

Accueil nouveaux arrivants RTM

IRSTEA Grenoble, 15 mars 2017

Risques naturels et changement climatique dans les Alpes

Jean-Marc Vengeon



*Pôle Alpin d'Etudes et de Recherche
pour la Prévention des Risques Naturels*



Plan

- **Présentation du PARN**
- **Portail Alpes-Climat-Risques, Base Projets, Ateliers du PARN**
- **Le changement climatique dans les Alpes**
- **Impacts sur les risques naturels**

PARN

www.risknat.org

Association loi 1901 créée en 1988 avec 2 objectifs :

- Coordonner la recherche sur les risques naturels en montagne
- Développer des outils scientifiques et techniques performants et les mettre à disposition des pouvoirs publics et des services opérationnels afin d'améliorer la prévision et la prévention des risques naturels

- Equipe permanente : 5 pers / 3,4 ETP

- Réseau scientifique et technique / membres :
~ 170 pers sur les thèmes risques naturels
(80 chercheurs, 50 ingénieurs de recherche, 50 doctorants)



ADRGT

Association pour le Développement des Recherches sur les Glissements de Terrain



ANENA

Association Nationale pour l'Etude de la Neige et des Avalanches
www.anena.org



CEREMA

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
www.cerema.fr



Grenoble INP

Institut National Polytechnique de Grenoble
www.inpg.fr



IFSTTAR

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
www.ifsttar.fr



IRSTEA

Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
www.irstea.fr



Météo-France

Centre d'Etudes de la Neige CEN
www.cnrm.meteo.fr



Université Grenoble Alpes

www.univ-grenoble-alpes.fr/



Université Savoie Mont Blanc

www.univ-smb.fr

Portail Alpes-Climat-Risques

<http://www.risknat.org/alpes-climat-risques/>

Contexte:

Projet Interreg IIB Alpine-Space **ClimChAlp** (2006-2008)
WP5 "Climate Change and Resulting Natural Hazard"
Action PARN / ONERC / RRA (2007-2013)

Outil:

Base de connaissances bibliographique des effets du CC :

- évolution des **paramètres climatiques**
- effets sur le fonctionnement des **systèmes naturels**
- effets les **aléas naturels**

Interface:

- Accès à Inventaire, analyses biblio, synthèses thématiques
- Réseau alpin.
- Actualités

Démarche:



Pôle Alpin d'Etudes et de Recherche
pour la Prévention des Risques Naturels

Rhône-Alpes

ONERC

Observatoire National
sur les Effets du
Réchauffement Climatique
ONERC

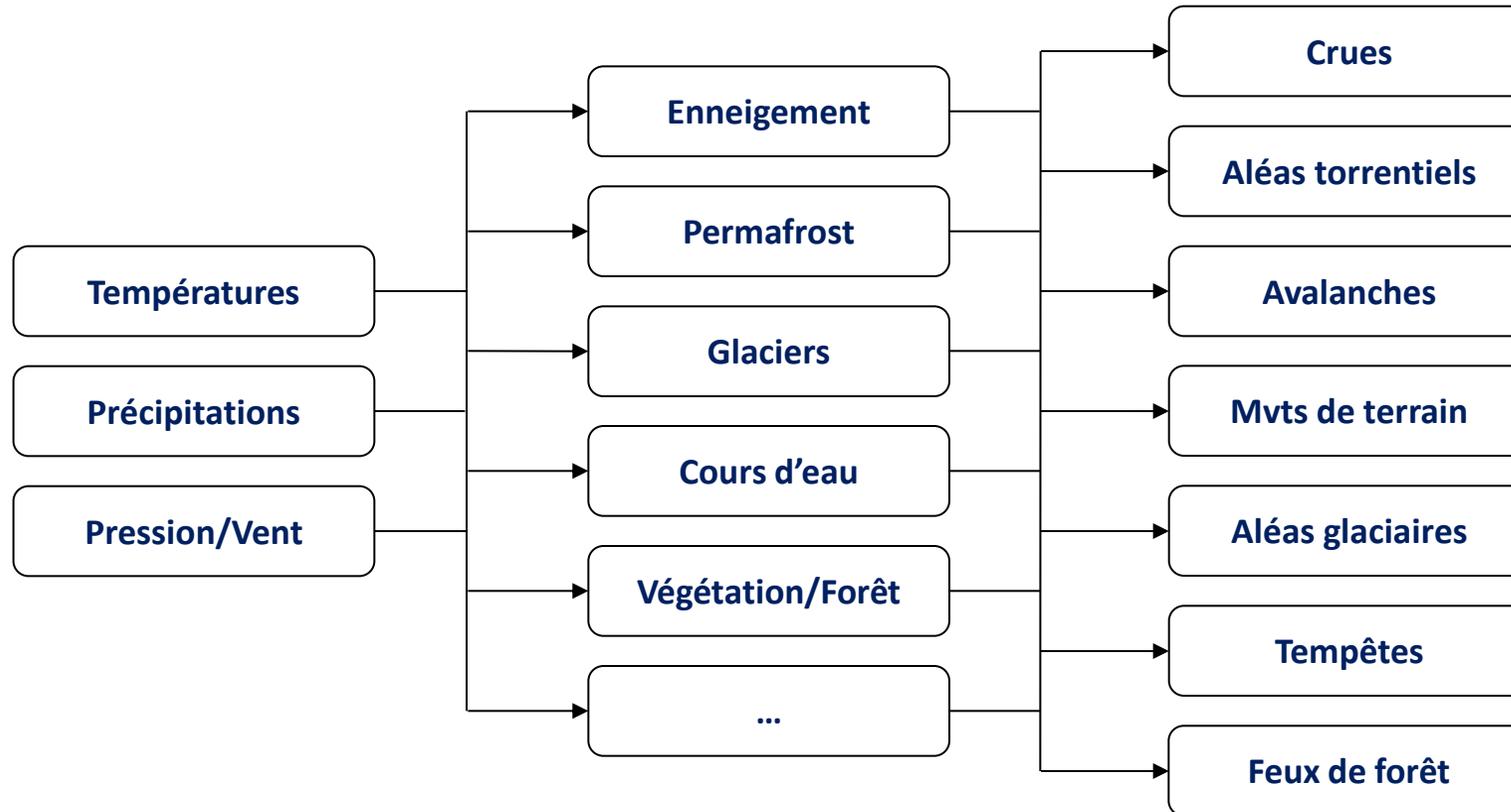
Accueil Réseau alpin Actualités Base de connaissances Ressources

Changements climatiques dans les Alpes et impacts sur les risques naturels



Base Alpes-Climat-Risques

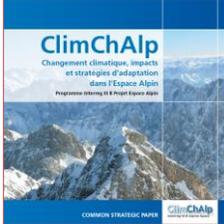
Thématiques:



Portail Alpes-Climat-Risques

Mises à jour : 2010, 2012, 2013, 2017 (en cours)

Sorties:



- » *Climate Change Report*
- » *Natural Hazards Report*
- » *Common Strategic Paper (CSP)*



- » *Rapport ONERC (2008)*



- » *Plaquette d'information envoyée aux maires des communes de Rhône-Alpes*

- » *Lettre d'information*
N°1 (août 2012)
N°2 (avril 2013)
N°3 (Février 2014)
N°4 (Aout 2015)
N°5 en préparation

Article

Einhorn_et_al_2015_JAR-RGA_FR

**Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes :
Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socio-économiques**

Benjamin Einhorn^{1*}, Nicolas Eckert², Christophe Chaix³, Ludovic Ravel⁴,
Philip Deline⁴, Marie Gardent⁴, Vincent Boudières¹, Didier Richard²,
Jean-Marc Vengeon¹, Gérald Giraud⁵, Philippe Schoeneich⁶

<http://www.risknat.org/alpes-climat-risques/>

Ateliers d'échanges

Contexte:

Projets interrégionaux / transfrontaliers / transnationaux...

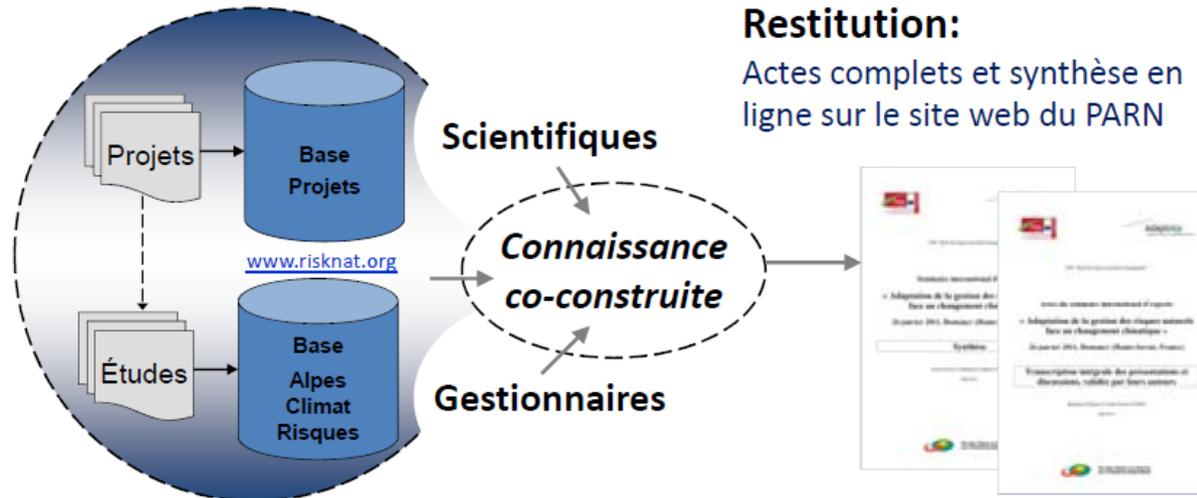


Objectifs:

Echanges entre scientifiques et gestionnaires sur une thématique donnée

Exemple:

Expert Hearing AdaptAlp "Adaptation de la gestion des risques naturels..."



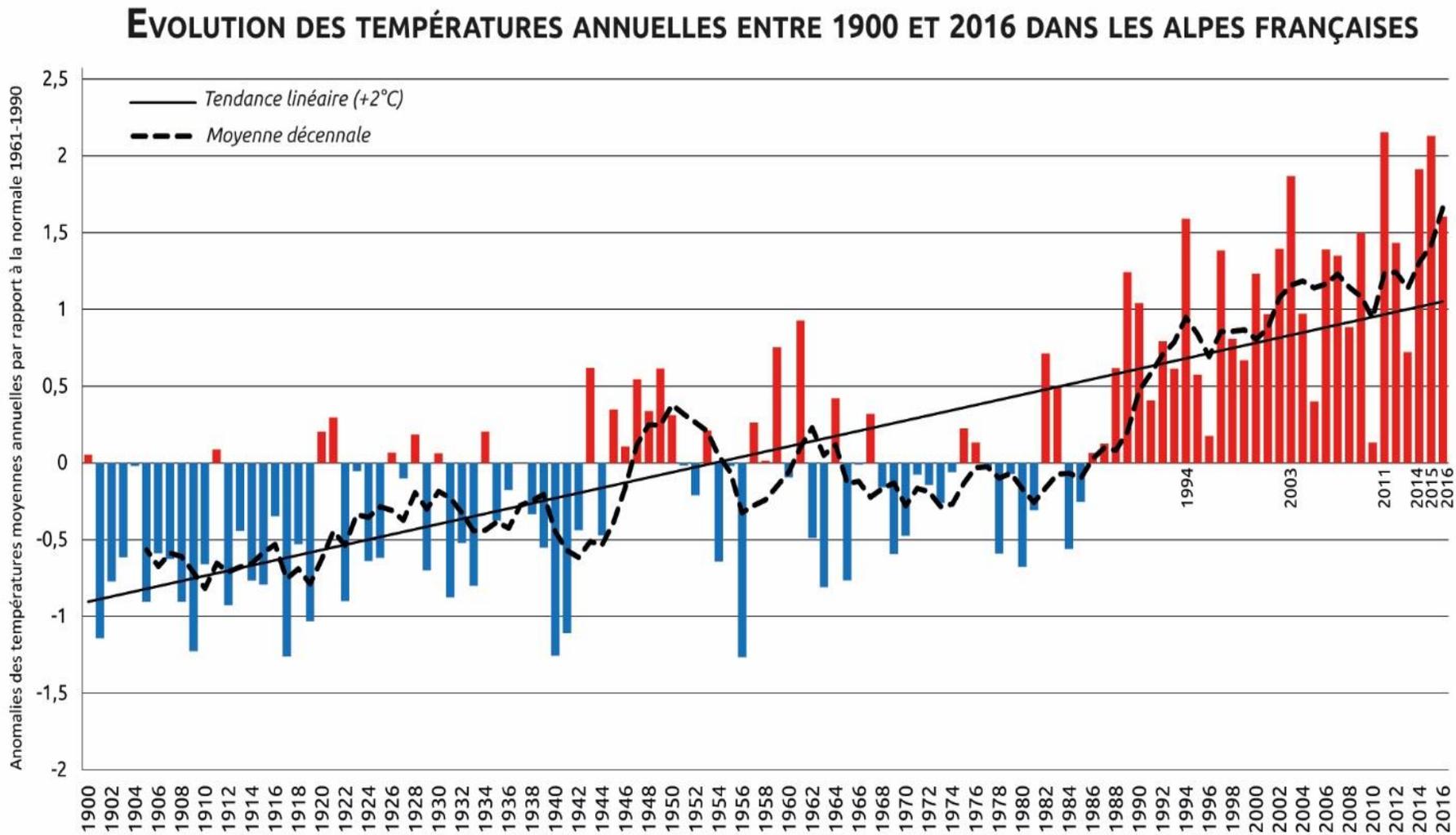
Le changement climatique dans les Alpes

Evolution des paramètres climatiques

Effets sur les systèmes naturels

Evolution des paramètres climatiques

→ Indicateur du réchauffement dans les Alpes françaises (OBSCAN MDP73)



Evolution des paramètres climatiques

Observations + Réanalyses SAFRAN

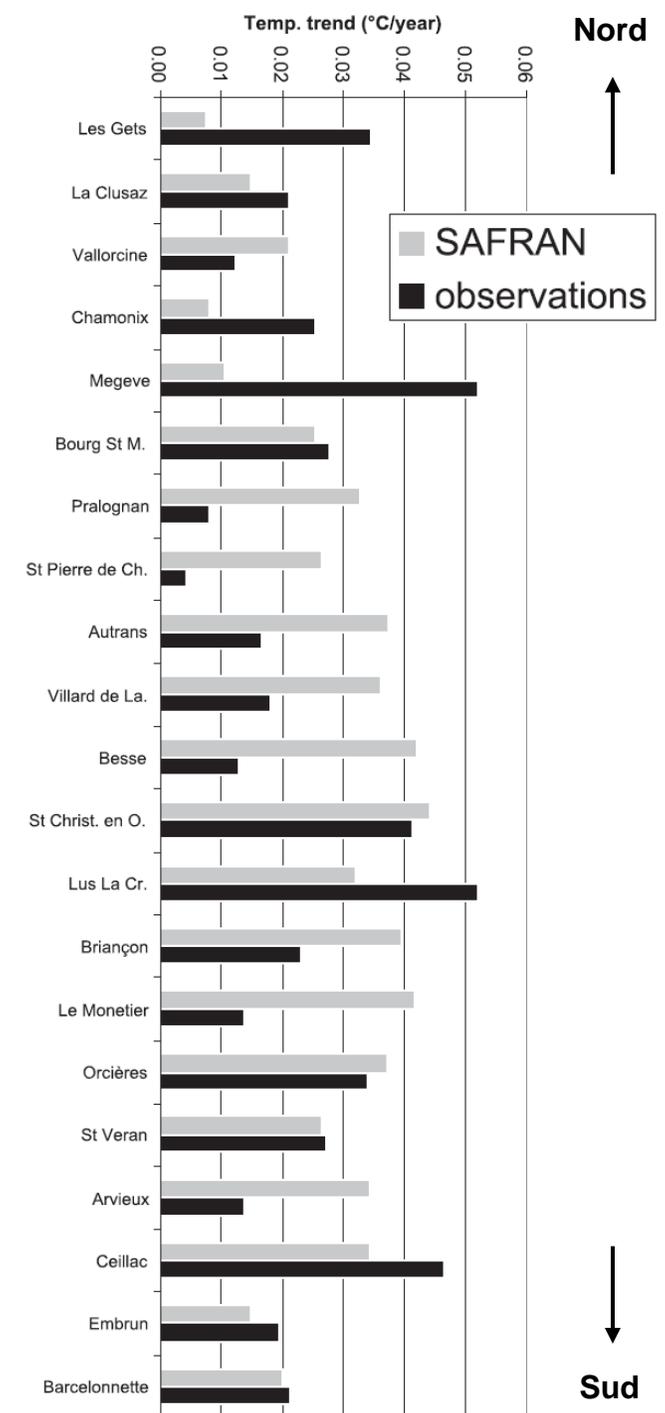
Températures

Alpes françaises

1958–2005



- **+1°C** en moyenne depuis la fin des années 1970
- hétérogénéité spatiale et temporelle des tendances observées en fonction des **massifs** et selon les **saisons**
- analyse des tendances à différentes altitudes (de 600 à 3600m) :
 - **réchauffement particulièrement marqué** ($> +0,03^{\circ}\text{C}/\text{an}$) **aux altitudes moyennes (1500–2000m)**
 - s'atténue nettement au-delà de 3000m



