

# AIPCR – Congrès de Mexico 2011



Comité D4

## **Thème 3 : Vulnérabilité des infrastructures géotechniques au changement climatique et mesures d'adaptation selon le contexte géographique**

Aurèle Jean Parriaux, Prof. à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, géologue et hydrogéologue conseil.

# Activité du comité durant la période précédente



**ANTICIPER LES EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES  
SUR LES OUVRAGES GÉOTECHNIQUES ROUTIERS**

**ANTICIPATING THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE  
ON ROAD EARTHWORKS**

Comité technique AIPCR C4.5 Terrassements, drainage et couches de forme  
PIARC Technical Committee C4.5 Earthworks



# Article dans Routes-Roads

## ROUTES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE EN MONTAGNE : UN PROBLÈME CHAUD À RÉSOUDRE LA TÊTE FROIDE

Par Aurèle PARRIAUX, Laboratoire de géologie de l'ingénieur et de l'environnement, École polytechnique fédérale de Lausanne, (Suisse), membre du C.T. AIPCR 4.5 'Terrassements, drainage et couche de forme' (2004-2007)

Illustrations © EPFL

*Extrait de la communication présentée lors du Congrès mondial de la Route de septembre 2007 et publiée dans les Actes du Congrès.*

**L**es régions de montagne (le terme est pris ici dans son sens large incluant des territoires à relief marqué, mais pas forcément à haute altitude) sont des systèmes complexes à tout point de vue : climatique, topographique, hydrologique et géologique. La route s'y est implantée dans des conditions précaires, car exposée à des risques nombreux et divers. Les équilibres route – dangers naturels qui ont été trouvés, souvent difficilement, doivent être revus en fonction des nouvelles conditions aux limites qui sont en train de s'installer à cause du changement climatique.

résoudre la grande majorité des problèmes, par des adaptations, pas nécessairement urgentes ni très coûteuses. Mais il faut pour cela qu'ils adoptent une démarche raisonnable consistant à « penser changement climatique » dans tout projet routier dès sa conception, que ce soit un tronçon nouveau ou une opération d'entretien. Il s'agit d'évaluer quelles modifications concrètes le changement climatique pourrait avoir sur l'utilisation de la route au cours de sa durée de vie.

CONSÉQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	PROBLÈMES ET DÉSORDRES QUI PEUVENT APPARAÎTRE	PROPOSITIONS DE MESURES PRÉVENTIVES
Mise en place de matériaux trop secs lors du chantier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- indisponibilité de l'eau pendant les phases chantiers (traitement des couche de forme)</li> <li>- compactage matériaux trop secs</li> </ul>	Adapter la conception du remblai et le compactage
Assèchement des matériaux mis en remblai	<ul style="list-style-type: none"> <li>- problème de retrait</li> <li>- déformations hétérogènes en cas de remblais sur pentes</li> <li>- problème de raccordements avec les ouvrages d'art</li> <li>- assèchement de surface (effet de peau) qui rendent le sol érodable</li> </ul>	<p>Humidifier les matériaux Obtenir le taux de compactage optimum (pour éviter tout tassement ultérieur)</p> <p>Dans certains cas, nous n'avons pas de réponse</p> <p>Couvrir avec un sol protecteur (matériaux granulaires) ou une couverture végétalisée</p>
Assèchement du sol support	<ul style="list-style-type: none"> <li>- instabilité transversale</li> <li>- création de fissures dans le sol support pouvant remonter jusqu'à la chaussée</li> </ul>	Ne pas prendre en compte la cohésion du sol support dans le calcul de stabilité de l'ouvrage
Abaissement du niveau de la nappe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tassements des sols supports de la route (sols compressibles)</li> </ul>	<p>Avoir des structures souples en chaussée</p> <p>Dans certains cas, nous n'avons pas de réponse.</p>
Disparition de la couverture végétale existante	<ul style="list-style-type: none"> <li>- érosion</li> </ul>	Protection granulaire
Feux de forêts et de broussailles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- écoulement de boue, de blocs et d'eau sur la chaussée (lave torrentielle)</li> </ul>	<p>Reboiser, revégétaliser</p> <p>Prendre des mesures pour limiter les feux ou leur propagation</p> <p>Bio-ingénierie pour stabiliser les pentes</p>

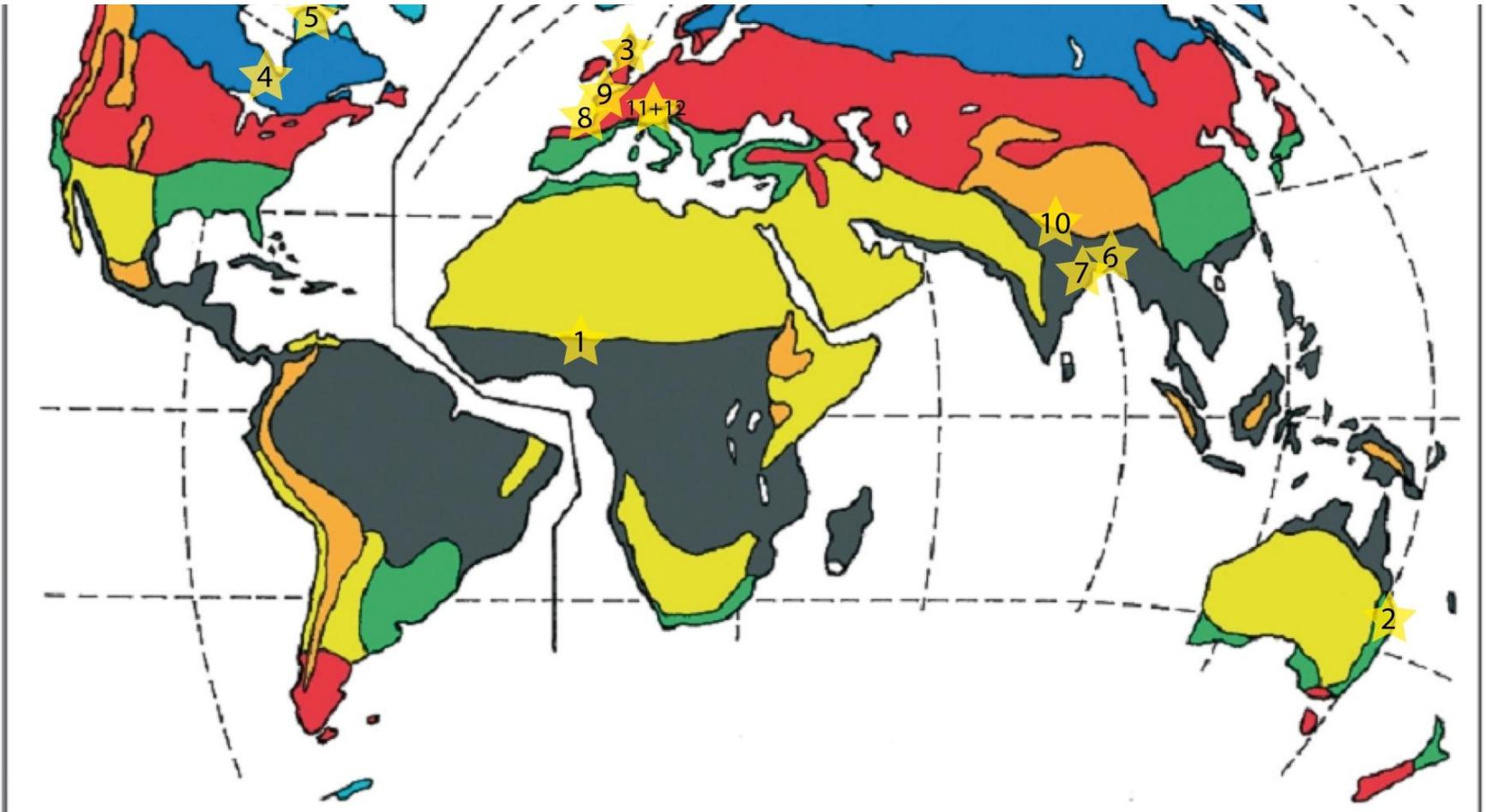
# Objectifs

- En complément au rapport du CT4.5 :
- - dimension géographique et géomorphologique
- => Typologie spatialisée de la vulnérabilité des routes au changement climatique
- => Mesures pratiques à mettre en place selon le contexte

