

# Changement climatique, enneigement en montagne, tourisme



@smlmrn

**Samuel Morin<sup>1</sup>, Pierre Spandre<sup>1,2</sup>, Hugues François<sup>2</sup>, Deborah Verfaillie<sup>1</sup>, Matthieu Lafaysse<sup>1</sup>, Emmanuelle George<sup>2</sup>, Carlo Carmagnola<sup>1</sup>, Nicolas Eckert<sup>3</sup>, Jean-Michel Soubeyroux<sup>4</sup>, Raphaëlle Samacoïts<sup>1,4</sup>, Michel Déqué<sup>5</sup>**  
*et bien d'autres ...*

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, Université de Toulouse, Météo-France, CNRS, CNRM, Centre d'Etudes de la Neige, Grenoble, France

<sup>2</sup>Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM, Grenoble, France,

<sup>3</sup>Univ. Grenoble Alpes, Irstea, ETNA, Grenoble, France,

<sup>4</sup>Météo-France, Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, Toulouse, France,

<sup>5</sup>CNRM, Météo-France, CNRS, Université de Toulouse, Toulouse, France



## #SROCC : Impacts, risques et solutions pour les aspects culturels, loisirs et tourisme de montagne

A7.7 High mountain aesthetic and cultural aspects have been negatively impacted by glacier and snow cover decline (e.g. in the Himalaya, East Africa, the tropical Andes) (*medium confidence*). Tourism and recreation, including **ski and glacier tourism, hiking, and mountaineering**, have also been negatively impacted in many mountain regions (*medium confidence*). In some places, artificial snowmaking has reduced negative impacts on ski tourism (*medium confidence*).

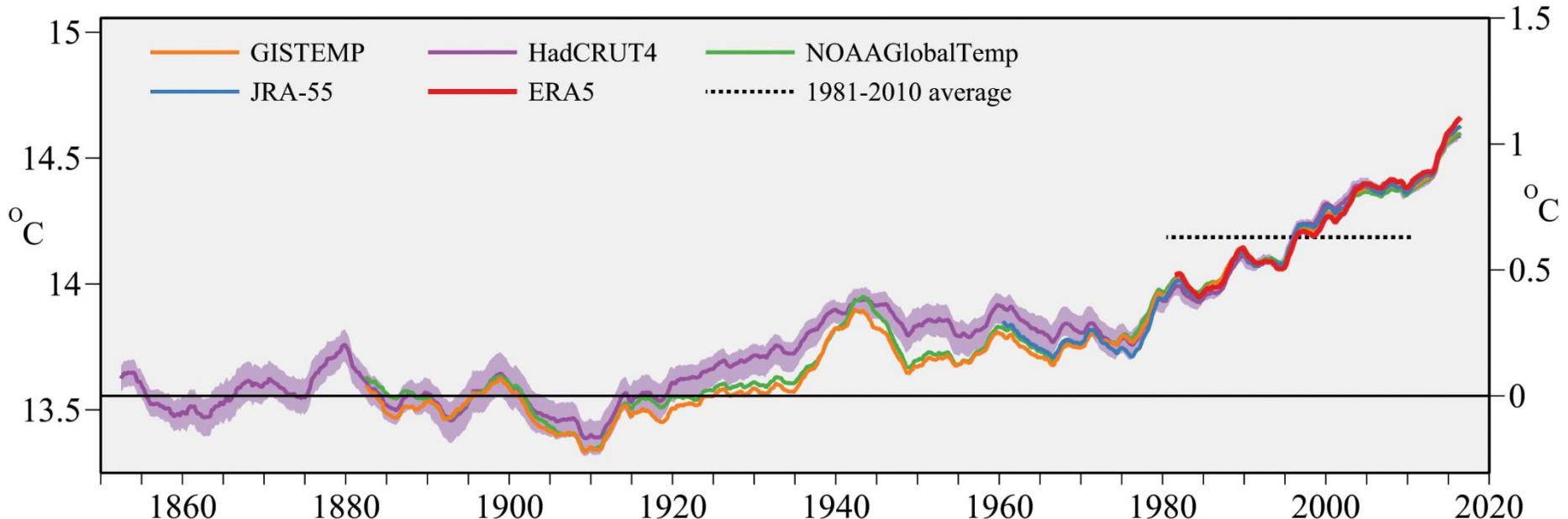
B7.3 High mountain tourism, recreation and **cultural assets** are projected to be negatively affected by future cryospheric changes (*high confidence*). **Current snowmaking technologies are projected to be less effective in reducing risks to ski tourism in a warmer climate in most parts of Europe, North America, and Japan, in particular at 2°C global warming and beyond** (*high confidence*).

C2.6 [...] Diversification of tourism activities throughout the year supports adaptation in high mountain economies (*medium confidence*).

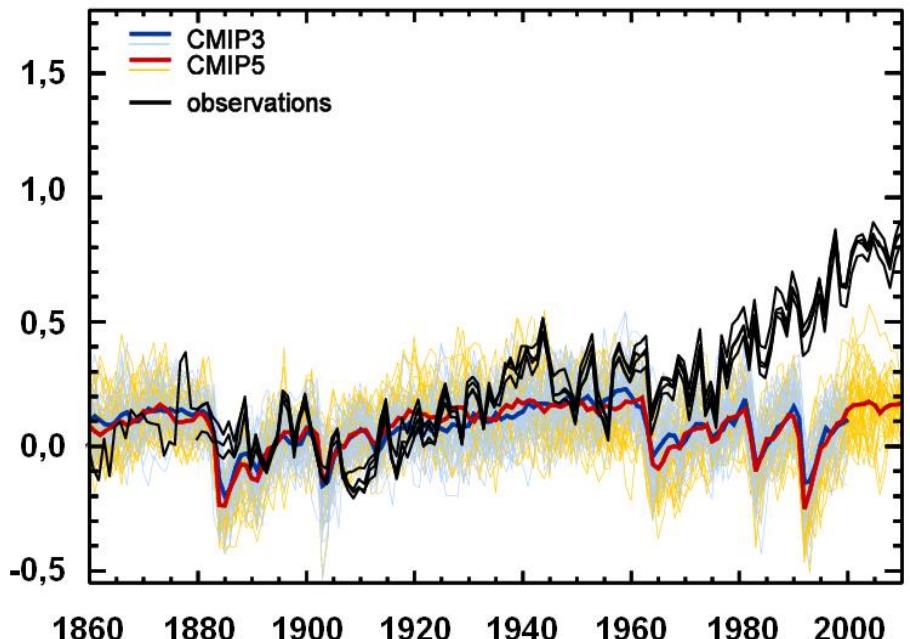
Evolutions de la température moyenne globale en surface  
Réchauffement de 1°C depuis le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle,  
100% dû aux activités humaines