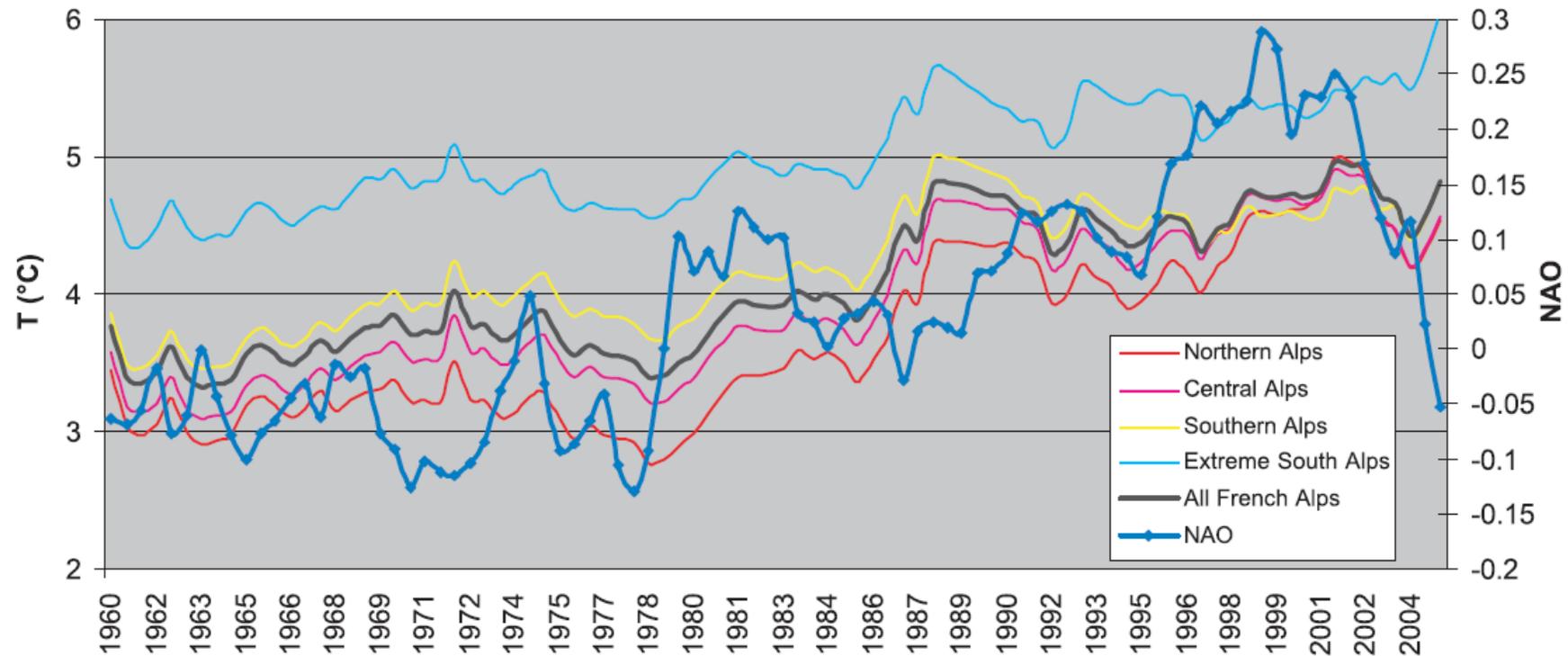
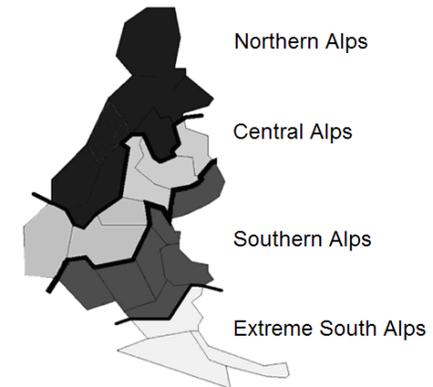
Tendances des **températures moyennes annuelles** observées et réanalysées par SAFRAN dans les Alpes françaises sur la période 1958–2005

Evolution des paramètres climatiques

Observations + Réanalyses SAFRAN

Températures

Alpes françaises



Températures de l'air à 1800m réanalysées par SAFRAN moyennées spatialement pour l'ensemble des Alpes françaises et pour quatre sous-régions, et variabilité annuelle de l'indice NAO (filtré)

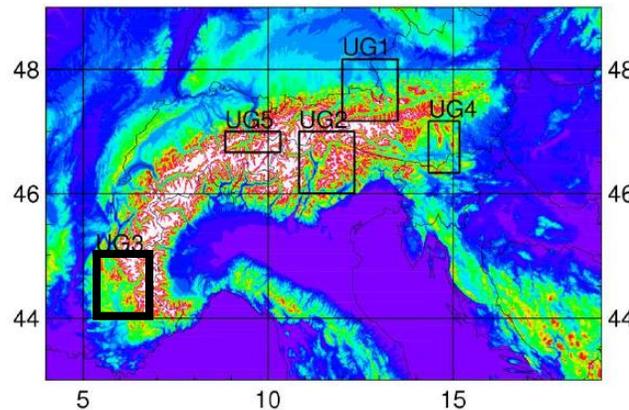
Evolution des paramètres climatiques

Projections

Températures

- Augmentation globale attendue au 21^e s encore plus prononcée qu'au 20^e s
GIEC 2007 : **+1,1°C à +6,1°C** selon les scénarios (2 x CO₂ => +2°C à +4,5°C)

- Modélisation climatique régionale :
évolution des températures moyennes 2070-2099 (réf. 1961-1990 – Scénario A2)



Source : WP5_ClimChangeAsses_REPORT

	Season	GAR	UG1	UG2	UG3	UG4	UG5
Temperature change [K]	DJF	2,8	2,9	2,9	2,8	3,1	2,8
	MAM	2,4	2,7	3,0	2,7	2,5	2,9
	JJA	3,8	3,5	3,5	4,1	3,6	3,7
	SON	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	3,2
Temperature increase							

⇒ Augmentation maximale des températures alpines moyennes projetée :
3 à 5°C en hiver et 4 à 6°C en été

Evolution des paramètres climatiques

Projections

Températures

Futur proche (2021-2050) :

- estimation centrale : **+1,5°C**
- estimation haute : **+2,25°C**

L'augmentation des températures hivernales serait supérieure de 0,2° à celle des températures estivales.

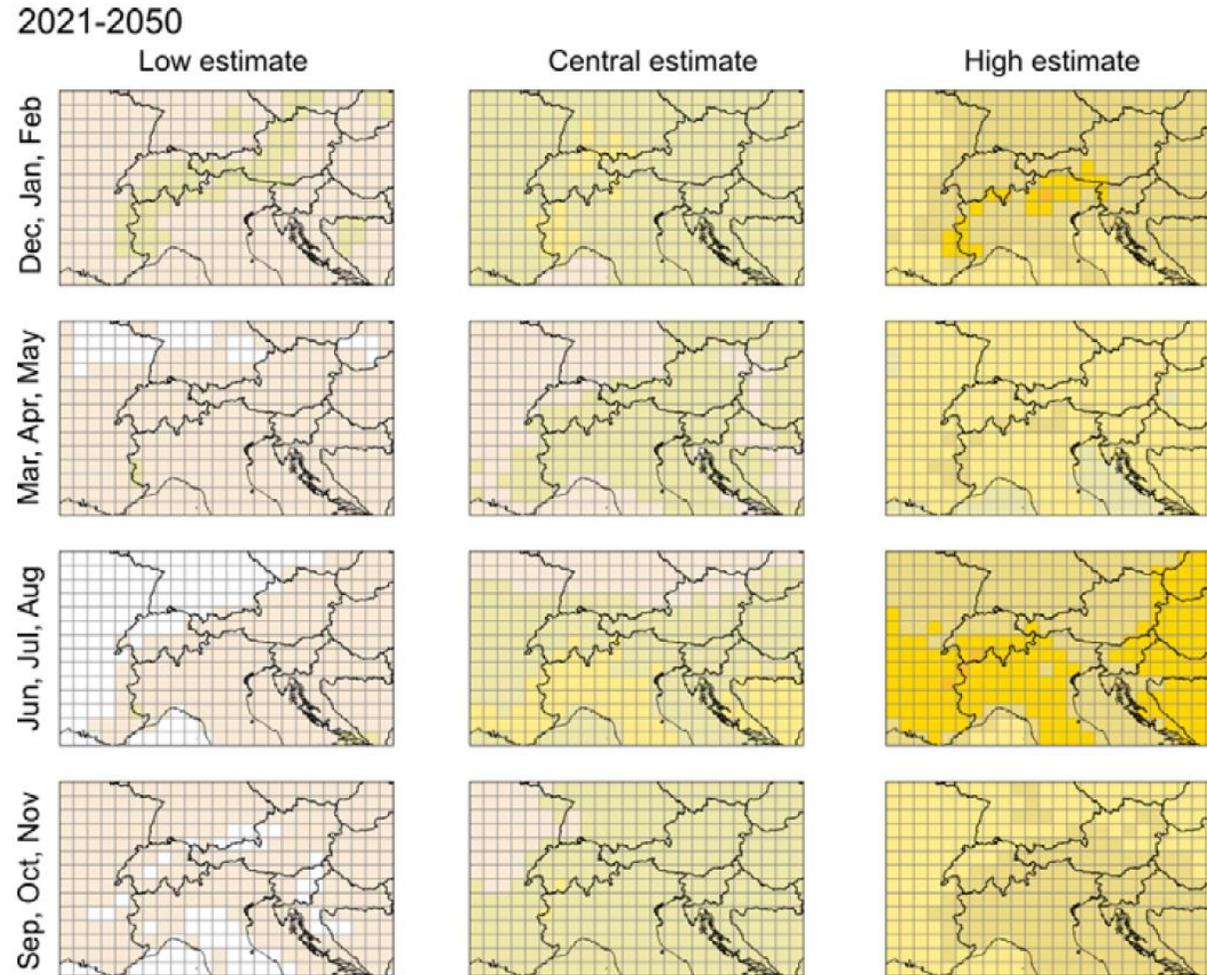


Figure 19: Change of seasonal air-temperature means in the periods 2021-2050 and 2071-2100 vs. 1971-2000 per meteorological season as estimated using an ensemble of 14 (2050) and 12 (2100) RCM runs. The "low estimate" corresponds to the 10th percentile, the "central estimate" to the 50th percentile, and the "high estimate" to the 90th percentile.

Evolution des paramètres climatiques

Projections

Températures

Futur distant(2071-2100) :

- estimation centrale : **+ 3,5°C**
- estimation haute : **+ 4,75°C**

Inversement, le réchauffement estival serait supérieur de 0,5° au réchauffement hivernal.

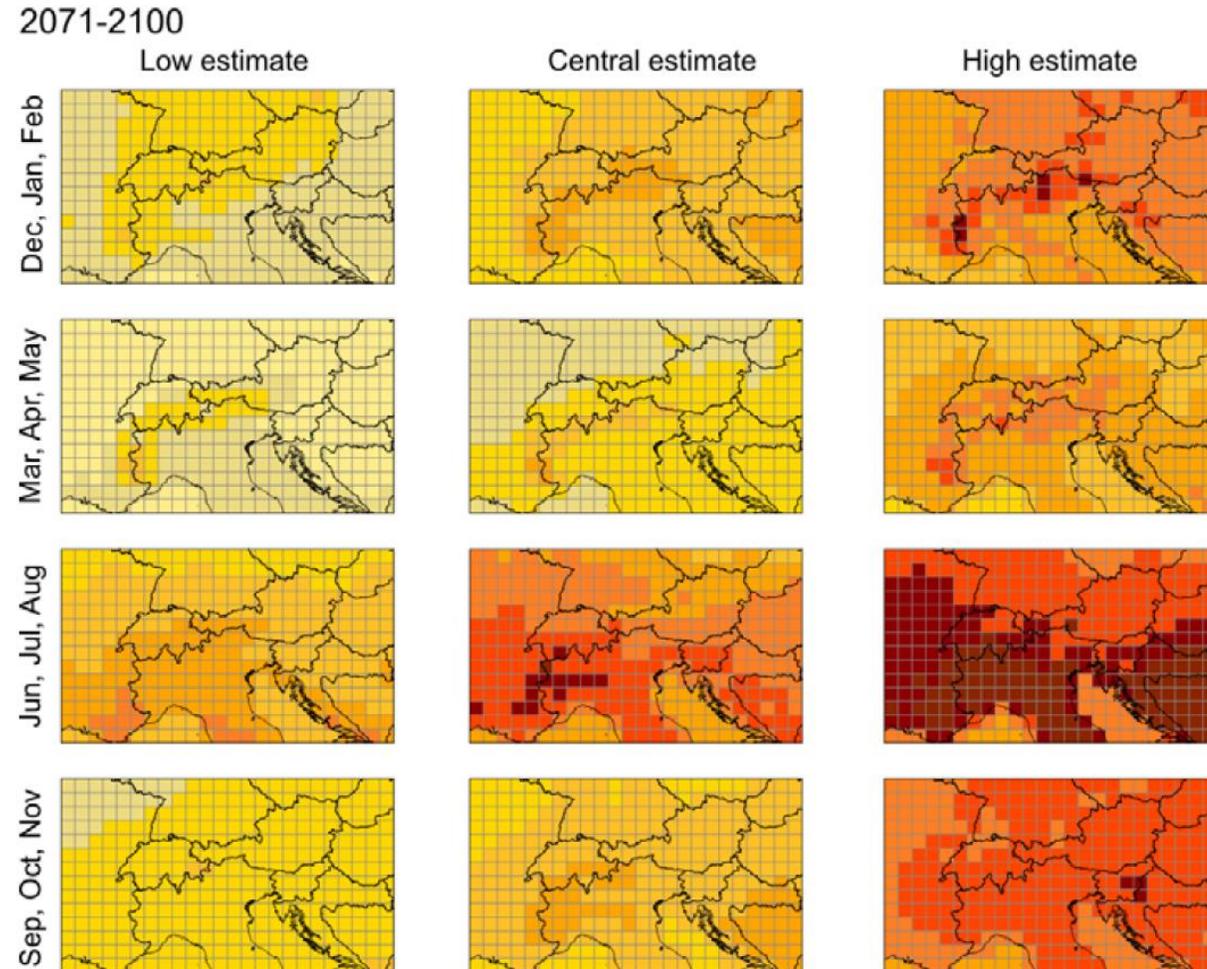
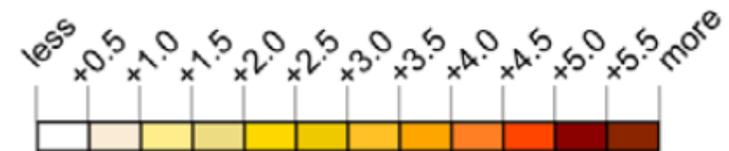


Figure 19: Change of seasonal air-temperature means in the periods 2021-2050 and 2071-2100 vs. 1971-2000 per meteorological season as estimated using an ensemble of 14 (2050) and 12 (2100) RCM runs. The "low estimate" corresponds to the 10th percentile, the "central estimate" to the 50th percentile, and the "high estimate" to the 90th percentile.



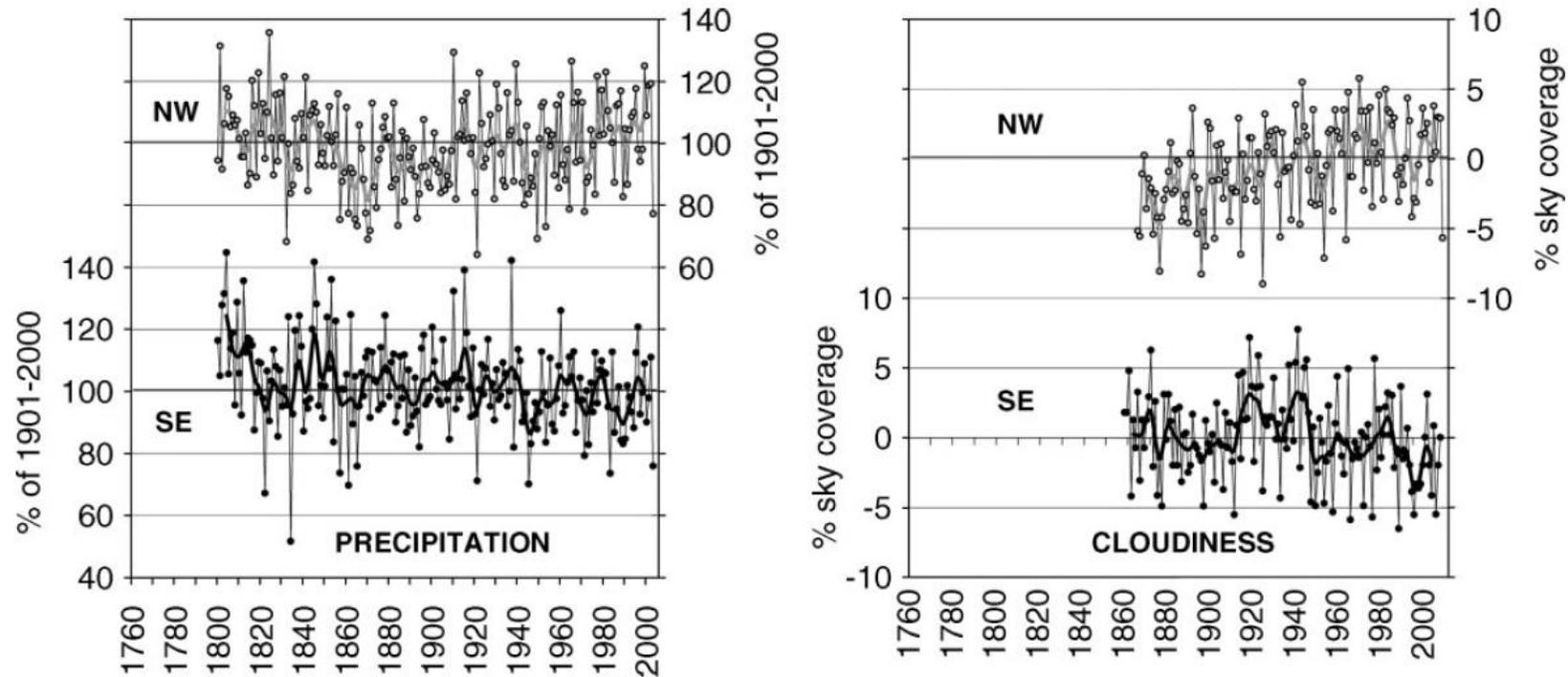
Evolution des paramètres climatiques

Observations

Précipitations

Alpes :