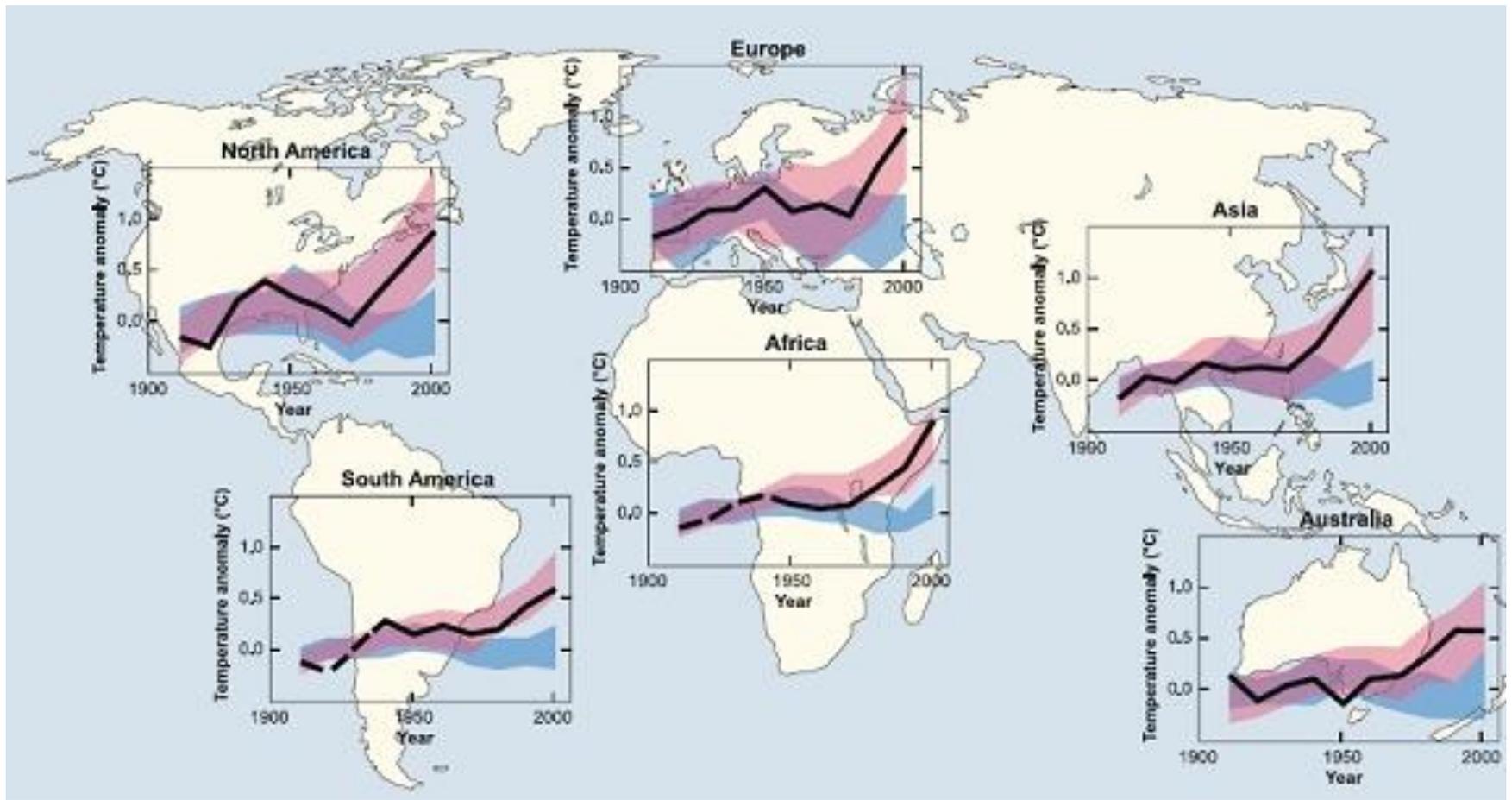
# Structure de l'étude

- 2 approches
  - - *climatique*
  - - *géomorphologique.*
  
- 2 échelles
  - - *Globe*
  - - *Etudes de cas locales*

# Zones climatiques

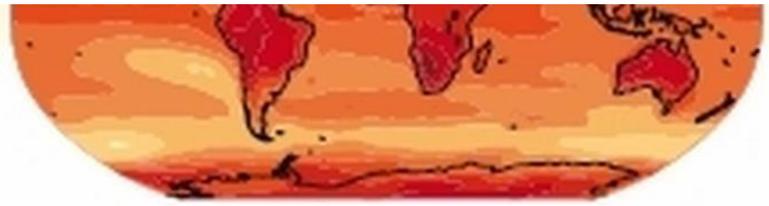


# Evolution constatée de la température

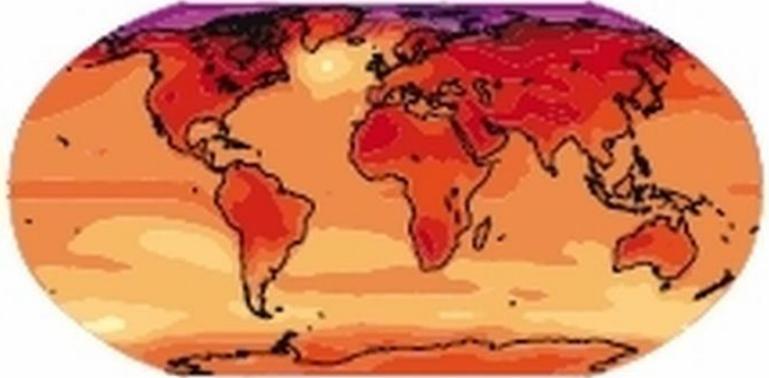
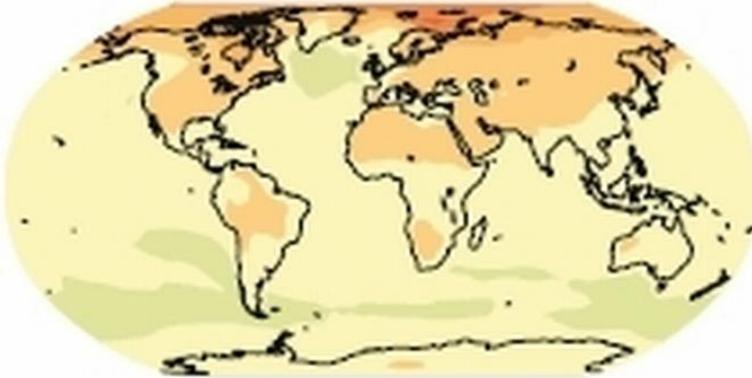


