



[QUI SOMMES-NOUS ?](#) [MISSIONS ET GT](#) [CONSEIL SCIENTIFIQUE](#) [AGENDA](#) [ACTUALITÉS](#) [🔍](#)



# Risques naturels en montagne et changement climatique

**Samuel Morin**

Univ. Grenoble Alpes, Université de Toulouse, Météo-France, CNRS  
CNRM, Centre d'Etudes de la Neige, Grenoble, France





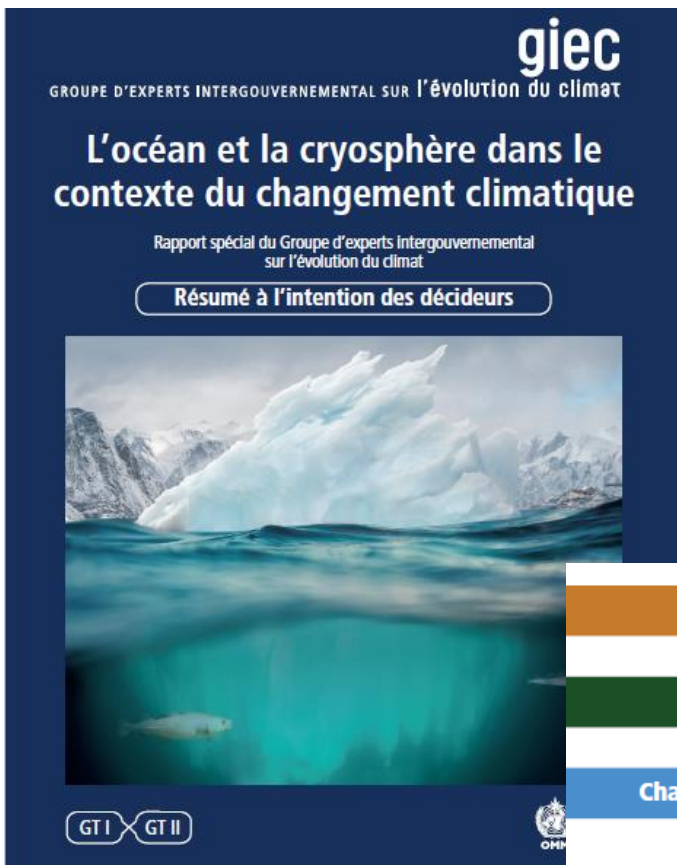
Université de Toulouse



UGA Université Grenoble Alpes



INRAE



<https://www.ipcc.ch/srocc/home/>

SPM

TS

Chapters

Cross-Chapter Box

Summary for Policymakers .....	3
Technical Summary .....	39
Chapter 1 Framing and Context of the Report .....	73
Chapter 2 High Mountain Areas .....	131
Chapter 3 Polar Regions .....	203
Chapter 4 Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities .....	321
Chapter 5 Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities .....	447
Chapter 6 Extremes, Abrupt Changes and Managing Risks .....	589
Cross-Chapter Box 9 Integrative Cross-Chapter Box on Low-lying Islands and Coasts .....	657

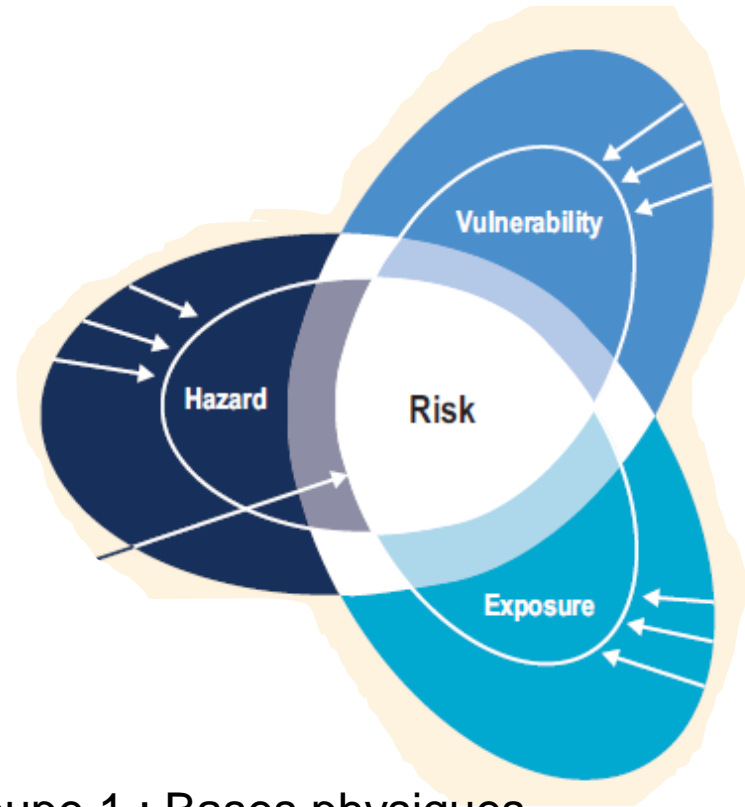


## GIEC

Depuis 1989, le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat est **mandaté** par ses **Etats** membres, sous l'égide de l'Organisation Météorologique Mondiale (**OMM**) et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (**PNUE**), dans le cadre de la Convention Cadre de l'ONU sur le Changement Climatique (**UNFCCC**), pour **produire des rapports** synthétisant l'état des connaissances sur l'évolution passée du climat, ses impacts passés et futurs, et les approches possibles pour limiter les **impacts et risques** climatiques.

# GIEC

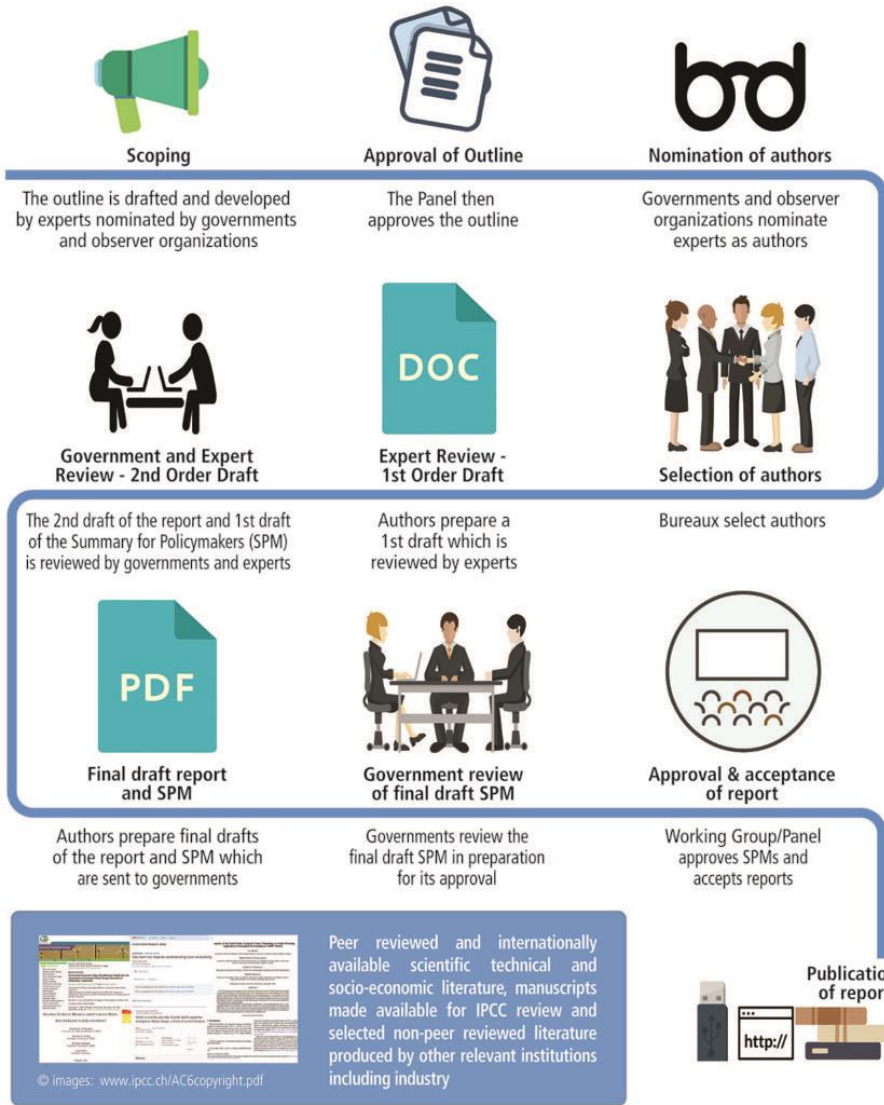
Depuis 1989, le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat est **mandaté** par ses **Etats** membres, sous l'égide de l'Organisation Météorologique Mondiale (**OMM**) et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (**PNUE**), dans le cadre de la Convention Cadre de l'ONU sur le Changement Climatique (**UNFCCC**), pour **produire des rapports** synthétisant l'état des connaissances sur l'évolution passée du climat, ses impacts passés et futurs, et les approches possibles pour limiter les **impacts** et **risques** climatiques.