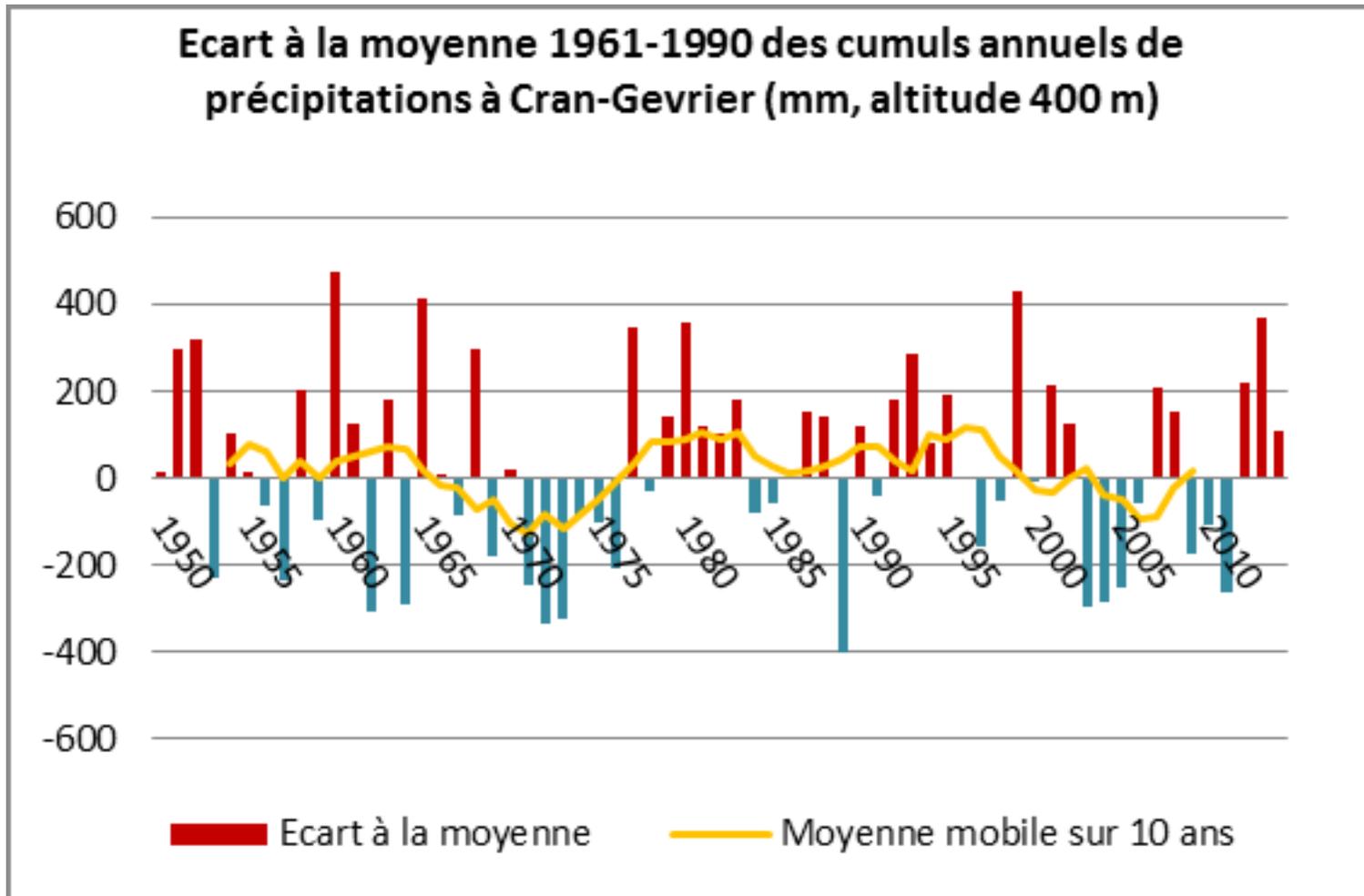
- HISTALP : précipitations annuelles **+9% au NW** et **-9% au SE** au 20e siècle (lien avec nébulosité)



Anomalies de **précipitations annuelles** (à gauche) et de **nébulosité** (à droite) relatives aux moyennes 1901–2000 pour les secteurs NW et SE de la Grande Région Alpine (base de données HISTALP)

Evolution des paramètres climatiques

Observations / précipitations Alpes du nord



- Cumul annuel
Evolution peu marquée
+1,5% à Cran Gevrier
+3% à Monestier de Clermont
Grande variabilité interannuelle

- Analyse saisonnière :
Disparités selon stations et les années,
mais pas de tendance nette

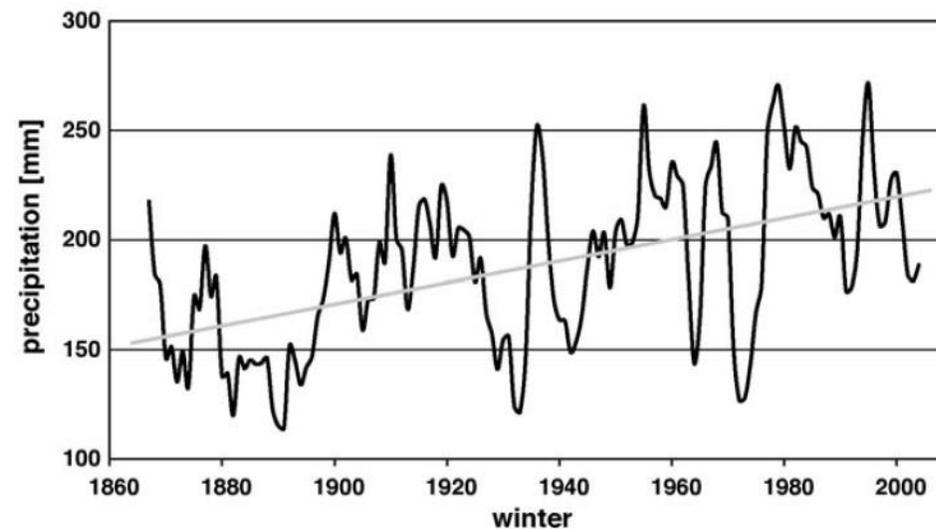
Evolution des paramètres climatiques

Observations

Précipitations

Suisse

- précipitations hivernales : augmentation de 50% des précipitations déc+janv+fev entre 1860 et 2000



Tendance des **précipitations hivernales** (moyenne mobile sur 5 ans sur les données MétéoSuisse de huit stations: Basel, Bern, Chateau-d'Oex, Davos, Engelberg, Genève, Sion, et Zurich)

(Usbeck *et al.*, 2010)

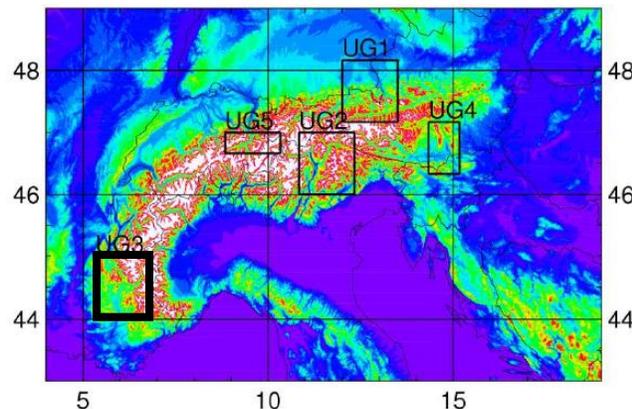
- tendances significatives à la hausse des fortes PP° en fréquence et intensité en hiver et en automne Schmidli & Frei 2005

Evolution des paramètres climatiques

Projections

Précipitations

- forte incertitude
- augmentation en hiver, diminution en été
- élévation de la limite pluie/neige



Source : Climchalp WP5_ClimChangeAsses_REPORT

	Season	GAR	UG1	UG2	UG3	UG4	UG5
Precipitation	DJF	1,2	1,1	1,3	1,3	1,4	1,1
	MAM	1,1	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2
Ratio	JJA	0,8	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9
	SON	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9
		Precipitation increase		Precipitation reduction			

Les projections issues des modèles climatiques du GIEC pour le 21ème siècle présentent une baisse sensible des quantités de précipitations annuelles sur l'ensemble du bassin méditerranéen.

Evolution des paramètres climatiques

Projections

Précipitations moyennes annuelles

Les changements simulés dans les précipitations restent limités jusqu'au milieu du 21e s.

Plusieurs modèles montrent :

- légère augmentation (+5%) en hiver dans les parties N.
- légère diminution (-5%) en été dans les parties méditerranéennes

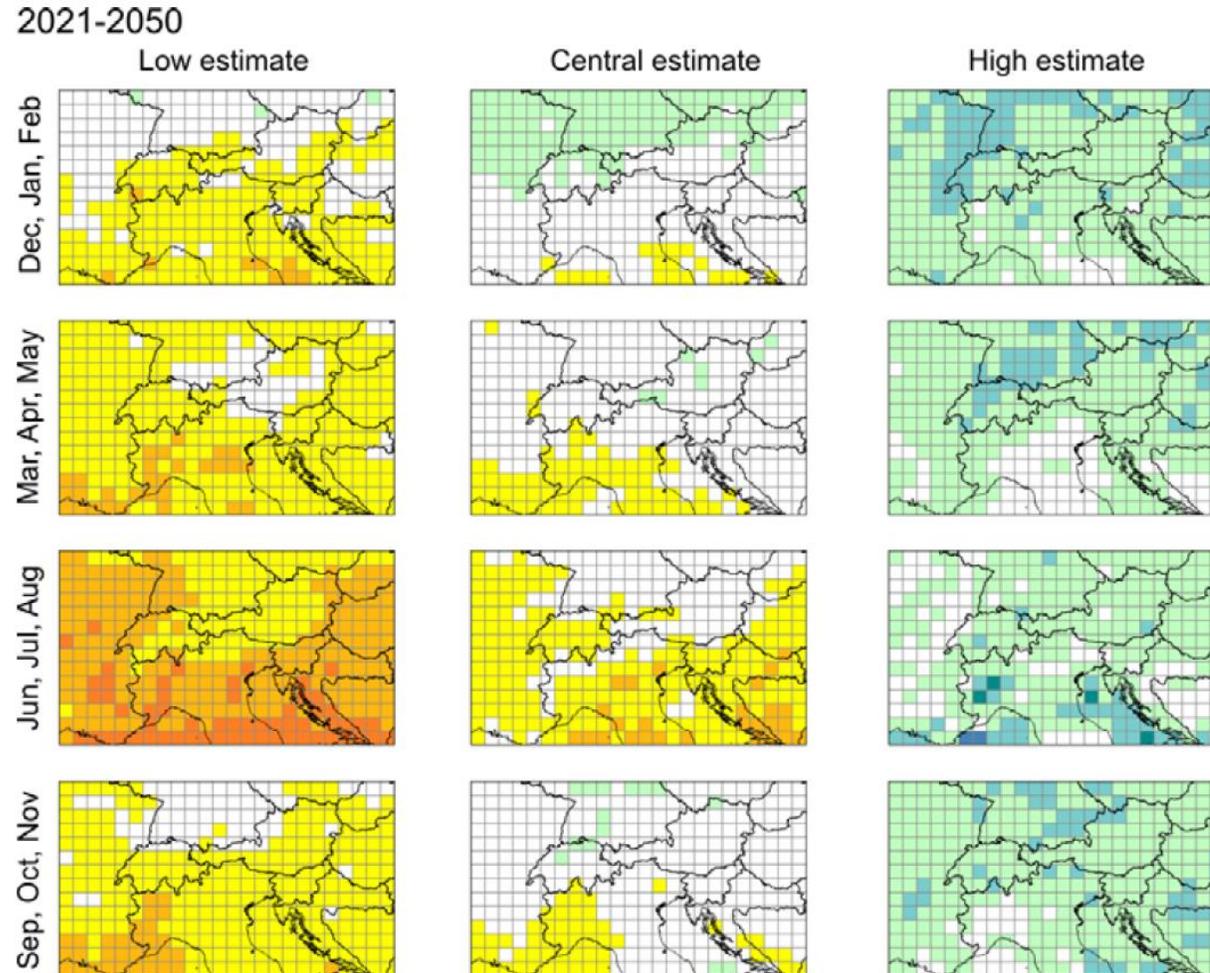


Figure 20: Change of seasonal precipitation sums in the periods 2021-2050 and 2071-2100 vs. 1971-2000 per meteorological season as estimated using an ensemble of 14 (2050) and 12 (2100) RCM runs. The "low estimate" corresponds to the 10th percentile, the "central estimate" to the 50th percentile, and the "high estimate" to the 90th percentile.



Evolution des paramètres climatiques

Projections

Précipitations moyennes annuelles

A la fin du siècle, l'accord entre les modèles est plus fort et les changements simulés sont plus prononcés :

Estimation centrale :

- augmentation de +15% en hiver (+25% dans les Alpes centrales)
- diminution de -15% en été (-25% dans les parties méditerranéennes)

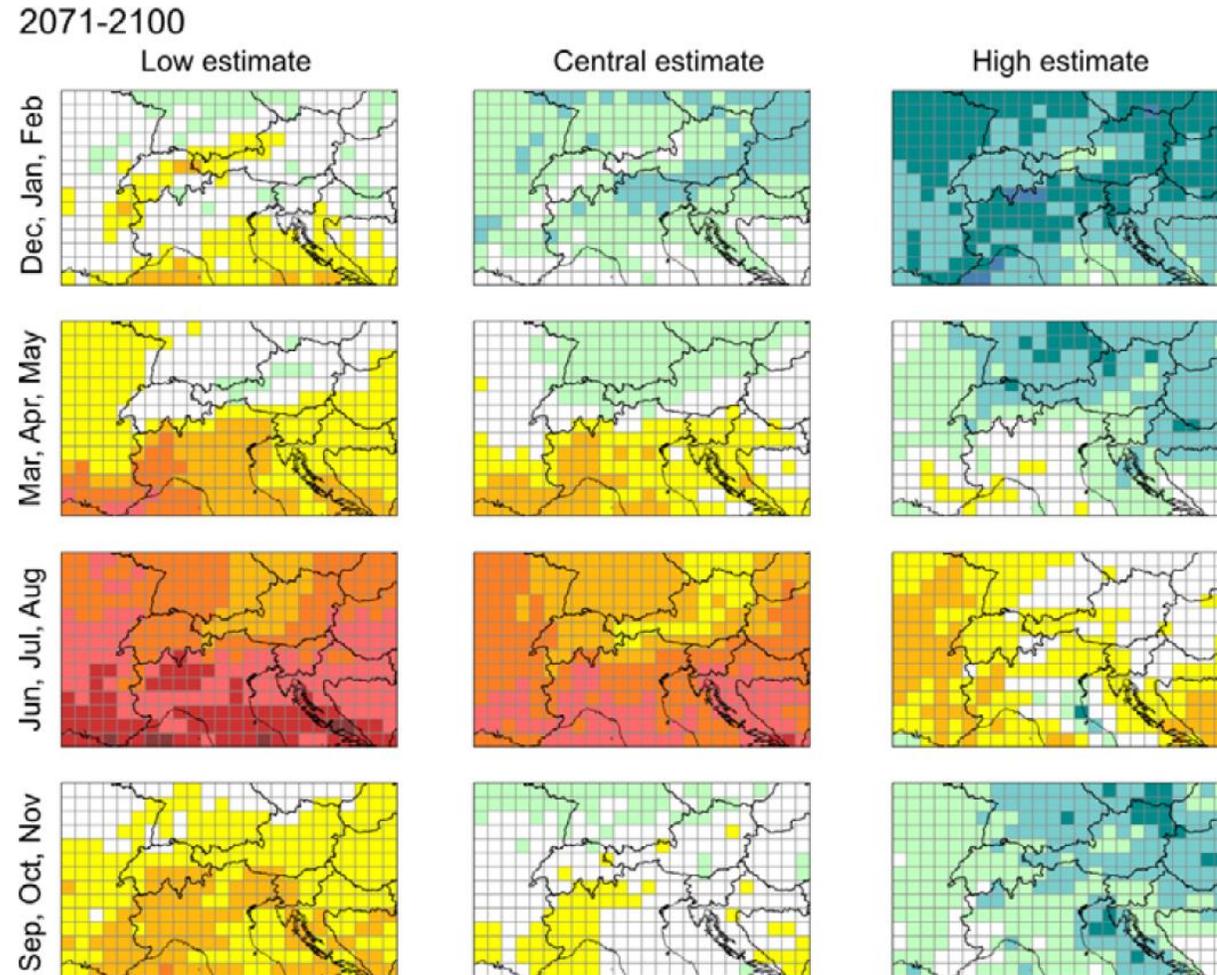


Figure 20: Change of seasonal precipitation sums in the periods 2021-2050 and 2071-2100 vs. 1971-2000 per meteorological season as estimated using an ensemble of 14 (2050) and 12 (2100) RCM runs. The "low estimate" corresponds to the 10th percentile, the "central estimate" to the 50th percentile, and the "high estimate" to the 90th percentile.



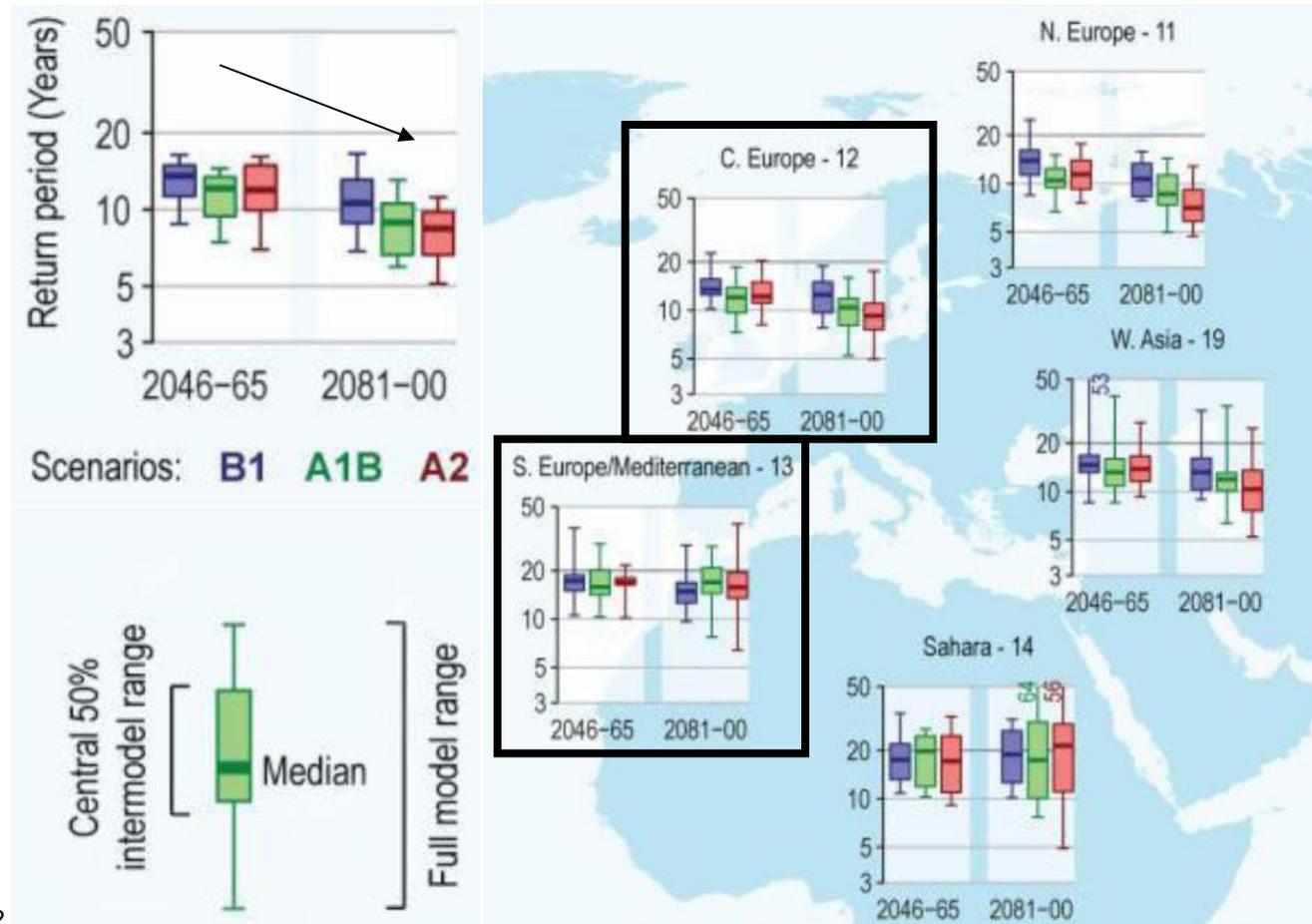
Evolution des paramètres climatiques

Projections

Précipitations intenses / extrêmes

- augmentation des événements météorologiques extrêmes ?