# Différents scénarios de réchauffement

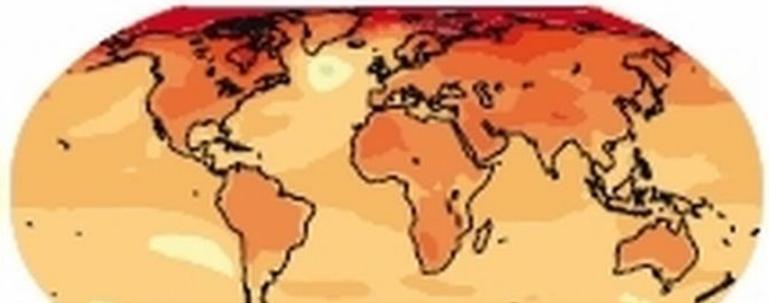
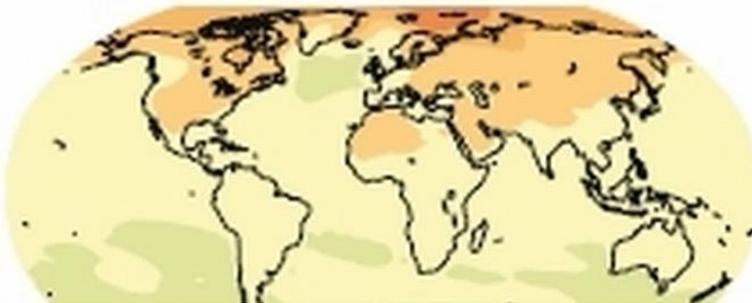
**A2**