- Groupe 1 : Bases physiques
- Groupe 2 : Impacts, adaptation et vulnérabilité
- Groupe 3 : Atténuation (émissions)

Rapports spéciaux multi-groupes (e.g. SREX, SR15, SRCCL, SROCC)

# GIEC



Le processus d'élaboration des rapports s'appuie sur une co-construction entre les scientifiques (*maîtrise d'œuvre*) et les gouvernements (*maîtrise d'ouvrage*).

Dialogue dès la préparation des sujets traités, structure des chapitres, type de contenu (scoping), puis revues intermédiaires (2 itérations avec experts scientifiques spontanés et revue gouvernementale, +1 revue gouvernementale sur le résumé pour décideur avant adoption en plénière).

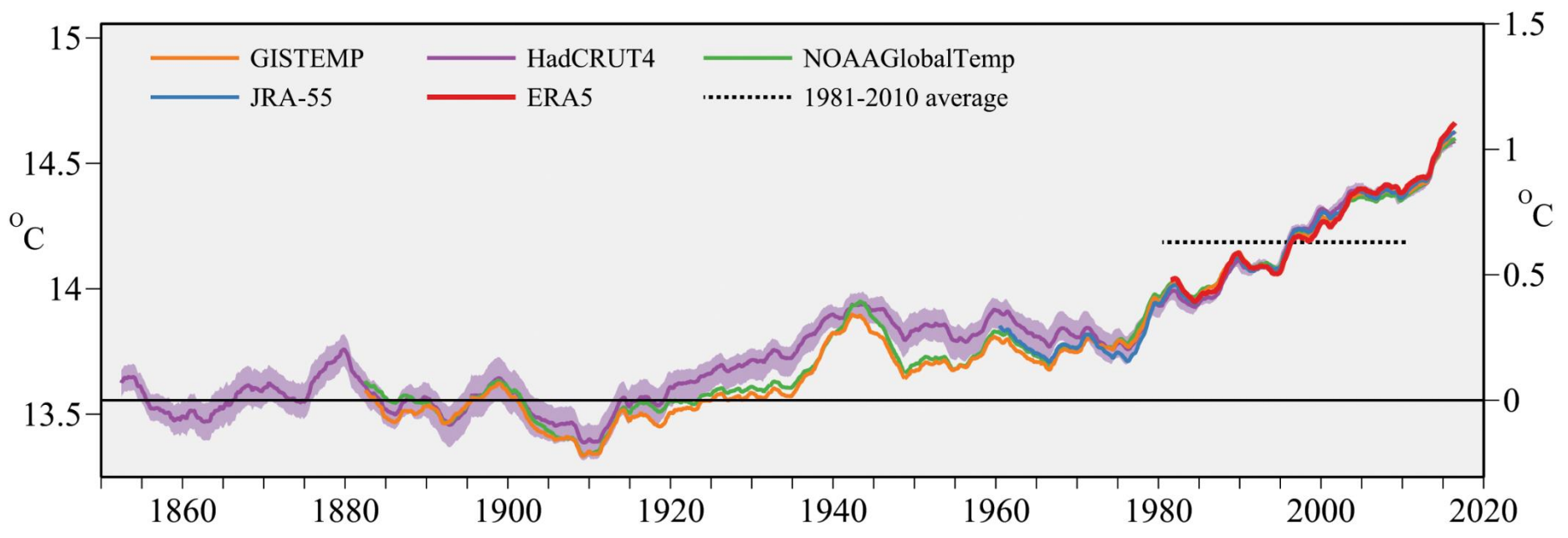
Approche *de facto* transdisciplinaire ...  
Processus rodé, sur 2 à 3 ans.

# Evolutions de la température moyenne globale en surface

## Réchauffement de plus de 1°C depuis le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle.

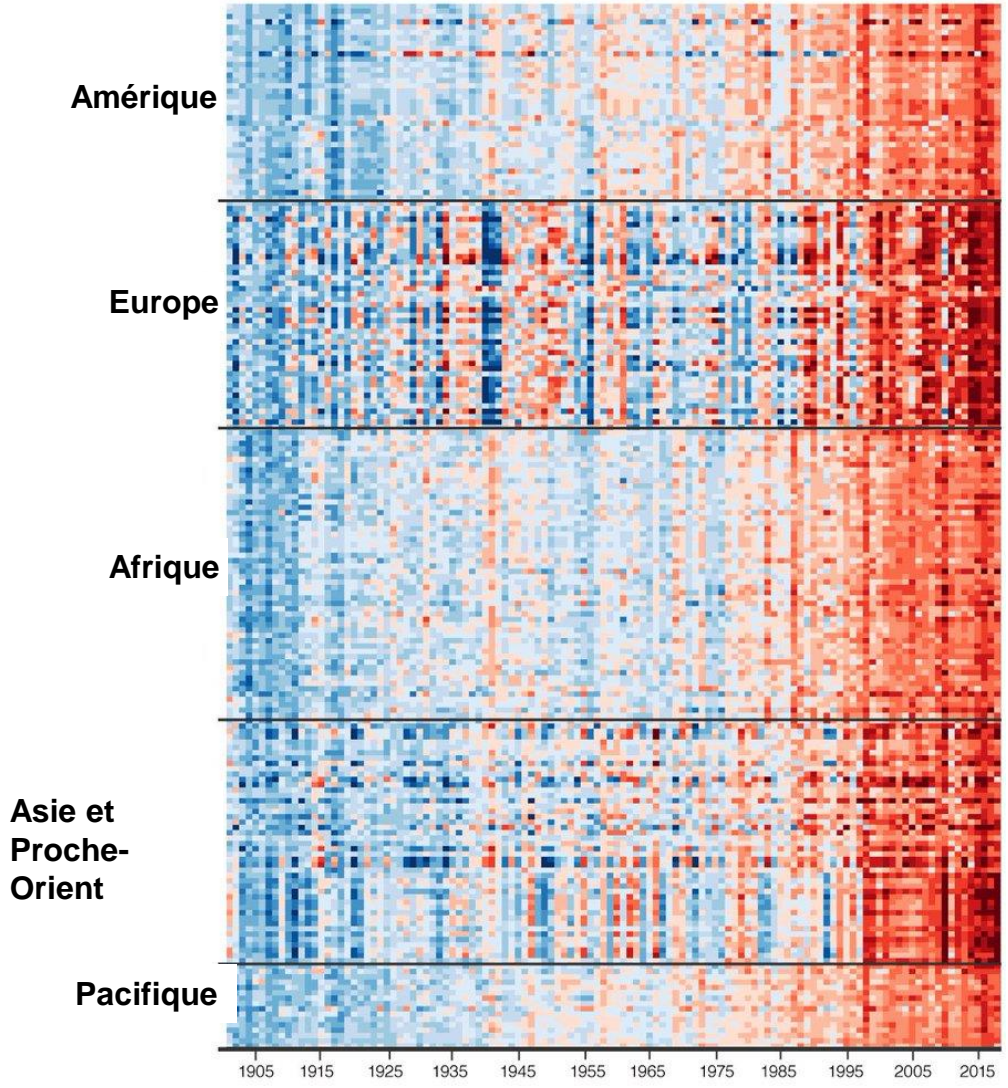
Global 60-month average temperature

Increase above pre-industrial level



Temperature changes around the world (1901-2018)