Le GIEC prévoit une diminution de la période de retour des précipitations considérées actuellement comme vingtennales...



Le changement climatique dans les Alpes

Evolution des paramètres climatiques

Effets sur les systèmes naturels :

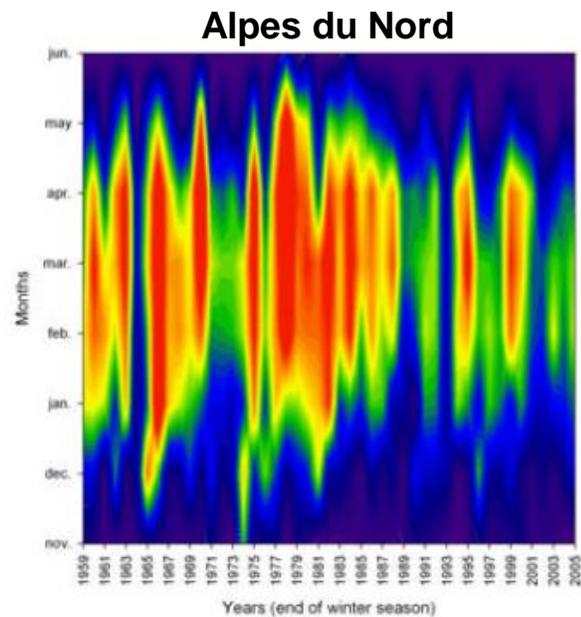
=> Enneigement, Glaciers, Permafrost

Effets sur les systèmes naturels

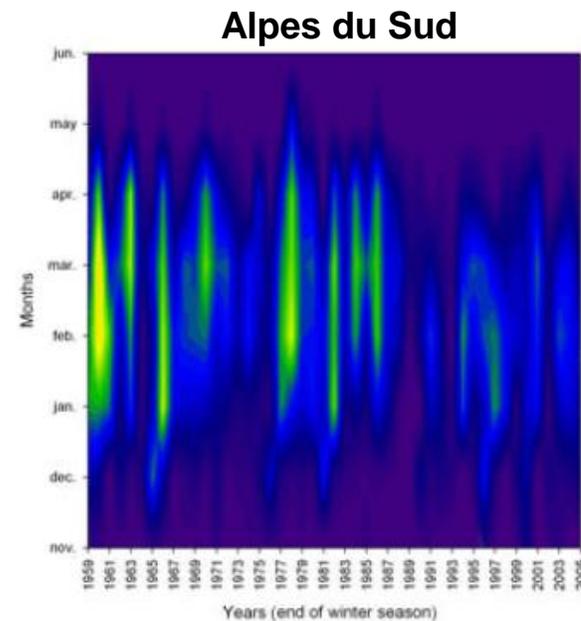
Enneigement

Observations

- diminution observée en durée et hauteur surtout à basse et moyenne altitude (1500m) après les années 1980



cm



cm

Distribution annuelle des valeurs mensuelles de l'épaisseur de neige à **1800m d'altitude** dans les Alpes françaises du N. et du S. modélisées par la chaîne SCM sur la période 1959-2005

(Durand et al., 2009)

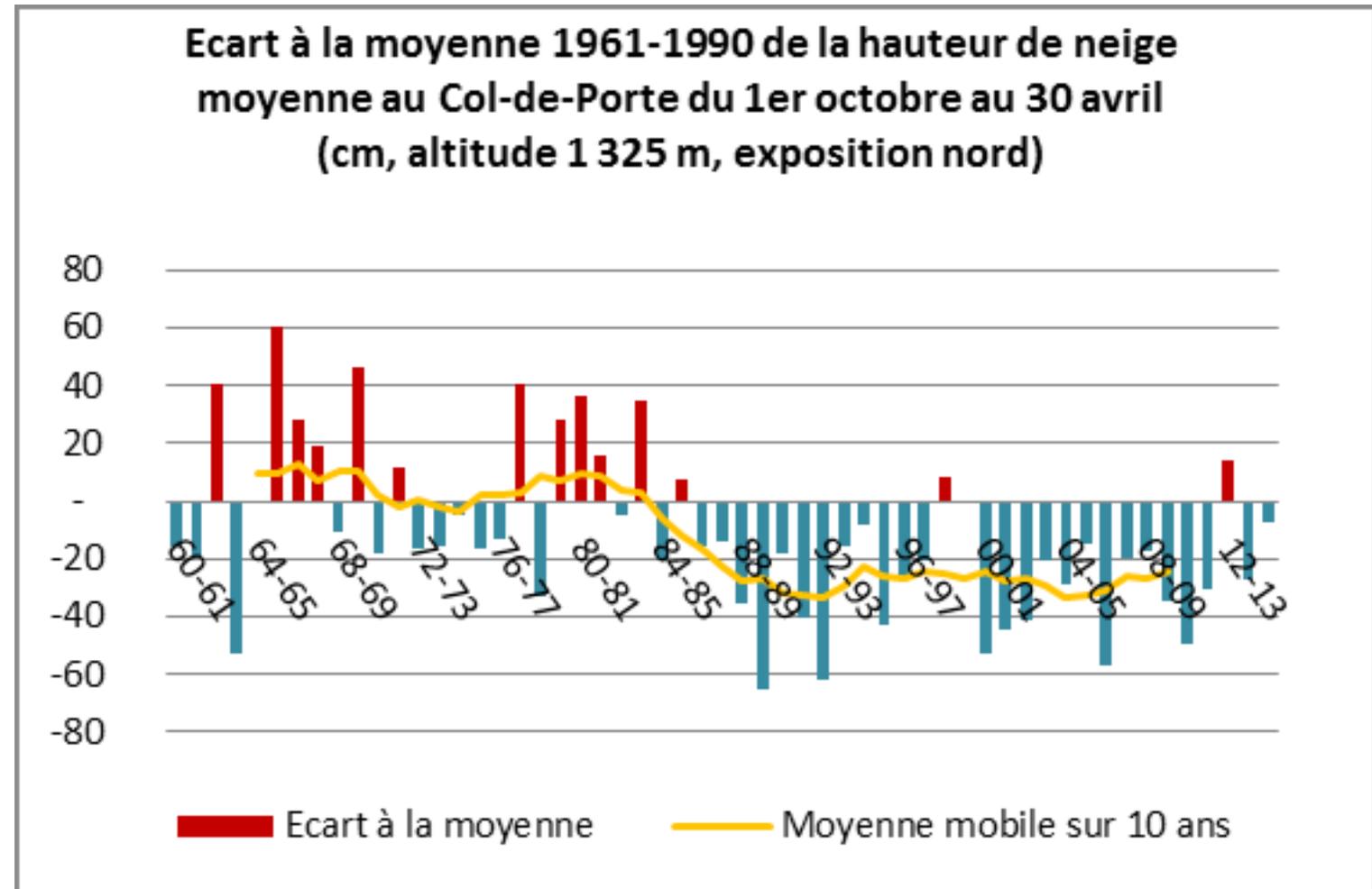
- tendances similaires dans les autres pays alpins

Effets sur les systèmes naturels

Enneigement

Observations

Baisse marquée <1700m
(-28% soit-27cm au col de Porte)
plus marquée
en début et fin d'hiver



Source :

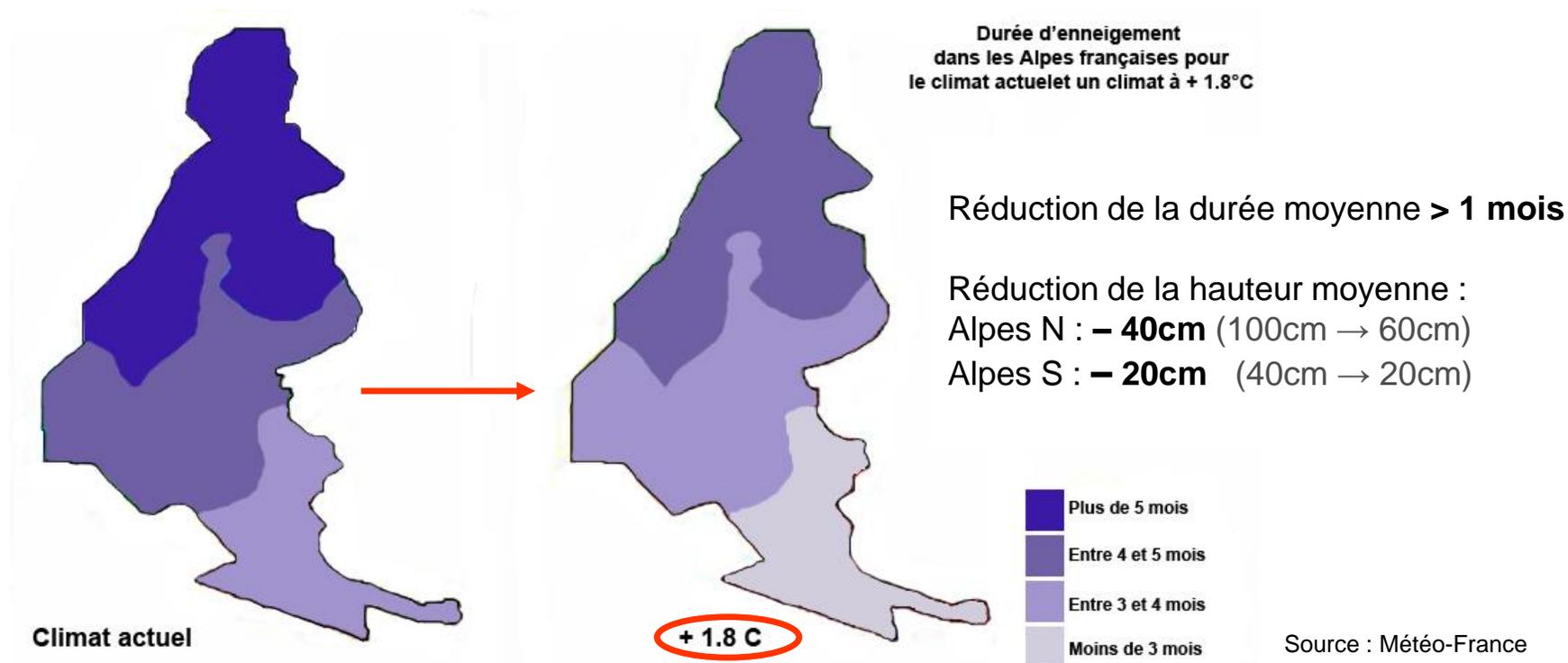
ORECC_profil_territorial_montagne_alpes_VF_juin16

Effets sur les systèmes naturels

Enneigement

Projections

- diminution de la **durée** et de la **hauteur** du manteau neigeux surtout à basse et moyenne altitude



- la **variabilité interannuelles** de l'enneigement (caractéristique déjà typique) pourrait s'accroître dans le futur aussi bien au sud qu'au nord, notamment vers 2000m d'altitude

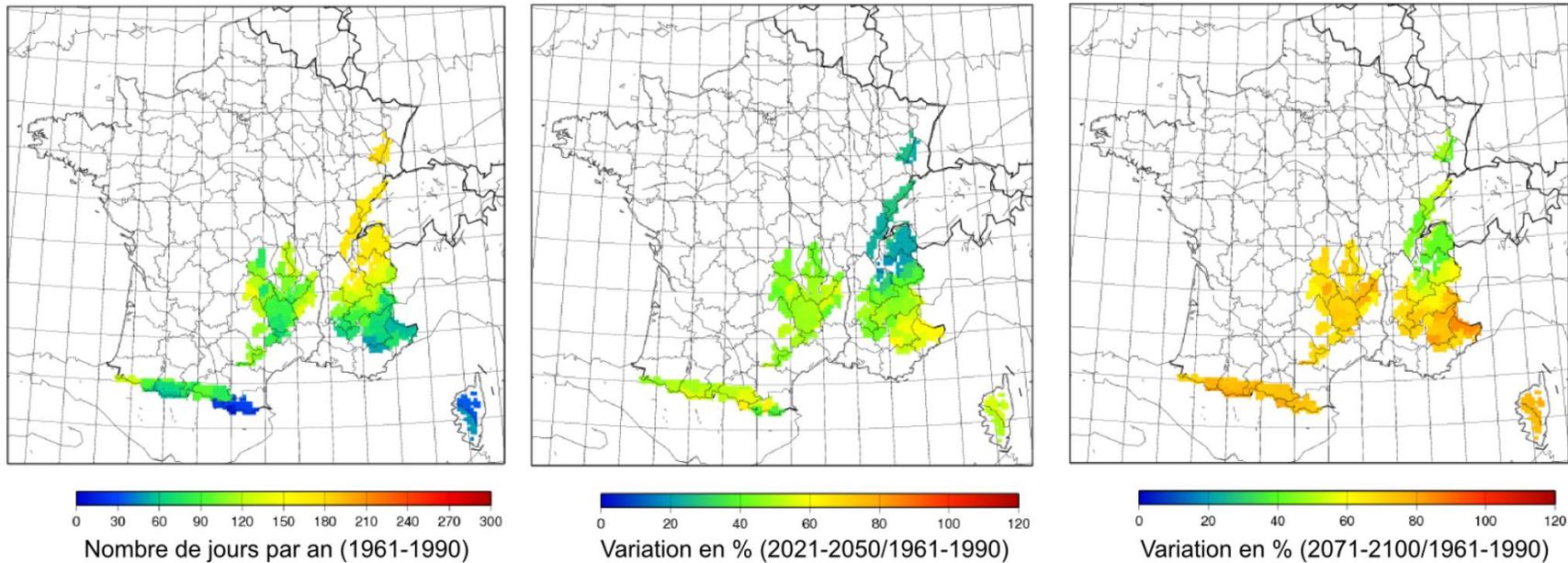
Effets sur les systèmes naturels



Enneigement

Projections

- **Réduction de la durée annuelle d'enneigement**, dès le milieu du 21^{ème} siècle, à toutes les altitudes inférieures à 2500 m, dans des proportions pouvant atteindre 40 % en 2050 et 80 % en 2100
- Les résultats concernant les indices de phénomènes météorologiques extrêmes confirment ceux des précédents projets nationaux ou européens : aggravation du risque de sécheresse et de canicule, pluies intenses un peu plus fréquentes, et impact faible sur les tempêtes



Nombre moyen de jours avec hauteur de neige supérieure ou égale à 5 cm.
Altitude 1500m, scénario A1B, moyenne des modèles haute résolution SCAMPEI

Effets sur les systèmes naturels

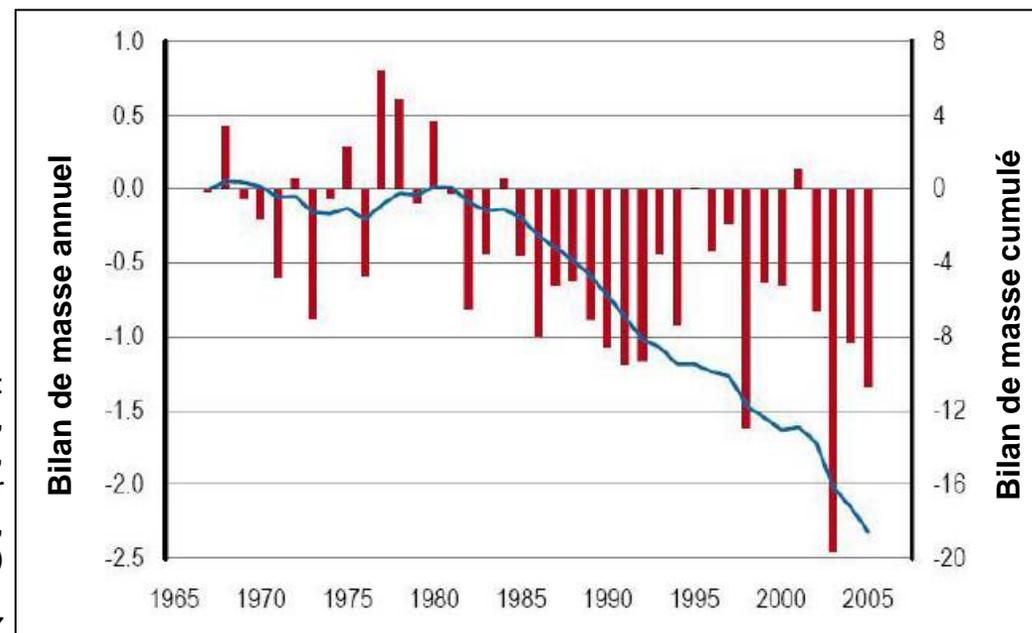
Glaciers

Observations

- recul généralisé depuis fin PAG (milieu 19e)
- intensification de la période d'ablation (l'accumulation a peu changé) depuis les années 1990
- ex. glaciers suisses : (Huss *et al.* 2009)
 - années 1940 : fonte plus marquée des qu'actuellement (rayonnement solaire accru)
 - perte de volume continue et accélérée depuis milieu années 1980 (-0,5 à -1 m e.e. / an)
 - perte exceptionnelle été 2003 (-2,5 m e.e. / an ; -3,5% en volume)
 - volume total 1999-2008 : -12%

Bilan de masse 9 glaciers alpins :
 Saint Sorlin (F), Sarennes (F),
 Silvretta (CH), Gries (CH),
 Sonnblickkees (A), Vernagtferner
 (A), Kesselwand-Ferner (A),
 Hintereisferner (A), Careser (I)

FOEN 2007



Effets sur les systèmes naturels

Glaciers

Observations

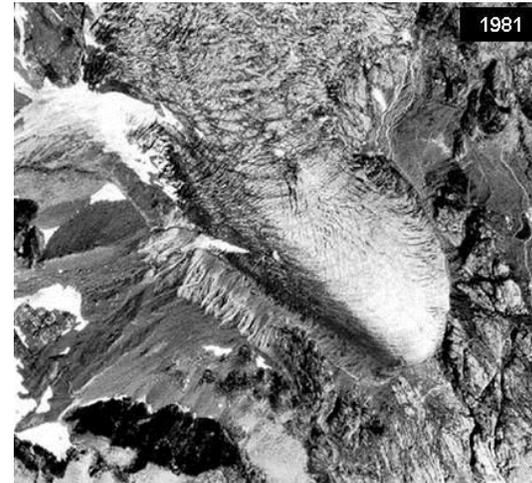
Glacier Blanc (massif des Ecrins)

Recul du front :

1986–2009: – 510m

été 2009: – 64m (effet de l'été 2003...)

1981–2002:



PNR des Ecrins, 2005

1995–2009:



PNR des Ecrins, 2009



Effets sur les systèmes naturels

Glaciers

Observations

Inventaire des extensions actuelle et anciennes des glaciers dans les Alpes franco-italiennes

=> Digitalisation du contour des glaciers à différentes époques (à partir d'orthophotos, cartes topo et images satellitaires)

=> **Quantification du retrait glaciaire** depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (~1850) (cartes anciennes, étude des marges proglaciaires)

La **surface englacée** dans les Alpes françaises à la fin des années 2000 (275 km²) a diminué :

- de 20% par rapport à 1985-86 (340 km²)

- de 26% par rapport aux années 1967-71 (370 km²)

Résultats comparables à ceux obtenus dans d'autres secteurs des Alpes

Confirment une nette **accélération du retrait glaciaire à partir du milieu des années 1980** :

Vitesse du retrait multipliée par 1,5 entre [1967-71 à 1985-86] (-5% par décade) et [1985-86 à 2006-2009] (-8% par décade)

Dans le massif de la Vanoise, par exemple, la surface englacée a diminué de **plus de 50% depuis la fin du PAG**

Accélération actuelle :

http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/12/10/et-pendant-ce-temps-la-fonte-des-glaciers-s-accelere_1617030_3244.html

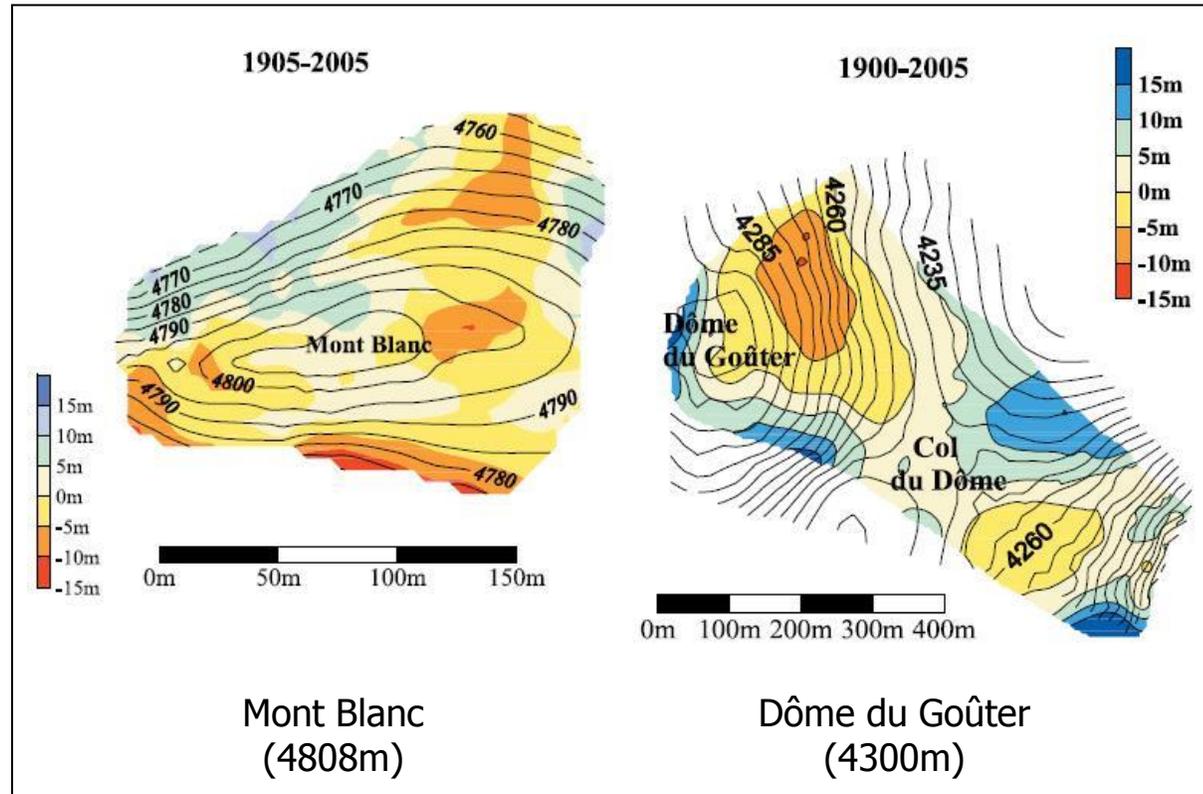
<http://www.futura-sciences.com/planete/actualites/climatologie-fonte-glaciers-alpins-accelere-depuis-2003-35124/>

Effets sur les systèmes naturels

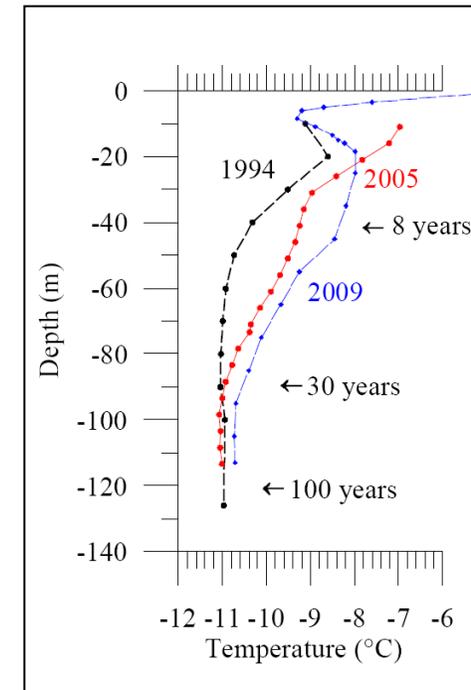
Glaciers

Observations

- variations de l'épaisseur de glace en altitude



- températures de la glace mesurées au Col du Dôme du Goûter en 1994, 2005 et 2009



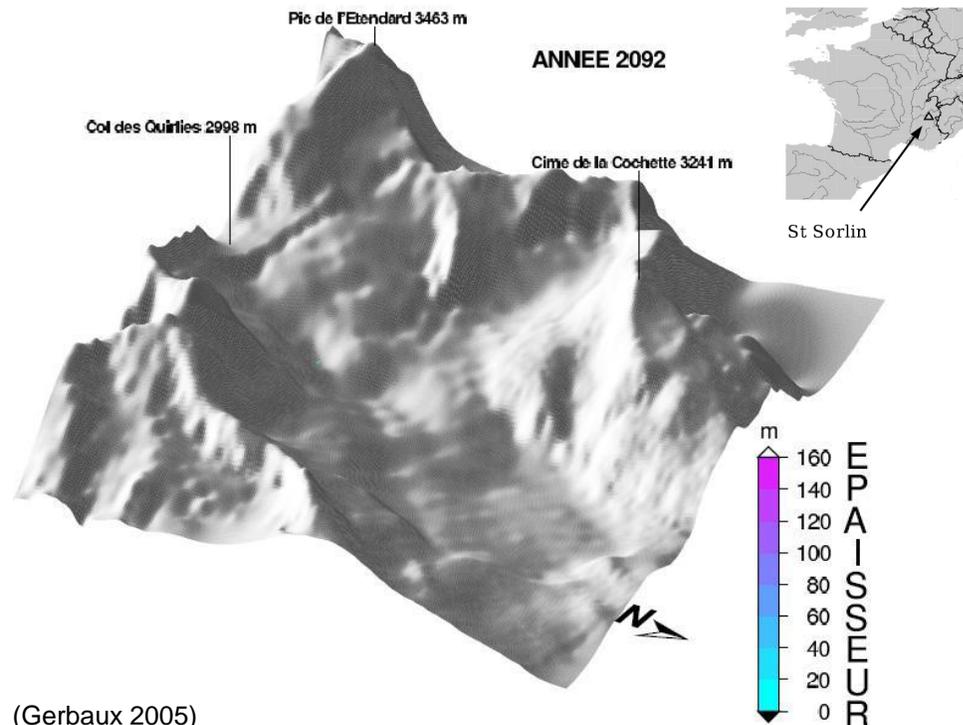
(C. Vincent, Expert hearing 26/01/2011)

Effets sur les systèmes naturels

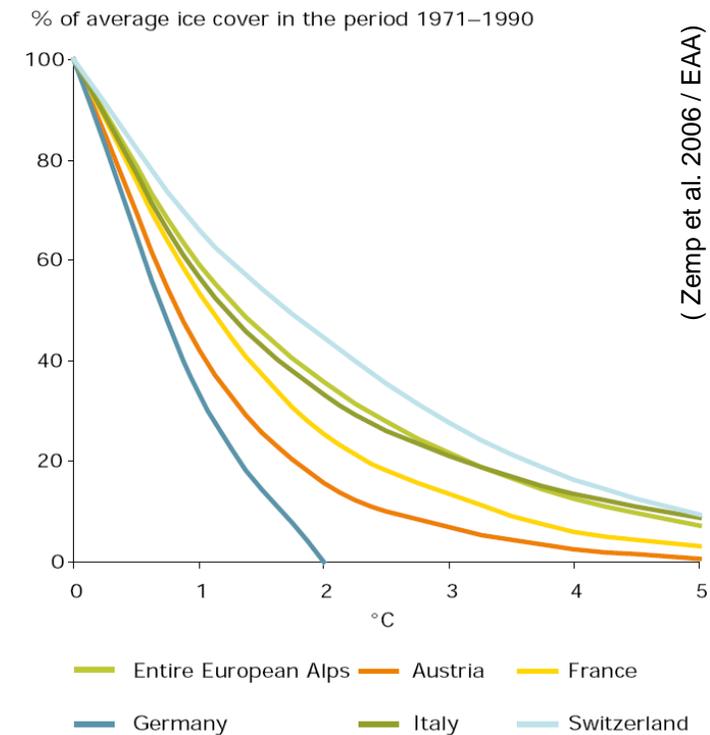
Glaciers

Projections

- le retrait glaciaire va se poursuivre
- augmentation de la fonte en été
- réduction de la fonction de stockage de l'eau par les glaciers à long terme
- disparition annoncée des plus petits glaciers d'ici à la fin du 21e siècle



(Gerbaux 2005)

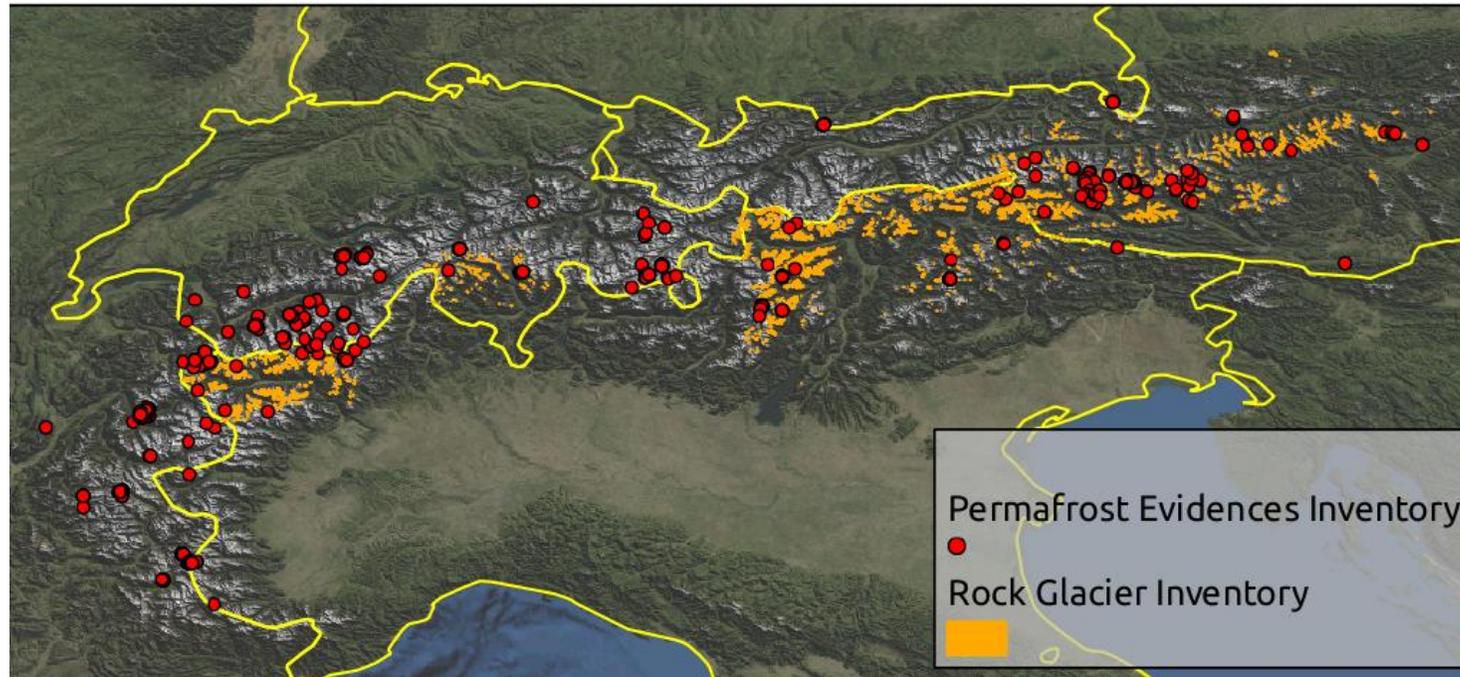


Effets sur les systèmes naturels

Permafrost

Observations

- les mesures dans le permafrost alpin ne datent que de 1987 (réseau PERMOS en Suisse)
 - lien avec les températures de l'air et le couvert neigeux
 - variations de la température et de la profondeur de la couche active dans les permafrosts alpins
- projet PermadataROC (Alcotra) 2006–2008 : initiation suivi parois rocheuses (Mont-Blanc), dév. méthodologiques
- projet PermaNET (Espace Alpin) 2008–2011 : inventaire du permafrost dans les Alpes

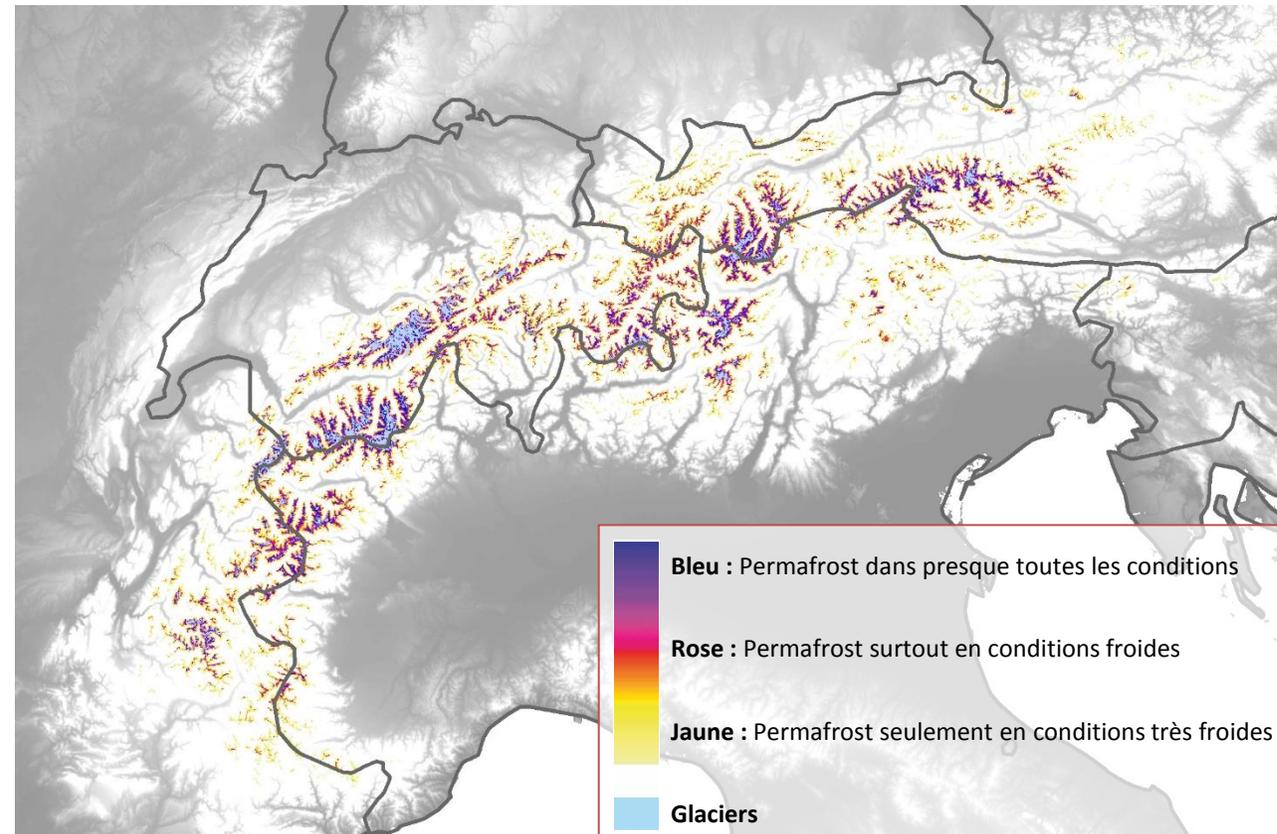


Permafrost

Observations

- cartographie de la présence potentielle du permafrost (projet PermaNET)

- Réseau de monitoring
- Inventaire indices de terrain
 - mesures température surface + forage
 - cicatrices d'éboulements
 - tranchées / sites construction
 - mouvements de surface
 - reconnaissance géophysique
 - inventaires glaciers rocheux
- Modèle statistique de distribution du permafrost

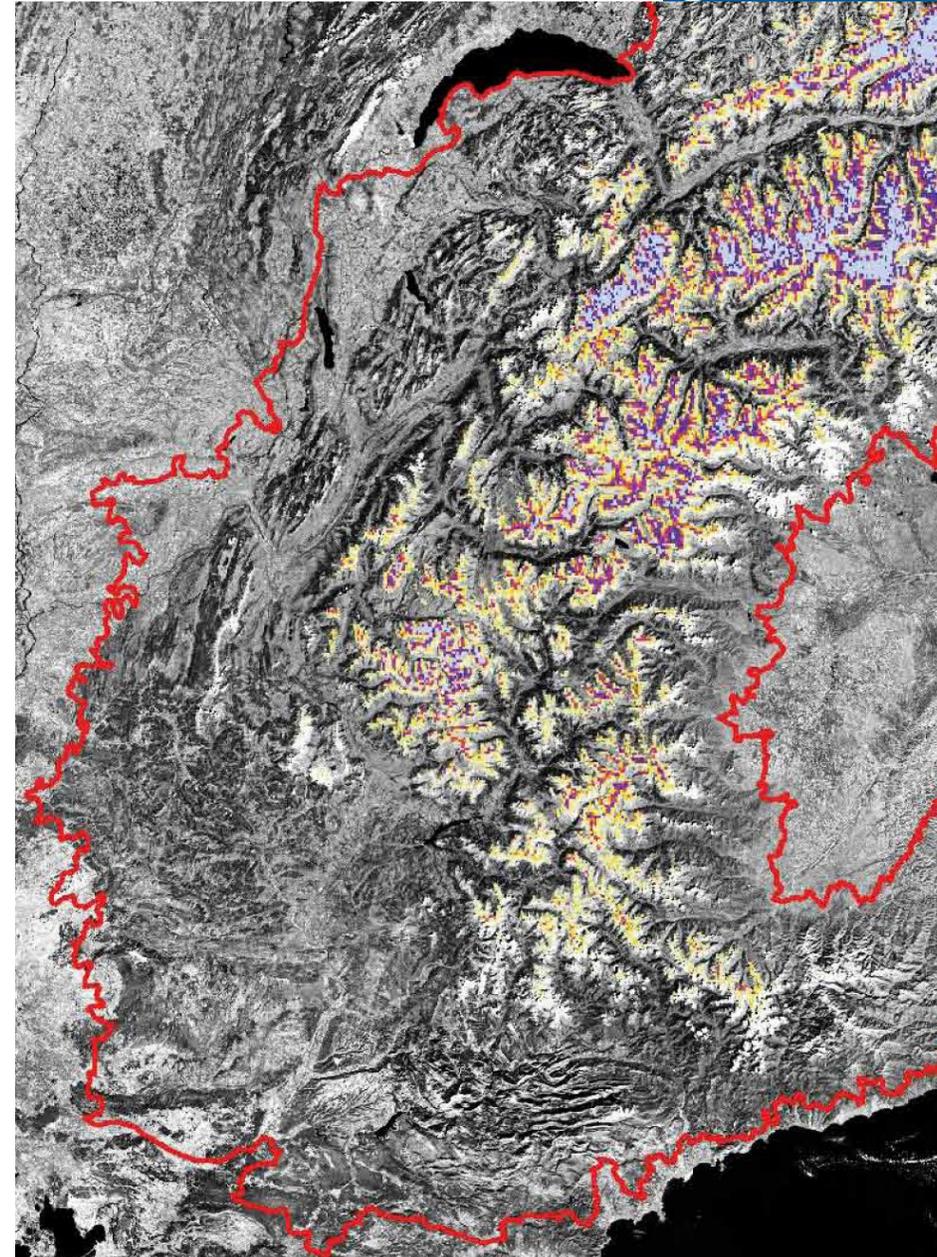
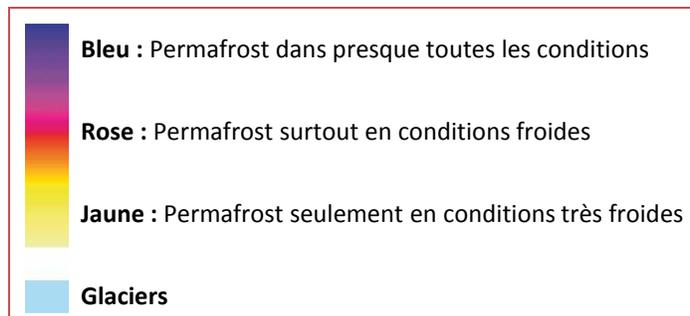


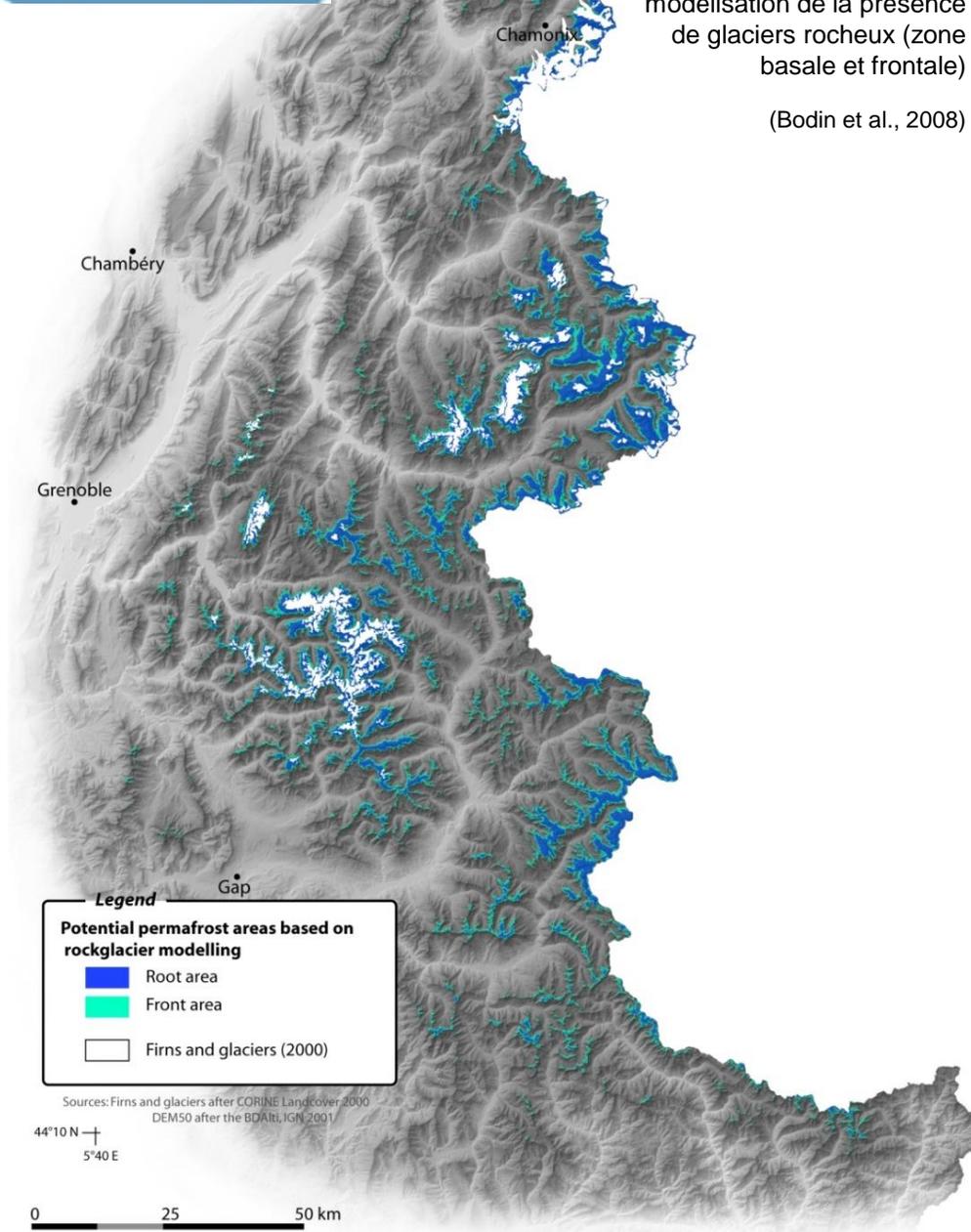
Effets sur les systèmes naturels

Permafrost

Le réseau PermaFRANCE

- cartographie de la présence potentielle du permafrost dans les Alpes françaises (projet PermaNET)





Cartographie de la **distribution potentielle du permafrost** dans les Alpes françaises basée sur une modélisation de la présence de glaciers rocheux (zone basale et frontale)

(Bodin et al., 2008)

Carte de distribution du permafrost

» Permafrost : 1300 km² (glaciers : 500 km²)

» 60% entre 2500 et 3000 m

Le réseau PermaFRANCE

- Réseau national de scientifiques et de laboratoires
- Monitoring du permafrost et des processus liés
- Observation :
 - Parois rocheuses en haute montagne
 - Glaciers rocheux à l'étage périglaciaire
 - Fourniture en matériaux à l'étage infra-périglaciaire
 - Low altitudinal cold screeslopes
- Officialisé en 2010
- Rapport *Permafrost in France n° 1* – Juin 2010
- Composante française des réseaux PermaNET and GTN-P

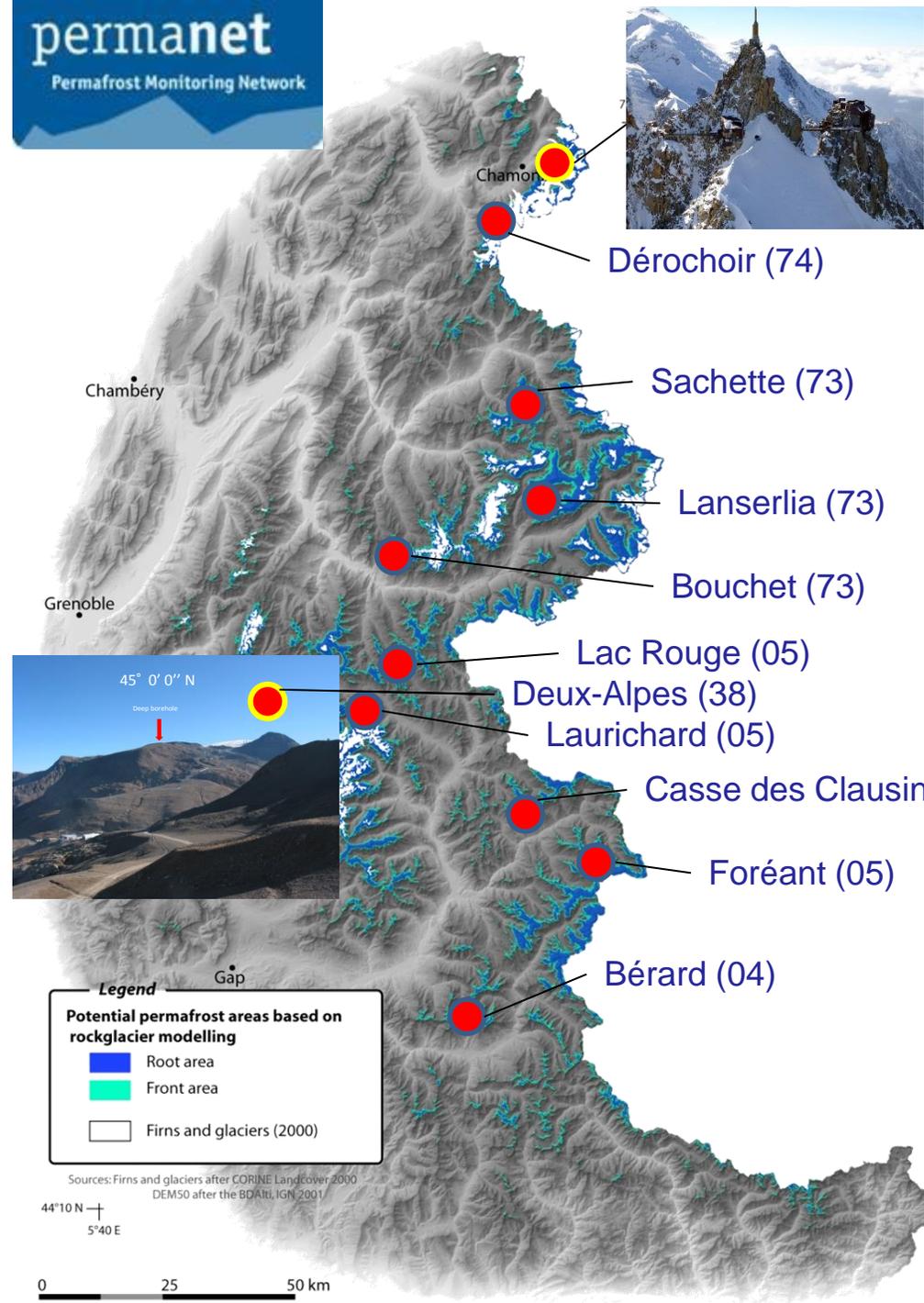
Les partenaires



PACTE, Institut de Géographie Alpine, Université de Grenoble
EDYTEM, CNRS - Université de Savoie
PRODIG, Université Paris-Diderot



ARPA Valle d'Aosta
GIPSA-lab, Grenoble INP
SAGE/ADRGT, Gières
Compagnie des Guides de Chamonix
Parc national des Ecrins
CEMAGREF
CNBA, Gap
RTM
Deux Alpes Loisirs
...



Permafrost dans parois rocheuses :

- 4 parois avec monitoring T° surface roche
- 3 forages (10 m)

Permafrost dans dépôts superficiels :

- Monitoring de glaciers rocheux
- Température surface sol
 - Plus long enregistrement depuis 2005
 - Autres sites depuis 2007
- Profils de températures
 - 2 forages (15 m) depuis 2009
- Déplacements de surface
 - Plus long enregistrement depuis 1985
 - Autres sites depuis 2007
- Reconnaitances géophysiques répétées
 - Sondages géoélectriques depuis 1985
 - Tomographies ? depuis 2007

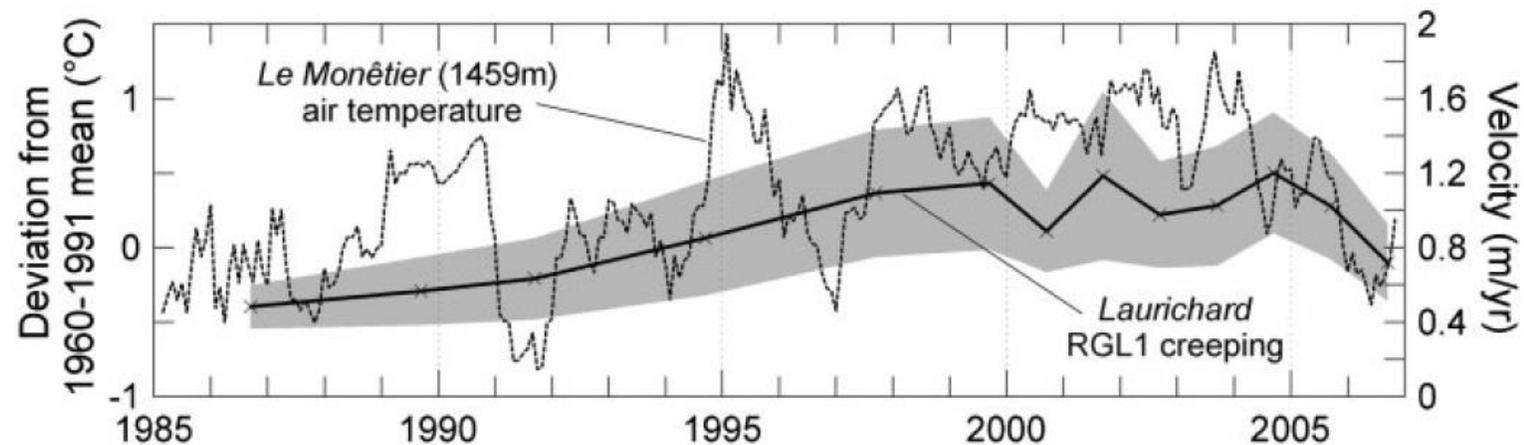
Effets sur les systèmes naturels

Permafrost

Observations

Dégradation du permafrost :

- dans les **parois rocheuses** de haute altitude (cf. écroulements) => monitoring températures (+ écroulements)
 - au sein des **formations superficielles** => suivi des déformations
- augmentation de la vitesse des glaciers rocheux dans les années 1980 à 2000, diminution après 2004 ...
ex. Laurichard (col du Lautaret, 05) : phases synchrones avec les variations régionale des T°



(T. Pecquet)
Glacier rocheux du Laurichard

Vitesse moyenne des déplacements de surface basée sur 10 points de mesure (1986-2006), et moyenne mobile de l'anomalie de température moyenne de l'air à proximité

Effets sur les systèmes naturels

Permafrost

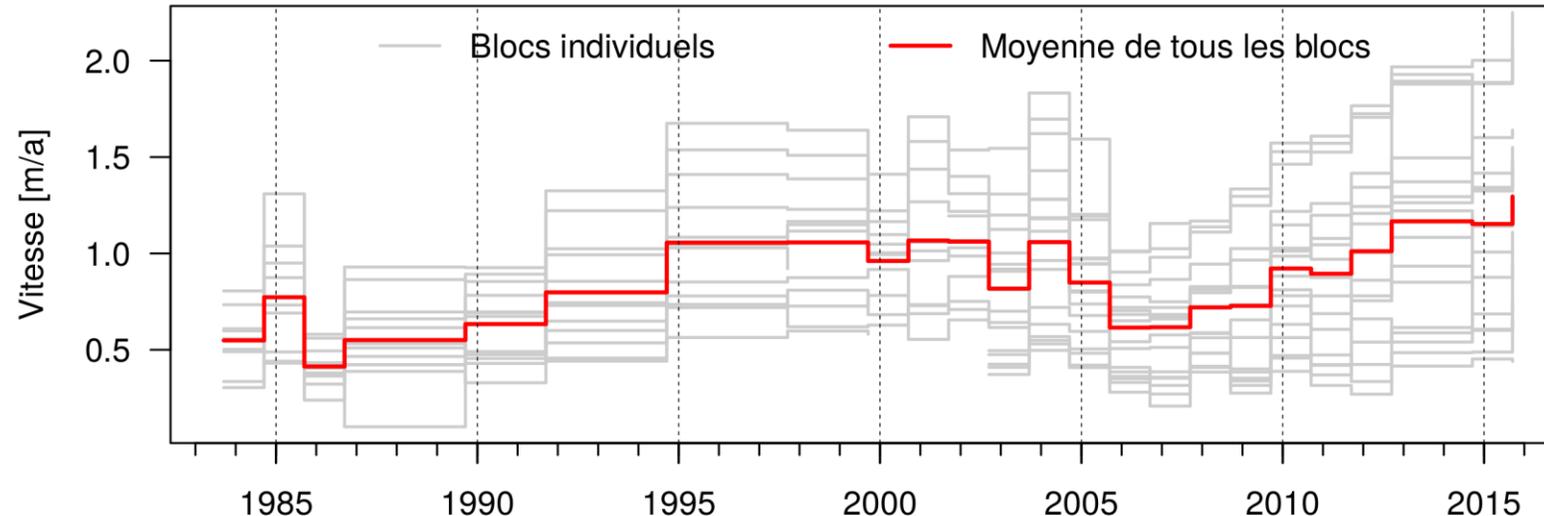
Observations

Dégradation du permafrost :

- dans les **parois rocheuses** de haute altitude (cf. écroulements) => monitoring températures (+ écroulements)
- au sein des **formations superficielles** => suivi des déformations

augmentation de la vitesse des glaciers rocheux dans les années 1980 à 2000, diminution après 2004, nouvelle augmentation depuis 2007

ex. Laurichard (col du Lautaret, 05) : **vitesse record en 2015**, également observée dans d'autres pays alpins



Glacier rocheux du Laurichard (T. Pecquet)

Variation des **vitesses de déplacements du glacier rocheux du Laurichard** entre 1984 et 2015 .

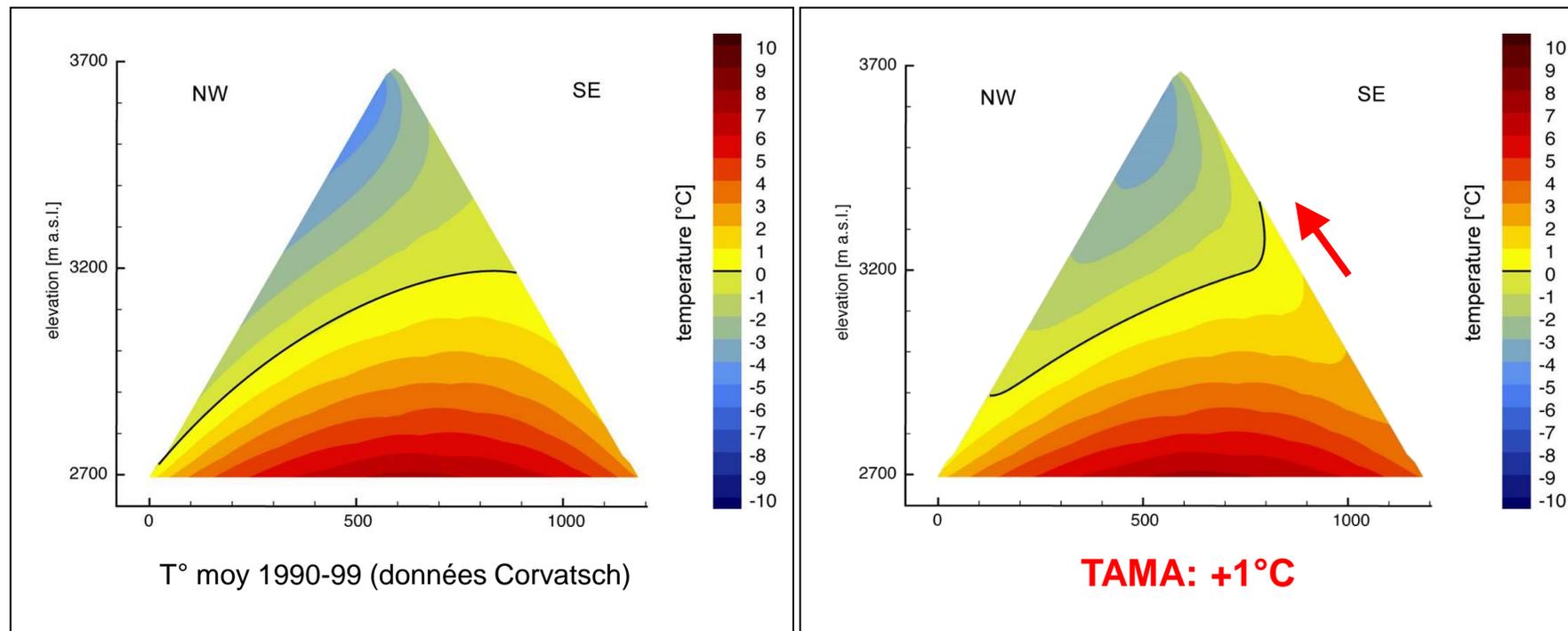
En gris : valeurs des différents points mesurés. En rouge : vitesse moyenne.

Effets sur les systèmes naturels

Permafrost

Projections

- modélisation de la température au sein des massifs rocheux



Impact d'une évolution de + 1°C de la températures annuelle moyenne de l'air
sur la **température de la roche** au sein d'un massif montagneux (source : EDYTEM, projet PERMAdataROC)

- le réchauffement de l'atmosphère dans les prochaines décennies devrait affecter fortement le permafrost de paroi et dans les formations superficielles pour certaines gammes d'altitude...

Effets sur les aléas naturels

Avalanches

Crués / inondations

Mouvements de terrain

Crués et laves torrentielles

Risques d'origine glaciaire

Feux de forêt

Tempêtes

Effets sur les aléas naturels

Mouvements de terrain

Observations

- pas de tendance pour les **glissements profonds** (rocheux, argileux)



Glissement de Séchilienne (Isère)

Effets sur les aléas naturels

Mouvements de terrain

Observations

- augmentation apparente des **glissements superficiels** dans certains secteurs (ex. en Isère, Savoie...)

Glissements superficiels le long de la RD213, accès au col de la Madeleine, les 29 et 30 mai 2010



Effets sur les aléas naturels

Mouvements de terrain

Observations

- en Savoie : des **coulées boueuses en plein hiver...**

Coulées de boue mélangées à des blocs et à de la glace sur la route d'accès à La Giettaz (RD909) le 6 décembre 2010

Cet événement s'est produit après un épisode de froid et des chutes de neige importantes le 1^{er} décembre, suivi d'un réchauffement le 6 décembre accompagné de précipitations violentes très localisées, plus fortes que celles annoncées par Météo-France, avec 80 mm en 24h (évalués d'après le suivi de l'évolution des précipitations sur la station Flowcapt de l'Arly) contre 40 mm annoncés. De surcroît, la prévision locale annonçait des coulées de neige et non des coulées de boue (Fig. 25). La survenue d'un tel phénomène à cette époque de l'année est assez atypique sur les derniers 10 ans.



Effets sur les aléas naturels

Mouvements de terrain

Observations

- situation contrastée pour les **chutes de blocs** en fonction des secteurs et des gammes d'altitude :
 - augmentation apparente en Savoie / diminution apparente en Valais (biais d'observation ?)



Fig. 27. Exemples de chutes de blocs sur des routes en Savoie en janvier 2011



RD76 Montgellafrey 10/01/11



RD914a col du Chat 09/01/11

RD1006 Orelle 16/01/11

Effets sur les aléas naturels

Mouvements de terrain

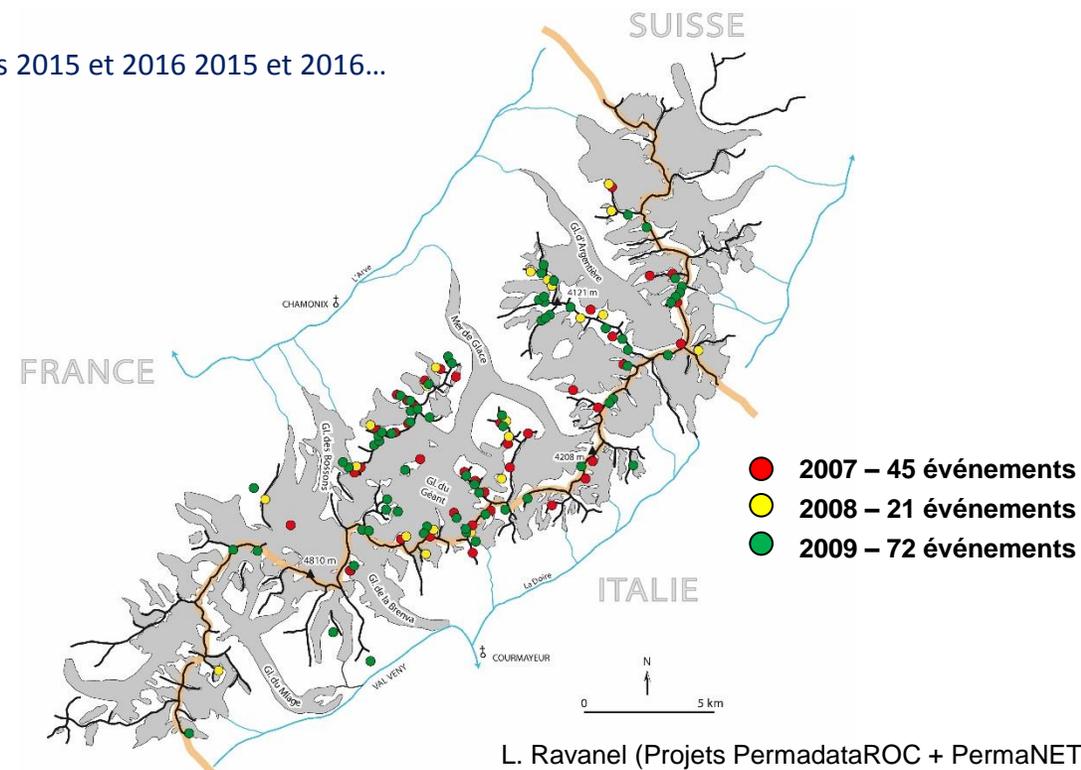
Observations

- situation contrastée pour les **chutes de blocs** en fonction des secteurs et des gammes d'altitude :
 - augmentation apparente en Savoie / diminution apparente en Valais (biais d'observation ?)
 - occurrence des **éboulements de haute montagne** pendant les périodes chaudes (Mont Blanc)
 - années 1947-1950 et 1980-2010
 - été 2003, août 2009, juillet 2010, étés 2015 et 2016 2015 et 2016...



Rockfall scar with exposed ice. Photo: L. Trucco (Cervin)

dégradation du **permafrost** !

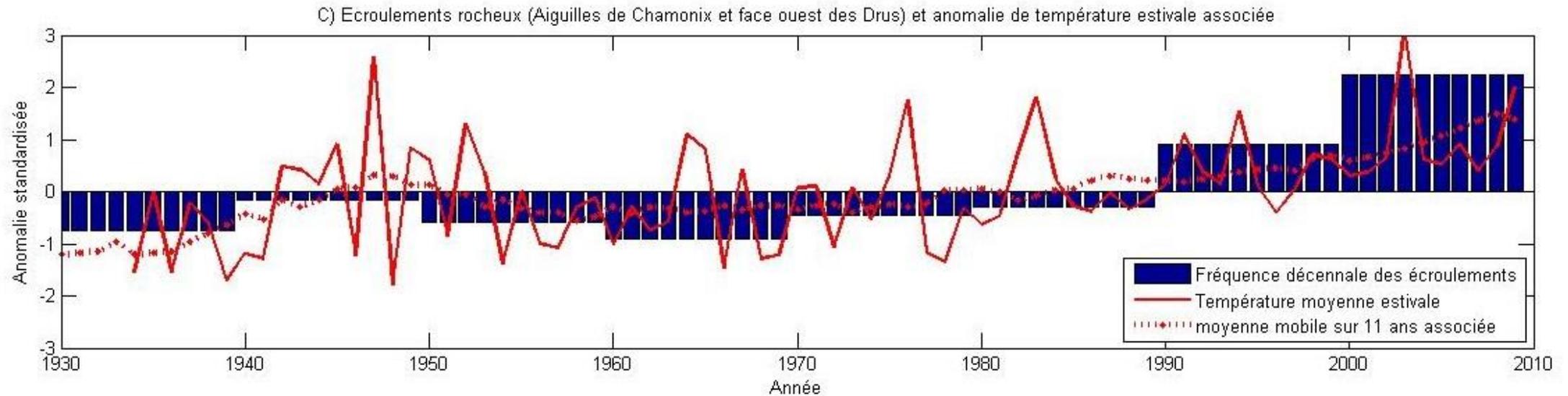


L. Ravanel (Projets PermadataROC + PermaNET)

Effets sur les aléas naturels

Mouvements de terrain

Observations



Nombre d'éboulements rocheux dans les Aiguilles de Chamonix et les Drus et anomalie de température associée à Chamonix (données : Météo-France). Le calcul d'anomalie est effectué par rapport à la période d'étude considérée. D'après Ravanel et Deline (2011).

Effets sur les aléas naturels

Mouvements de terrain

Observations

Rupture de glacier rocheux



Le Bérard (Alpes-de-Haute-Provence), été 2006

Photo : J.-M. Krysiecki

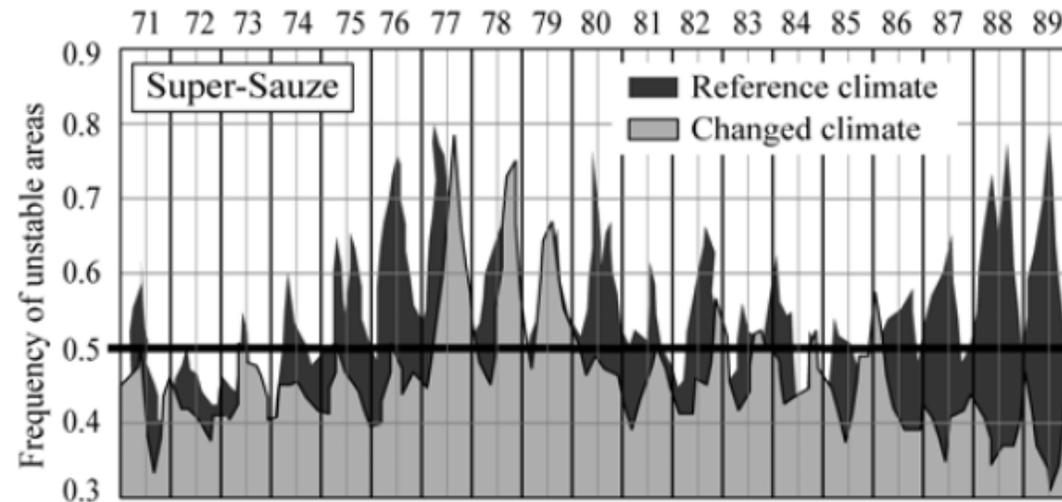
Effets sur les aléas naturels

Mouvements de terrain

Projections



- impact **dégradation du permafrost** sur formations superficielles et parois rocheuses ?
- impact **précipitations extrêmes** sur glissements superficiels + chutes de blocs (zones d'éboulis) ?
- impact **régime hydrologique** sur glissements profonds ?
- combinaison modèles climatiques, hydrologiques et de stabilité de pente (fortes incertitudes)



Fréquence des secteurs instables calculée avec la pression interstitielle simulée par un modèle hydrologique pour le climat de référence (1970–1989) et pour le climat futur (2010–2089)

Effets sur les aléas naturels

Crues et laves torrentielles

Fonctionnement

composante liquide :

- occurrence / localisation des **précipitations intenses / extrêmes**
- **état hydrologique** des BV (enneigement, saturation des sols, stades végétation)

composante solide :

- évolution de la disponibilité en matériaux :
 - bassins torrentiels à **permafrost** (ex. : scénario type Durnand 2006)
 - zones de **retrait glaciaire** ?
 - rôle du **couvert végétal** ?