**A1B**

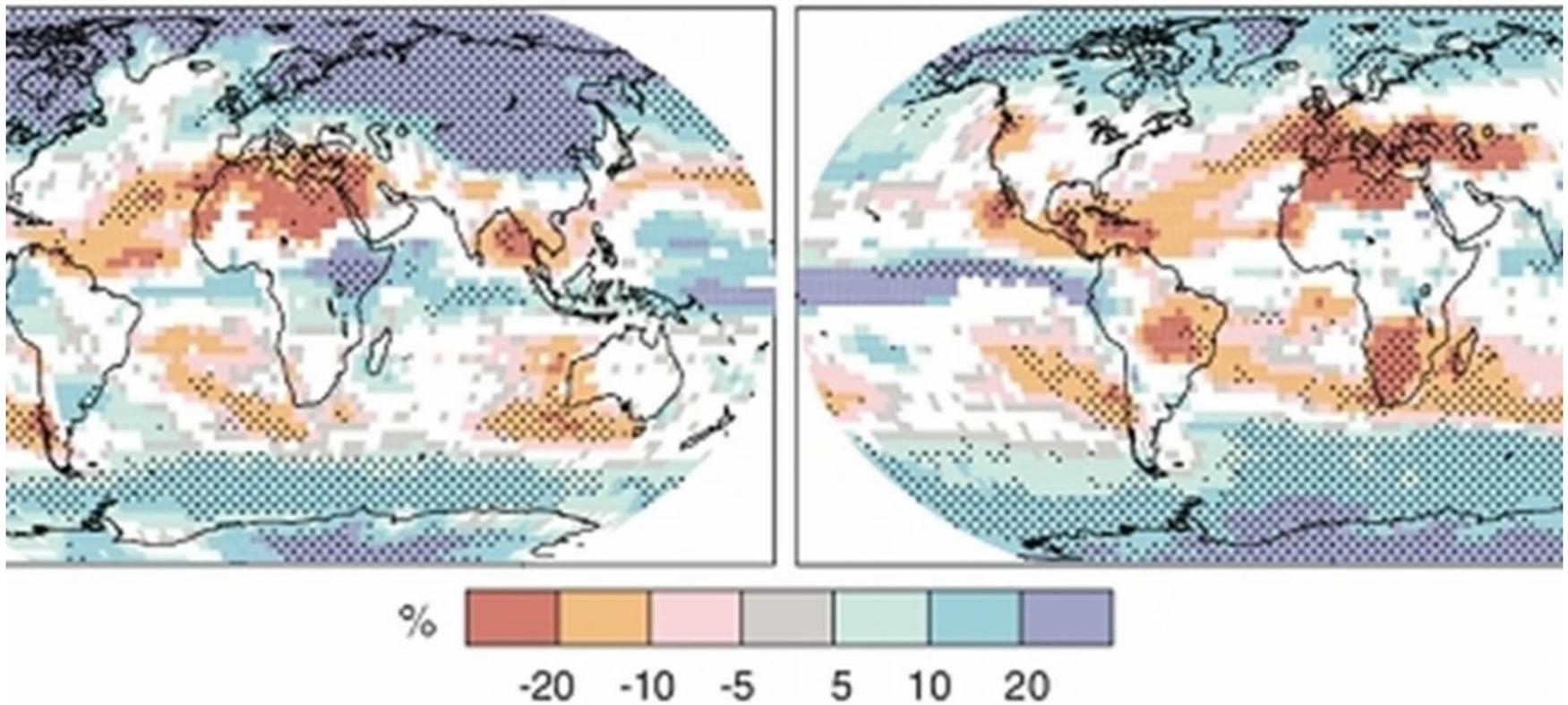


**B1**

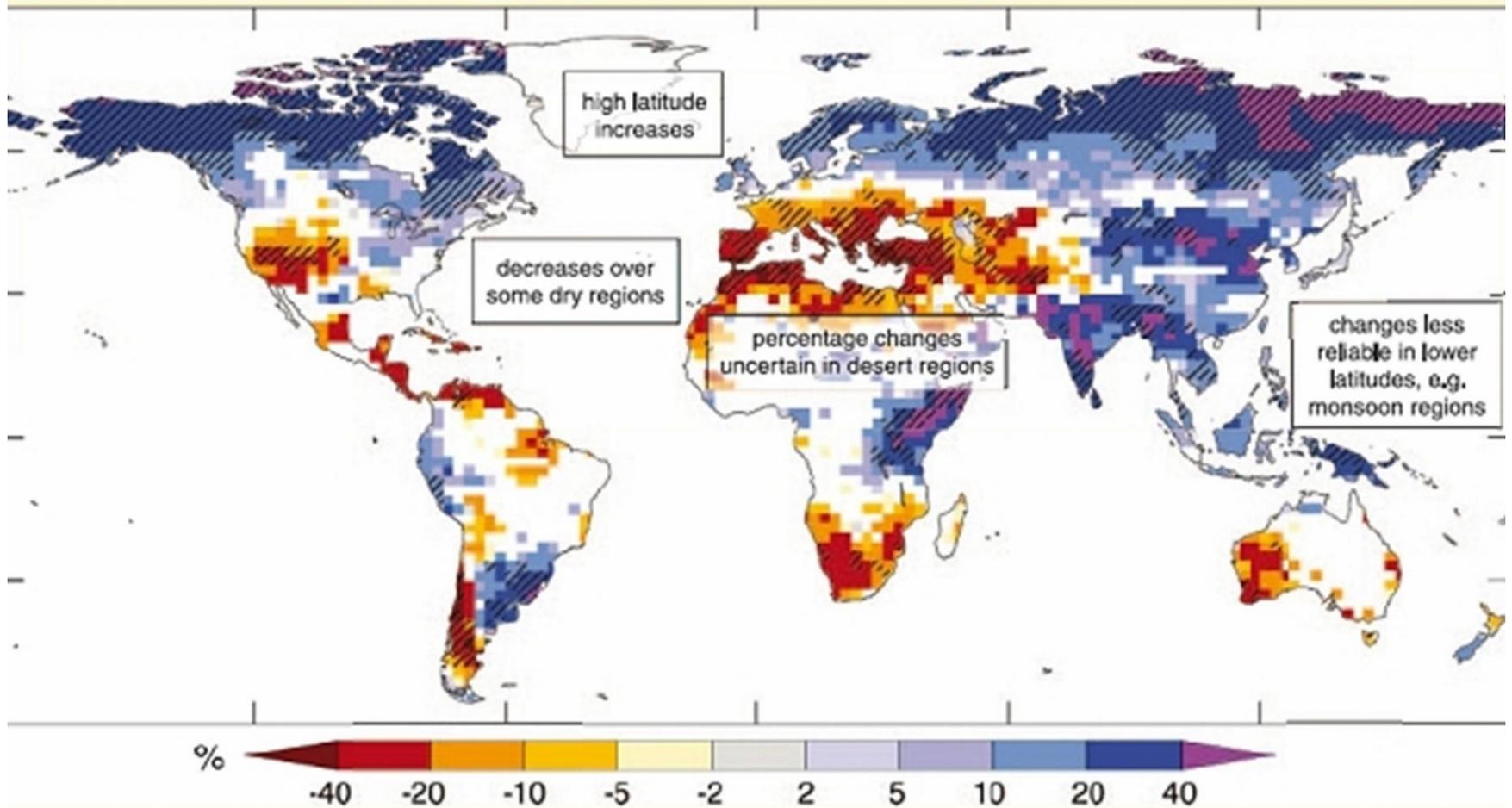


# Changements dans les précipitations

Multi-model projected patterns of precipitation changes



# Evolution de la lame d'eau ruisselée

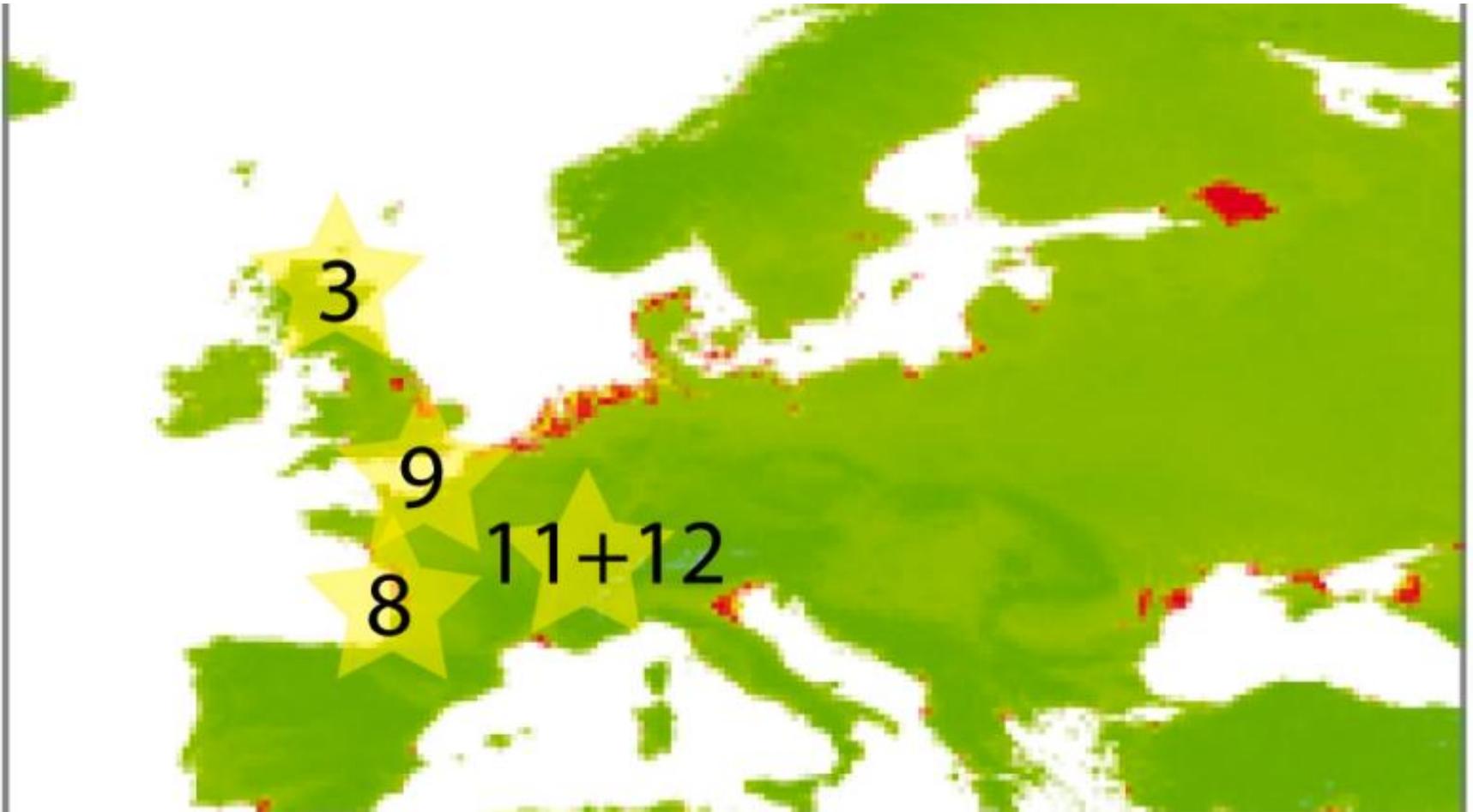


# 5 tendances climatiques retenues

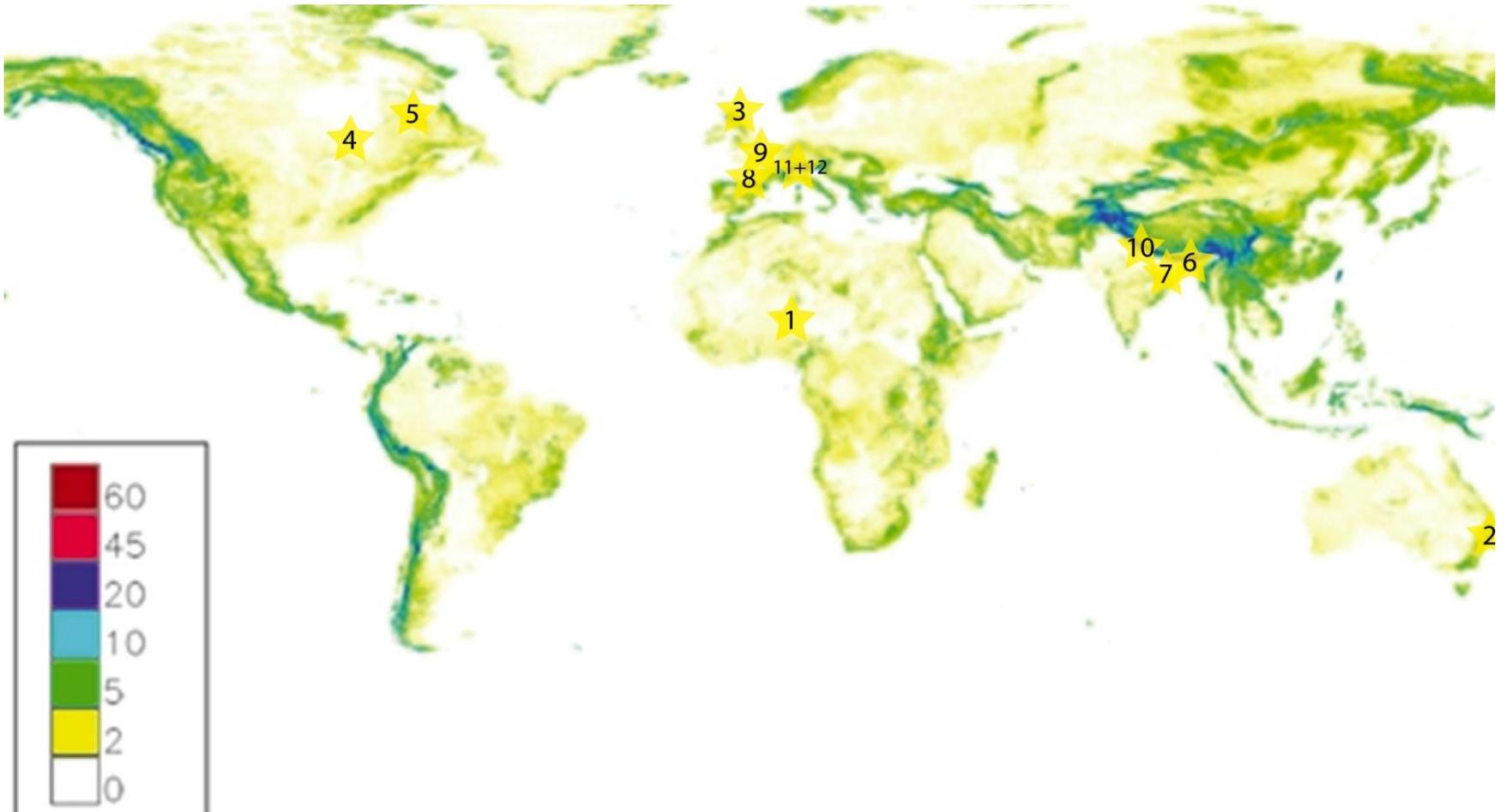
- T1 : tendance à l'augmentation des températures moyennes
- T2 : tendance à la diminution des précipitations moyennes
- T3 : tendance à l'augmentation des précipitations hivernales
- T4 : tendance à l'augmentation de l'intensité des précipitations extrêmes
- T5 : tendance à l'augmentation de l'intensité des tempêtes.