# Changements de température pour chaque pays du monde (1901-2018)



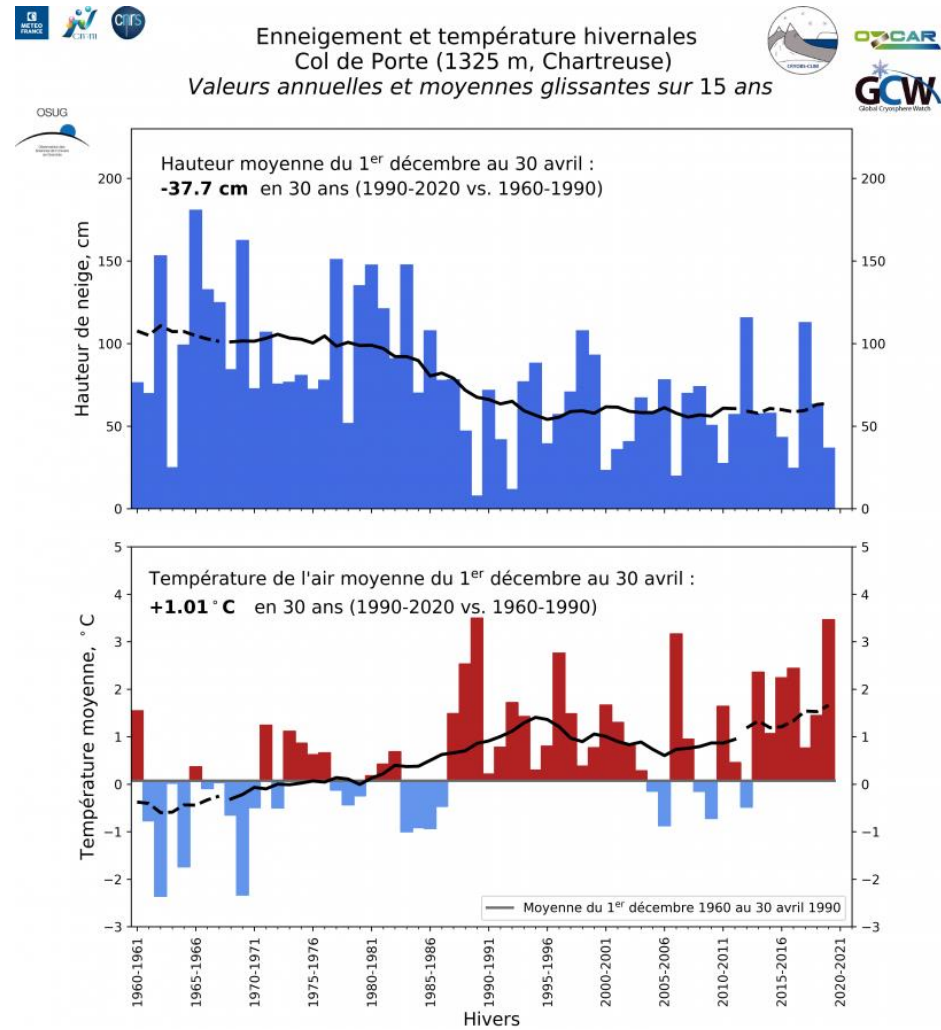
)

# Fonte des glaciers



**Glacier de la Pilatte  
(Massif des Écrins)**

# Baisse de l'enneigement

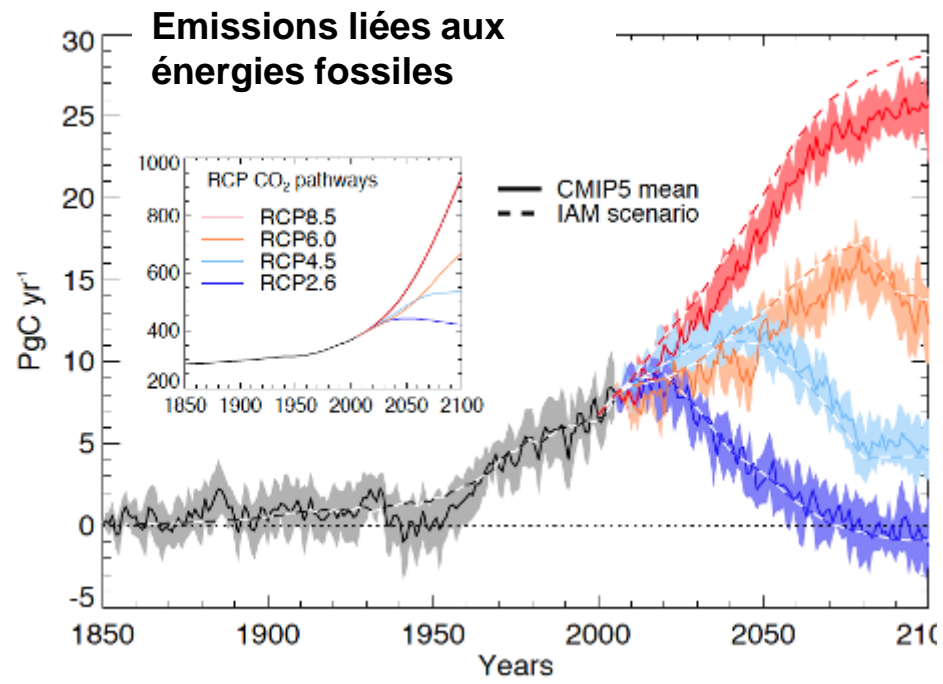
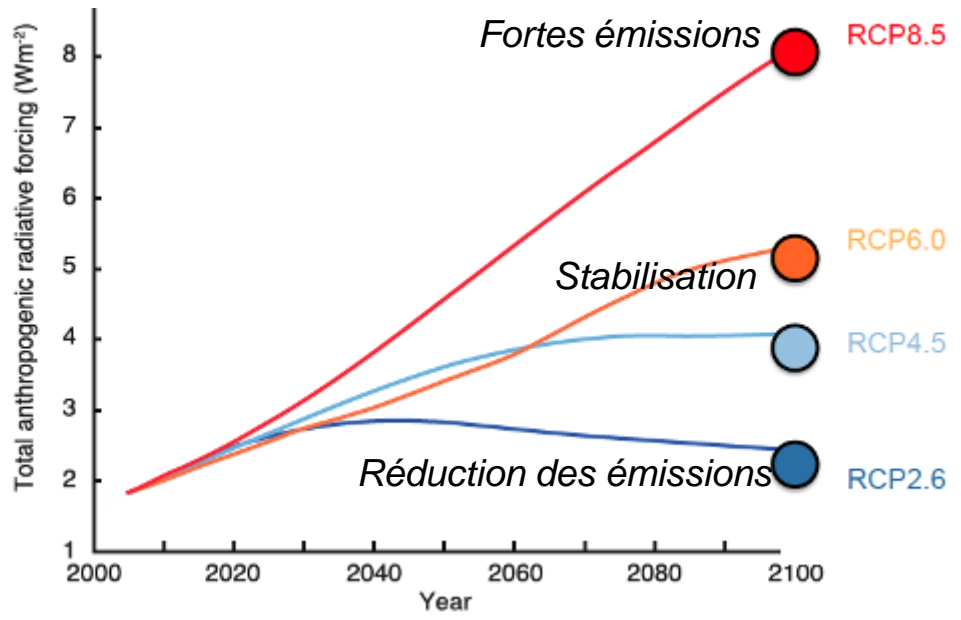




# Projections climatiques et incertitudes

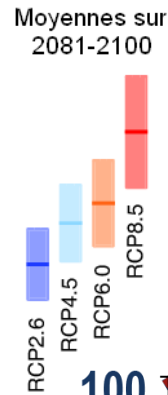
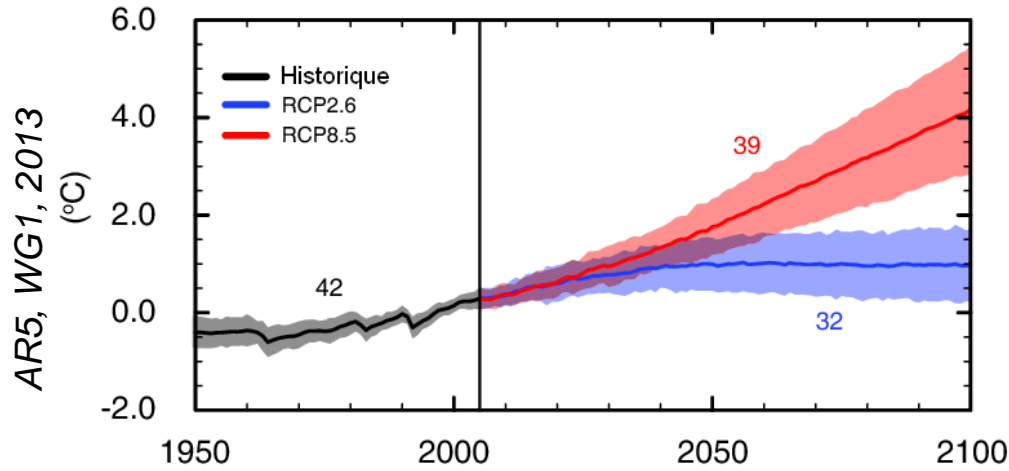
Le climat futur ne peut être approché que par la **modélisation climatique**, qui est affectée par une incertitude « **modèle** » liée à l'incomplète connaissance des processus et leur implémentation, et une incertitude « **intrinsèque** » liée à la variabilité naturelle du climat. Les **scénarios « RCP »** correspondent à différentes évolutions sociétales possibles (**SSP**) et différentes **trajectoires d'émissions** de gaz à effet de serre. **Projection** et non prévision ...