Global 60-month average  
temperature

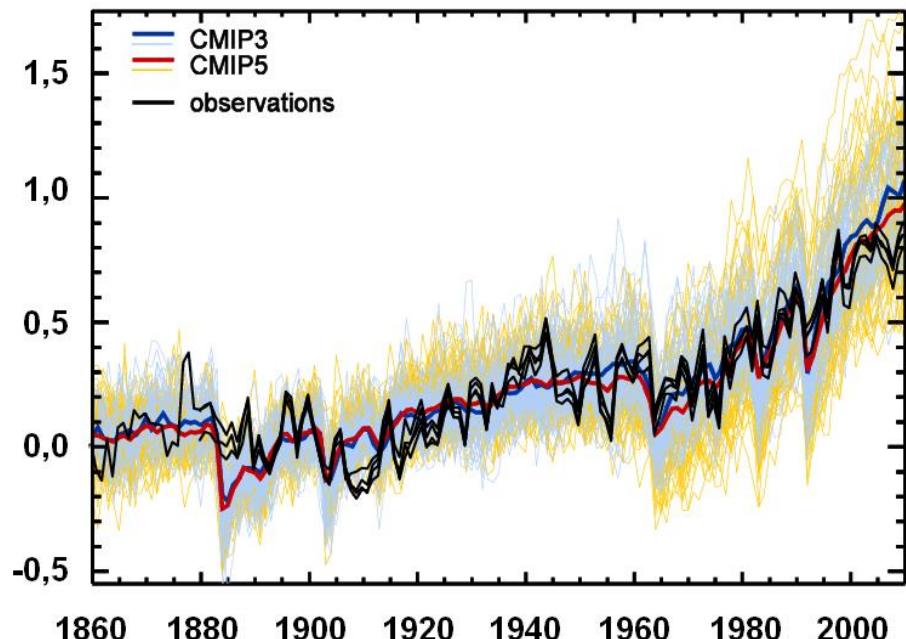
Increase above  
pre-industrial level



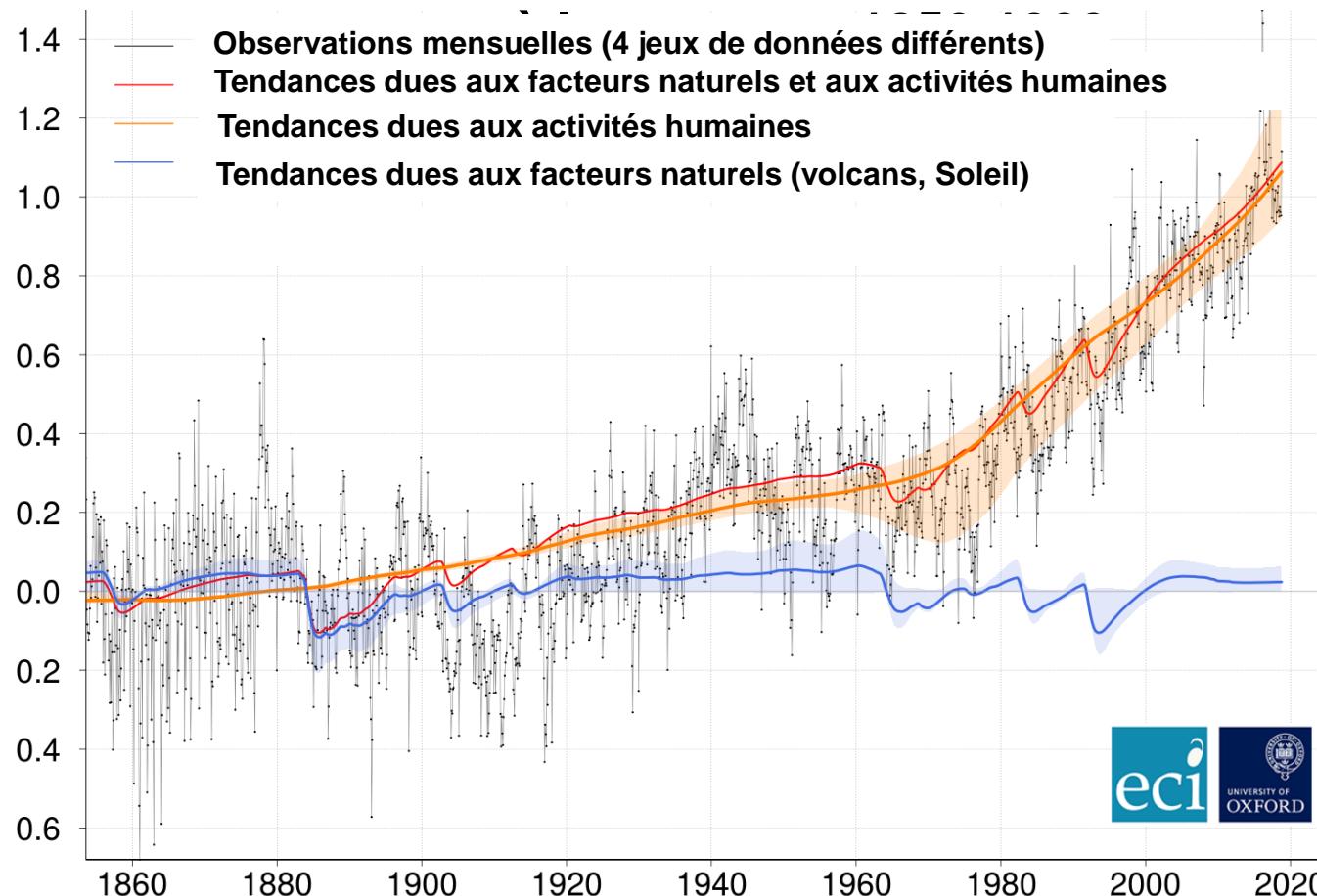
## Simulations avec forçages naturels seulement



## Simulations avec forçages naturels et anthropiques

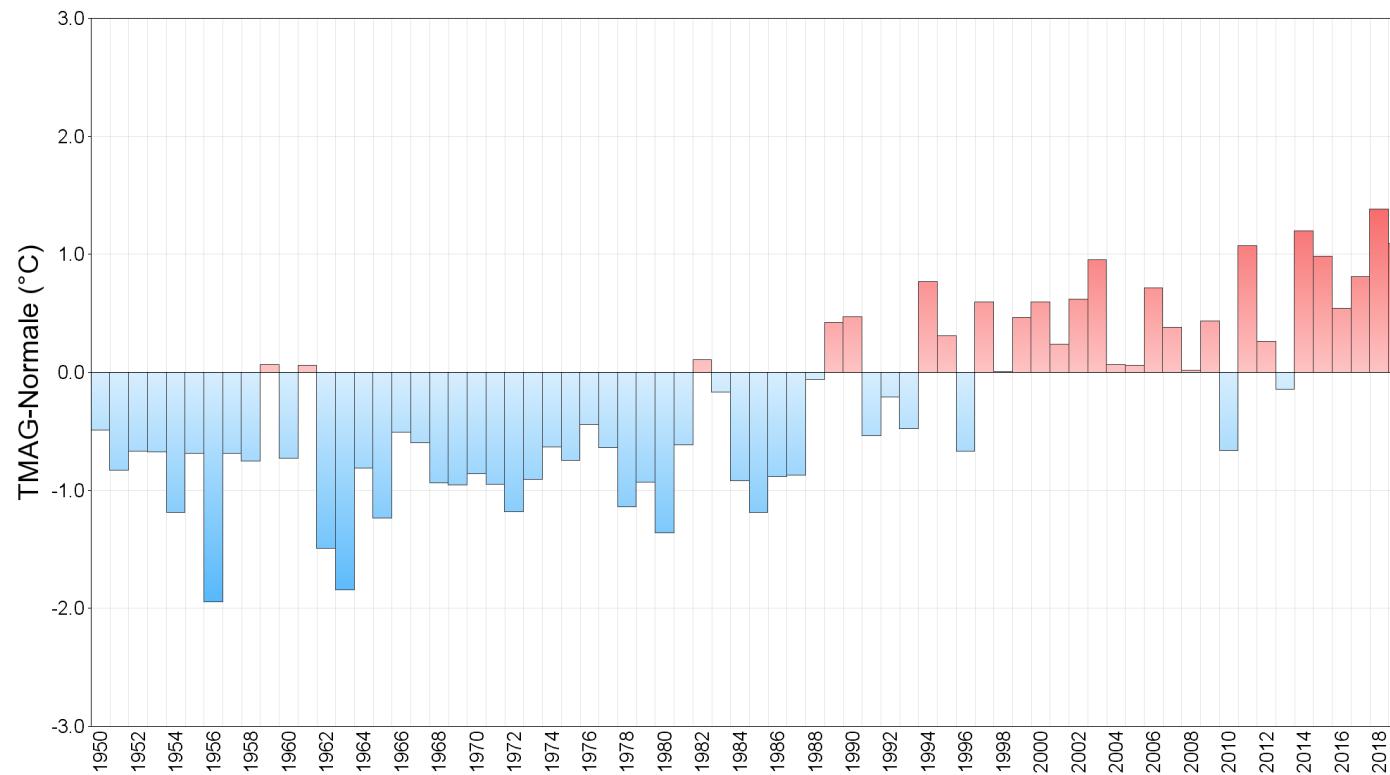


## Réchauffement mesuré à la surface de la Terre (continents et océans)

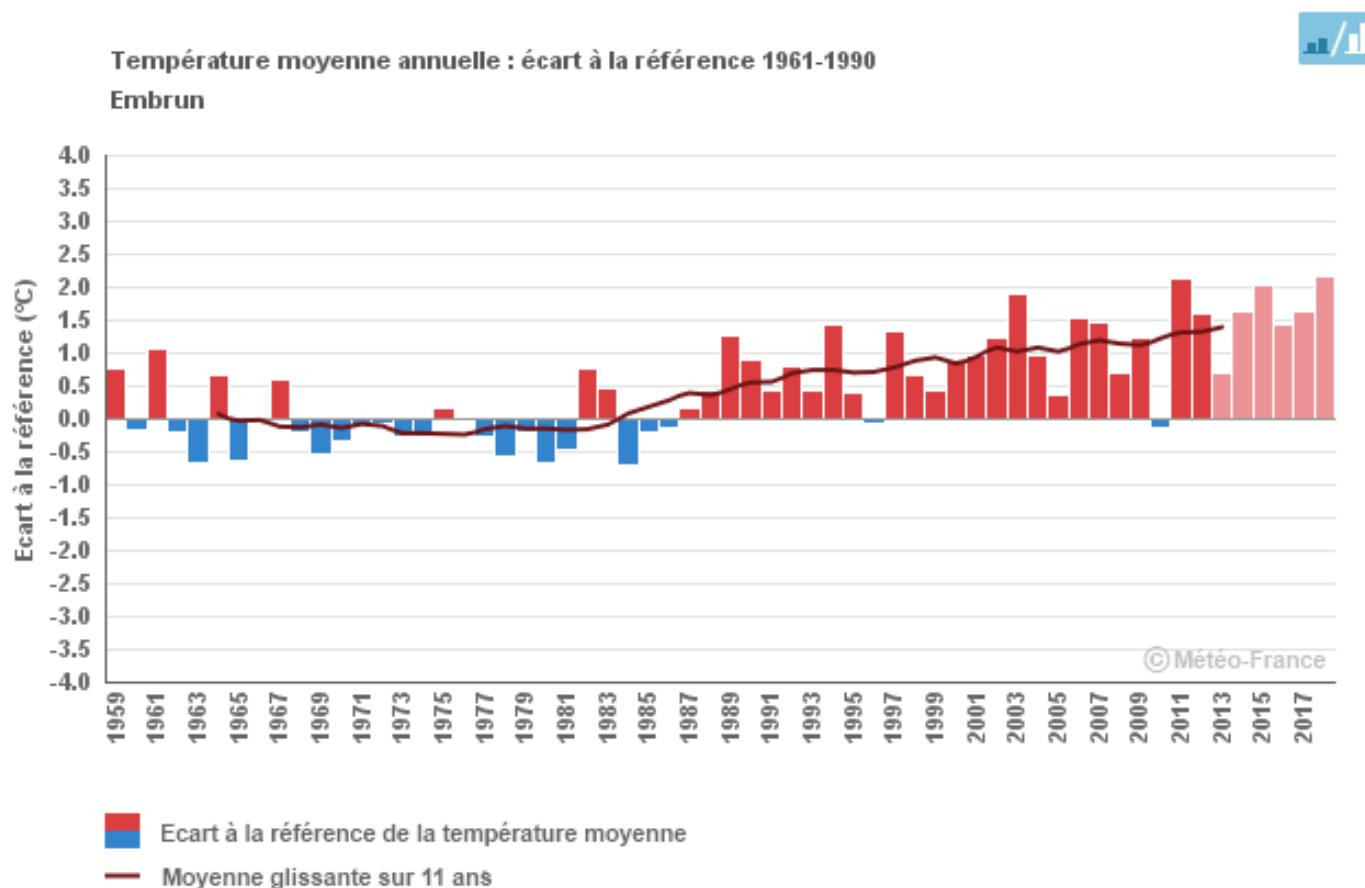


# Tendances de température en France

(température moyenne annuelle, écart à la moyenne 1981-2010)



# Tendances de température à Embrun



# Analyse historiques des fluctuations et tendances de l'enneigement dans les montagnes françaises

Outil SAFRAN – Crocus,  
exploitant mesures in-situ (y  
compris réseau nivo-  
météorologique), satellites et  
modèles de prévision  
météorologique

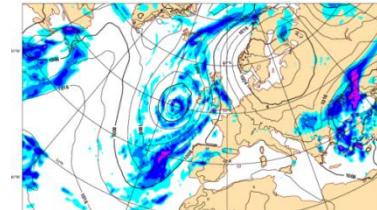


Réanalyse SAFRAN utilisée comme « pseudo-observation »

**Observations** : données nivo-météo, réseaux climatologiques, réseaux automatiques, radiosondages, observations satellites