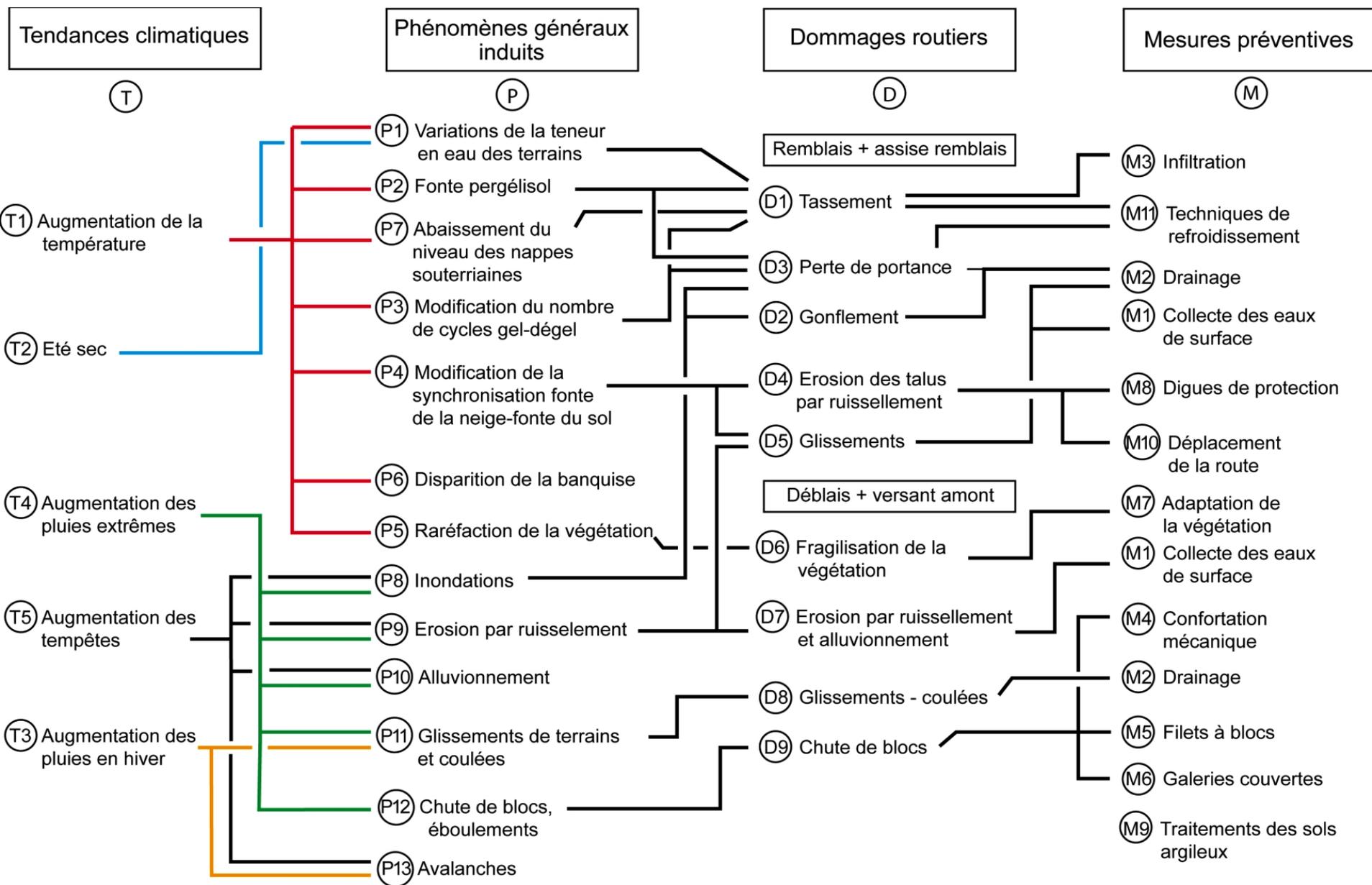
# Altitudes

En rouge, altitudes < 10m



# Carte des pentes





		Tropical humide	Tropical aride	Subtropical	Tempéré	Boréal	Polaire
Basses altitudes	Collines et plateaux	P9 P10 P11	P5 P9 P10 P11	P1 P5 P9 P10 P11	P1 P9 P10 P11	P9 P10 P11	P2 P3 P4 P9 P10 P11
	Plaines alluviales	P8 P9 P10	P5 P7 P8 P9 P10	P1 P5 P7 P8 P9 P10	P1 P7 P8 P9 P10	P8 P9 P10	P2 P3 P8 P9 P10
	Côtes océaniques planes	P8 P10	P5 P8 P10	P5 P8 P10	P8 P10	P8 P10	P2 P3 P6 P8 P10
	Côtes océaniques rocheuses	P9 P10 P12	P5 P9 P10 P12	P5 P9 P10 P12	P9 P10 P12	P9 P10 P12	P2 P3 P4 P6 P9 P10 P12
Montagnes		P9 P10 P11 P12	P5 P9 P10 P11 P12	P1 P5 P9 P10 P11 P12	P1 P2 P3 P4 P9 P10 P11 P12 P13	P2 P3 P4 P9 P10 P11 P12 P13	P2 P3 P4 P9 P10 P11 P12 P13