RCP : « Representative concentration pathways » (en  $W/m^2$ )

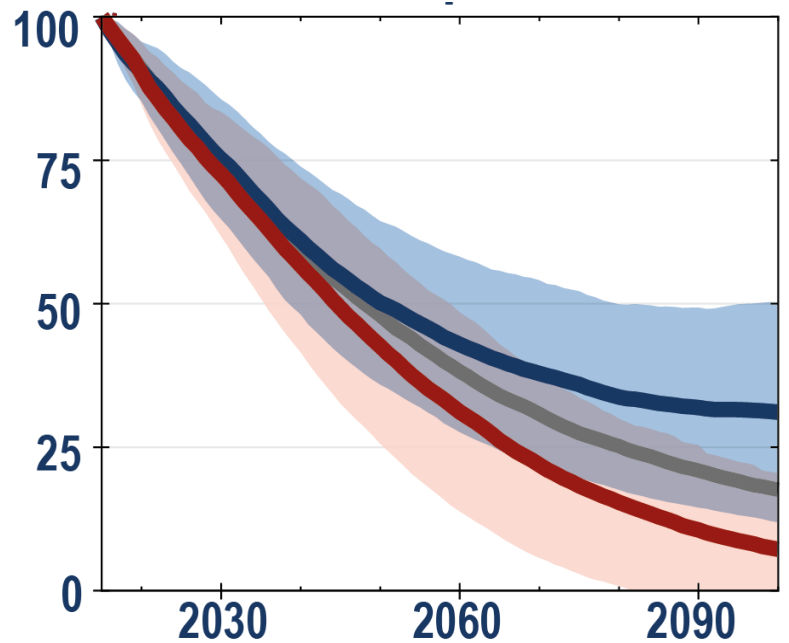


# Projections climatiques et incertitudes

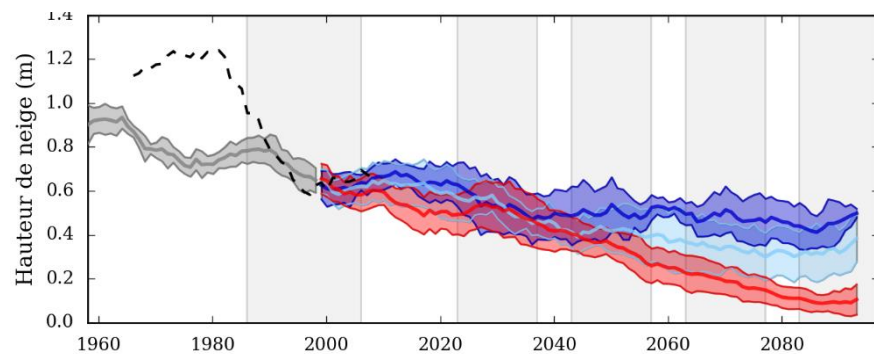
## Température planétaire



## Masse des glaciers en Europe



## Neige, Massif de la Chartreuse, 1500 m



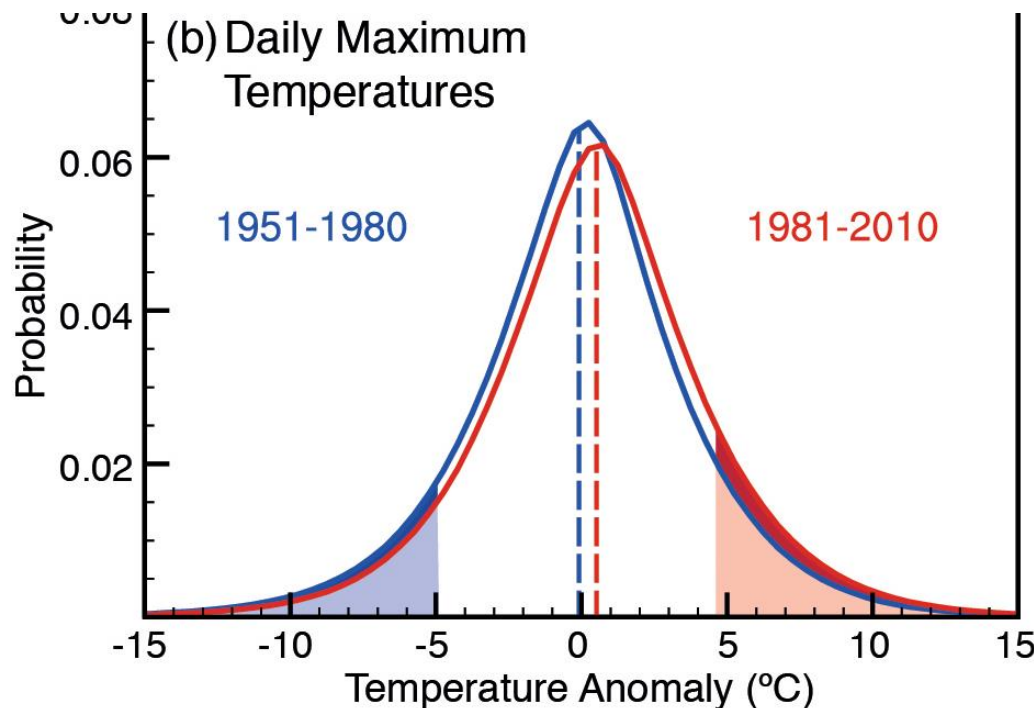


## Climat et événements extrêmes

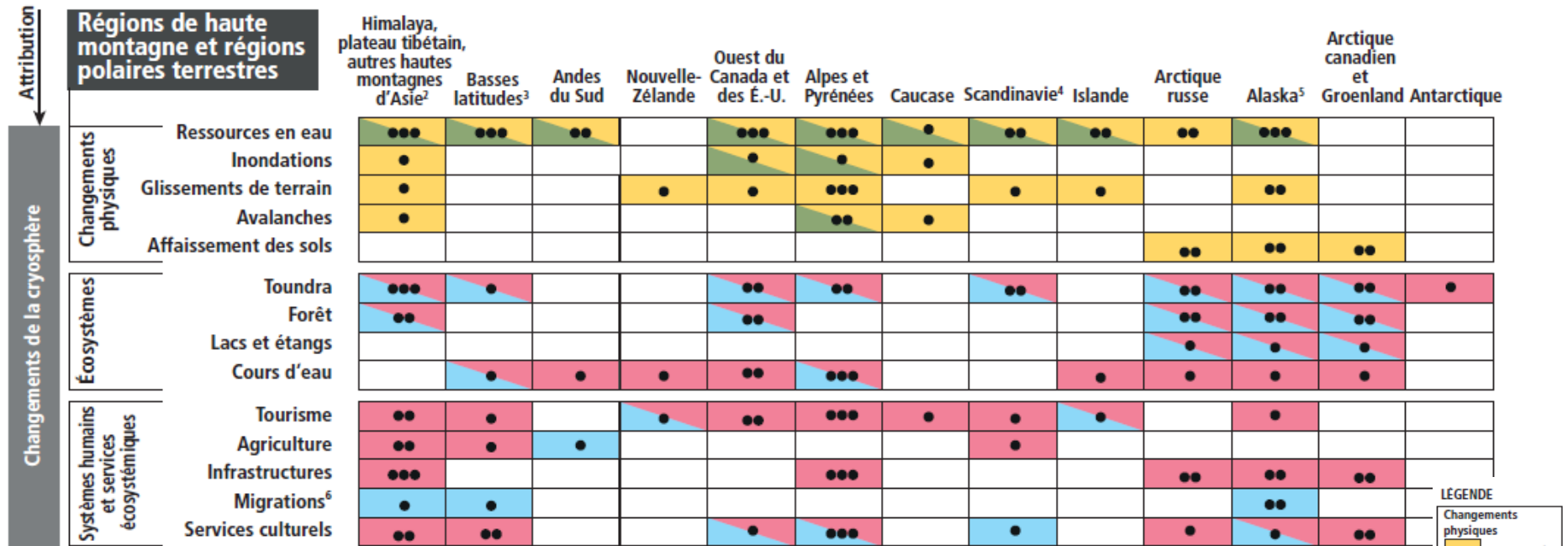
Le climat s'étudie sur le temps long (30 ans au moins), permettant de faire des statistiques à partir des conditions météorologiques.

