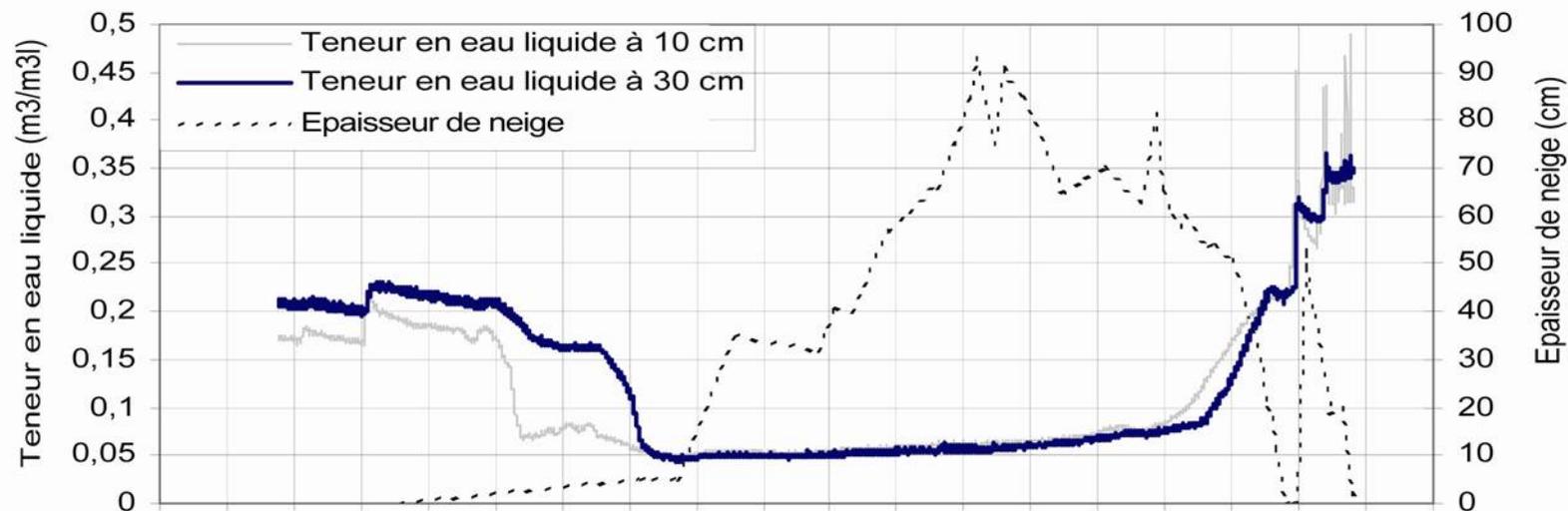
Toit de protection du puits



# Hiver avec neige => pas de gel



# Hiver sans neige => gel du sol

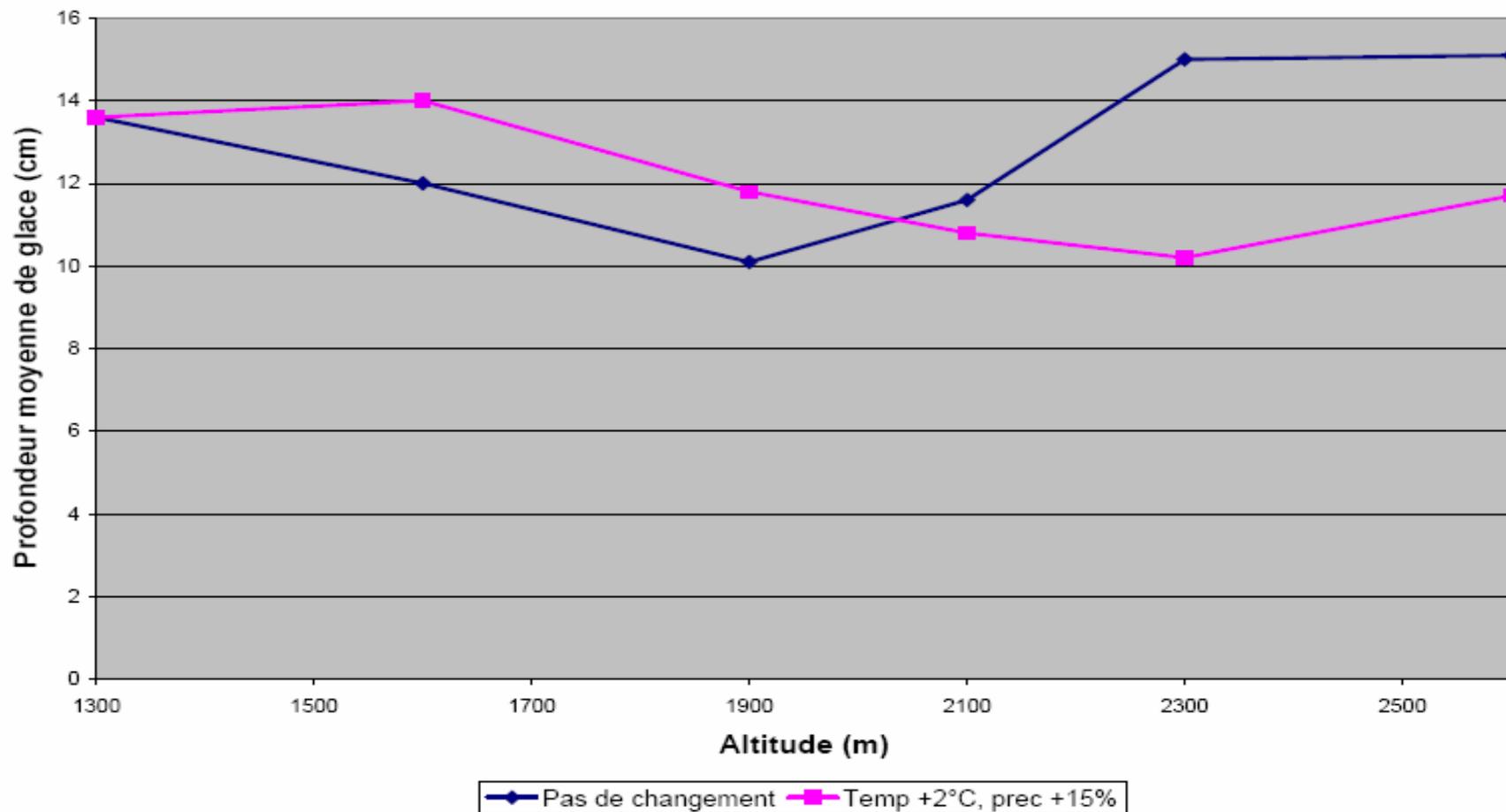


# Simulation des effets de scénarios climatiques

## Epaisseur de gel = f(altitude)

Bleu : climat actuel

Rose : T+2°C      P+15%



# A propos du pergélisol



# Les limites de l'intuition

**Systeme temperature – neige – gel  
très subtil**

**Relation infiltration – stabilité tout aussi  
subtile**

**Facteurs antagoniques (par ex.  
liquéfaction - forêt)**

**Les scientifiques ont encore de la peine  
à dégager des tendances claires et  
incontestables**

**Il faut se méfier des conclusions intuitives  
souvent trop simplistes.**



# La panoplie des dangers qui menacent la route

**Avalanches**

**Eboulements**

**Glissements de terrain**

**Coulées**

**Erosion des talwegs**

**Laves torrentielles**

**Inondations**

## Modification du régime des cours d'eau

### **Basse altitude : Bassins à régime nivo-pluvial**

=> régime plus nettement pluvial.

- hiver : écoulement plus soutenu
- printemps : crue plus modeste
- étiages d'été plus sévères

=> Effet sur l'érosion plutôt positif

### **Haute altitude : Bassins à régime nivo-glaciaire**

=> régime nival

- crues d'été avancées au printemps
- conjonction avec la forte pluviosité du printemps

=> Effet négatif sur l'érosion



**Régime moyen des cours d'eau  
insuffisant pour évaluer l'effet sur  
l'érosion.**

**Ajouter les événements  
pluviométriques extrêmes**

**= > incidence déterminante sur  
l'érosion des berges**

**= > déstabilisation des versants**

## ... la goutte qui fait déborder le vase

Déstabilisation par l'érosion en pied de versant augmentée par **d'autres facteurs** :

- teneurs en eau interstitielle des terrains de couverture
- mouvements lents => mouvements plus brutaux par mise en liquéfaction.
- mise en charge des fissures.

**Globalement : péjoration de la stabilité**

# Le changement climatique apporte-t-il des phénomènes nouveaux ?

**Pas du tout !**

**Phénomènes géologiques et hydrologiques = agents ordinaires de l'érosion des chaînes de montagne**

**Ce qui est nouveau:**

- ils se produisent où ils étaient inconnus
- relation intensité – fréquence modifiée.