## Légende

*P1 : Variation de la teneur en eau des terrains*

*P2 : Fonte du pergélisol*

*P3 : Modification du nombre de cycles gel-dégel*

*P4 : Modification de la synchronisation fonte de la neige-fonte du sol*

*P5 : Raréfaction de la végétation*

*P6 : Disparition de la banquise*

*P7 : Abaissement du niveau des nappes souterraines*

*P8 : Inondations*

*P9 : Erosion par ruissellement*

*P10 : Alluvionnement*

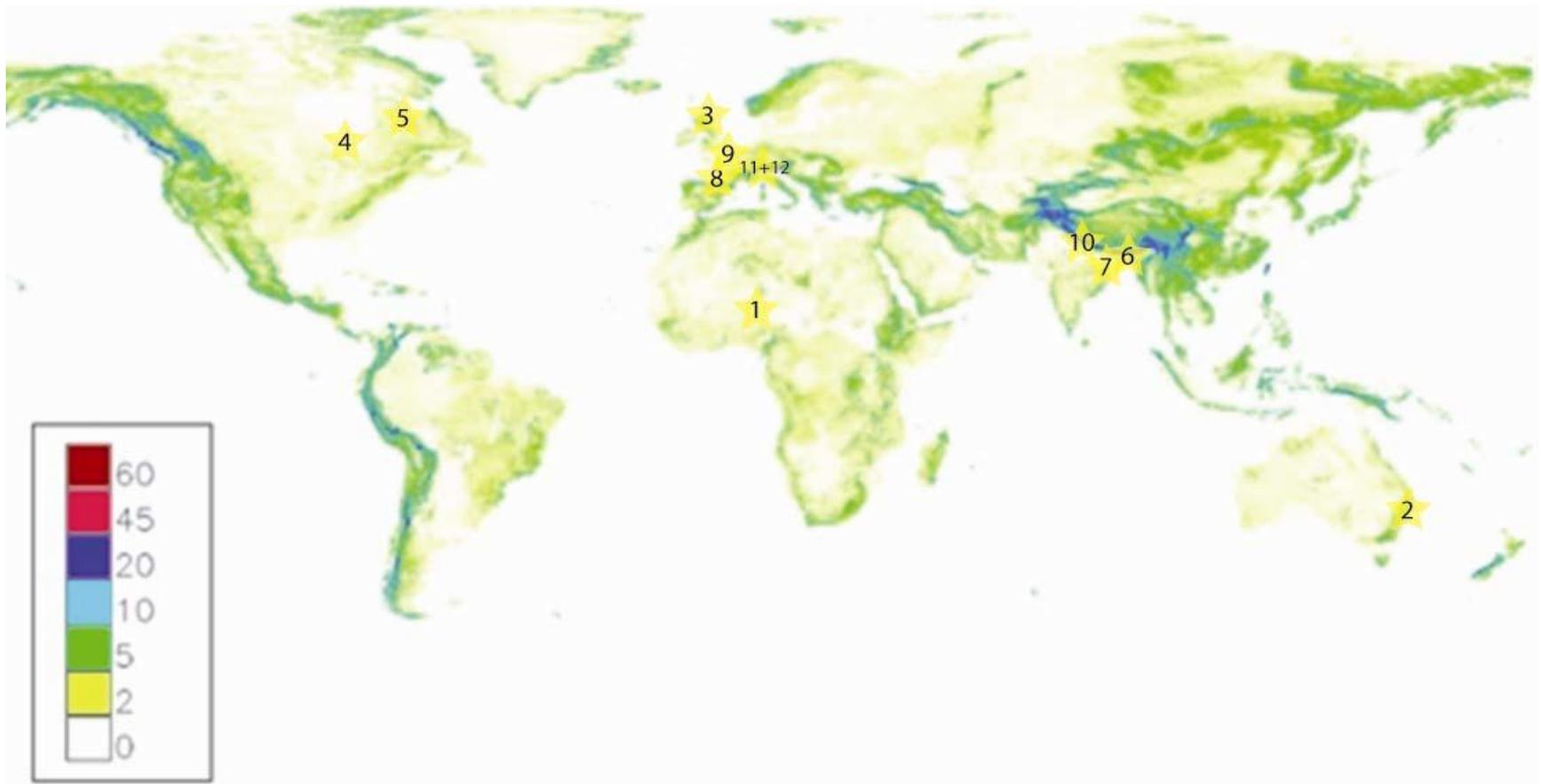
*P11 : Glissements de terrain – coulées*

*P12 : Chute de blocs, éboulements*

*P13 : Avalanches*

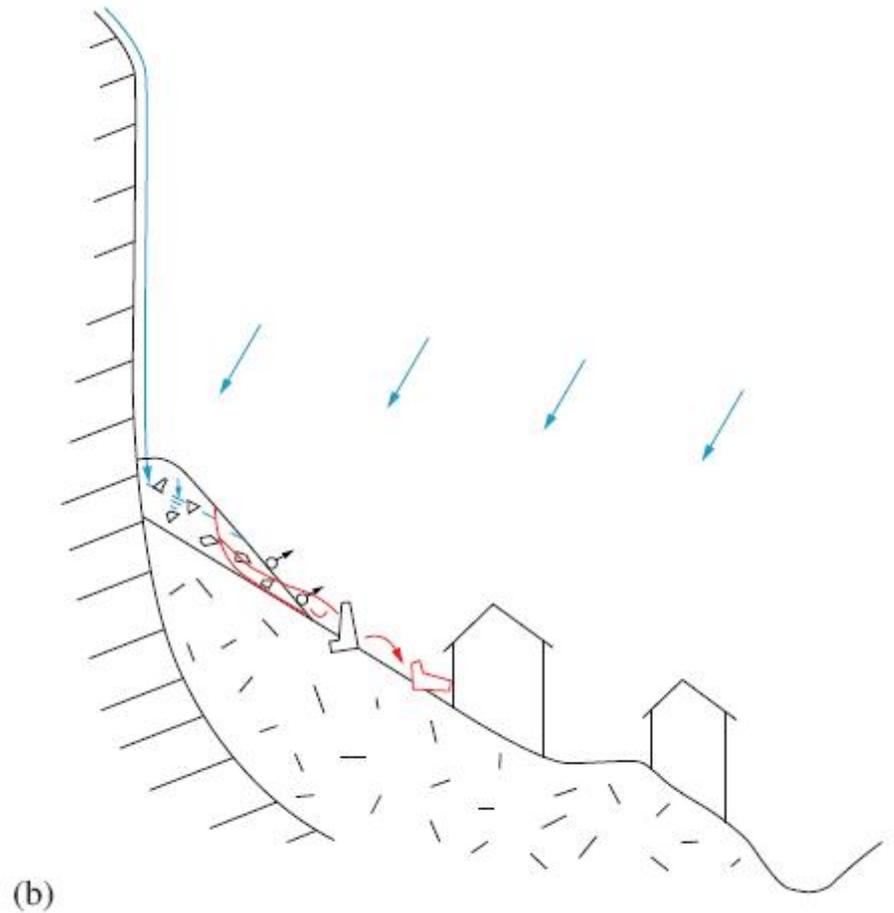
		Tropical humide	Tropical aride	Subtropical	Tempéré	Boréal	Polaire
<b>Basses altitudes</b>	<b>Collines et plateaux</b>		Bénin-Niger : <u>cas n°1</u>	Brisbane (crue 2011) : <u>cas n°2</u>	Ecosse : <u>cas n°3</u>	Quick clays Ontario : <u>cas n°4</u>	Nord Canada : <u>cas n°5</u>
	<b>Plaines alluviales</b>	Bangladesh (crue 2007) : <u>cas n°6</u>					
	<b>Côtes océaniques planes</b>	Delta Gange : <u>cas n°7</u>			La Rochelle (tempête Xynthia 2010) : <u>cas n°8</u>		
	<b>Côtes océaniques rocheuses</b>				Normandie : <u>cas n°9</u>		
<b>Montagnes</b>		Népal : <u>cas n°10</u>		Coulée Gondo : <u>cas n°11</u>	Pissot, Randa, Clairvaux : <u>cas n°12</u>		