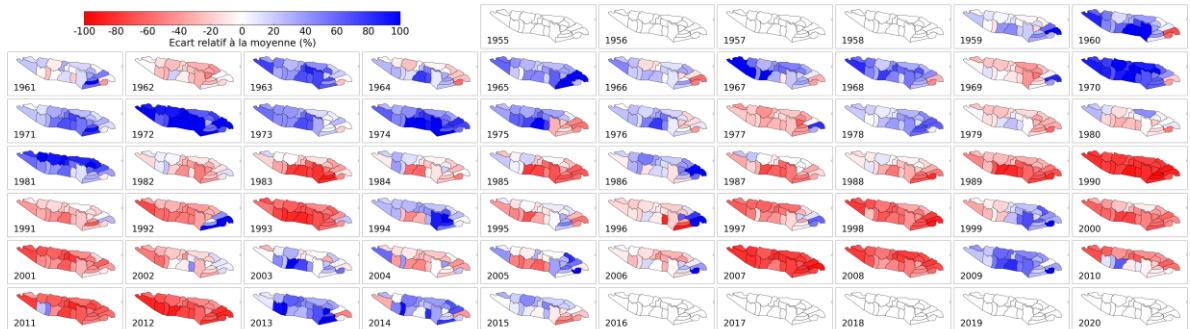
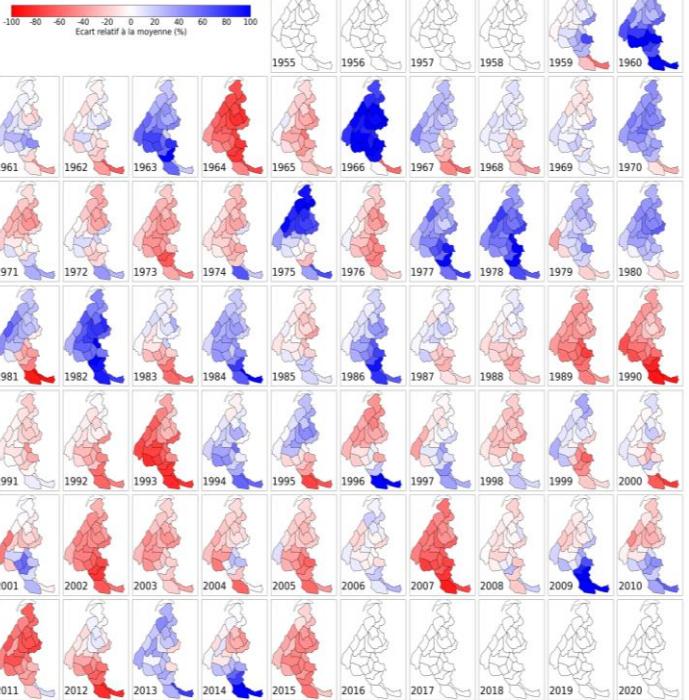
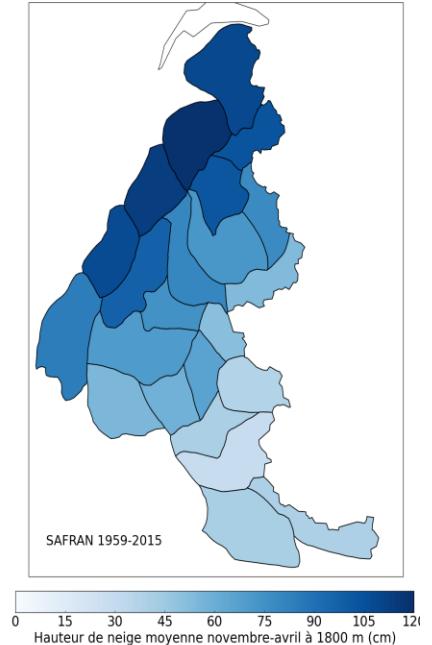
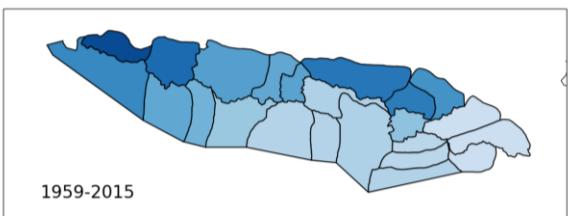
**Modèles météo** pour estimer la chronologie des événements depuis 1960



ERA40  
ARPEGE

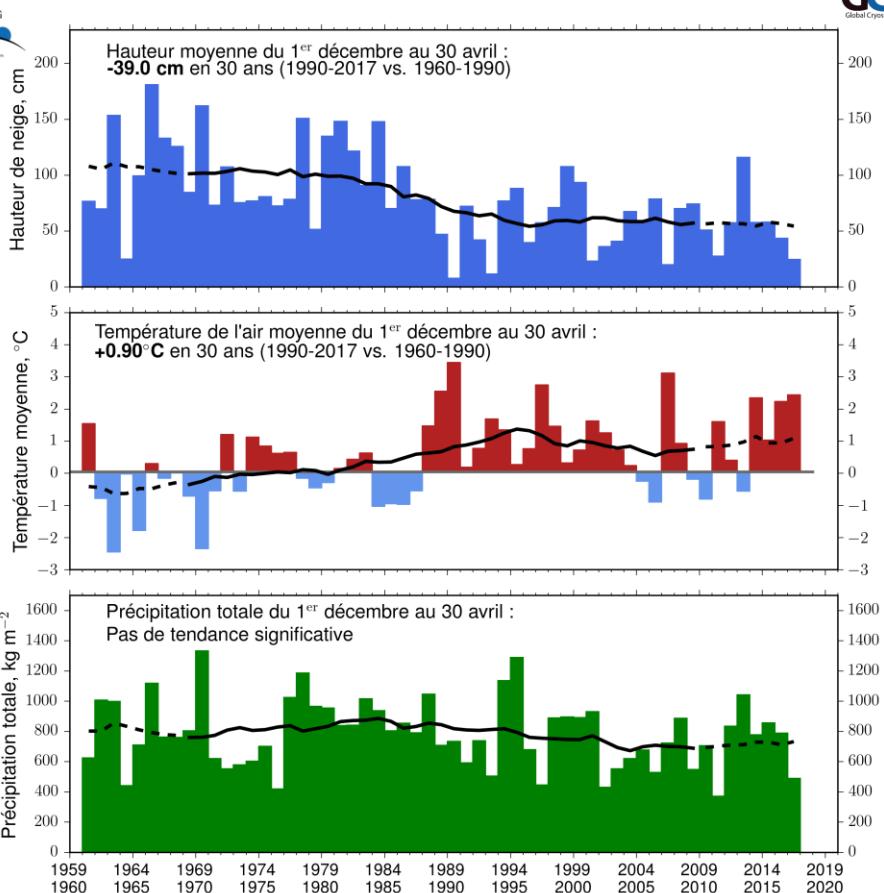
# Analyse historiques des fluctuations et tendances de l'enneigement dans les montagnes françaises

Epaisseur de neige moyenne,  
écart à la climatologie à 1800 m  
d'altitude, 1959-2016

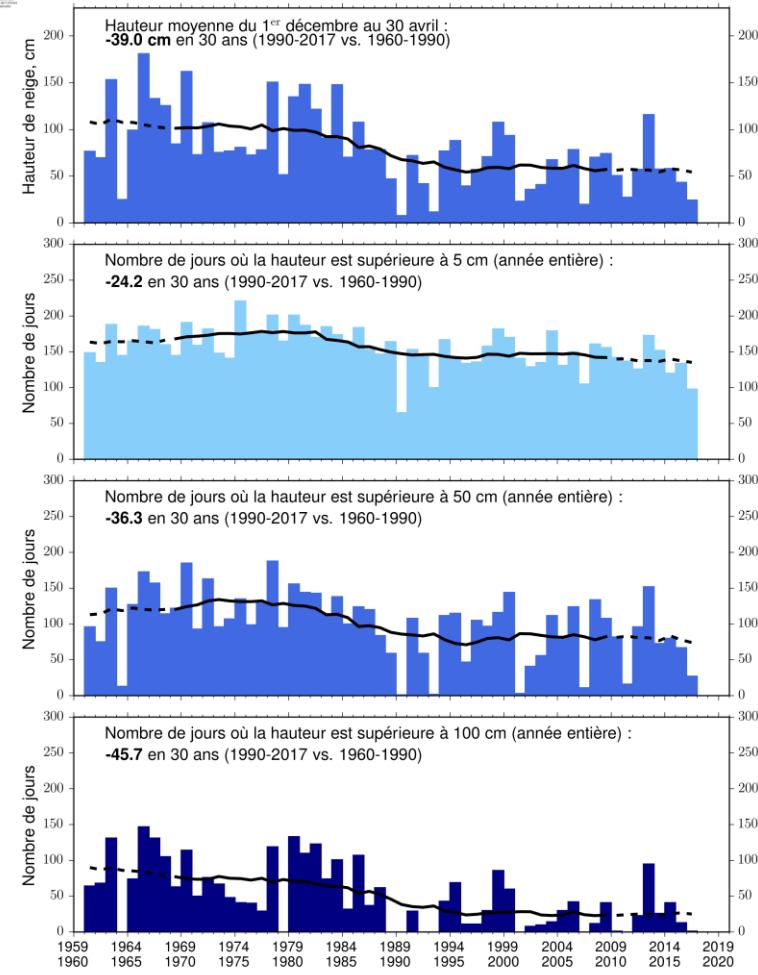


# Exemple de tendances en montagne Col de Porte, 1325 m

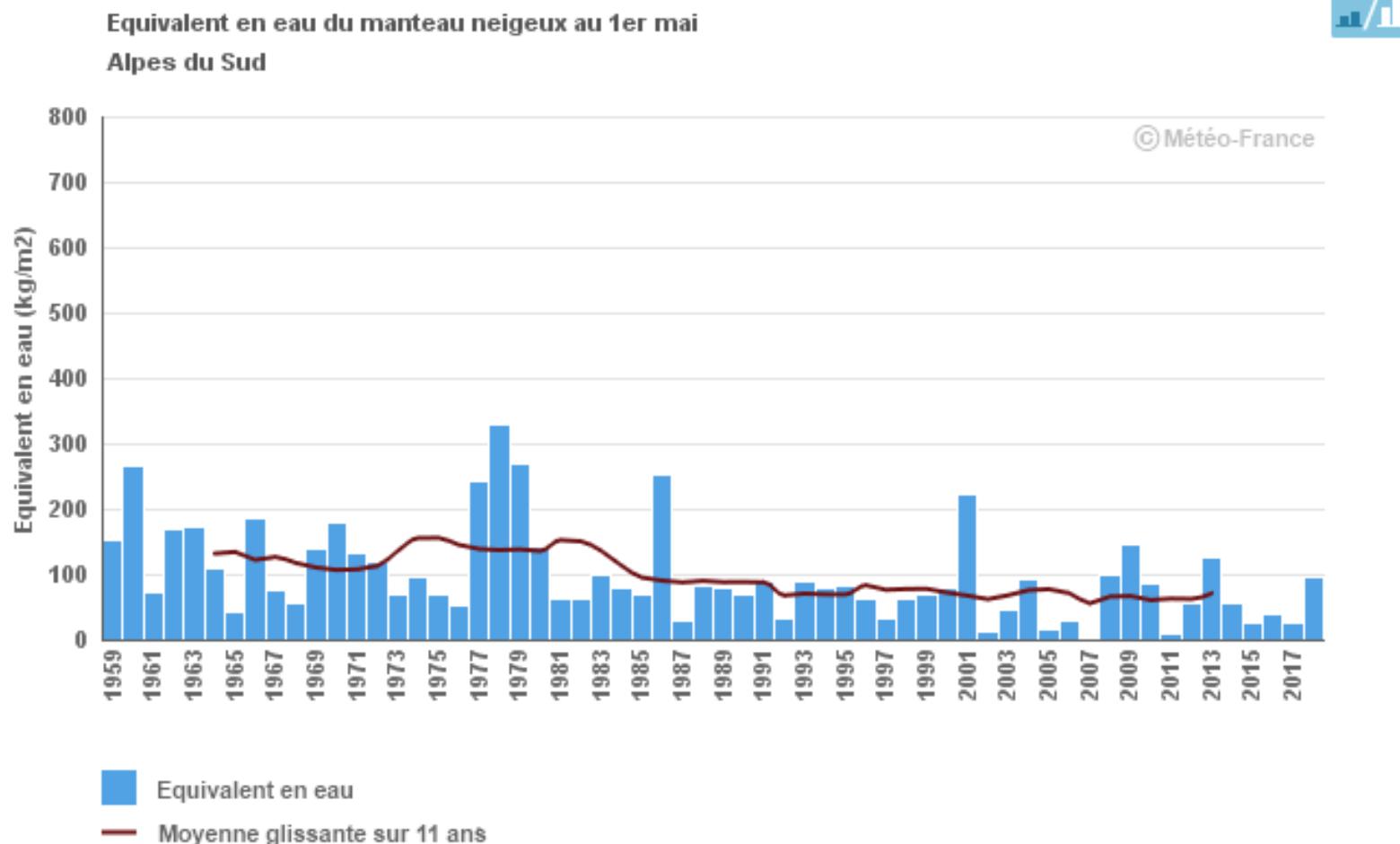
Enneigement, température et précipitations hivernales  
Col de Porte (1325 m, Chartreuse)  
Valeurs annuelles et moyennes glissantes sur 15 ans

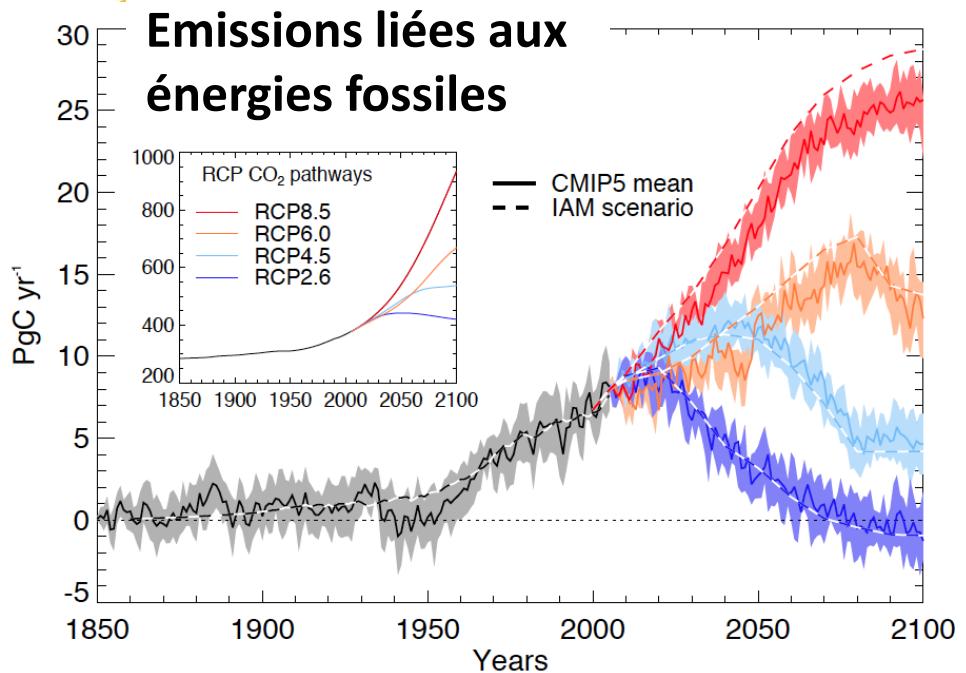


Enneigement au Col de Porte (1325 m, Chartreuse)  
Valeurs annuelles et moyennes glissantes sur 15 ans

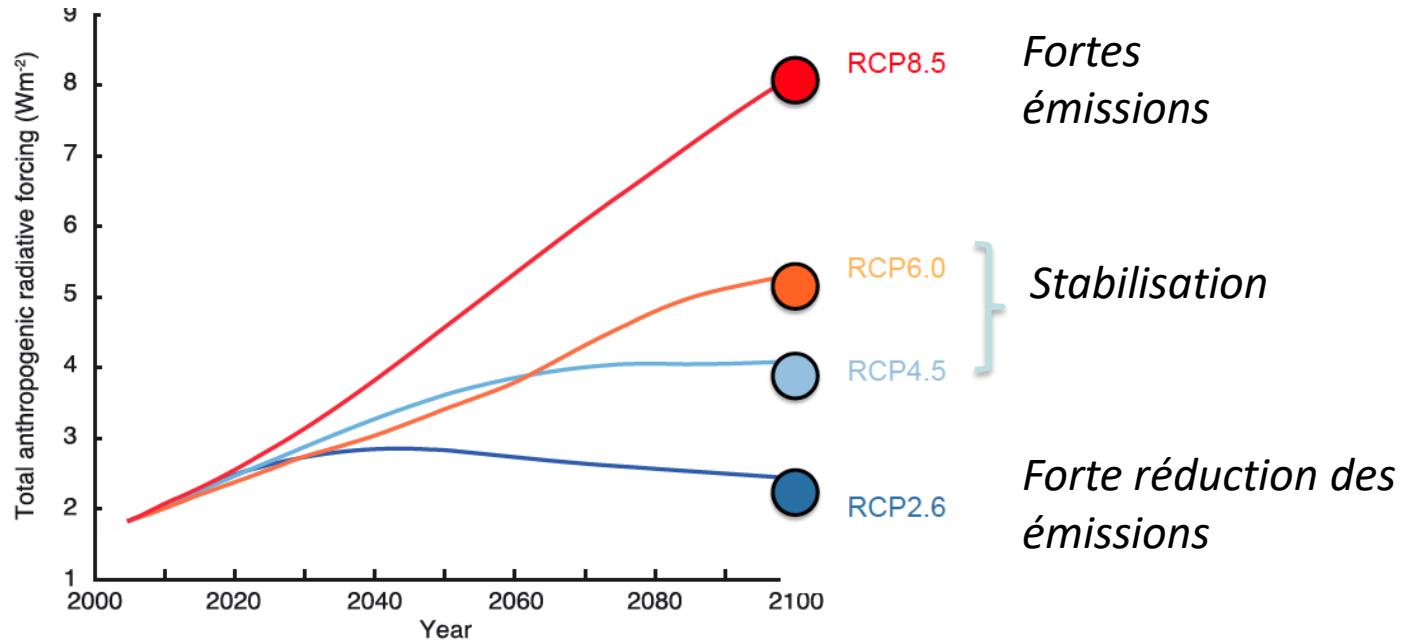


# Tendances de stock de neige au 1<sup>er</sup> mai dans les Alpes du Sud





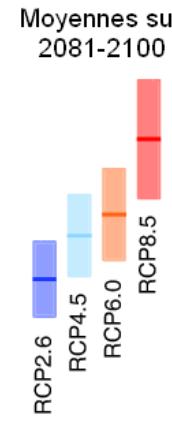
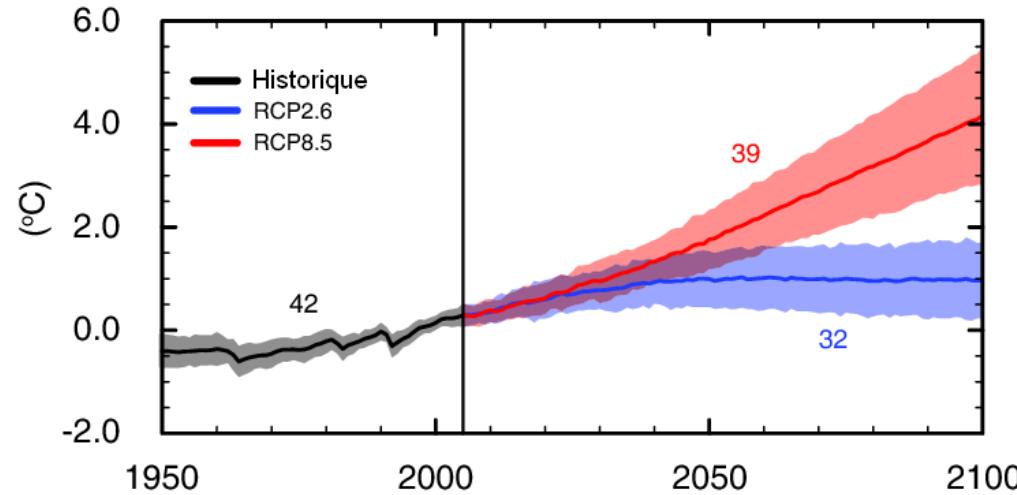
RCP : « Representative concentration pathways » ( en  $\text{W/m}^2$  )



# Projections climatiques au 21<sup>ème</sup> siècle : besoin de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre

*Fortes émissions*  
*Stabilisation*  
*Forte réduction des émissions*

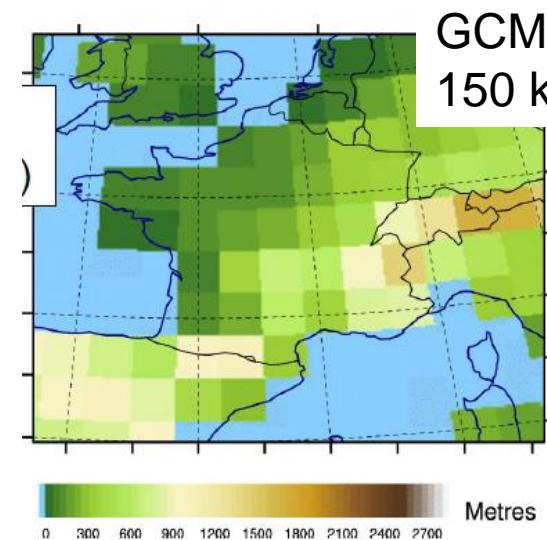
## Moyennes multimodèles du réchauffement global en surface relativement à 1986-2005



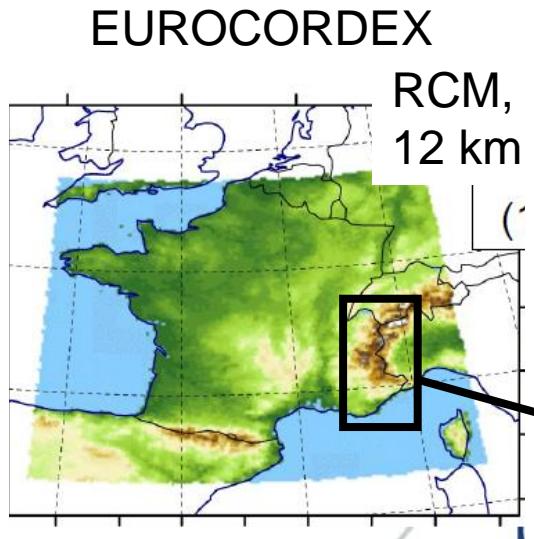
Le changement de la température moyenne du globe en surface pour la fin du XXI<sup>e</sup> siècle dépassera *probablement* 1,5°C par rapport à 1850-1900 pour tous les scénarios RCP, sauf pour le scénario RCP2.6. Il est *probable* qu'il dépassera 2°C pour les scénarios RCP6.0 et RCP8.5.

Le réchauffement se poursuivra au-delà de 2100 pour tous les scénarios RCP à l'exception du RCP2.6.

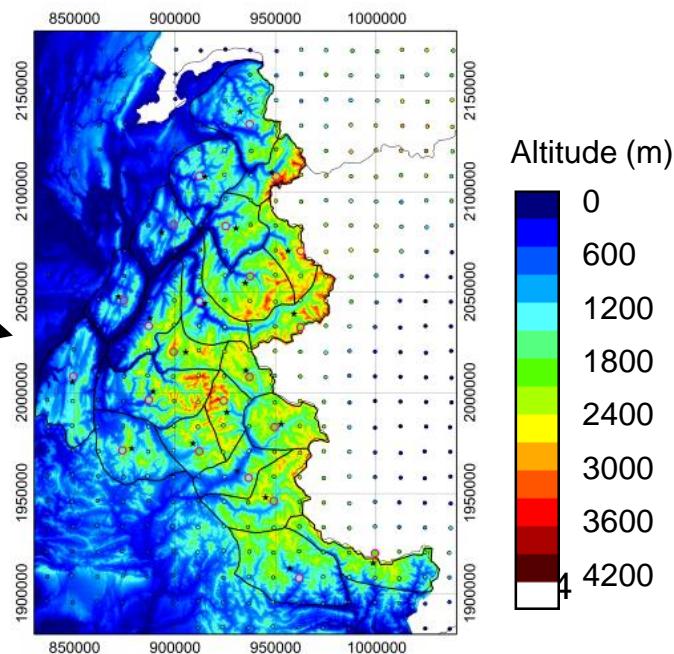
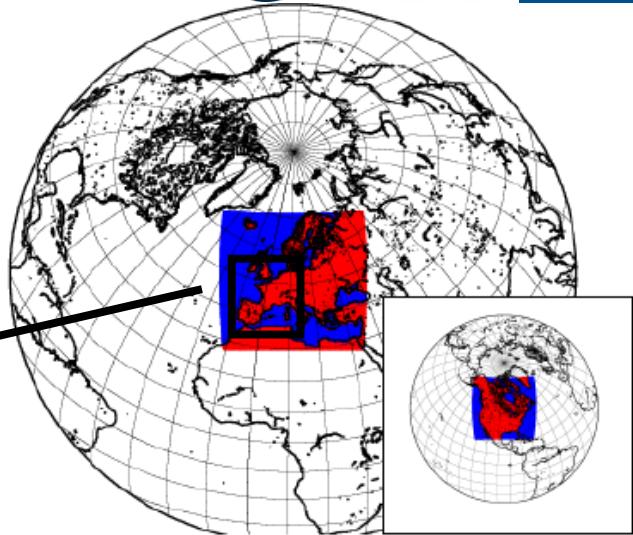
- Cascade de modèles et ajustements pour exploiter les projections climatiques à échelle mondiale et les appliquer aux territoires de montagne



Modèle de climat  
régional (RCM)



Ajustements  
statistiques,  
ADAMONT



# Projections climatiques pour la neige naturelle

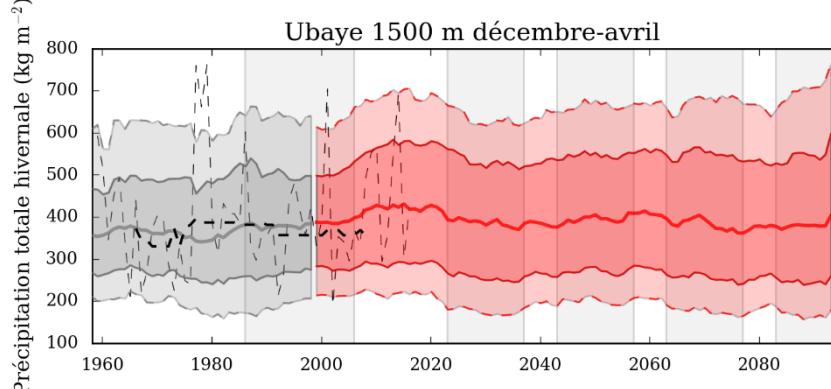
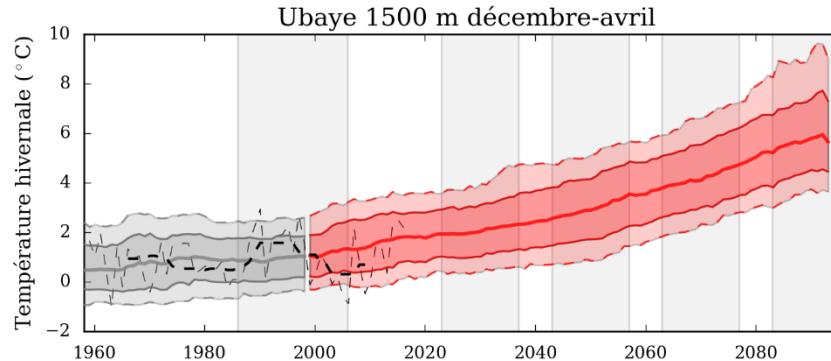
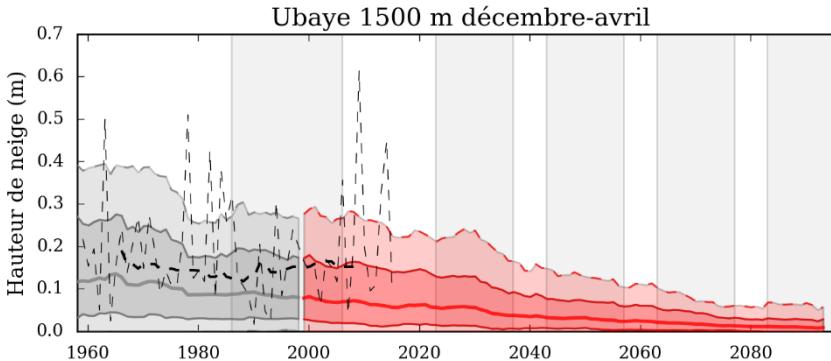
Maintien d'une  
variabilité  
interannuelle

Raréfaction de  
l'enneigement

Effet du scénario

RCP 8.5

Communauté  
UNIVERSITÉ Grenoble Alpes



# Projections climatiques pour la neige naturelle

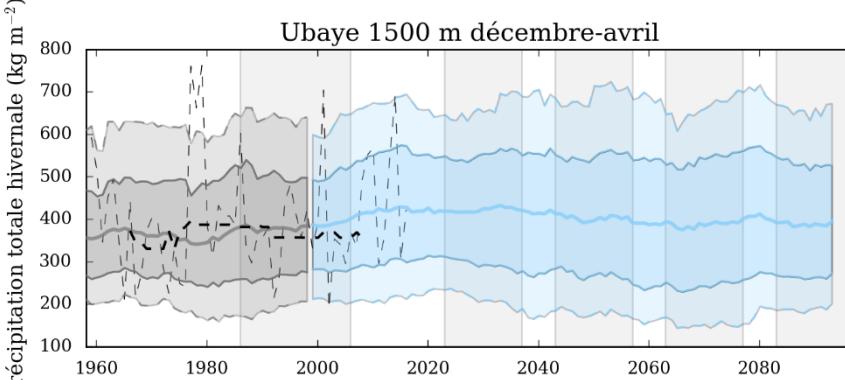
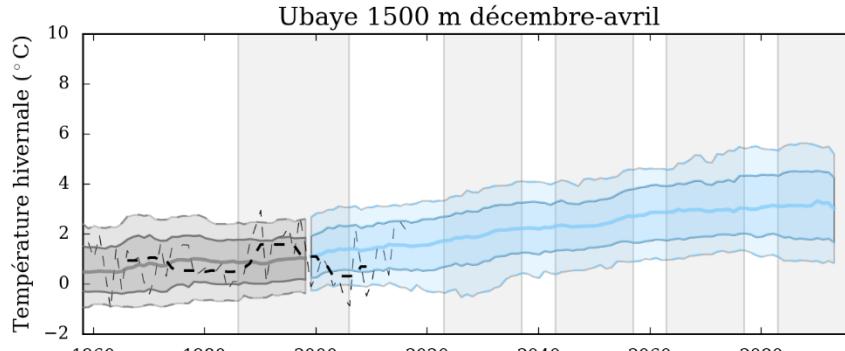
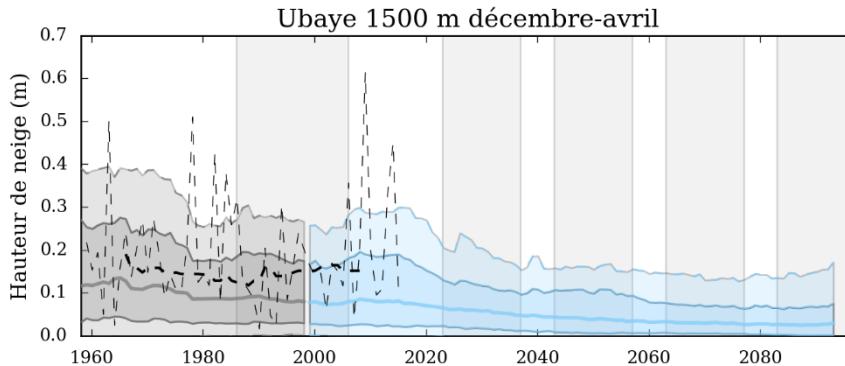
Maintien d'une  
variabilité  
interannuelle

Raréfaction de  
l'enneigement

Effet du scénario

**RCP 4.5**

**Communauté  
UNIVERSITÉ Grenoble Alpes**



# Projections climatiques pour la neige naturelle

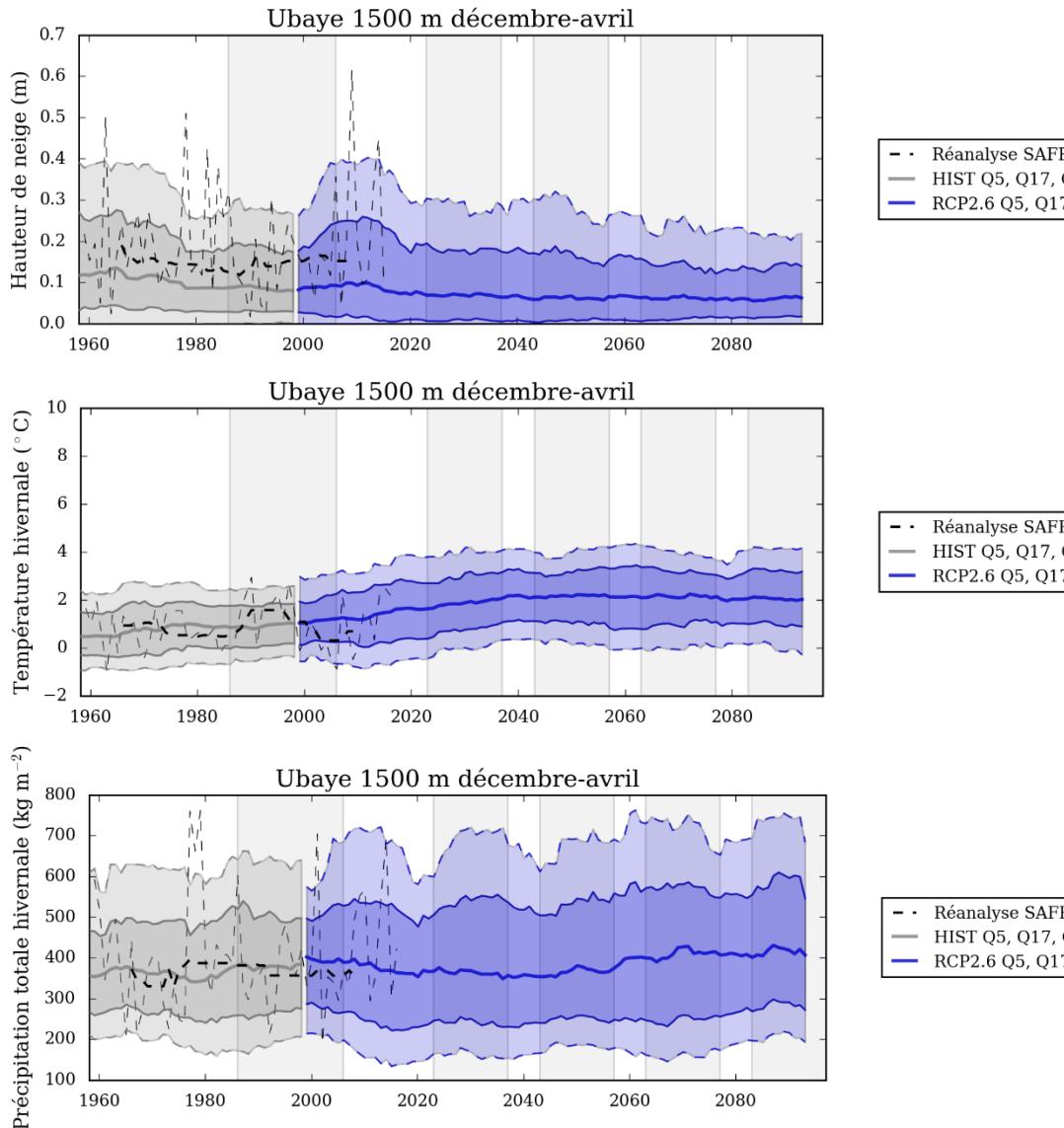
Maintien d'une  
variabilité  
interannuelle

Raréfaction de  
l'enneigement

Effet du scénario

**RCP 2.6**

**Communauté  
UNIVERSITÉ Grenoble Alpes**



# Quid des stations de sport d'hiver ?

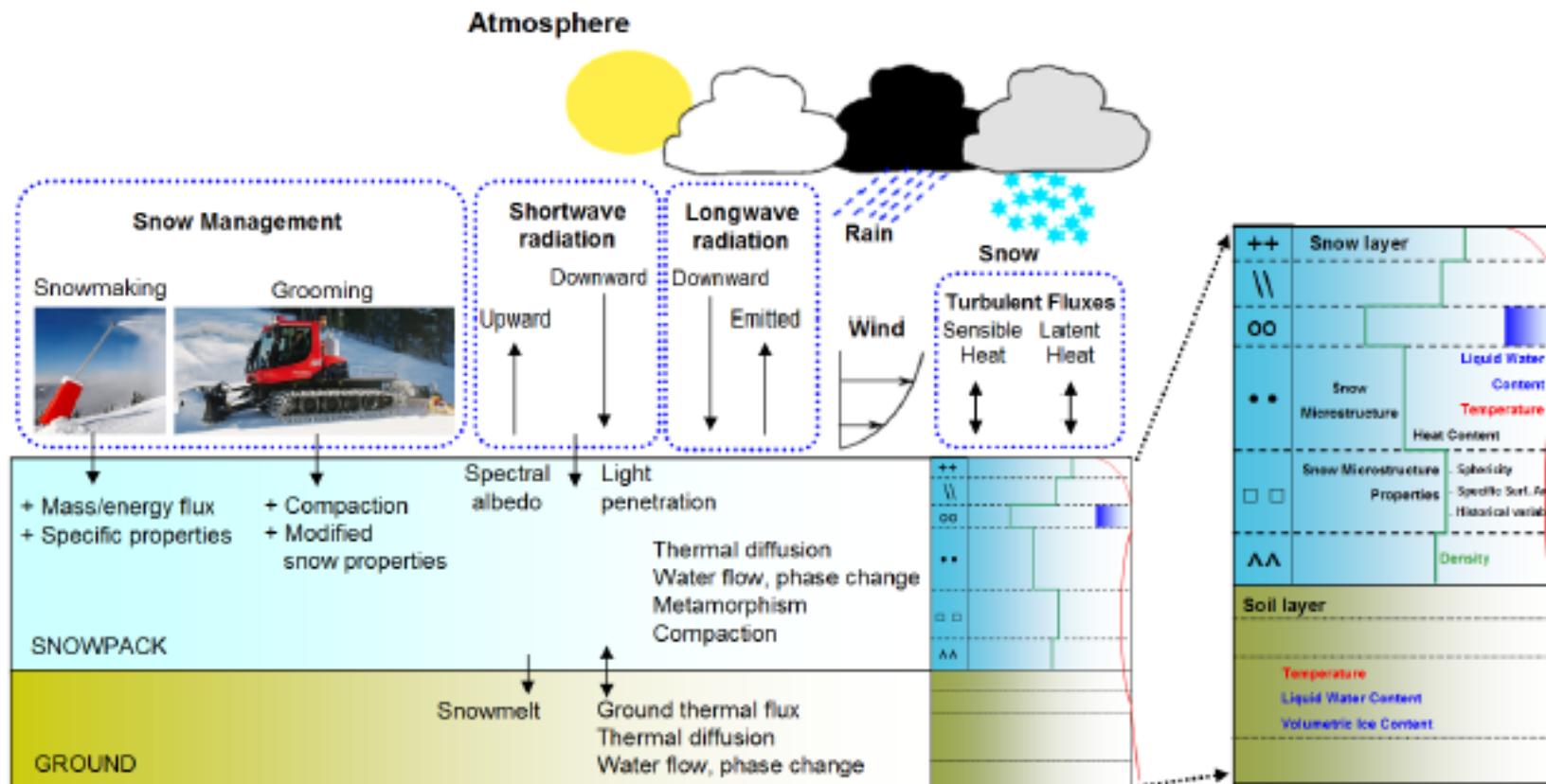
One major limitation that has been criticized in many publications of the last decade (e.g. Scott et al., 2003; Scott et al., 2006; Steiger, 2010; Steiger & Stötter, 2013) is the omission of snowmaking. This is akin to modelling the impact of climate change on an irrigated crop, without the irrigation. Where snowmaking is an integral component of contemporary ski