# Et l'ingénieur dans tout ça ?

**Ingénieur ≠ spécialiste en changement climatique**

**il écoute, il lit ...**

**=> expectative, déstabilisation**

**- certains messages sont alarmistes =>  
« que doit-on faire tout de suite ? »**

**- certains messages sont discordants =>  
« comment gérer l'incertitude ? »**

**Phase salutaire car elle remet l'ingénieur et ses habitudes en question.**



Phase de transition  
dans la relation  
Homme – Nature

**Lutter contre ...**

**= > = > = >**

**Apprendre à  
vivre avec ...**

## Une adaptation aussi du métier d'ingénieur

**Pour reprendre pied, plusieurs conditions:**

- pas de panique, garder la « **tête froide** »
- augmenter sa **modestie intellectuelle** (« je dois concevoir des systèmes où je ne comprends pas tout »)
- s'intéresser aux **phénomènes géodynamiques** qui menacent ses œuvres
- ne pas remettre en cause toute son expérience mais savoir les adapter à de **nouvelles conditions aux limites**

# Quelques recommandations pratiques ...

## Phase de conception de la route

- considérer la route dans un contexte tridimensionnel
- procéder à des reconnaissances plus étendues sur les risques géologiques et hydrologiques
- mettre l'accent sur les risques en cascade (par exemple glissements – coulées)
- faire preuve de plus de prudence dans le choix du tracé pour l'adapter au contexte
- augmenter les facteurs de sécurité des ouvrages en testant leur stabilité dans plusieurs scénarios possibles
- développer l'adaptabilité des ouvrages

## Mais encore ...

### Maintenance

**Question : Le scénario prévu se vérifie-t-il ?**

Pour y répondre :

- réseau d'observation local (météorologique, hydrologique et géologique)

- déterminer des tendances d'évolution effective

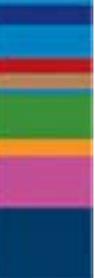
- renforcer la sécurité des ouvrages et de leur environnement (gestion dynamique)

Quoi qu'il en soit :

**contrôle des ouvrages de drainage.**

## Conclusions

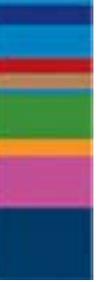
1. un know-how à partager la « tête froide »
2. route => système 3D complexe à évolution géodynamique incertaine
3. enjeu sociétal pour l'ingénieur



## Pour en savoir plus...

Rapport du comité  
technique AIPCR 4.5 sur  
les changements  
climatiques.

Catherine Drouault  
Site web AIPCR



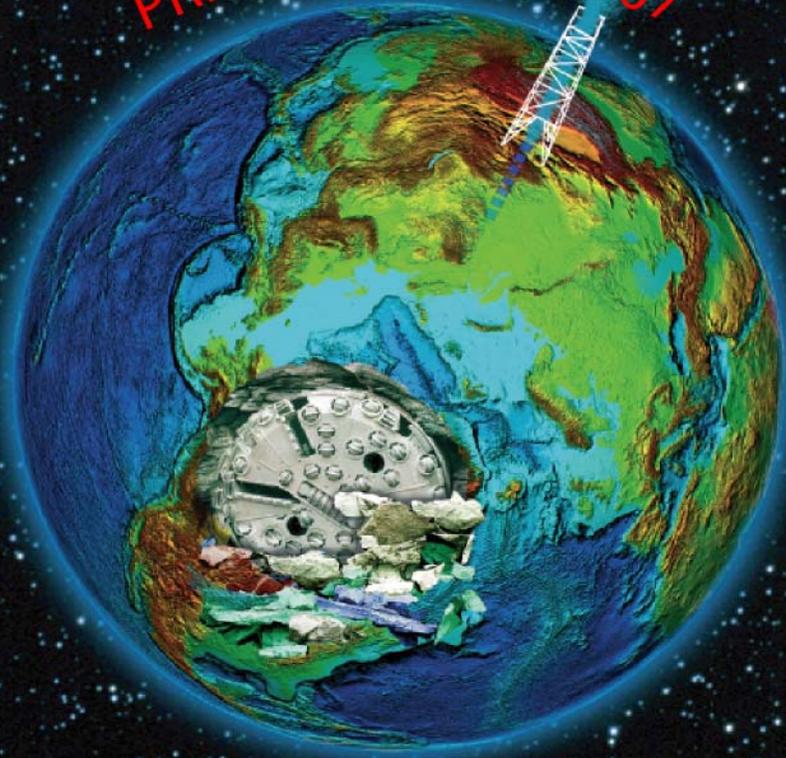
Et quelques bases  
géologiques pour  
l'ingénieur  
Adresse :  
[geolepwww.epfl.ch](http://geolepwww.epfl.ch)

# GÉOLOGIE

## BASES POUR L'INGÉNIEUR

Aurèle Parriaux

PRIX ROBERVAL 2007



PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES