



Trajectories
Univ. Grenoble Alpes



OSUG



Observatoire des
Sciences de l'Univers
de Grenoble



**Communauté
UNIVERSITÉ Grenoble Alpes**

Dans le climat futur, les événements météorologiques extrêmes seront-ils plus fréquents, plus intenses, de nature différente, décalés dans les saisons, localisés différemment ?

**Samuel Morin¹, Deborah Verfaillie¹, Matthieu Lafaysse¹, Nicolas Eckert²,
Guillaume Evin², Jean-Michel Soubeyroux³, Michel Déqué⁴**

¹Météo-France – CNRS, CNRM, Centre d'Etudes de la Neige, Grenoble, France

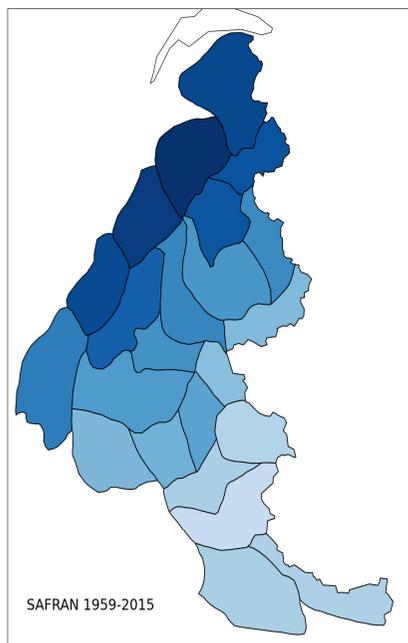
²Univ. Grenoble Alpes, Irstea, ETNA, Grenoble, France,

³Météo-France, Direction de la Climatologie et des Services Climatiques, Toulouse, France,

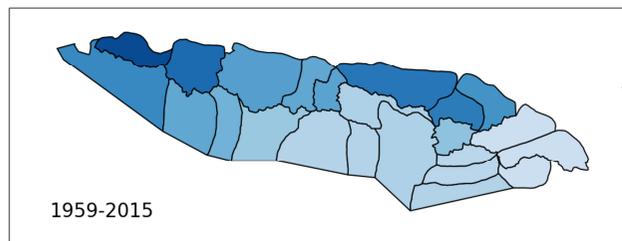
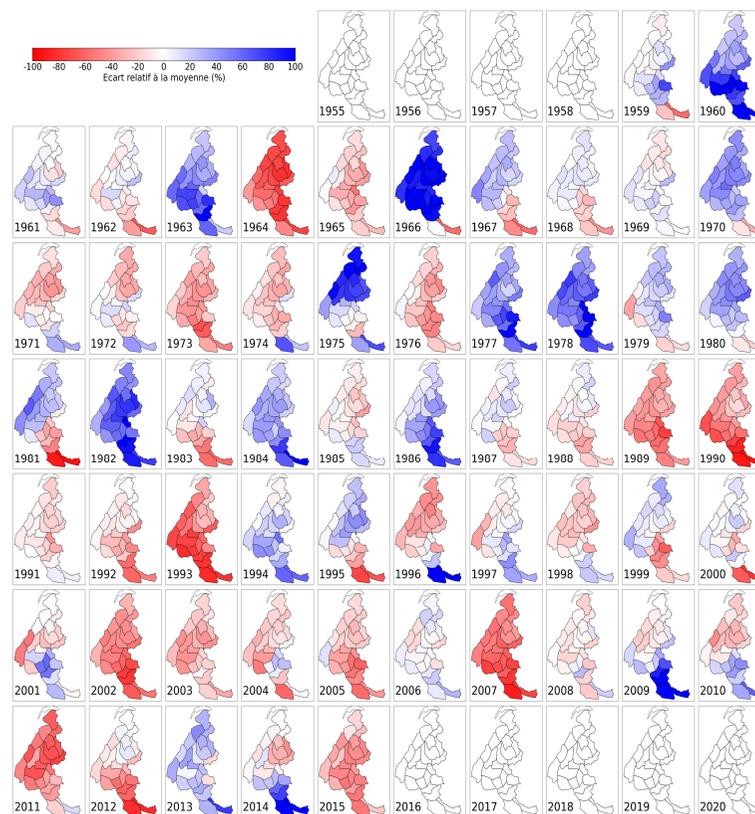
⁴Météo-France – CNRS, CNRM, Toulouse, France

Fluctuations d'une année à l'autre des conditions météorologiques et d'enneigement en zone de montagne

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

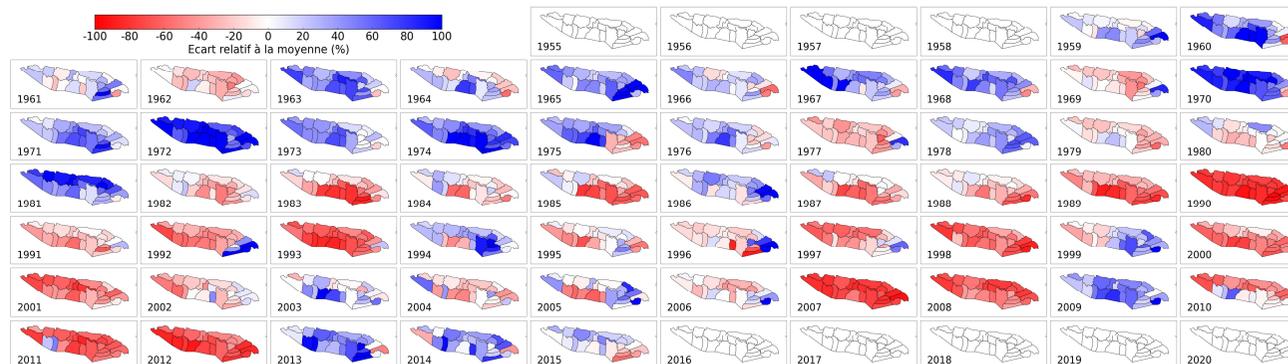


0 15 30 45 60 75 90 105 120
Hauteur de neige moyenne novembre-avril à 1800 m (cm)



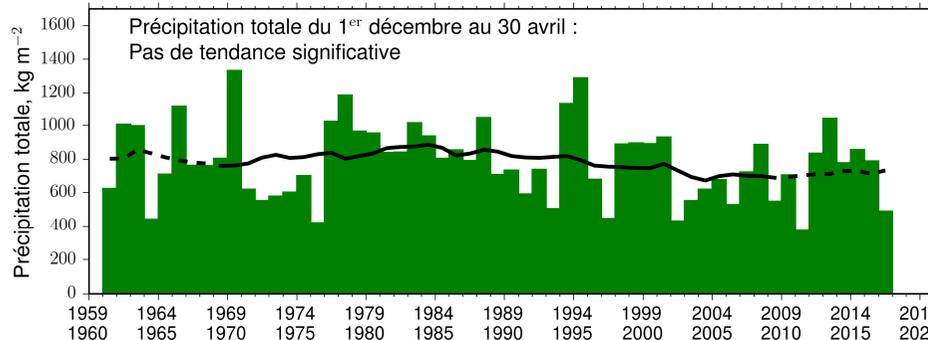
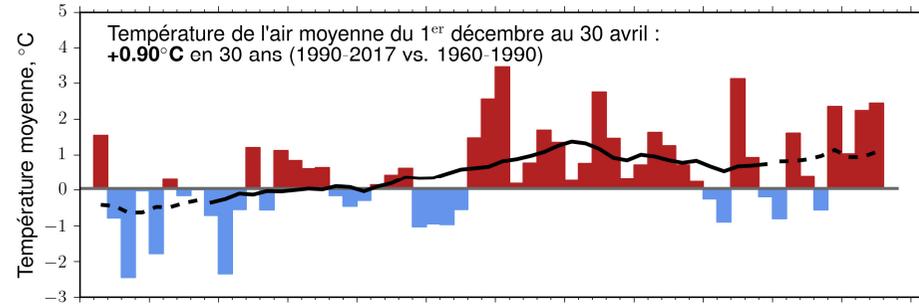
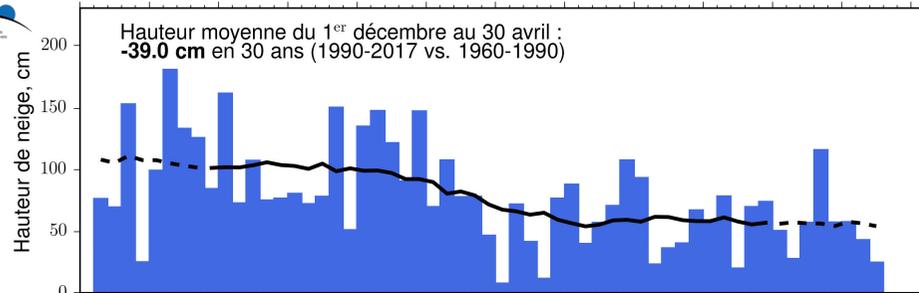
1959-2015

0 15 30 45 60 75 90 105 120
Hauteur de neige moyenne novembre-avril à 1800 m (cm)

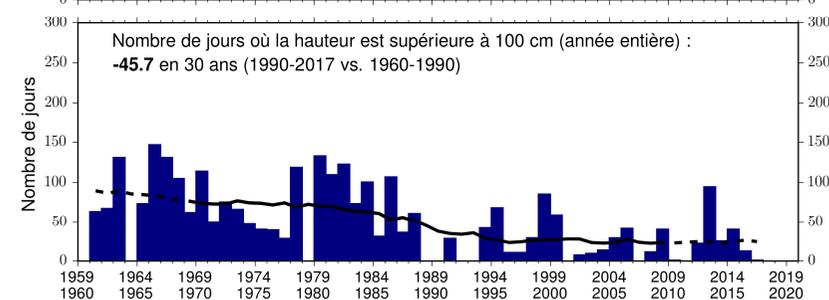
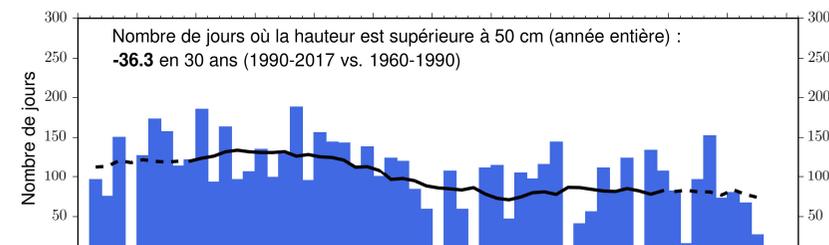
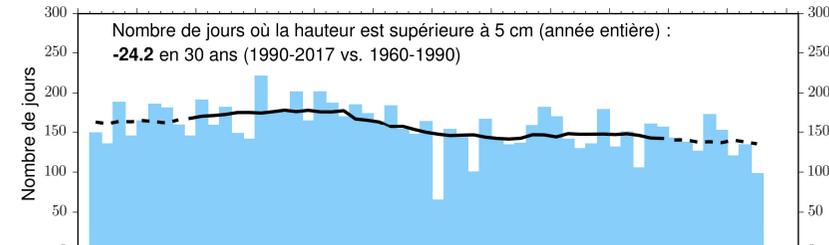
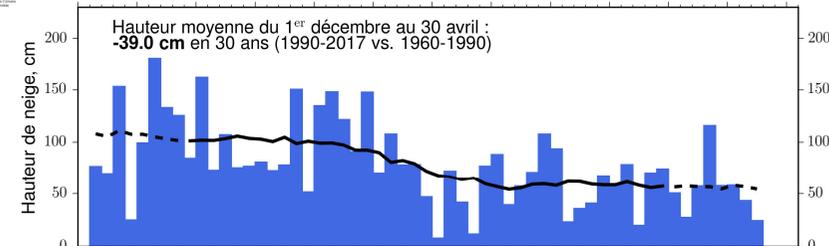


Augmentation des températures, baisse de l'enneigement, pas de tendance sur les précipitations

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

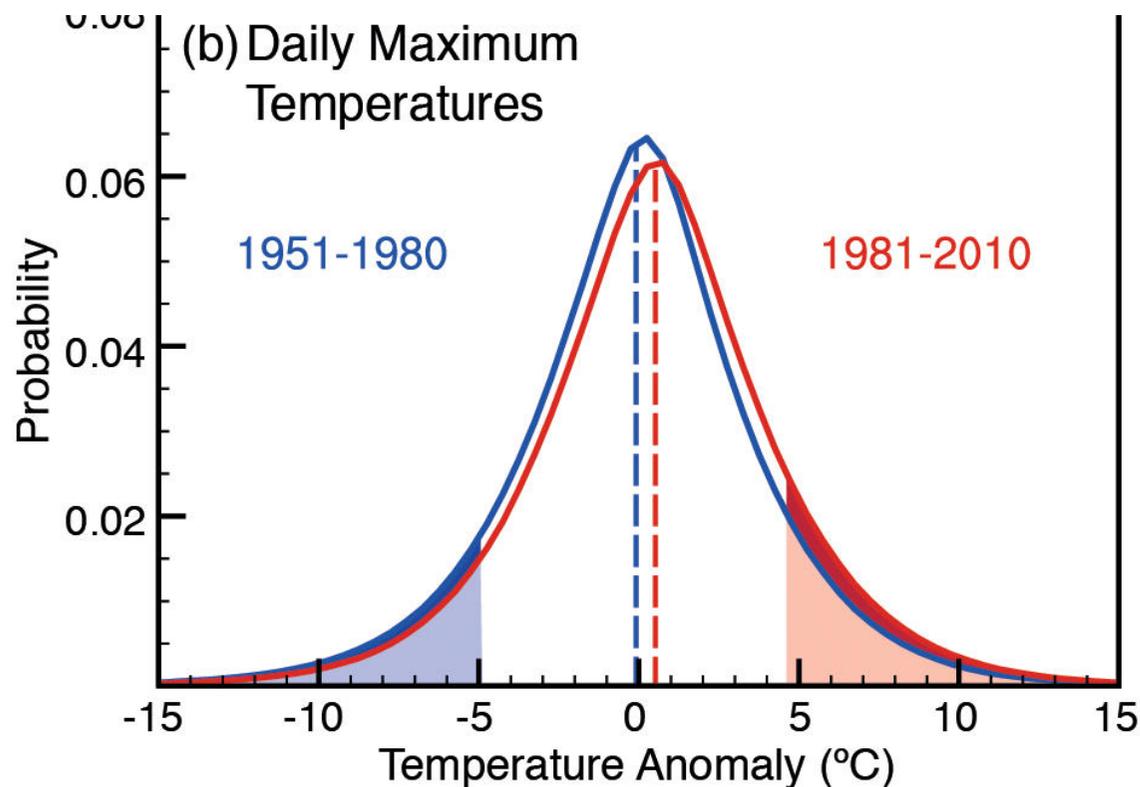


Enneigement au Col de Porte (1325 m, Chartreuse)
Valeurs annuelles et moyennes glissantes sur 15 ans



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.)

Climat et événements extrêmes

En matière de précipitations, on parle souvent:

- Du maximum annuel de la quantité de précipitation quotidienne (et son évolution)
- Du maximum annuel de la quantité de précipitation en 5 jours (et son évolution)
- De la quantité de précipitation correspondant aux 1% des valeurs quotidiennes les plus élevées (et son évolution)
- Etc.

- Extrêmes de précipitation en 1 jour en Suisse, 1901 - 2014

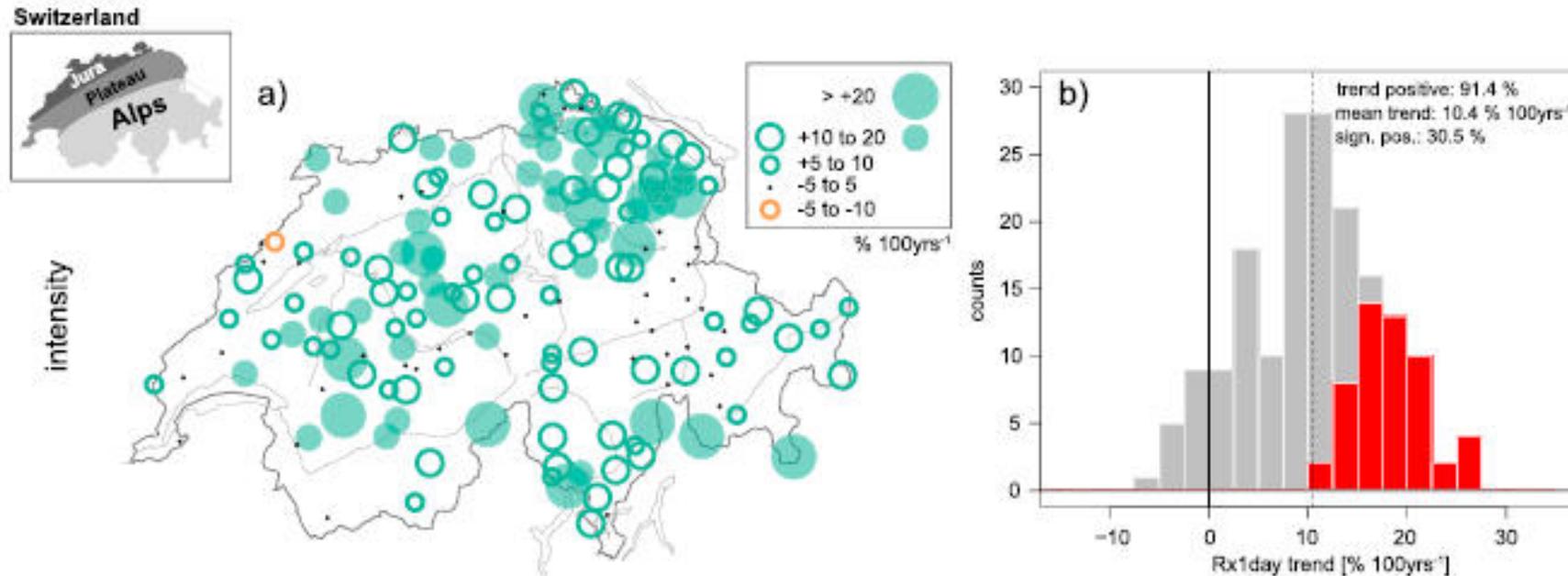
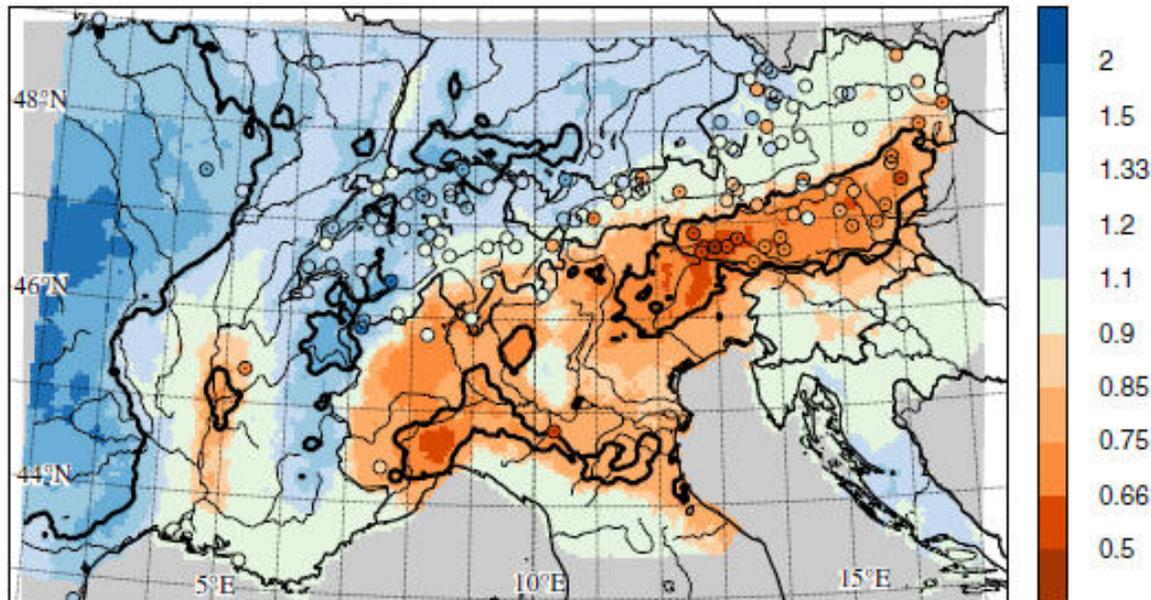


Figure 2. (a and b) Observed 1901–2014 trends of the annual daily maximum precipitation (Rx1day) and (c and d) the number of days exceeding the 99th percentile (#R99e) at ~170 Swiss precipitation stations, in % 100 yr s⁻¹. Filled circles and red histogram bars indicate trends that are statistically significant at the 5% level. The main geographical regions of Switzerland are shown in the inset on the top left corner.

- Extrêmes de précipitation en 1 jour en Suisse, 1901 - 2014
- En hiver, l'accroissement de la valeur de précipitation maximum annuelle est de +8.1% pour 100 ans (+8.3 % pour 100 ans en été).

(a) Winter

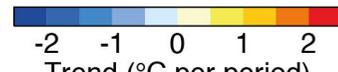
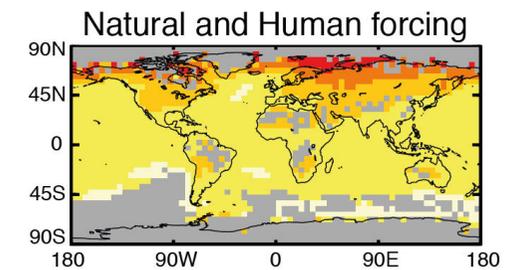
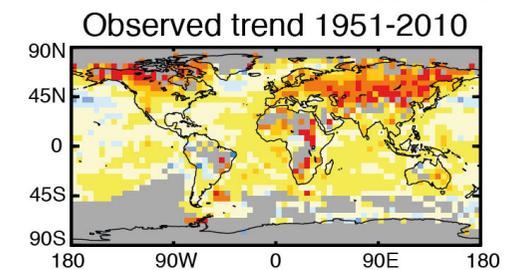
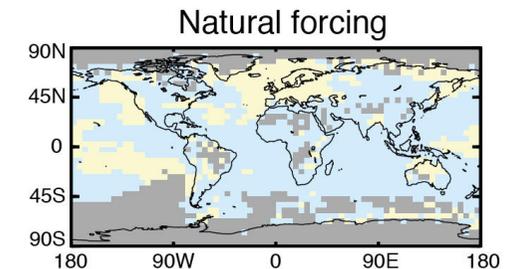
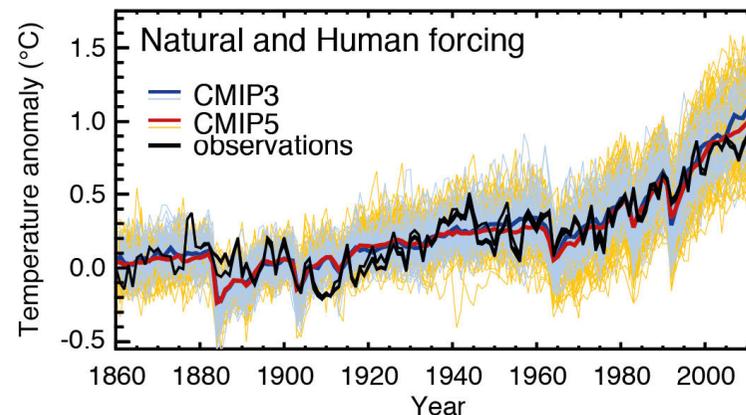
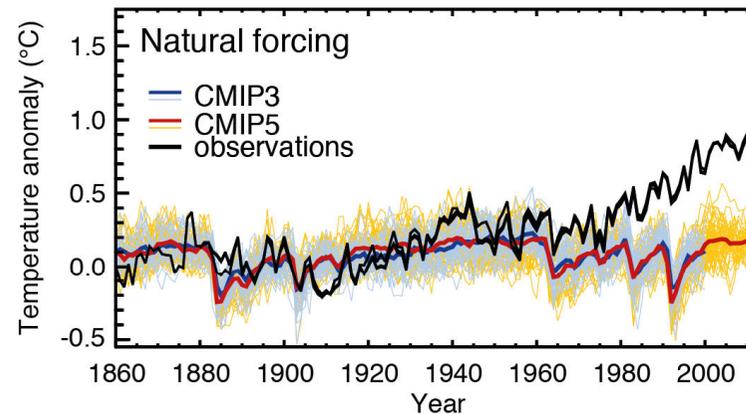


Tendance sur la précipitation hivernale totale (pluie + neige)
Masson and Frei, 2016

Détection et attribution

- Enjeux :
 - Identifier dans un jeu de données si un changement est observé
 - Si c'est le cas, identifier si ce changement est lié au changement climatique, ou pas.

- Science assez récente, appliquée à ce jour plutôt à des valeurs moyennes, ou pour les extrêmes à des problématiques de grande échelle (vagues de chaleur, sécheresse etc.)



- Quelques rares études en zone de montagne pour la neige (aux USA, Pierce et al., 2008) et la température (Bonfils et al., 2018)

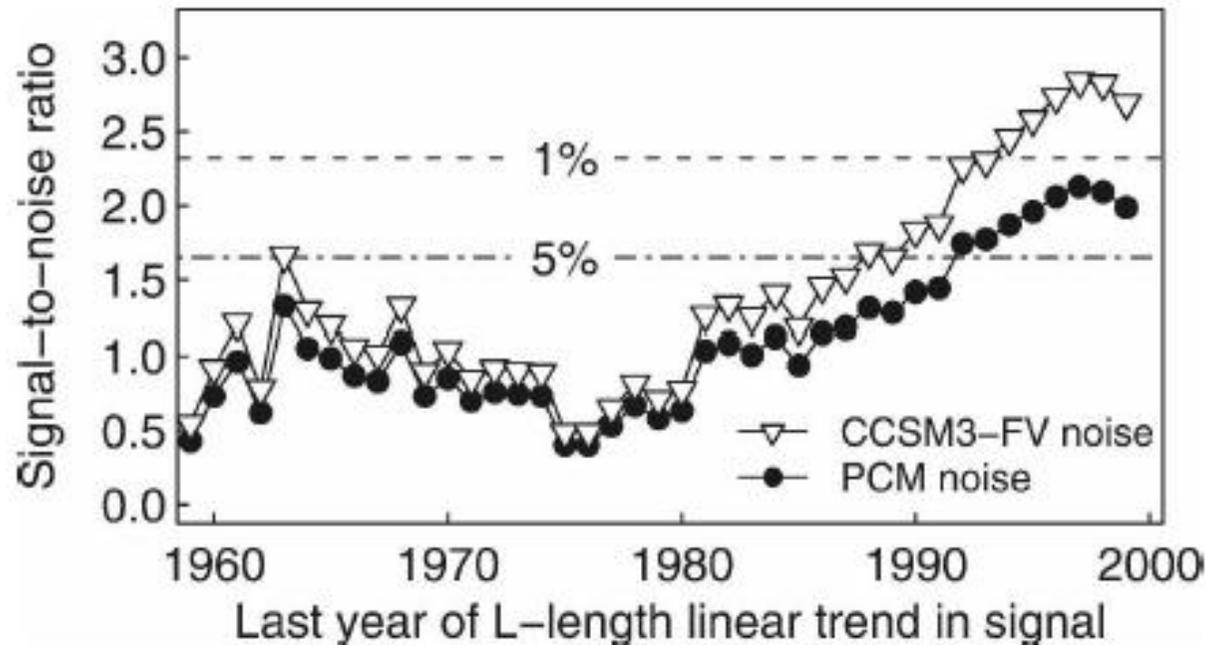


FIG. 9. Signal-to-noise ratio for the decrease in SWE/P over the western United States plotted as a function of the analysis ending year (all analyses start in 1950). The lines show two different treatments of how the climate “noise” of natural internal variability is handled; see text for details. In either case, detection at the 5% significance level is achieved by the early 1990s.