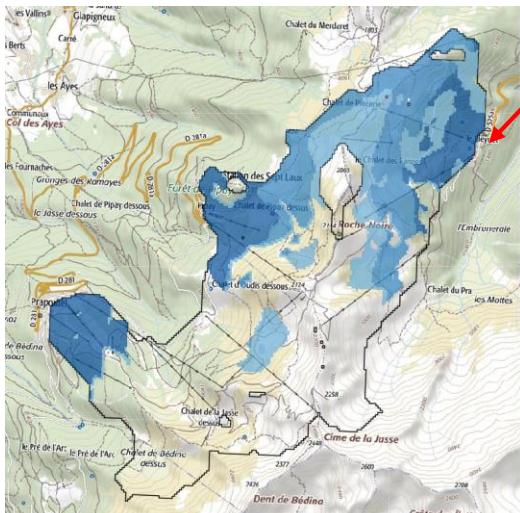
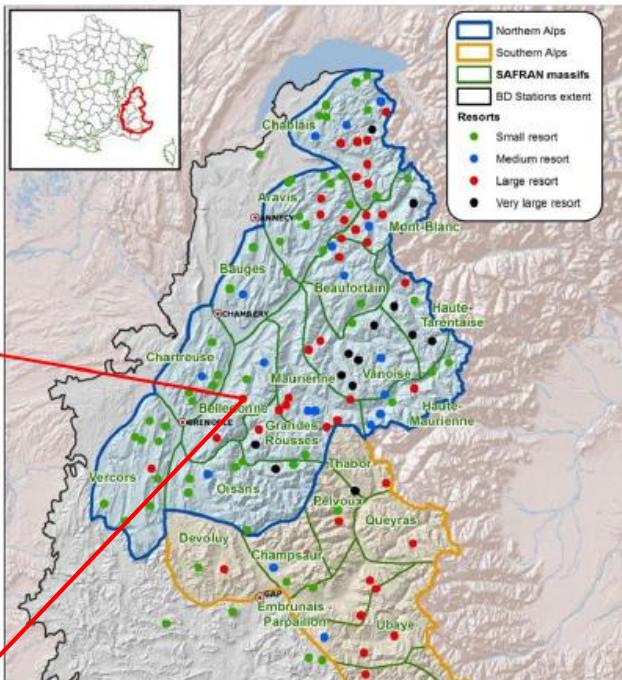
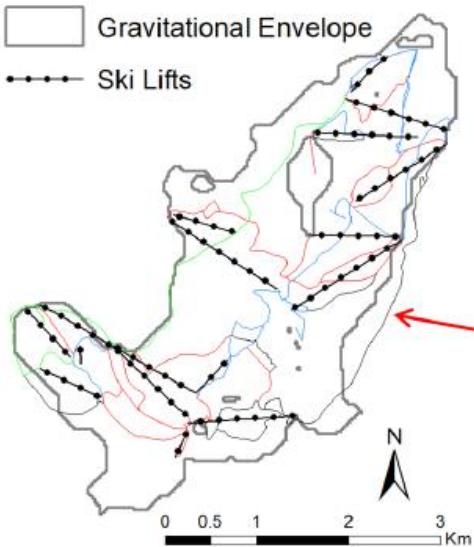
Steiger et al., 2017

variable ski seasons, a contraction in the number of operating ski areas, altered competitiveness among and within regional ski markets, and subsequent impacts on employment and the value of vacation properties (Steiger et al., 2017). Studies that continue to omit snowmaking do not reflect the operating realities of most ski areas and overestimate impacts at 1.5–2°C. In all regional markets, the extent and timing of these impacts depend on the magnitude of climate change and the types of adaptive responses by the ski industry, skiers

IPCC 2018, SR15

# Outils spécifiques pour simuler le manteau neigeux sur pistes en tenant compte des pratiques opérationnelles de gestion de la neige (damage, neige de culture)





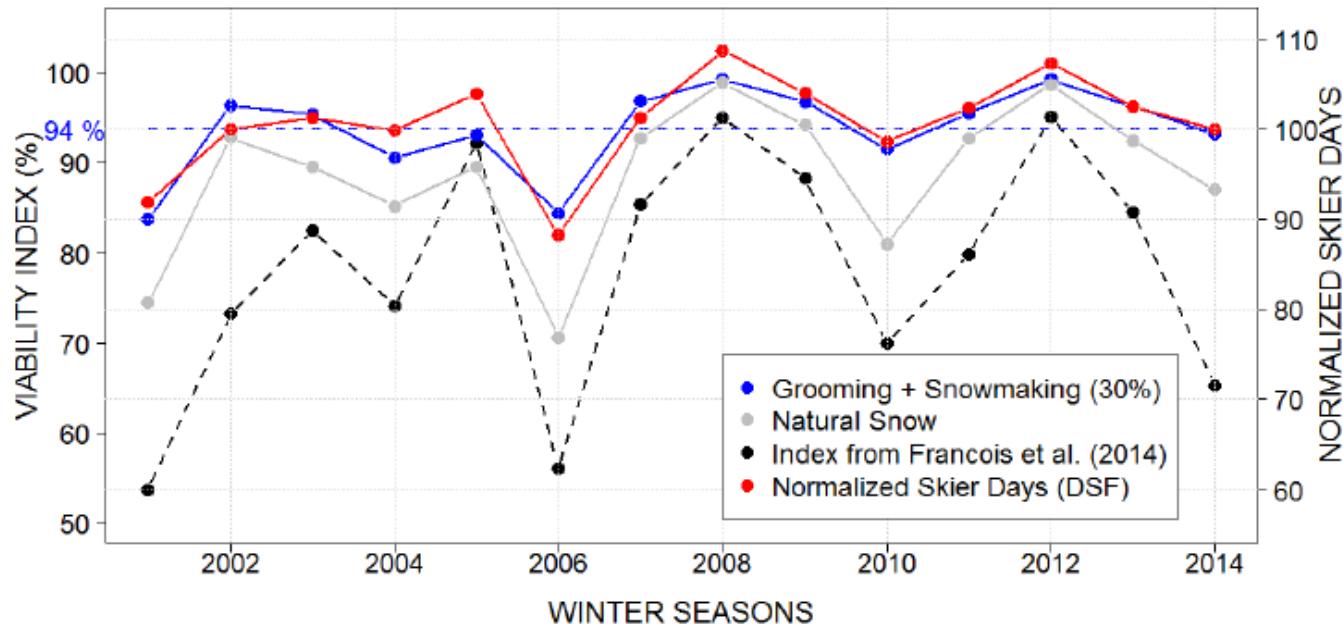
Part de l'enveloppe  
gravitaire couverte  
par la neige de culture

- 15%
- 30%
- 45%

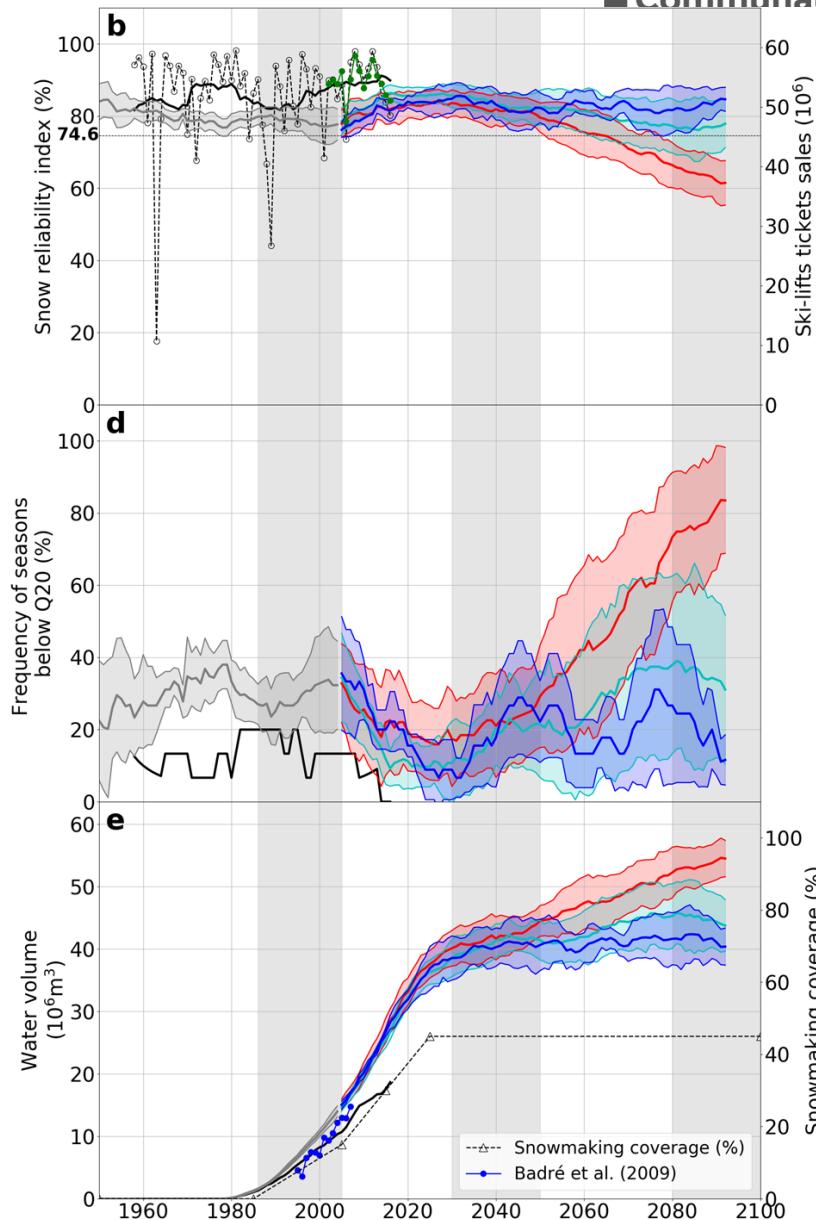
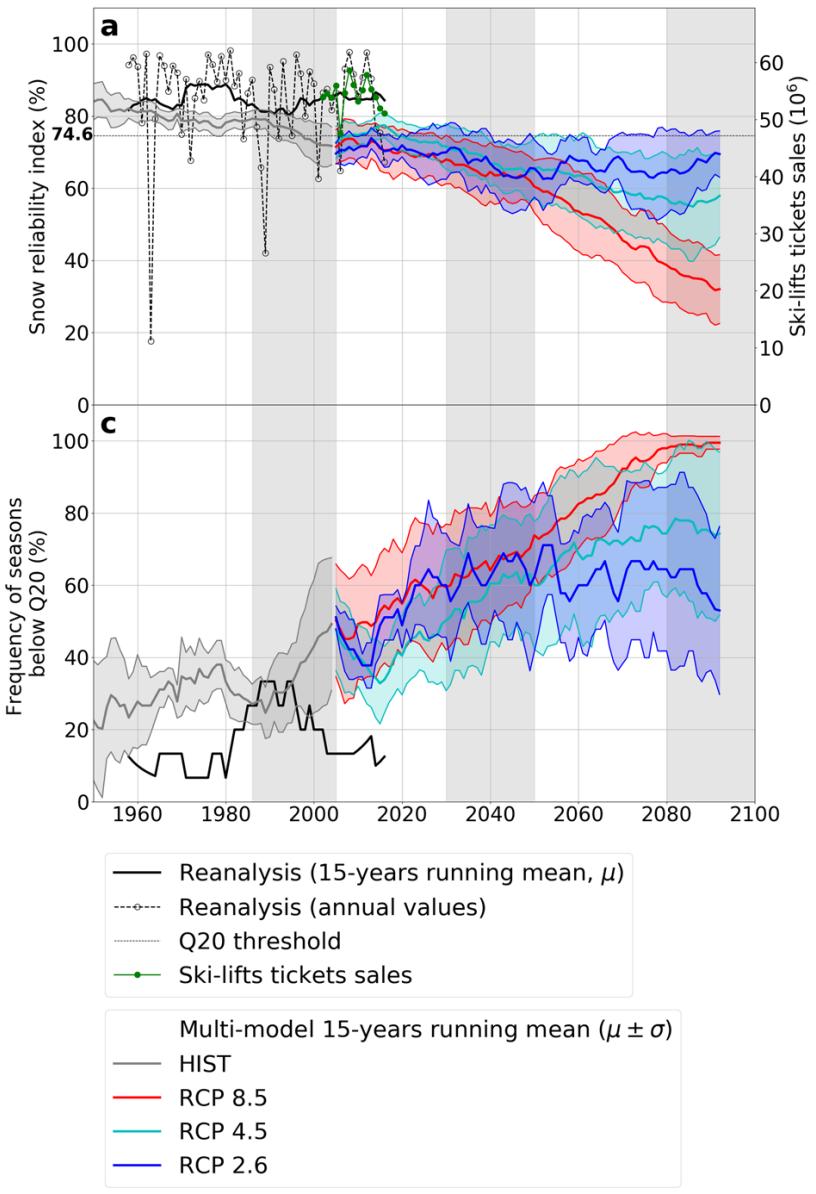
**Prise en compte  
explicite de la  
structure spatiale  
des domaines  
skiables  
(distribution spatiale  
des remontées  
mécaniques, des  
pentes et  
orientations,  
distribution des  
équipements de  
neige de culture)**