# Etudes de cas



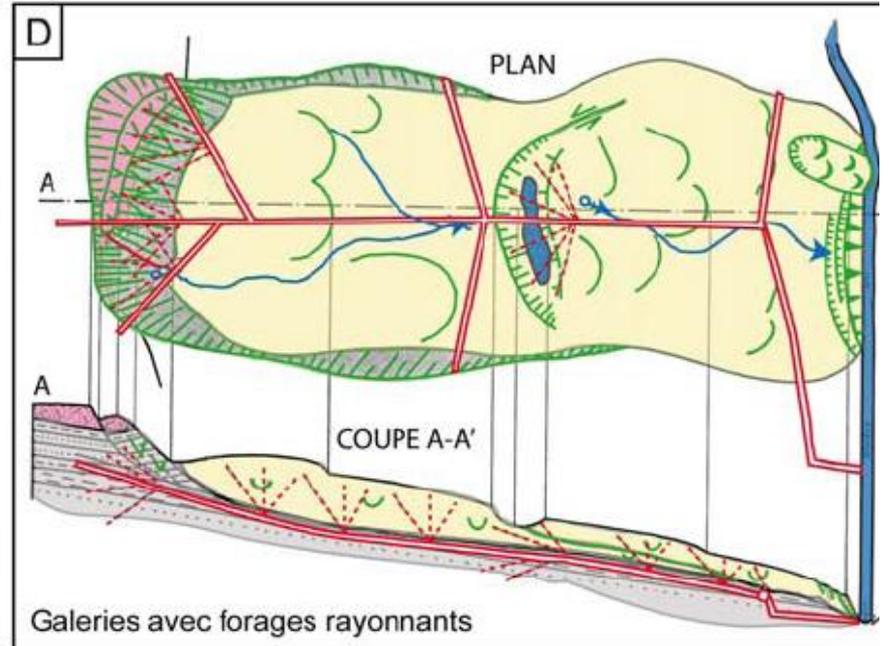
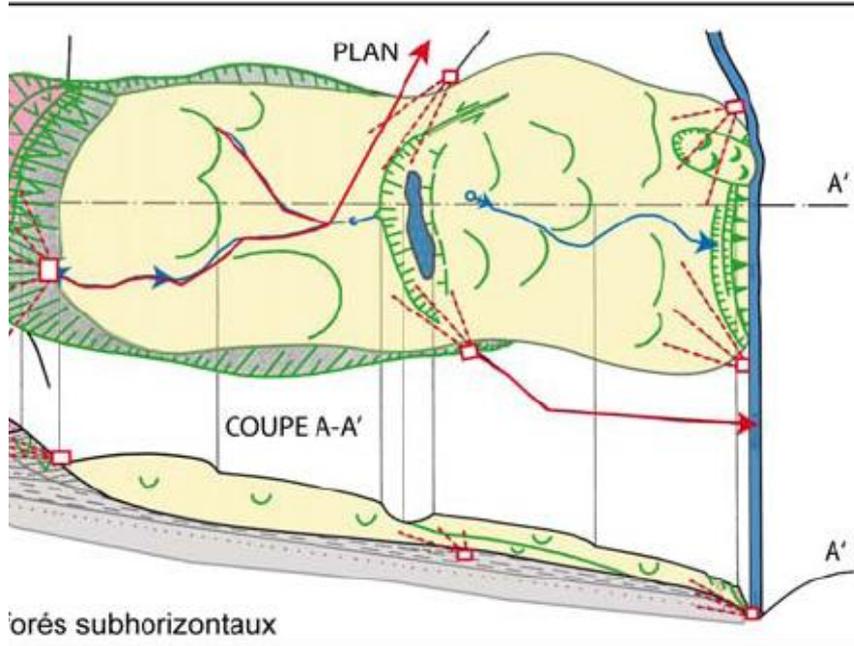
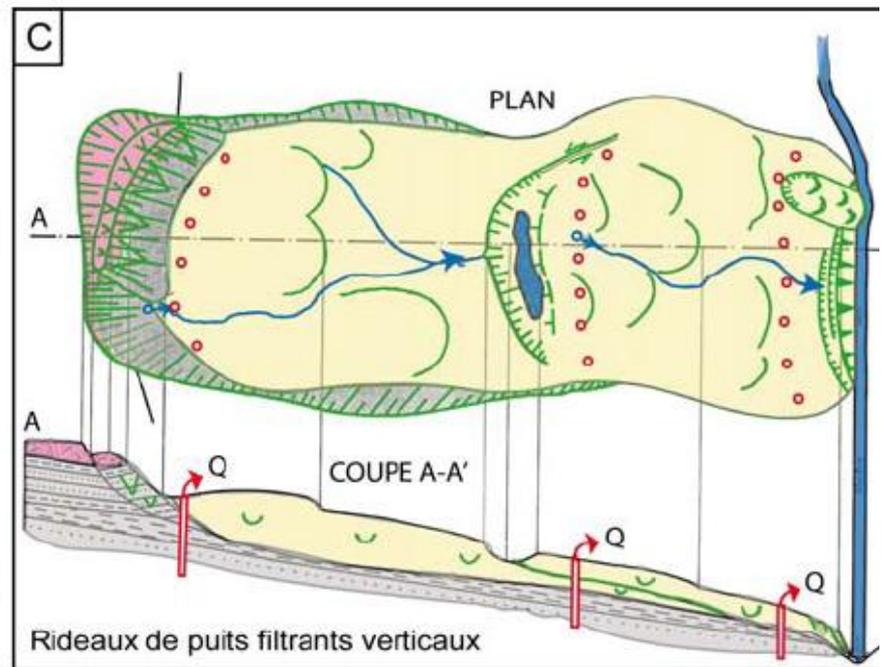
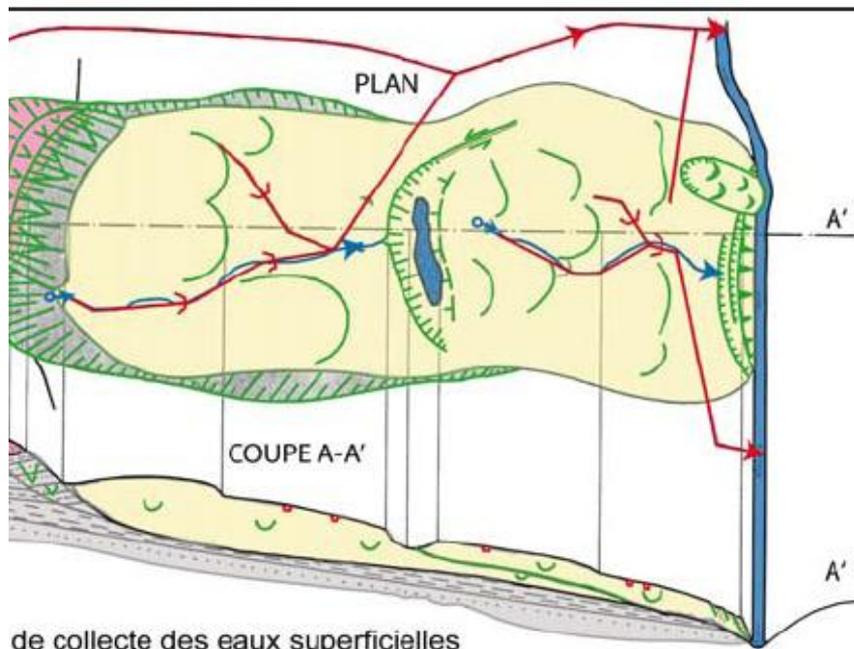
# Effet de précipitations exceptionnelles

Coupure de la route internationale du Simplon



)