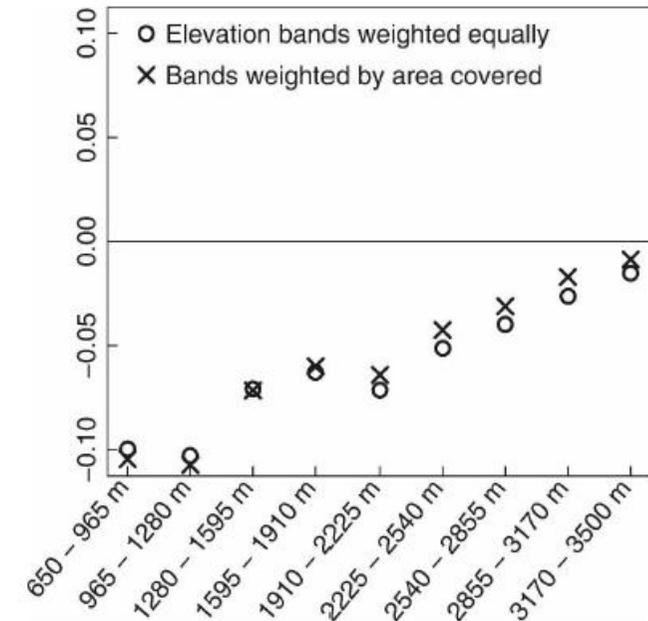
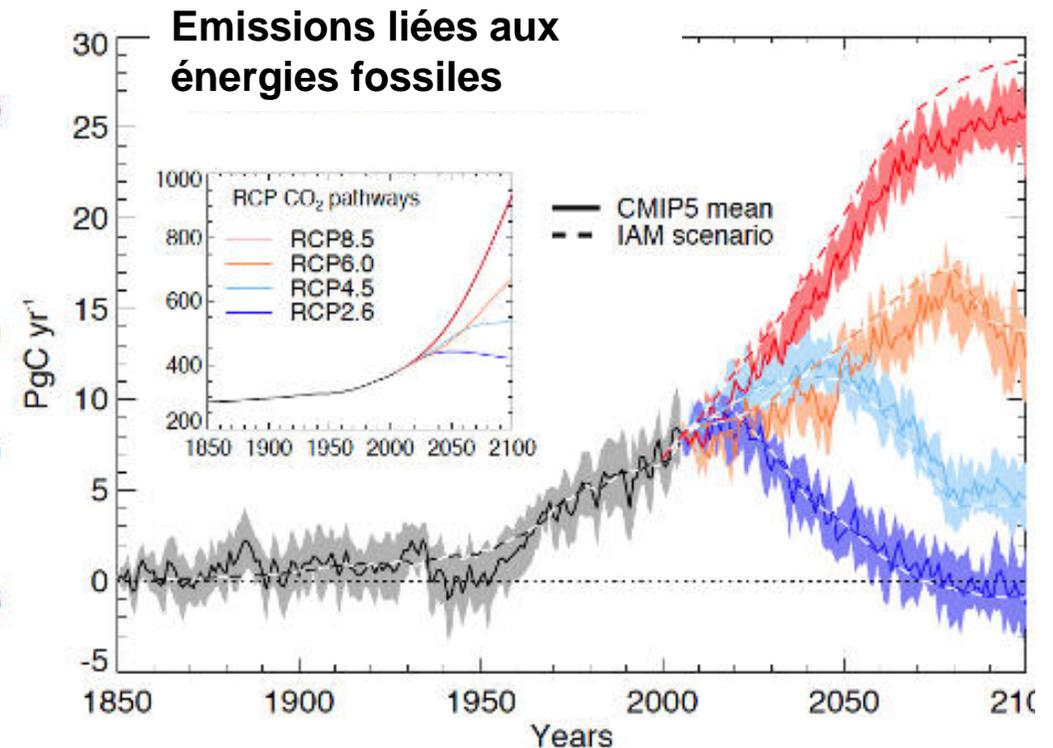
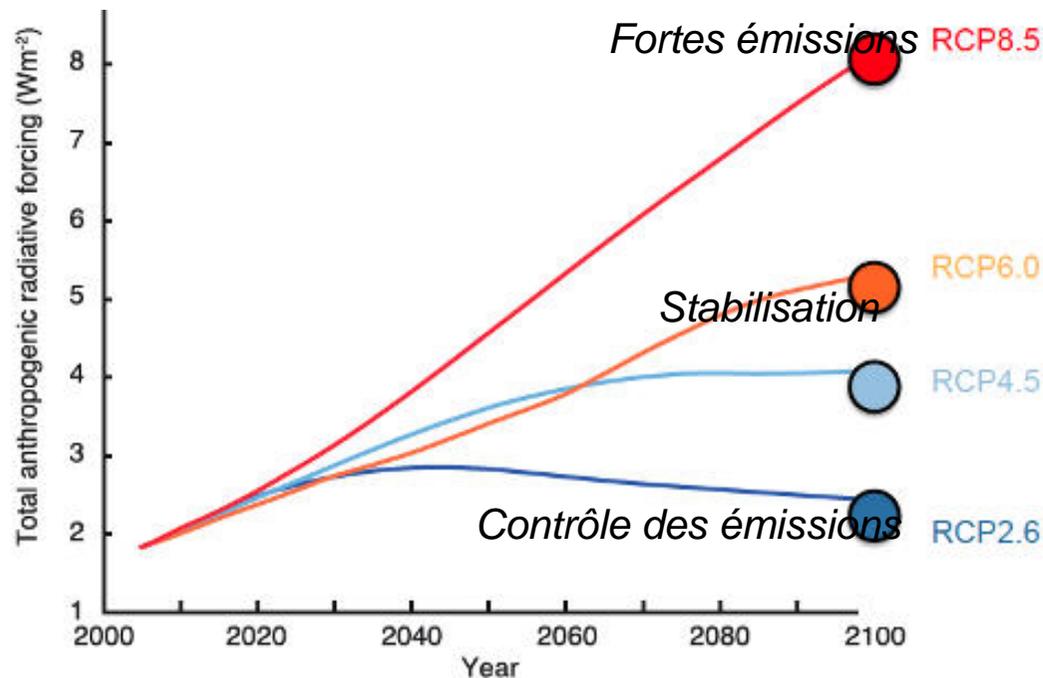


FIG. 14. The model fingerprint of anthropogenic changes in SWE/P as a function of elevation. Two different weighting schemes were explored: circles show results with elevation bands weighted equally; crosses show for the case where each elevation band is area weighted according to the amount of area it covers in the mountainous regions of the western United States.

Et le futur ?

- Utiliser un modèle de climat pour simuler le climat futur nécessite des **hypothèses sur l'évolution des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols.**
- Les **scénarios « RCP »** correspondent à différentes évolutions sociétales possibles.

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

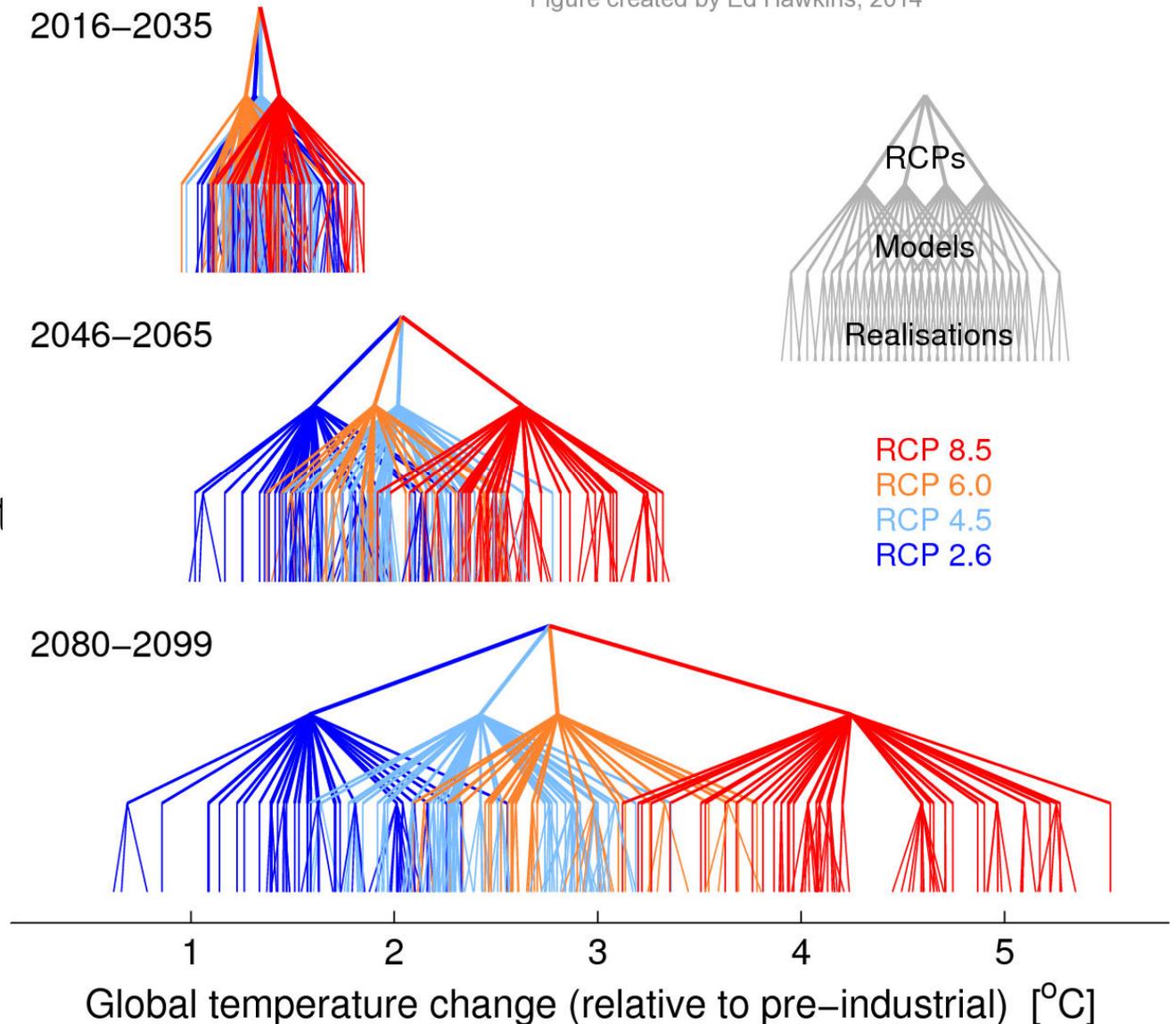


Projections pour le 21^{ème} siècle

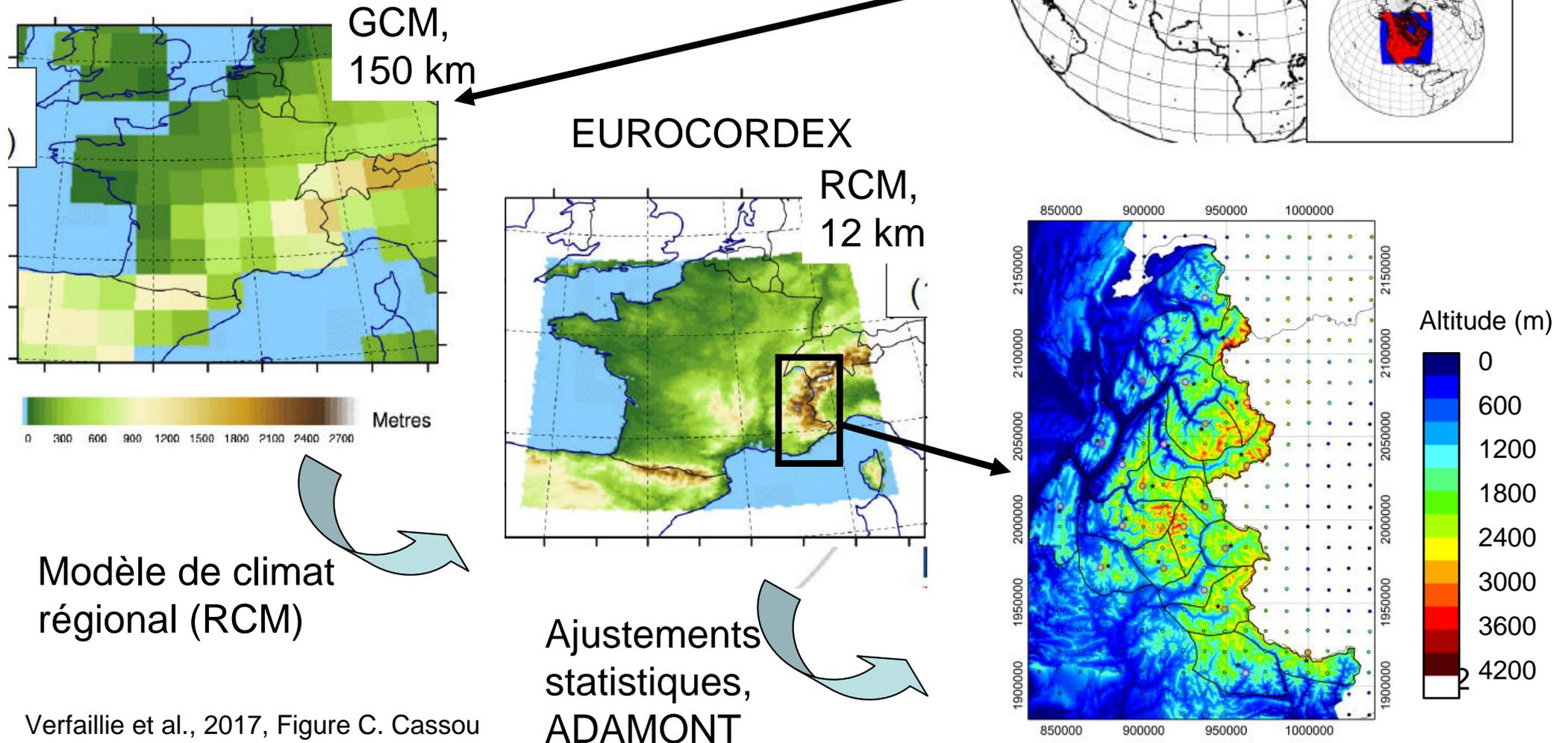
- Augmentation de température à l'échelle mondiale
- Prise en compte de diverses trajectoires de concentrations en gaz à effet de serre (RCP)
- Cadre nécessairement ensembliste (multi-modèles) pour caractériser les incertitudes

Cascade of Uncertainty in CMIP5

Figure created by Ed Hawkins, 2014



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

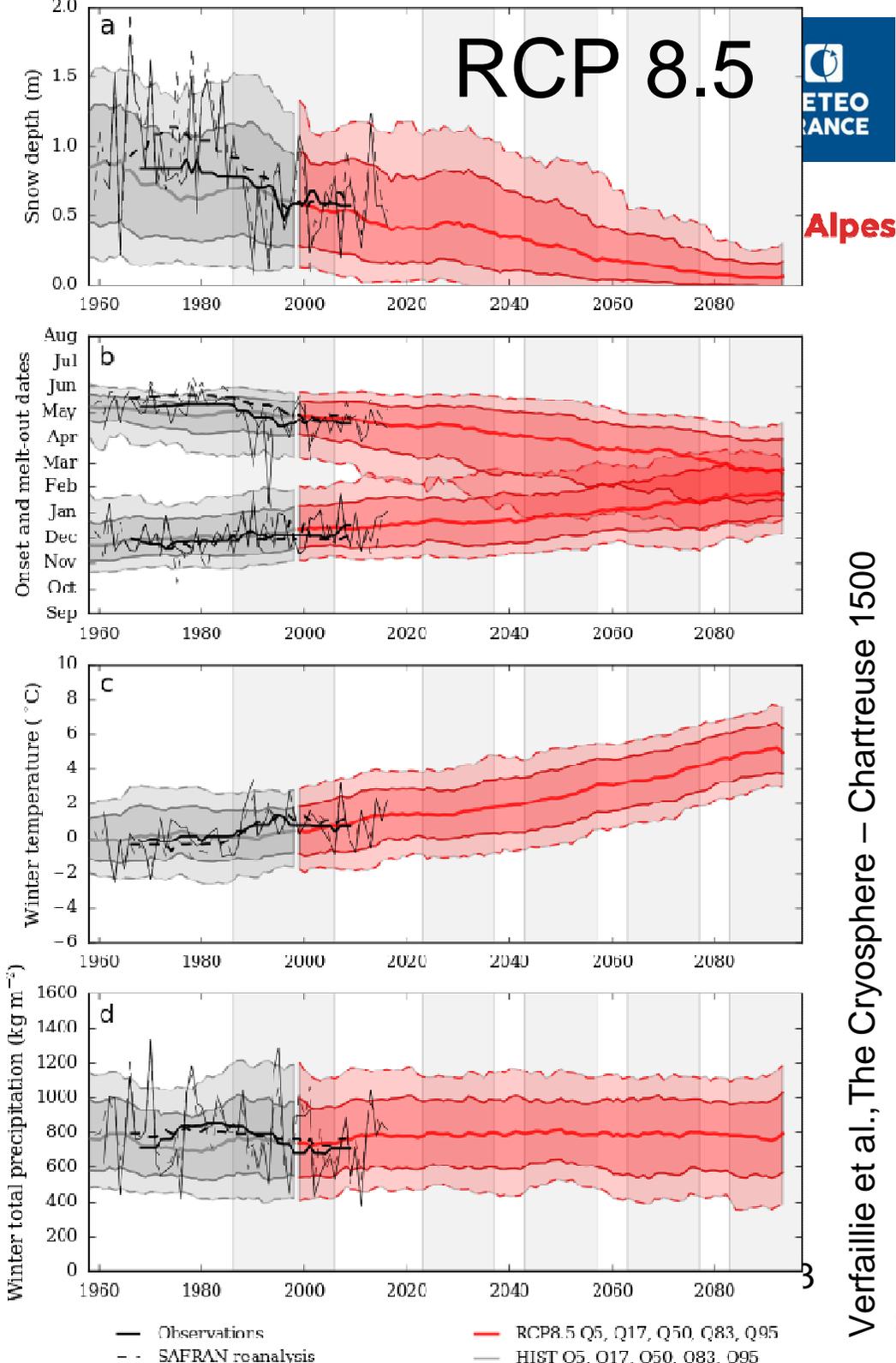


Projections climatiques pour la neige naturelle

Maintien d'une
variabilité
interannuelle

Raréfaction de
l'enneigement

Effet du scénario

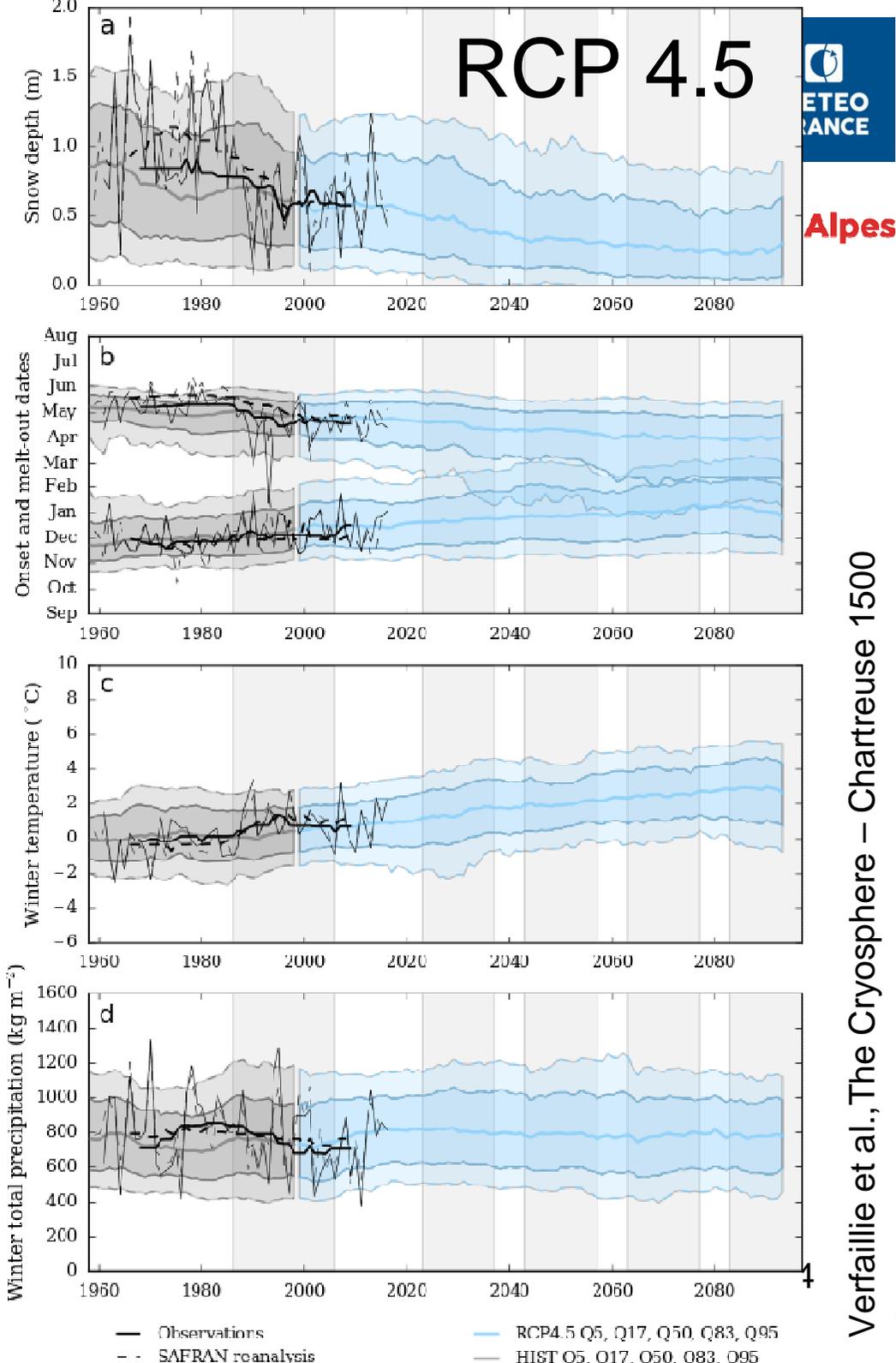


Projections climatiques pour la neige naturelle

Maintien d'une
variabilité
interannuelle

Raréfaction de
l'enneigement

Effet du scénario

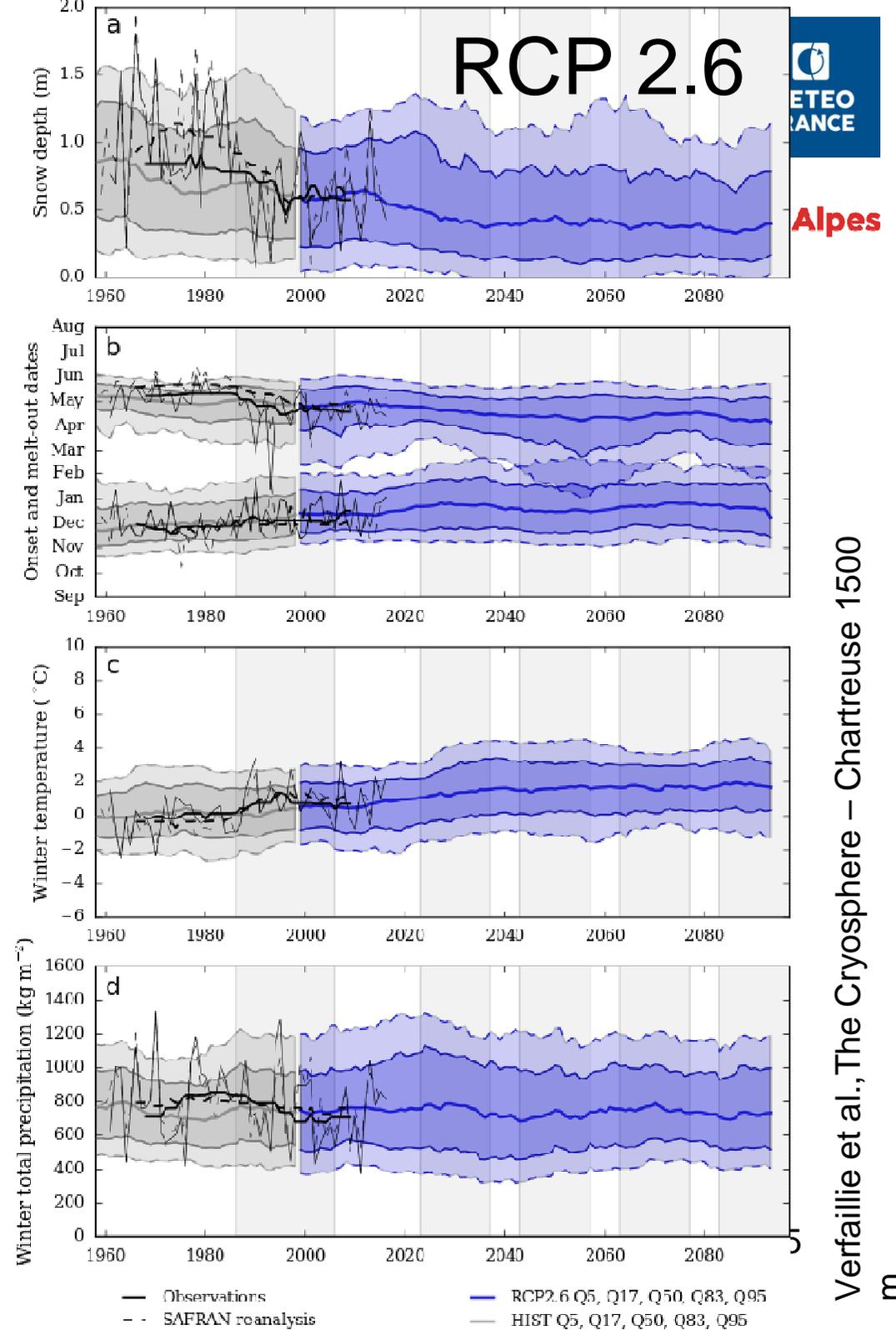


Projections climatiques pour la neige naturelle

Maintien d'une
variabilité
interannuelle

Raréfaction de
l'enneigement

Effet du scénario



A l'échelle Européenne

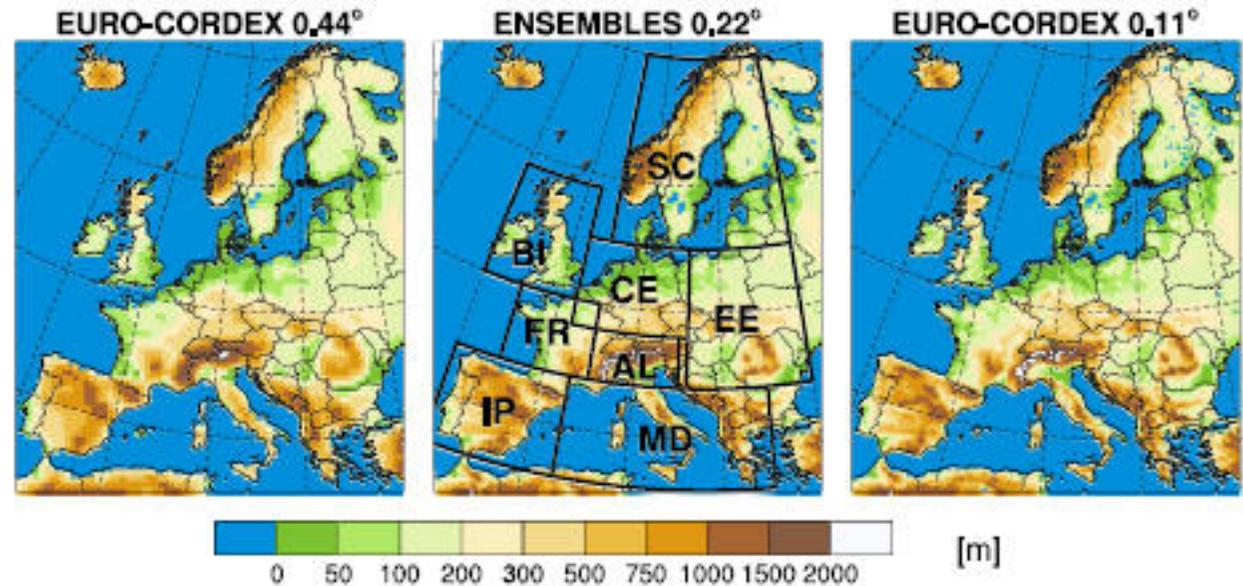


Table 3

Indices Used in This Study

Index	Description	Unit
<i>mea</i>	Climatological mean precipitation	mm/d
<i>fre</i>	Wet day frequency, probability of a day with ≥ 1 mm	fraction
<i>int</i>	Wet day intensity, mean precipitation on days with precipitation ≥ 1 mm	mm/d
<i>p99</i>	Empirical 99th percentile of daily precipitation	mm/d
<i>$\alpha 1d$</i>	Mean annual maximum 1 day precipitation sum	mm/d
<i>$\alpha 5d$</i>	Mean annual maximum 5 day aggregated precipitation sum	mm/d
<i>$x1d_{YY}$</i>	Return value of 1 day precipitation intensity with a return period of YY years	mm/d

Rajczak and Schär (2017)

Région « Alpes », valeurs de référence

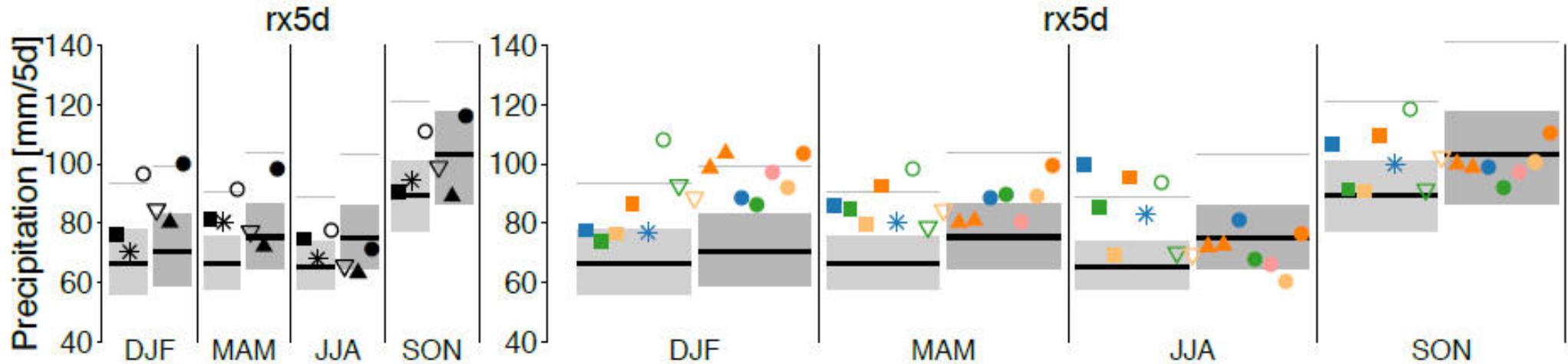


Table 3

Indices Used in This Study

Index	Description	Unit
<i>mea</i>	Climatological mean precipitation	mm/d
<i>fre</i>	Wet day frequency, probability of a day with ≥ 1 mm	fraction
<i>int</i>	Wet day intensity, mean precipitation on days with precipitation ≥ 1 mm	mm/d
<i>p99</i>	Empirical 99th percentile of daily precipitation	mm/d
<i>$\alpha 1d$</i>	Mean annual maximum 1 day precipitation sum	mm/d
<i>$\alpha 5d$</i>	Mean annual maximum 5 day aggregated precipitation sum	mm/d
<i>$x1d_{YY}$</i>	Return value of 1 day precipitation intensity with a return period of YY years	mm/d

Comparaison des sorties de modèles de climat à diverses estimations pour la période passée (~1980 – 2010)

Rajczak and Schär (2017)

Région « Alpes », futur proche (2020-2050)

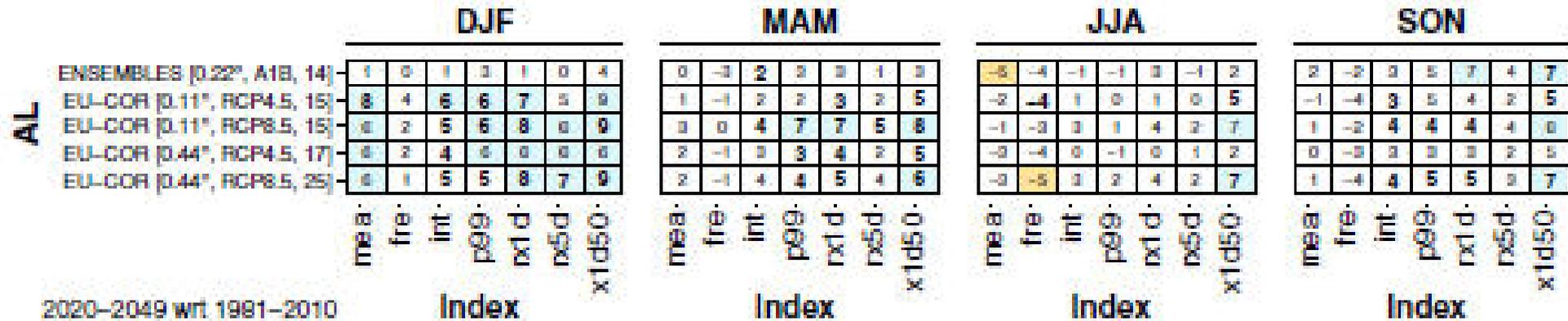


Table 3
Indices Used in This Study

Index	Description	Unit
mea	Climatological mean precipitation	mm/d
fre	Wet day frequency, probability of a day with ≥ 1 mm	fraction
int	Wet day intensity, mean precipitation on days with precipitation ≥ 1 mm	mm/d
p99	Empirical 99th percentile of daily precipitation	mm/d
rx1d	Mean annual maximum 1 day precipitation sum	mm/d
rx5d	Mean annual maximum 5 day aggregated precipitation sum	mm/d
x1d.YY	Return value of 1 day precipitation intensity with a return period of YY years	mm/d

Léger assèchement estival, hausse des extrêmes estivaux

Hausse modérée (6 à 8%) des extrêmes hivernaux et des valeurs moyennes hivernales

Rajczak and Schär (2017)

Région « Alpes », milieu de siècle (2045 - 2074)

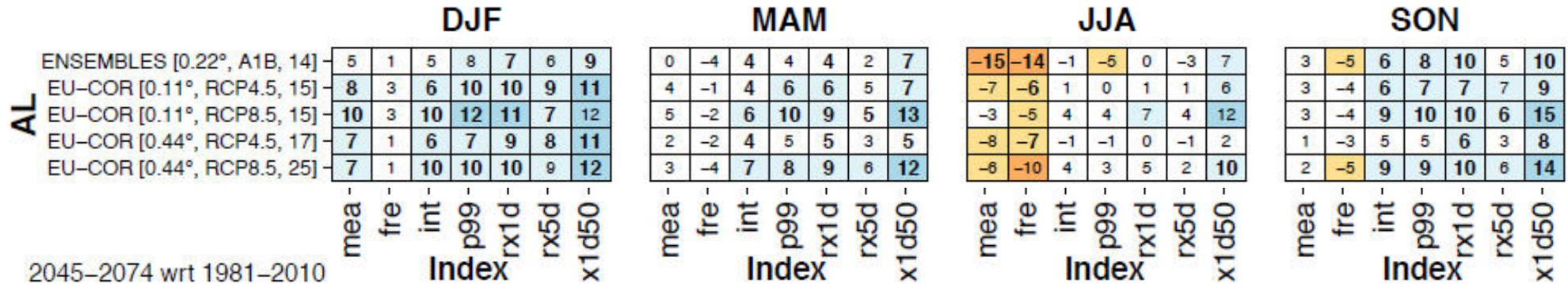


Table 3
Indices Used in This Study

Index	Description	Unit
mea	Climatological mean precipitation	mm/d
fre	Wet day frequency, probability of a day with ≥ 1 mm	fraction
int	Wet day intensity, mean precipitation on days with precipitation ≥ 1 mm	mm/d
p99	Empirical 99th percentile of daily precipitation	mm/d
rx1d	Mean annual maximum 1 day precipitation sum	mm/d
rx5d	Mean annual maximum 5 day aggregated precipitation sum	mm/d
x1d.YY	Return value of 1 day precipitation intensity with a return period of YY years	mm/d

Renforcement de l'assèchement estival, mais hausse des extrêmes estivaux

Poursuite de la hausse des précipitations hivernales, hausse des extrêmes hivernaux.

Rajczak and Schär (2017)

Région « Alpes », fin de siècle (2070-2100)

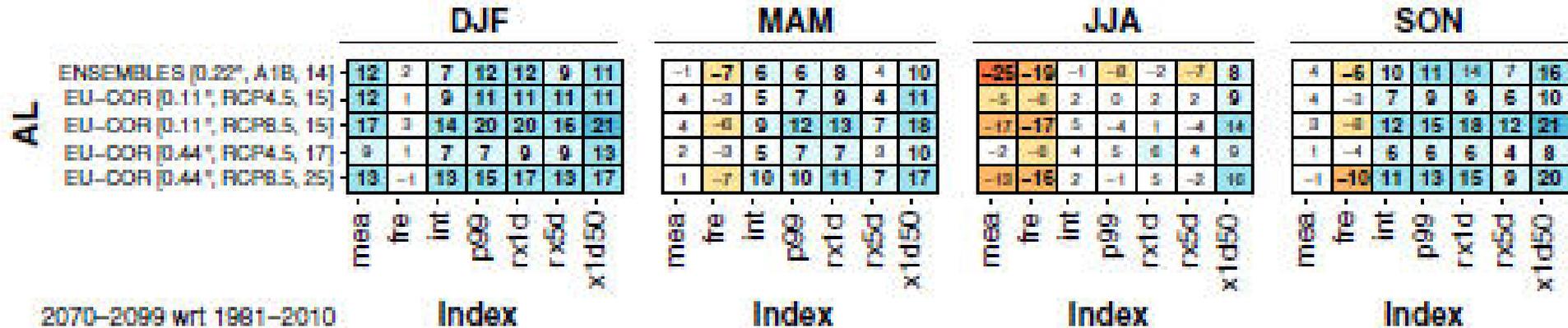


Table 3

Indices Used in This Study

Index	Description	Unit
mea	Climatological mean precipitation	mm/d
fre	Wet day frequency, probability of a day with ≥ 1 mm	fraction
int	Wet day intensity, mean precipitation on days with precipitation ≥ 1 mm	mm/d
p99	Empirical 99th percentile of daily precipitation	mm/d
rx1d	Mean annual maximum 1 day precipitation sum	mm/d
rx5d	Mean annual maximum 5 day aggregated precipitation sum	mm/d
x1d.YY	Return value of 1 day precipitation intensity with a return period of YY years	mm/d

Renforcement de l'assèchement estival, mais hausse des extrêmes estivaux

Poursuite de la hausse des précipitations hivernales, hausse des extrêmes hivernaux.