Quand le climat change, cela induit des modifications sur la **valeur moyenne à grande échelle** (e.g. +1.5°C, 2°C à l'échelle planétaire) mais aussi des modifications à **échelle locale et pour les valeurs extrêmes**.

***Il faut préciser de quoi on parle (valeur extrêmes, intensité des extrêmes etc.) !***



# Synthèse des impacts du changement climatique en montagne



<sup>2</sup> incluant : Hindou Kouch , Karakoram, Hengduan Shan, Tien Shan, etc. <sup>3</sup> Andes tropicales, Mexique, Afrique de l'Est et Indonésie <sup>4</sup> incluant : Finlande, Norvège et Suède <sup>5</sup> Incluant les zones canadiennes voisines du Yukon et de la Colombie-Britannique <sup>6</sup> La migration fait référence à une augmentation ou une diminution de la migration nette, et non à des effets positifs ou négatifs

**LEGENDE**

**Changements physiques**

- augmentation
- diminution
- augmentation et diminution

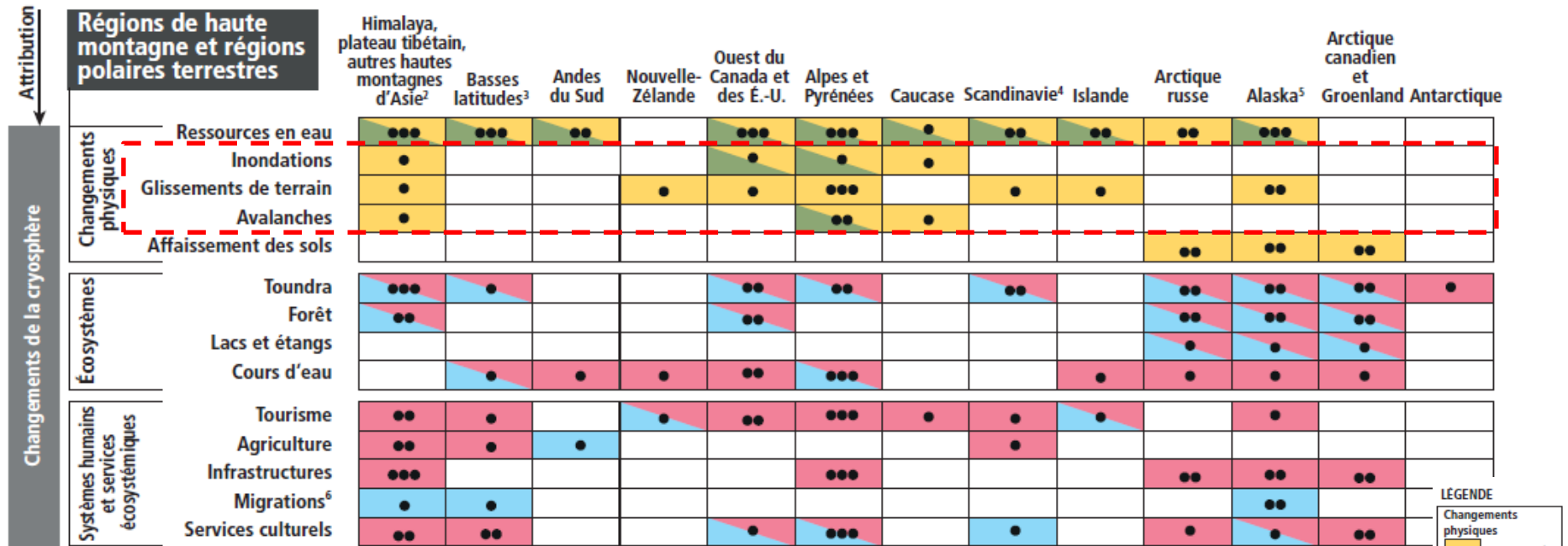
**Systèmes**

- positif
- négatif
- positif et négatif
- absence d'évaluation

**Degré de confiance accordé à l'attribution**

- élevée
- moyenne
- faible

# Synthèse des impacts du changement climatique en montagne



<sup>2</sup> incluant : Hindou Kouch , Karakoram, Hengduan Shan, Tien Shan, etc. <sup>3</sup> Andes tropicales, Mexique, Afrique de l'Est et Indonésie <sup>4</sup> incluant : Finlande, Norvège et Suède <sup>5</sup> Incluant les zones canadiennes voisines du Yukon et de la Colombie-Britannique <sup>6</sup> La migration fait référence à une augmentation ou une diminution de la migration nette, et non à des effets positifs ou négatifs

**LEGENDE**

**Changements physiques**

- augmentation
- diminution
- augmentation et diminution

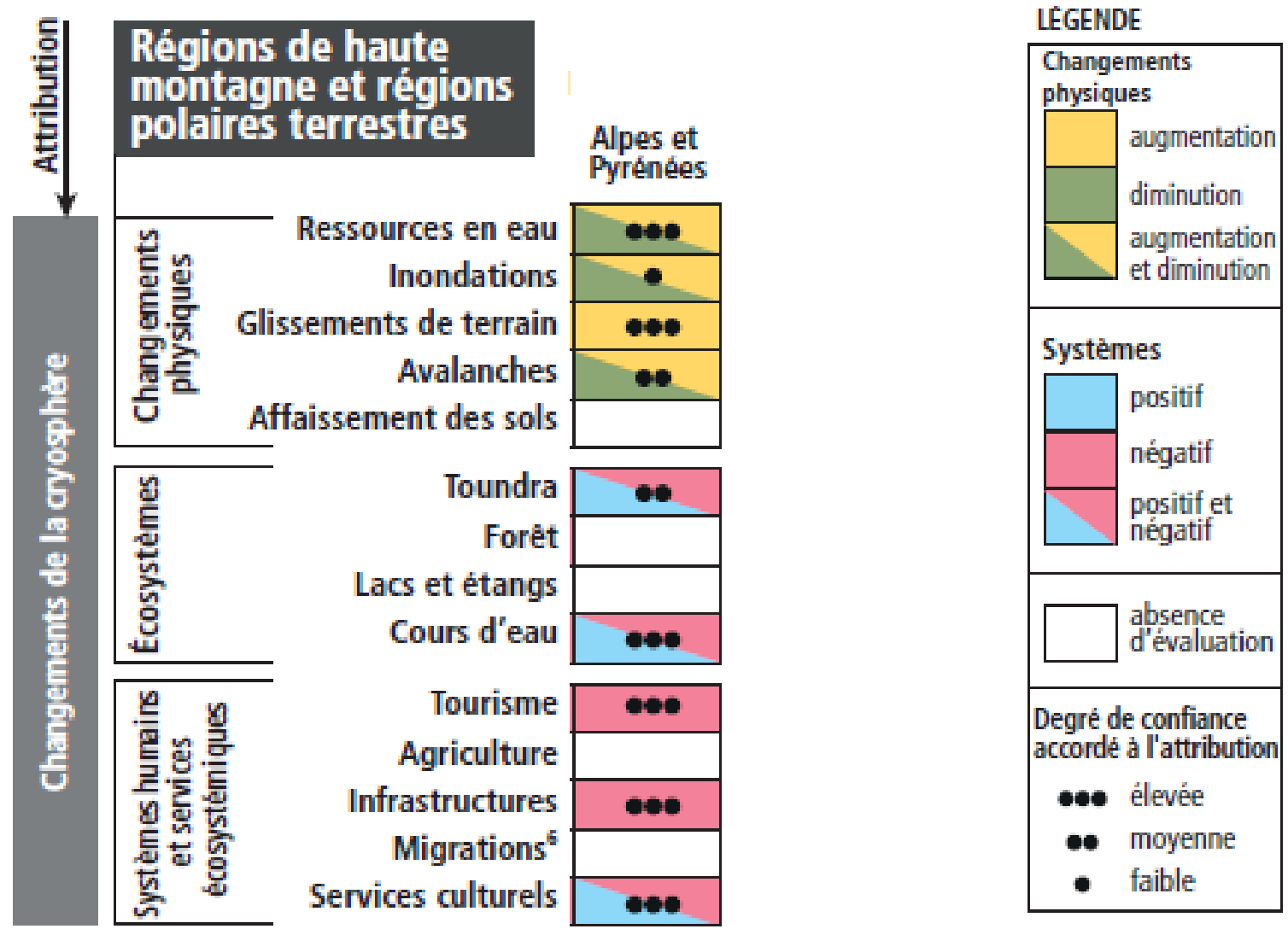
**Systèmes**

- positif
- négatif
- positif et négatif
- absence d'évaluation

**Degré de confiance accordé à l'attribution**

- élevée
- moyenne
- faible

# Synthèse des impacts du changement climatique en montagne





Université  
de Toulouse



UGA  
Université  
Grenoble Alpes



INRAE



## Changements observés (SPM, SROCC)

A1.3 [Le degel] du pergélisol et le recul des glaciers **ont diminué la stabilité des versants de haute montagne** (*degré de confiance élevé*).