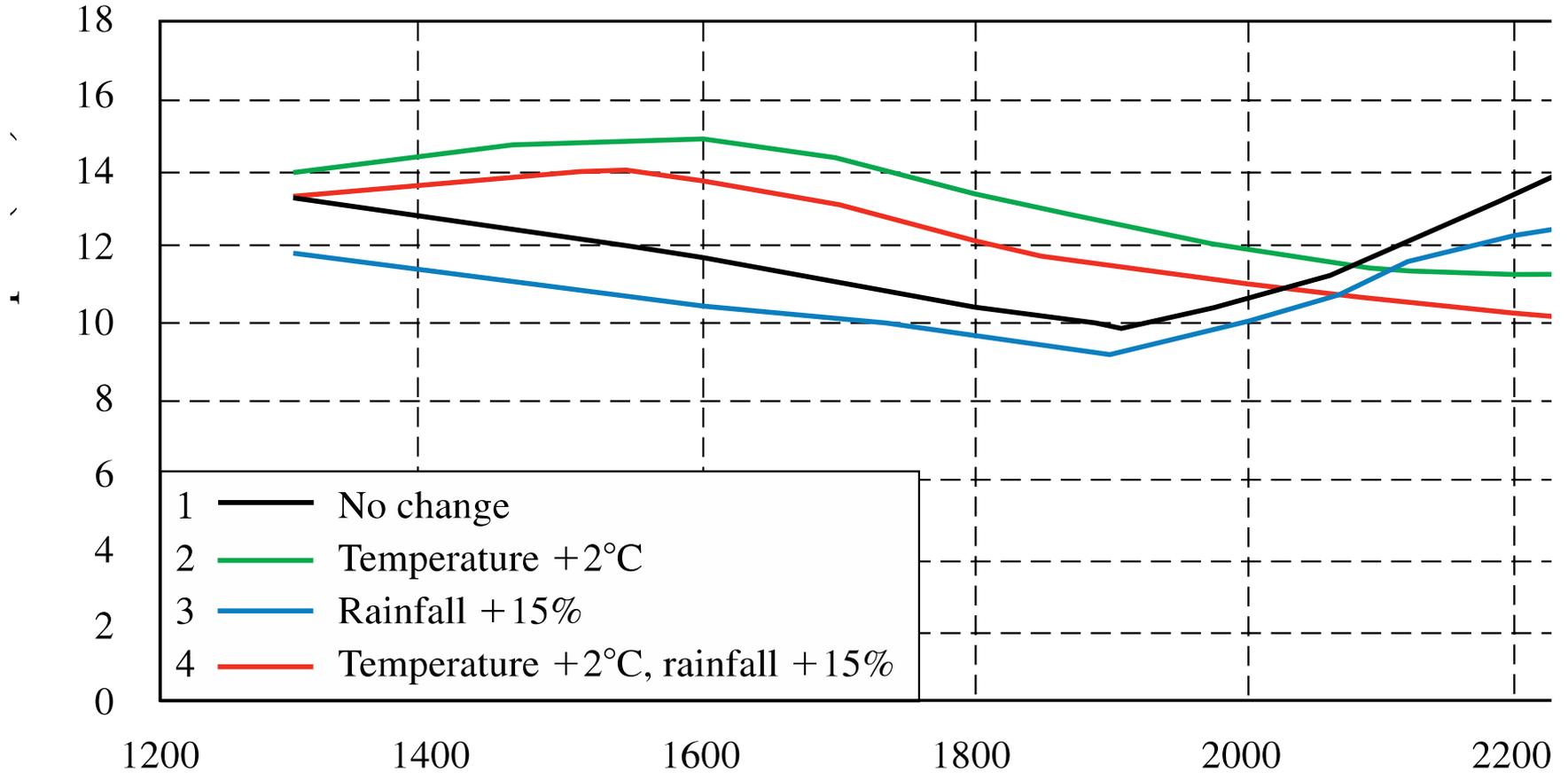
(b)



# Besoin de modestie sur les phénomènes à attendre

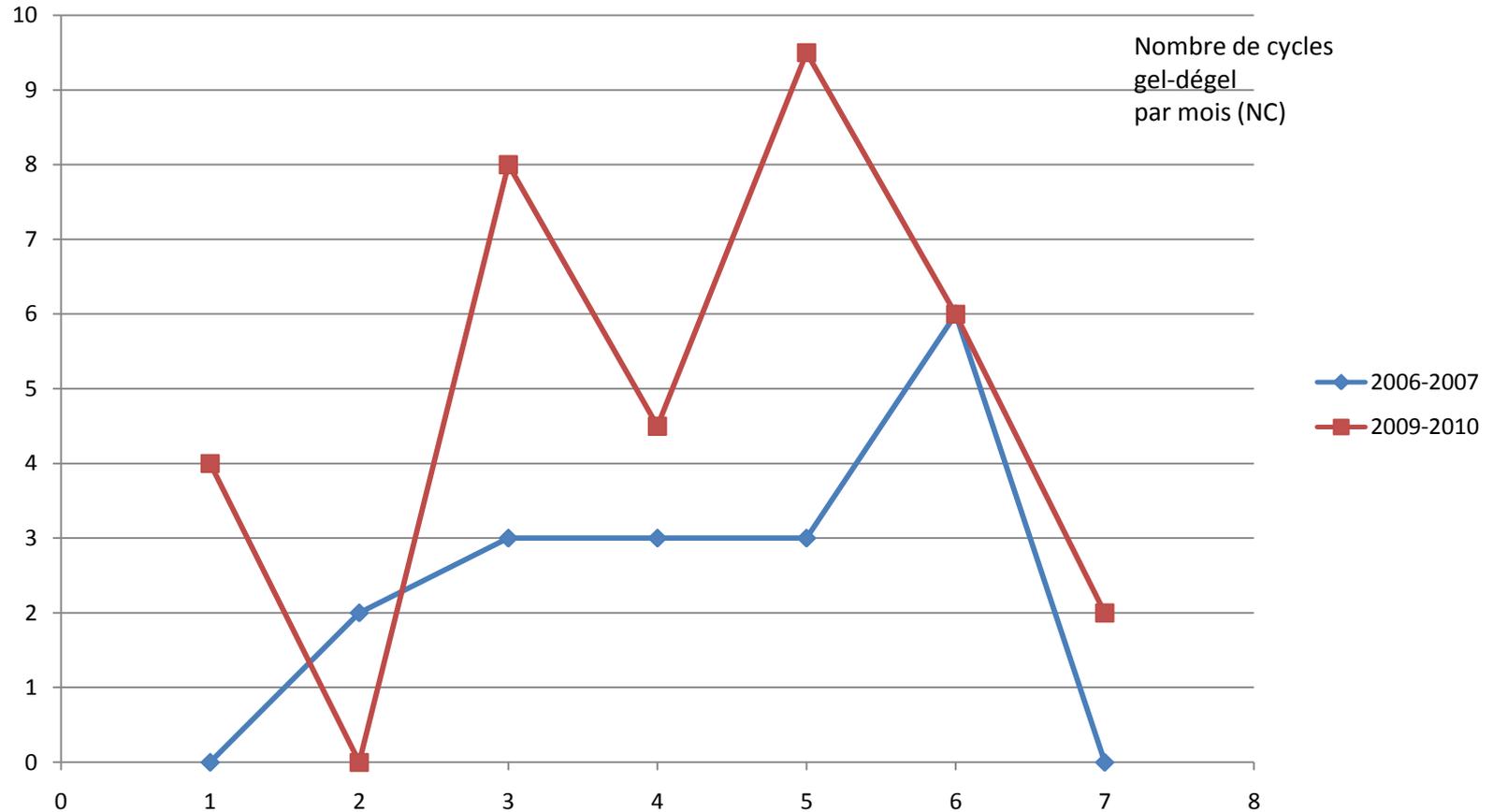
- Deux exemples :
- - profondeur de gel
- - nombre de cycles gel-dégel

# Profondeur de gel selon altitude



# Nombre de cycles gel-dégel

## Cas de la station Condémine (Alpes)



# Conclusion

- Le rapport décrit :
- - *ce qui devrait se passer*
- - *où cela devrait se passer*
- - *quels seront les dommages à attendre*
- - *les mesures préventives à mettre en place.*
- Nombreux exemples issus de différents pays

Mais il restera toujours des risques résiduels dans les régions exposées