Différentiation RCP4.5 et RCP8.5
Rajczak and Schär (2017)

En guise de conclusion

Observations et modèles de climat indiquent des **changements à long terme de la distribution des valeurs rares et extrêmes en hydrométéorologie de montagne.**

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.

Les outils méthodologiques (modèles de climat en climat passé et futur, ajustements sur les montagnes françaises, statistiques pour décrire les extrêmes et leur évolution etc.) se mettent en place progressivement et peuvent commencer à être appliqués à des enjeux spécifiquement « montagne »

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.).



Trajectories
Univ. Grenoble Alpes



OSUG



Observatoire des
Sciences de l'Univers
de Grenoble

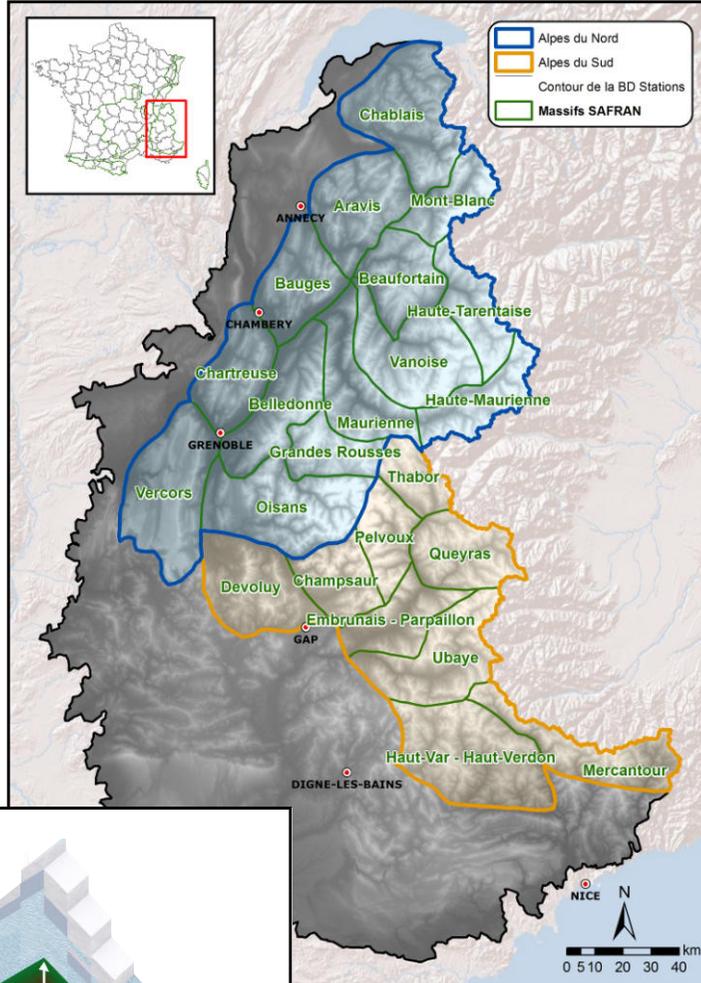


Communauté
UNIVERSITÉ Grenoble Alpes

Merci de votre attention

Mise à disposition des données :

- Données brutes disponibles sur hendrix (netCDF), pas horaire pour conditions météo, par quotidien pour neige
- Production de figures et valeurs numériques intégrées, disponibles sur intranet DCSC : <http://dcsc-avh-net.meteo.fr/acp/S2M/s2m.html>
- Fourniture de données à la DCSC (netCDF au pas quotidien, fichiers non standards ...) pour intégration dans Drias (merci !)

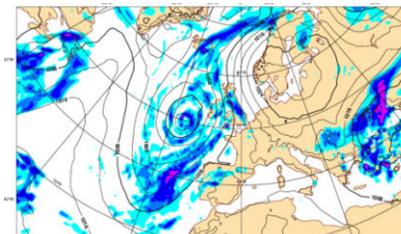


Réanalyse SAFRAN utilisée comme « pseudo-observation »

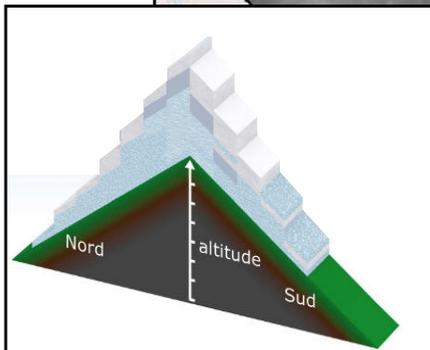
Observations : données nivo-météo, réseaux climatologiques, réseaux automatiques, radiosondages, observations satellites



Modèles météo pour estimer la chronologie des événements depuis 1960



ERA40
ARPEGE



*Subdivision spatiale
par massifs et tranches
d'altitude de 300 m*

Avalanches

Observations : tendances à une augmentation de la fréquence d'avalanches de neige humide.

Suite à l'étude *Matin et al. (2001)* sur les liens CC/avalanches, reprise dans *Castebrunet et al. 2014* de la question (projections SCAMPEI)

Pb de la définition de l'indicateur (synthèse des obs EPA, indice MEPRA simulé etc.)

Besoin de reprendre l'exercice avec projections EUROCORDEX, éventuellement utilisation d'analyses basées sur des forêts aléatoires (RF).

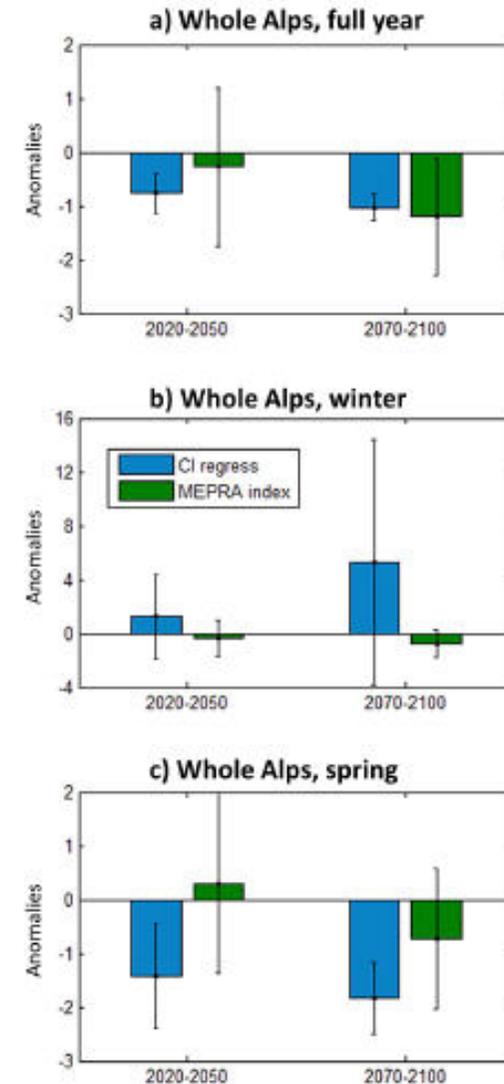


Figure 10. Changes in MEPR index vs. changes in composite index regression model (in terms of anomalies) on the scale of the entire French Alps for the full avalanche year (a), and the winter (b) and spring (c) sub-periods.

Application de la méthode ADAMONT aux projections EUROCORDEX pour les Alpes Françaises et les Pyrénées

- Utilisation de 13 couples GCM/RCM pour RCP4.5 and RCP8.5 (dont 4 RCP2.6). Période 1950 – 2100, plus de 3000 années.modèle

RCM (Institute) / GCM	Period	CNRM-CM5	EC-EARTH	HadGEM2-ES	MPI-ESM-LR	IPSL-CM5A-MR
CCLM 4.8.17 (CLMcom)	HIST	1950–2005	1950–2005	1981–2005	1950–2005	
	RCPs	2006–2100	2006–2100	2006–2099	2006–2100	
ALADIN 53 (CNRM)	HIST	1950–2005				
	RCPs	2006–2100				
WRF 3.3.1F (IPSL-INERIS)	HIST					1951–2005
	RCPs					2006–2100
RACMO 2.2E (KNMI)	HIST			1981–2005		
	RCPs			2006–2099		
REMO 2009 (MPI-CSC)	HIST				1950–2005	
	RCPs				2006–2100	
RCA 4 (SMHI)	HIST	1970–2005	1970–2005	1981–2005	1970–2005	1970–2005
	RCPs	2006–2100	2006–2100	2006–2099	2006–2100	2006–2100

- Utilisation du modèle ISBA-Crocus pour simuler la neige.
- Définition d'indicateurs annuels pour caractériser la neige et les conditions météo.
- Cadre statistique pour le traitement des ensembles