A7.5 : Au cours des dernières décennies, l'essor démographique, le tourisme et le développement socioéconomique ont **accru l'exposition des personnes et des infrastructures aux aléas naturels** (*degré de confiance élevé*). Certaines catastrophes ont été **attribuées** aux changements de la cryosphère, par exemple dans les Andes, les hauts plateaux d'Asie, dans le Caucase et les Alpes européennes (*degré de confiance moyen*).



Université  
de Toulouse



UGA  
Université  
Grenoble Alpes



INRAE



## Projections futures (SPM, SROCC)

B1.5 Dans de nombreuses zones de haute montagne, il est projeté que le **recul des glaciers et le dégel du pergélisol continueront à réduire la stabilité des versants**, tandis que le nombre et la superficie des lacs glaciaires continueront à augmenter (*degré de confiance élevé*).

Il est projeté que les crues dues aux vidanges brutales de lacs glaciaires ou aux événements de pluie sur la neige, les glissements de terrain et les avalanches surviendront aussi dans **de nouveaux secteurs ou à différentes périodes de l'année** (*degré de confiance élevé*).





## Projections futures (SPM, SROCC)

B7 : Il est projeté que les changements portant sur les crues, les avalanches, les glissements de terrain et la déstabilisation du sol **augmenteront les risques** affectant les infrastructures, les biens culturels, le tourisme et les activités récréatives (*degré de confiance moyen*).

B7.1 **Les risques de catastrophe** affectant les communautés humaines, leurs modes de vie et moyens de subsistance, **devraient augmenter en haute montagne** et dans l'Arctique (*degré de confiance moyen*), étant donné l'évolution future d'**aléas** tels que les crues, les feux, les glissements de terrain, les avalanches, les conditions incertaines de neige et de glace et **l'exposition accrue** des personnes et des biens (*degré de confiance élevé*). Il est projeté que les **techniques actuelles de réduction des risques** perdront en efficacité du fait de l'évolution du caractère des aléas (*degré de confiance moyen*). D'ambitieuses **stratégies de réduction des risques et d'adaptation** pourraient aider à contrer la hausse des impacts provoqués par les crues et les glissements de terrain en montagne au fur et à mesure de l'augmentation de **l'exposition et la vulnérabilité** à ces aléas dans de nombreuses zones montagneuses au cours de ce siècle (*degré de confiance élevé*).

# 2

## High Mountain Areas

**Coordinating Lead Authors:**  
 Ragnhild Hock (USA), Golam Rasul (Nepal)

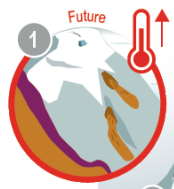
**Lead Authors:**  
 Carolina Adler (Switzerland/Australia), Bolívar Cárceles (Ecuador), Stephan Gruber (Canada/Germany), Yukiko Hirabayashi (Japan), Miriam Jackson (Norway), Andreas Kääb (Norway), Shichang Kang (China), Stanislav Kutuzov (Russian Federation), Alexander Milner (UK), Ulf Molau (Sweden), Samuel Morin (France), Ben Orlove (USA), Heidi Stalzer (USA)

<b>2.3 Mountain Social-Ecological Systems: Impacts, Risks and Human Responses</b> .....	<b>148</b>
2.3.1 Water Resources .....	148
<b>Box 2.3: Local Responses to Water Shortage in northwest India</b> .....	<b>156</b>
2.3.2 Landslide, Avalanche and Flood Hazards .....	158



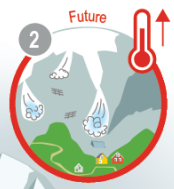
**Unstable slopes  
and landslides**

Smaller glaciers, Thawing permafrost



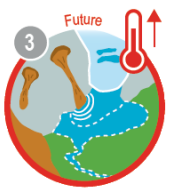
**Snow avalanches**

Less and wetter snow



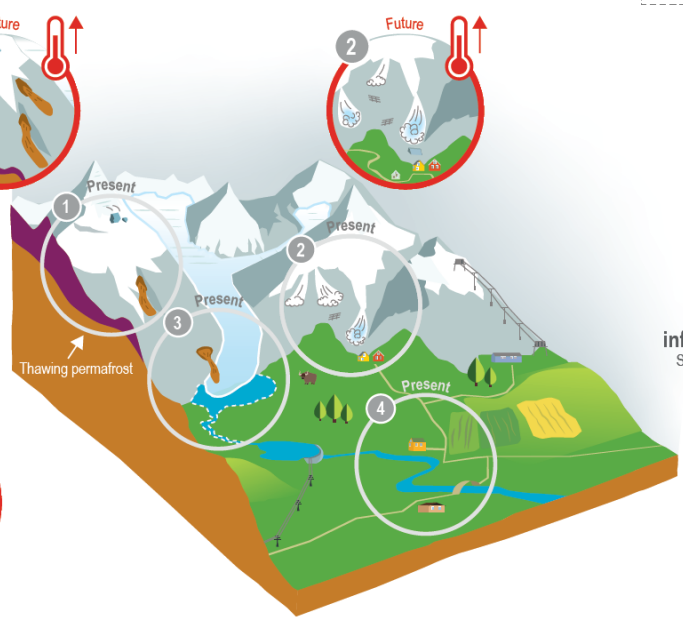
**Floods**

More & larger glacier lakes



**Social and  
infrastructure systems**

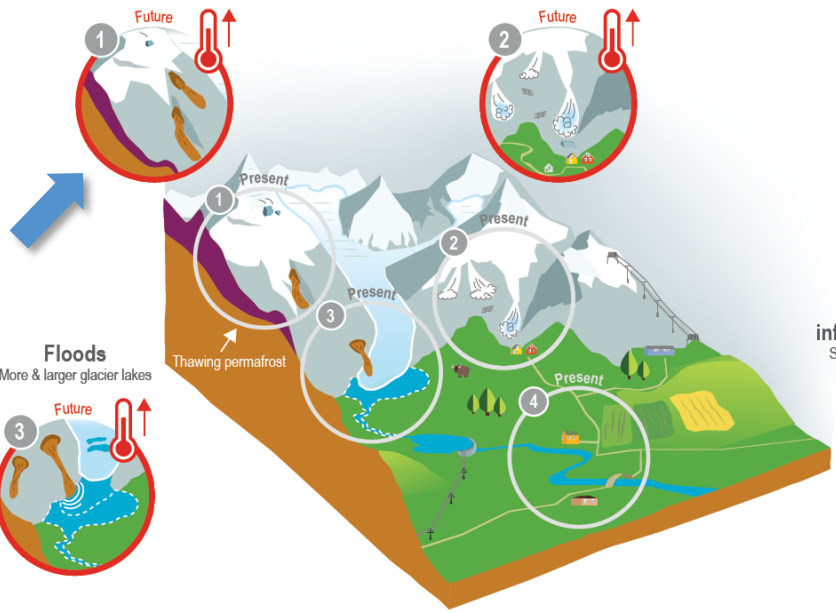
Socio-economic development in  
the mountains and downhill





**Unstable slopes and landslides**  
Smaller glaciers, Thawing permafrost

**Snow avalanches**  
Less and wetter snow



**Social and infrastructure systems**  
Socio-economic development in the mountains and downhill



**1**

**Unstable slopes and landslides**

- ▲ ● More landslides from rock walls and slopes
- ▼ ● Local reduction in some hazard types, e.g., less ice falls as glaciers retreat
- ▼ ● Improved infrastructure against landslides

**2**

**Snow avalanches**

- ▲ ● More avalanches involving wet snow
- ▼ ● Less and smaller snow avalanches where snow cover declines
- ▼ ● Improved measures against snow avalanches

**3**

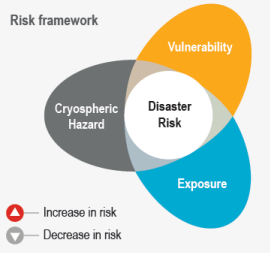
**Floods**

- ▲ ● More and larger glacier lakes
- ▲ ● More floods from impacts by avalanches and landslides into glacier lakes
- ▲ ● More rain-on-snow floods at higher elevations
- ▼ ● Less rain-on-snow floods at lower elevations
- ▼ ● More preventive measures at/near glacier lakes

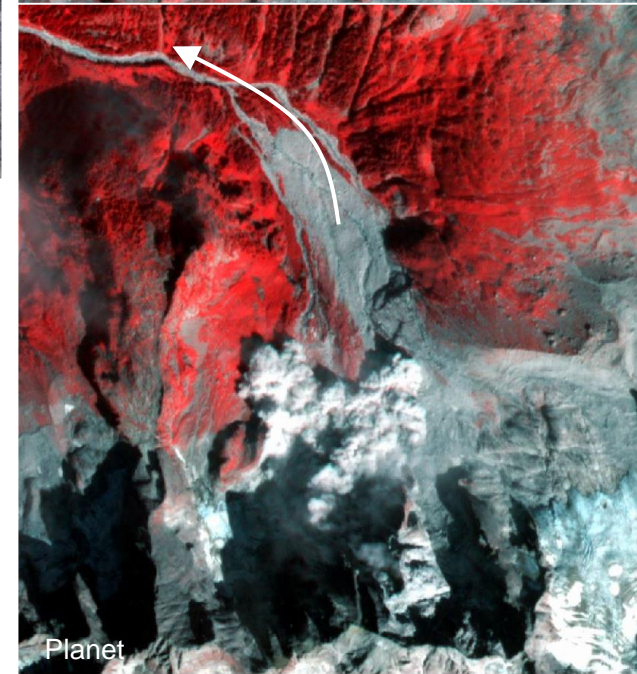
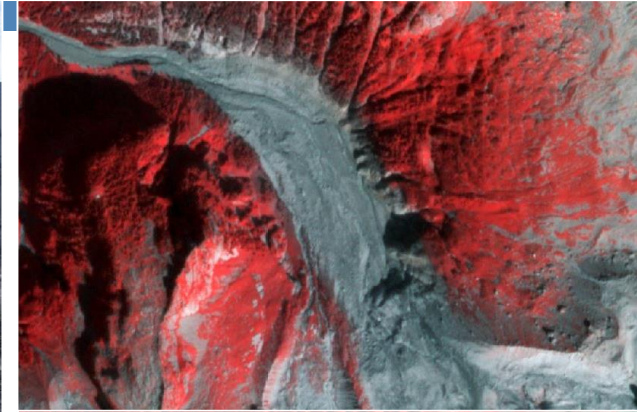
**4**

**Social and infrastructure systems**

- ▲ ● Social inequality and marginalised communities
- ▲ ● Institutional remoteness
- ▲ ● Inadequate or inaccessible information
- ▲ ● Higher populations
- ▲ ● More mountain tourism
- ▲ ● Hydropower expansion up-valley
- ▲ ● More infrastructure in mountain and downhill areas
- ▲ ● New locations become exposed
- ▼ ● Improved hazard zonation, education and awareness
- ▼ ● Improved early warning and emergency response systems



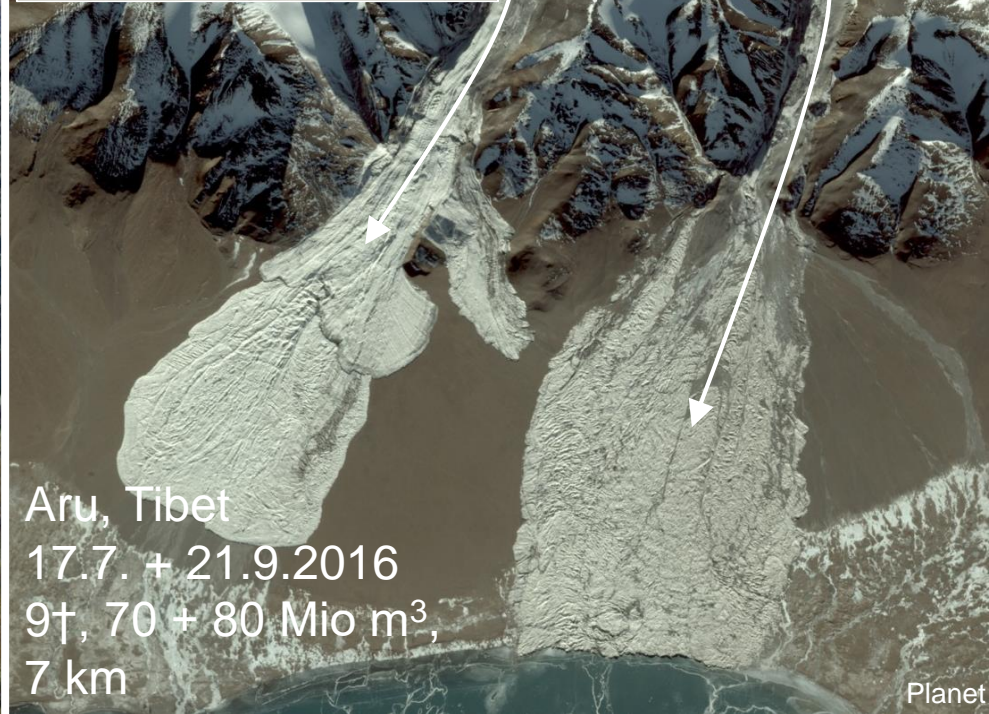
Piz Cengalo,  
Bondo, CH  
23.8.2017  
8†, 3+0.5 Mio  
m<sup>3</sup>





Kolka, Karmadon,  
Caucasus  
20.9.2002  
120†, 120 Mio m<sup>3</sup>,  
20 km

S. Chernomorets



Aru, Tibet  
17.7. + 21.9.2016  
9†, 70 + 80 Mio m<sup>3</sup>,  
7 km

Planet



**Unstable slopes and landslides**

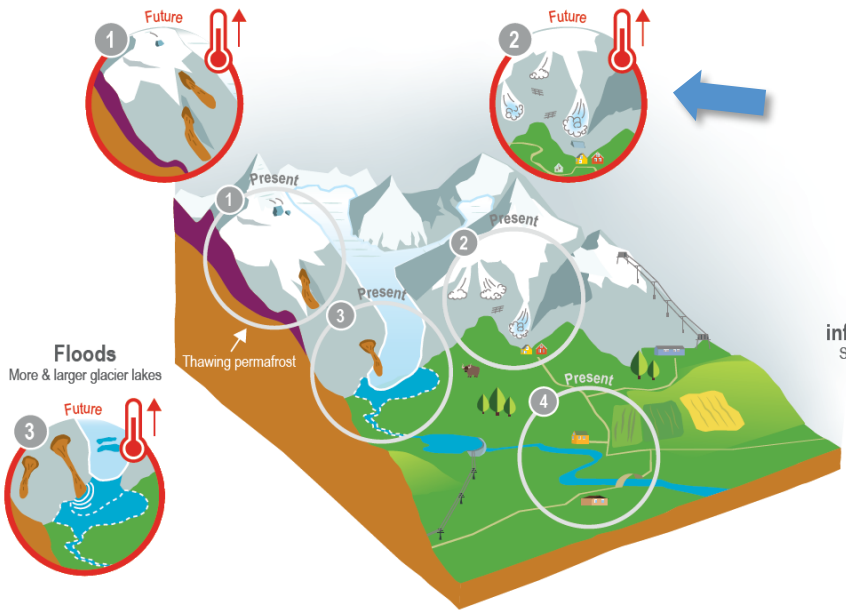
Smaller glaciers, Thawing permafrost

**Snow avalanches**

Less and wetter snow

**Social and infrastructure systems**

Socio-economic development in the mountains and downhill

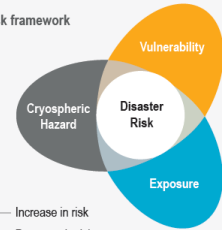


**Floods**

More & larger glacier lakes

<p>1</p> <p><b>Unstable slopes and landslides</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● More landslides from rock walls and slopes</li> <li>▼ ● Local reduction in some hazard types, e.g., less ice falls as glaciers retreat</li> <li>▼ ● Improved infrastructure against landslides</li> </ul>	<p>2</p> <p><b>Snow avalanches</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● More avalanches involving wet snow</li> <li>▼ ● Less and smaller snow avalanches where snow cover declines</li> <li>▼ ● Improved measures against snow avalanches</li> </ul>	<p>3</p> <p><b>Floods</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● More and larger glacier lakes</li> <li>▲ ● More floods from impacts by avalanches and landslides into glacier lakes</li> <li>▲ ● More rain-on-snow floods at higher elevations</li> <li>▼ ● Less rain-on-snow floods at lower elevations</li> <li>▼ ● More preventive measures at/near glacier lakes</li> </ul>
<p>4</p> <p><b>Social and infrastructure systems</b></p>		