## A l'échelle des Alpes

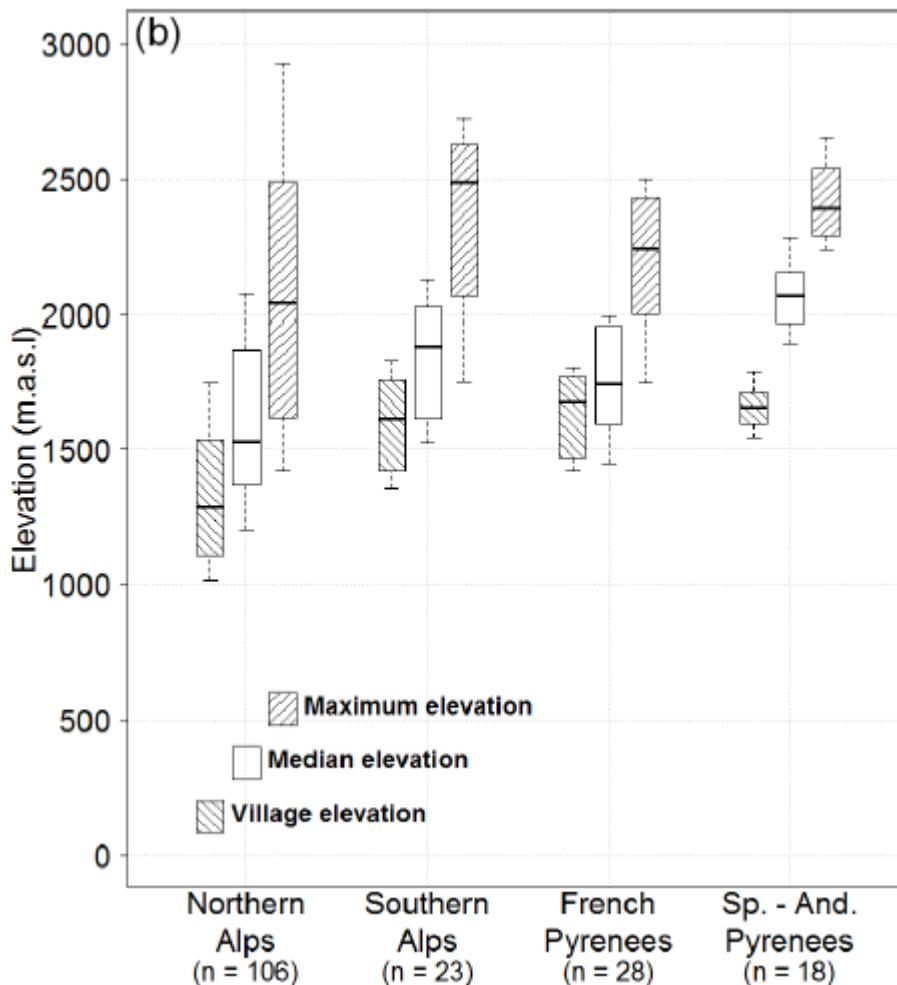
**Variations de  
l'enneigement  
simulé (en tenant  
compte  
damage+neige de  
culture) mieux  
corrélées à la  
fréquentation que  
l'enneigement  
naturel avec  
indicateur simple  
(30 cm – 100  
jours)**



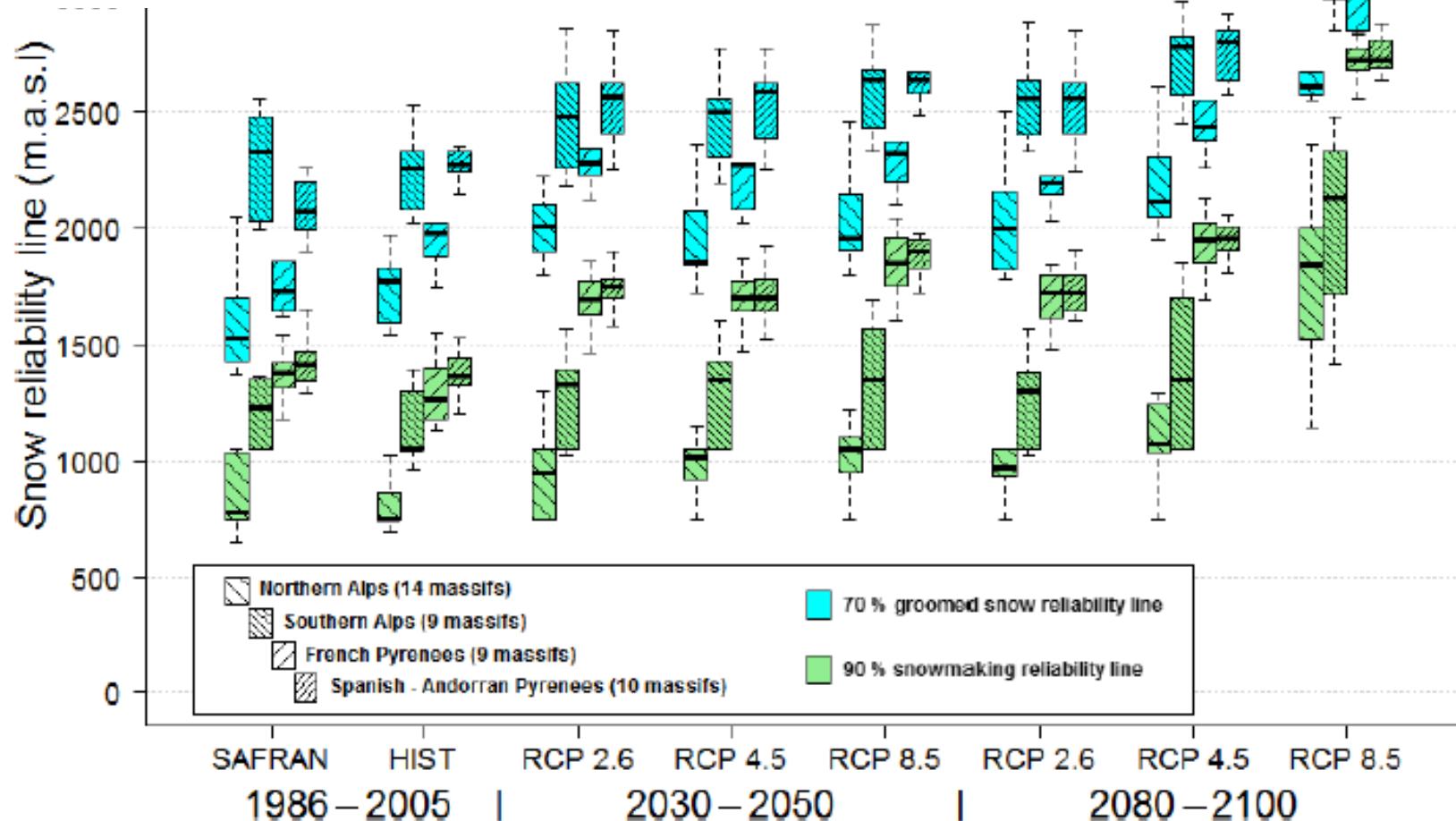
Règle de calcul basée sur l'enneigement aux  
vacances de Noël et d'hiver



# Différences structurelles et climatologiques Alpes du Nord / Alpes du Sud



# Différences structurelles et climatologiques Alpes du Nord / Alpes du Sud



La neige de culture a atténué les effets de la baisse de l'enneigement, à l'échelle des Alpes.

Pour un réchauffement de plus de 2°C à l'échelle planétaire (milieu de siècle), les techniques actuelles de gestion de neige atteindront leurs limites.

Les impacts sont très contrastés en fonction des territoires.

Il existe désormais des outils pour objectiver les enjeux à l'échelle locale (prototype sur département Isère, transfert méthodologique vers le BE Dianeige + données climatiques sur portail Drias).

La question de la ressource en eau et son « recyclage » se pose et peut être traitée moyennant des études dédiées.



Merci de votre attention !



@smlmrn