**Risk framework**



▲ — Increase in risk  
▼ — Decrease in risk





**Unstable slopes and landslides**

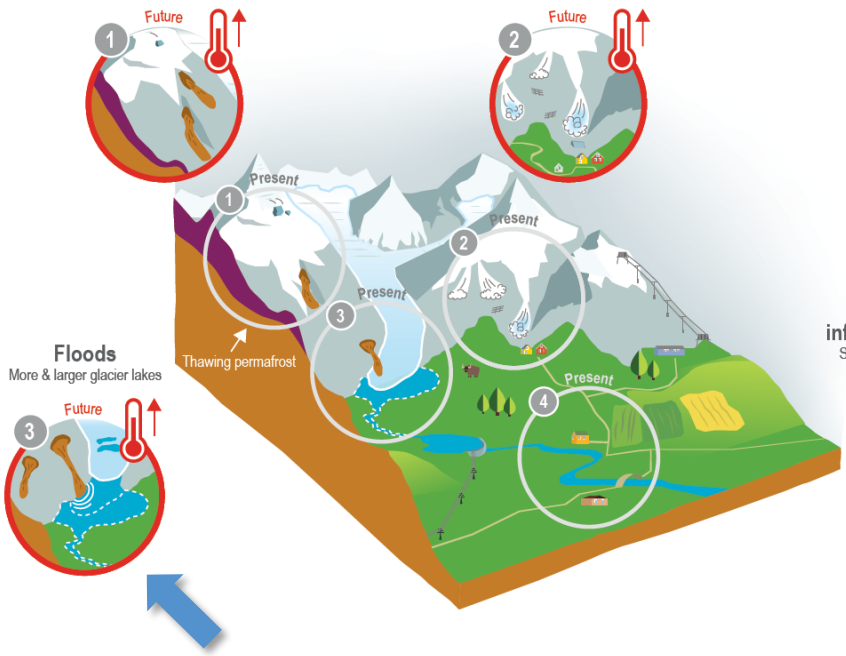
Smaller glaciers, Thawing permafrost

**Snow avalanches**

Less and wetter snow

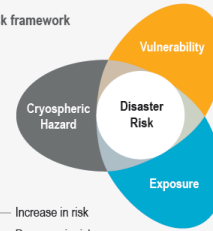
**Social and infrastructure systems**

Socio-economic development in the mountains and downhill



**Floods**

More & larger glacier lakes

<p><b>1</b></p> <p><b>Unstable slopes and landslides</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● More landslides from rock walls and slopes</li> <li>▼ ● Local reduction in some hazard types, e.g., less ice falls as glaciers retreat</li> <li>▼ ● Improved infrastructure against landslides</li> </ul>	<p><b>2</b></p> <p><b>Snow avalanches</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● More avalanches involving wet snow</li> <li>▼ ● Less and smaller snow avalanches where snow cover declines</li> <li>▼ ● Improved measures against snow avalanches</li> </ul>	<p><b>3</b></p> <p><b>Floods</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● More and larger glacier lakes</li> <li>▲ ● More floods from impacts by avalanches and landslides into glacier lakes</li> <li>▲ ● More rain-on-snow floods at higher elevations</li> <li>▼ ● Less rain-on-snow floods at lower elevations</li> <li>▼ ● More preventive measures at/near glacier lakes</li> </ul>
<p><b>Risk framework</b></p>  <p>▲ — Increase in risk ▼ — Decrease in risk</p>		<p><b>4</b></p> <p><b>Social and infrastructure systems</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● Social inequality and marginalised communities</li> <li>▲ ● Institutional remoteness</li> <li>▲ ● Inadequate or inaccessible information</li> <li>▲ ● Higher populations</li> <li>▲ ● More mountain tourism</li> <li>▲ ● Hydropower expansion up-valley</li> <li>▲ ● More infrastructure in mountain and downhill areas</li> <li>▲ ● New locations become exposed</li> <li>▼ ● Improved hazard zonation, education and awareness</li> <li>▼ ● Improved early warning and emergency response systems</li> </ul>





Unstable slopes and landslides

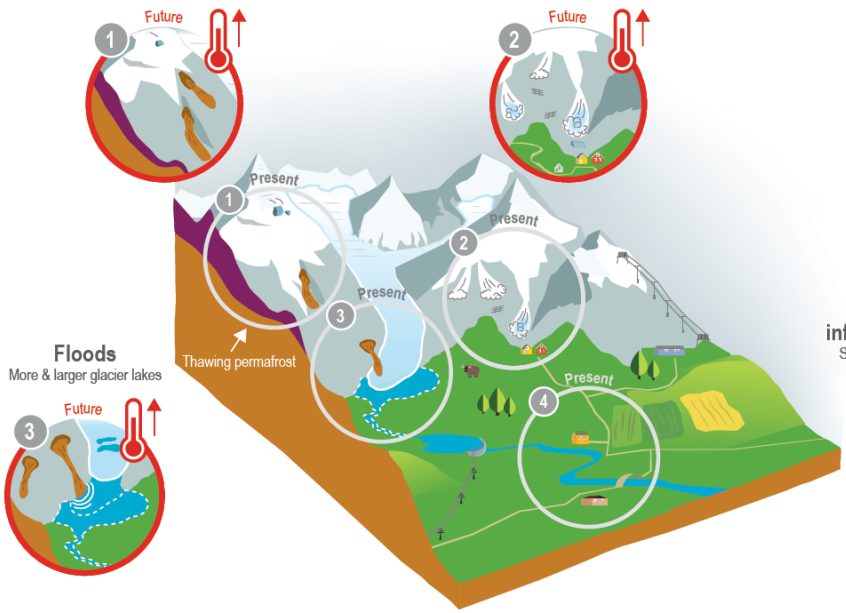
Smaller glaciers, Thawing permafrost

Snow avalanches

Less and wetter snow

Social and infrastructure systems

Socio-economic development in the mountains and downhill



Floods

More & larger glacier lakes

<p><b>1</b></p> <p><b>Unstable slopes and landslides</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● More landslides from rock walls and slopes</li> <li>▼ ● Local reduction in some hazard types, e.g., less ice falls as glaciers retreat</li> <li>▼ ● Improved infrastructure against landslides</li> </ul>	<p><b>2</b></p> <p><b>Snow avalanches</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● More avalanches involving wet snow</li> <li>▼ ● Less and smaller snow avalanches where snow cover declines</li> <li>▼ ● Improved measures against avalanches</li> </ul>	<p><b>3</b></p> <p><b>Floods</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● More and larger glacier lakes</li> <li>▲ ● More floods from impacts by avalanches and landslides into glacier lakes</li> <li>▲ ● More rain-on-snow floods at higher elevations</li> <li>▼ ● Less rain-on-snow floods at lower elevations</li> <li>▼ ● More preventive measures at/near glacier lakes</li> </ul>
<p><b>4</b></p> <p><b>Social and infrastructure systems</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ ● Social inequality and marginalised communities</li> <li>▲ ● Institutional remoteness</li> <li>▲ ● Inadequate or inaccessible information</li> <li>▲ ● Higher populations</li> <li>▲ ● More mountain tourism</li> <li>▲ ● Hydropower expansion up-valley</li> <li>▲ ● More infrastructure in mountain and downhill areas</li> <li>▲ ● New locations become exposed</li> <li>▼ ● Improved hazard zonation, education and awareness</li> <li>▼ ● Improved early warning and emergency response systems</li> </ul>		





Observations et modèles de climat indiquent des **changements à long terme de la distribution des valeurs rares et extrêmes en hydrométéorologie de montagne, avec des conséquences sur les caractéristiques (fréquence, intensité) des aléas.**

Les fluctuations climatiques à **échelle décennale** (oscillations, variabilité etc.) masquent les tendances de fond pour les précipitations. Le signal de température est plus clair, sans ambiguïté, avec des implications pour les précipitations neigeuses et l'état de la neige au sol.

En montagne, les enjeux sont souvent **multi-variés** (*compound events*): ce n'est pas tant l'extrême météo qui joue sensu stricto, mais surtout la **combinaison de facteurs** (état de la neige au sol, température, précipitations, vent etc.).

Rôle important de l'évolution cumulative de certains systèmes (glaciers, évolution pergélisol) qui se superpose à des facteurs de déclenchement plus soudains.

***Besoin de poursuivre le travail inter/transdisciplinaire !***