Lave torrentielle du torrent Durnand, 26 juillet 2006, près de Martigny (Valais) : alimentation en matériaux par un glacier rocheux

(Rouiller, Dumas, Conf. RiskYdrogé 2006)

Effets sur les aléas naturels

Crues et laves torrentielles

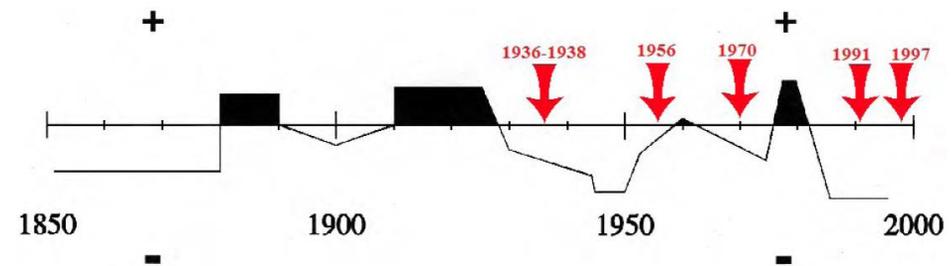
Observations

Ubaye (massif du Chambeyron) : vidange du lac Chauvet par érosion du barrage morainique (~2850 m d'altitude)



Rôle du permafrost ? (thermokarst)

Vidanges périodiques avec retrait glaciaire



Buckel 2010

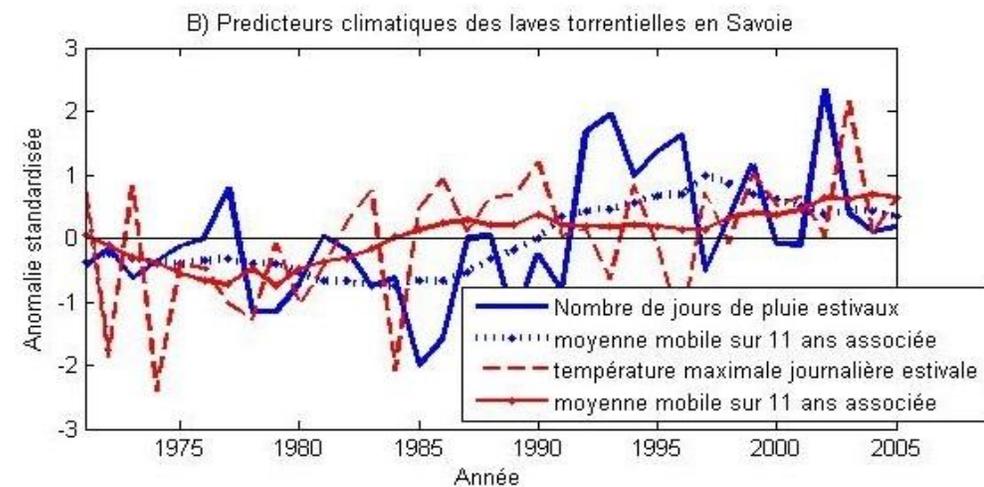
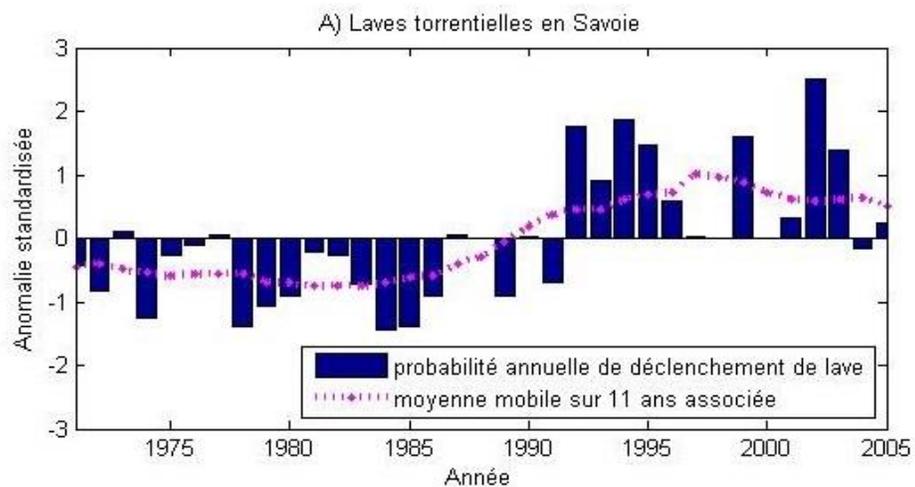
Fig 9 : Périodes climatiques favorables (+) et défavorables (-) aux glaciers de l'Ubaye depuis 1850. Image prise de *Glaciers et glaciers rocheux de l'Ubaye*, par Alain Assier, 1996

Effets sur les aléas naturels

Crues et laves torrentielles

Observations

- **déficit d'observations météorologiques** encore + marqué pour les **petits BV** montagneux qu'en plaine
- **recrudescence apparente** des crues torrentielles dans certains secteurs depuis les années 1980 (mais 20e siècle pauvre en crues)
- Les reconstitutions sur données indirectes (dendrogéomorphologie) ne montrent **pas d'augmentation univoque**
- **remontée en altitude** des zones de départ des laves torrentielles dans certains massifs (Ecrins, Mont Rose)
- **réduction fourniture en matériaux** / crues faible et moyenne magnitude (Alpes du Sud)
 - => diminution largeur lits torrentiels (rivières torrentielles, cônes de déjection)
 - => ne signifie pas une diminution progressive de l'aléa !



Effets sur les aléas naturels

Crues et laves torrentielles

Pistes d'adaptation

- identification des **torrents « sensibles »** combinant des aléas et des enjeux importants ?
- identification des torrents inscrits dans des BV à permafrost (Valais, VdA)
 - => évaluation des volumes de matériaux mobilisables et de leur évolution
 - ex. glacier Bonnard (géophysique, monitoring GPS)

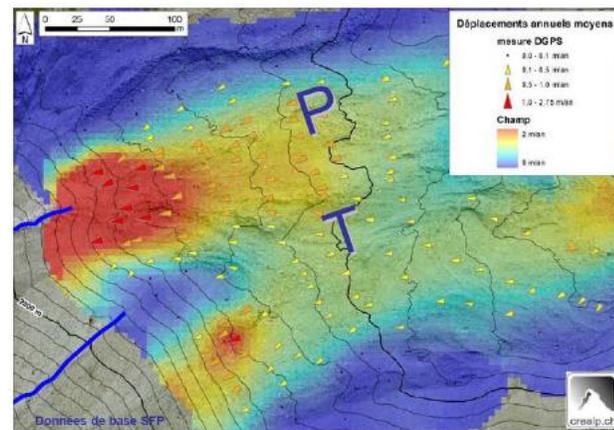


Fig. 8. Interprétation des mesures DGPS 2006-2009.

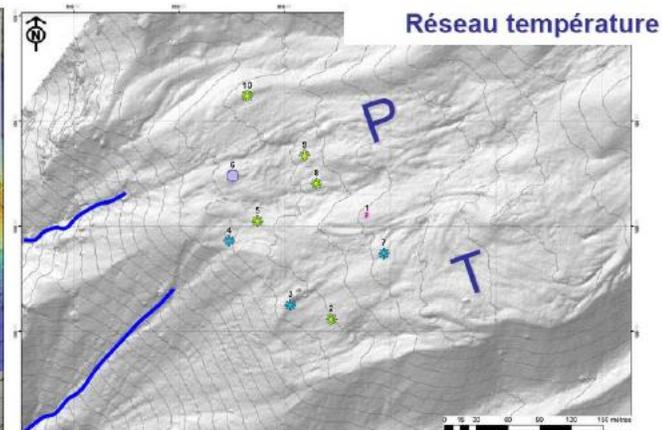


Fig. 9. Réseau de mesure des températures.

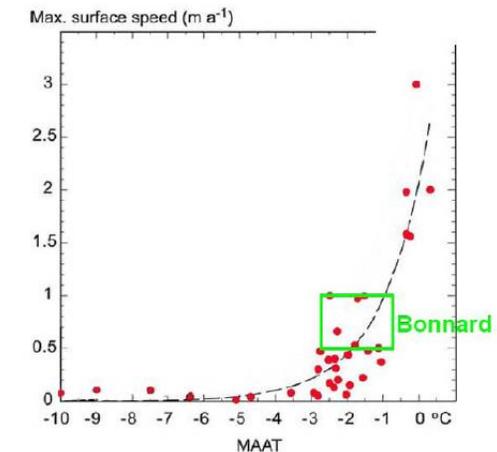


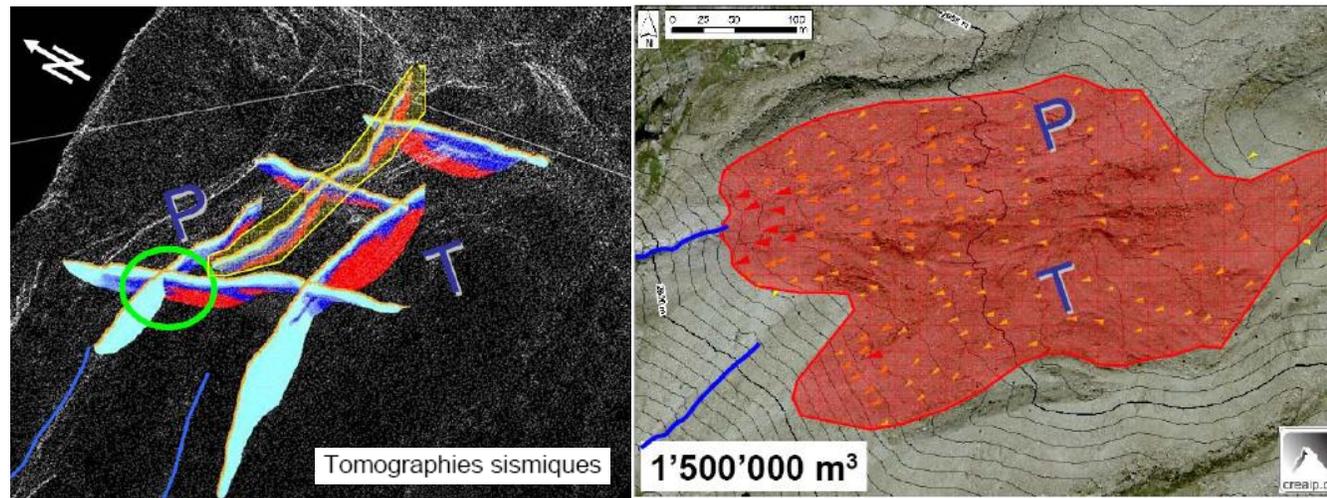
Fig. 10. Relation entre vitesses de surface mesurées sur des glaciers rocheux alpins et température moyenne annuelle de l'air (Harris et al., 2009). Carré vert : gamme des vitesses mesurées au glacier Bonnard.

Effets sur les aléas naturels

Crues et laves torrentielles

Pistes d'adaptation

- identification des **torrents « sensibles »** combinant des aléas et des enjeux importants ?
- identification des torrents inscrits dans des BV à permafrost (Valais, VdA)
 - => évaluation des volumes de matériaux mobilisables et de leur évolution
 - ex. glacier Bonnard (géophysique, monitoring GPS)



**Volume total de matériaux
en mouvement estimé**

Effets sur les aléas naturels

Crues et laves torrentielles

Pistes d'adaptation

- identification des **torrents « sensibles »** combinant des aléas et des enjeux importants ?
- identification des torrents inscrits dans des BV à permafrost (Valais, VdA)
 - => évaluation des volumes de matériaux mobilisables et de leur évolution

=> prise en compte dans :

- réglementation de l'utilisation du sol (PPR)
- dimensionnement des ouvrages de protection

Digue de protection achevée en 2003 pour protéger Pontresina (GR) contre les avalanches, les chutes de pierres et les laves torrentielles que la fonte du pergélisol pourrait déclencher sur le Schafberg
Dimensions : 13 x 460 m ; Coût : 7,5 millions CH Fr

Photo : C. Wilhelm , Forestry Services, Grabauden



Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

Observations

- typologie :

- **chutes de séracs** / ruptures de glacier

ex. : Tacconnaz, Grandes Jorasses, Cheval Blanc (2002), Ruan (2009)...



Glacier suspendu de Tacconnaz (Mont Blanc, France)

Source : Kääh et al. 2005

Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

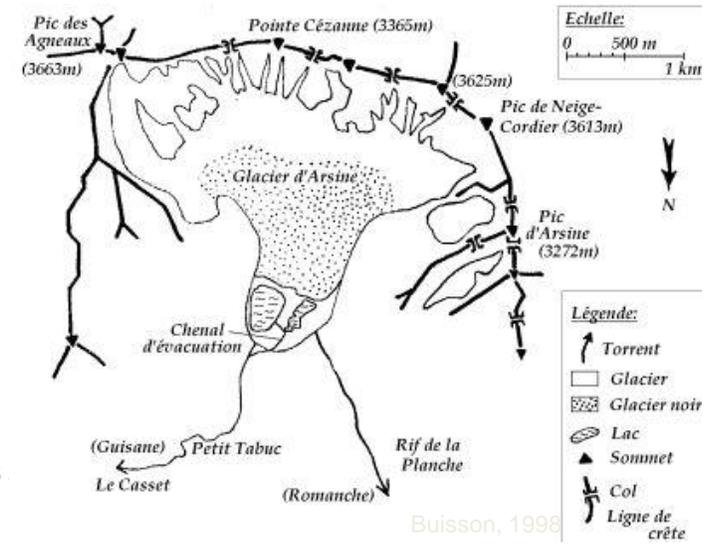
Observations

- typologie :

- chutes de séracs / ruptures de glacier
- lacs pro- / supra-glaciaires

ex. : Taconnaz, Grandes

ex. : Arsine (1986)



Source : BT Nature

Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

Observations

- typologie :

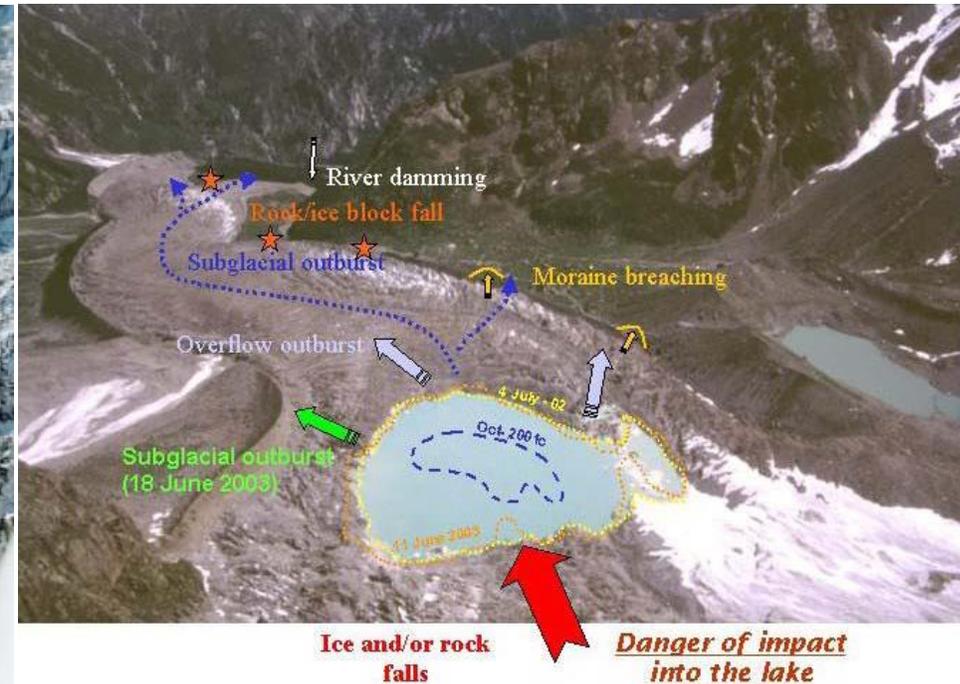
- chutes de séracs / ruptures de glacier
- lacs pro- / supra-glaciaires

ex. : Tacconnaz, Grandes Jorasses, Cheval Blanc (2002), Ruan (2009)

ex. : Arsine (1986), Belvédère (2002),



Lac éphémère du Belvédère (Mont Rose, Italie)
Kääb et al. 2005



Scénario d'aléa
GLACIORISK

Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

Observations

- typologie :

- chutes de **séracs** / ruptures de glacier
- **lacs** pro- / supra-glaciaires

ex. : Tacconnaz, Grandes Jorasses, Cheval Blanc (2002), Ruan (2009)

ex. : Arsine (1986), Belvédère (2002), Rochemelon (2004-2005)...



Juin 2001 (source : GLACIORISK)

Lac de Rochemelon :

-suivi par le RTM 73 entre 2001 et 2003

-menace vallées Arc et Ribon ?

Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

Observations

- typologie :

- chutes de séracs / ruptures de glacier
- lacs pro- / supra-glaciaires

ex. : Taconnaz, Grandes Jorasses, Cheval Blanc (2002), Ruan (2009)

ex. : Arsine (1986), Belvédère (2002), Rochemelon (2004-2005)...



18 sept. 2004 (cliché L. Mercalli)



22 Août 2004
(cliché M. Caplain)

Août 2006 (cliché P. Macabiès)



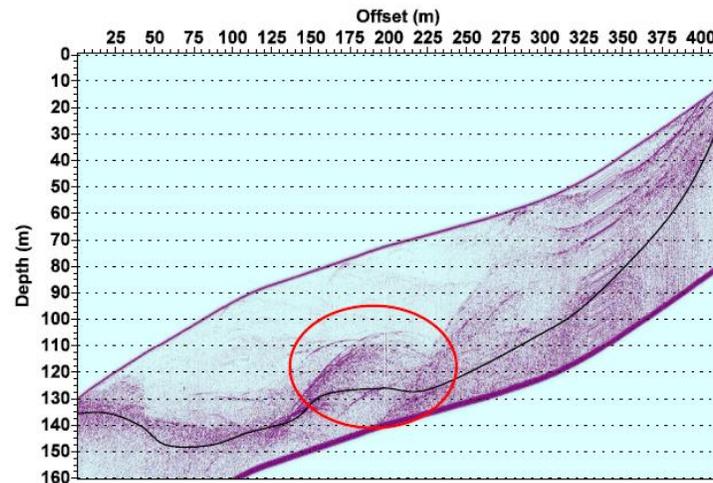
Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

Observations

- typologie :

- chutes de séracs / ruptures de glacier
- lacs pro- / supra-glaciaires
- **poches** intra- / sous-glaciaires (**invisibles !**)

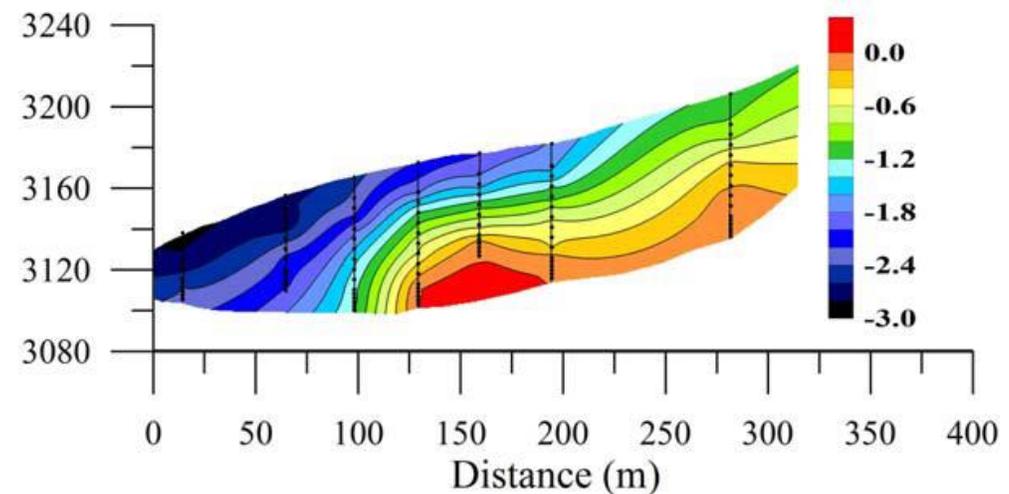


Profil longitudinal d'anomalies radar

ex. : Tacconnaz, Grandes Jorasses, Cheval Blanc (2002), Ruan (2009)

ex. : Arsine (1986), Belvédère (2002), Rochemelon (2004-2005)...

ex. : Tête Rousse (1892, 2010)



Coupe longitudinale du glacier et échelle des températures de la glace

Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

Observations

- typologie :

▪ chutes de séracs / ruptures de glacier

ex. : Taconnaz, Grandes Jorasses, Cheval Blanc (2002), Ruan (2009)

▪ lacs pro- / supra-glaciaires

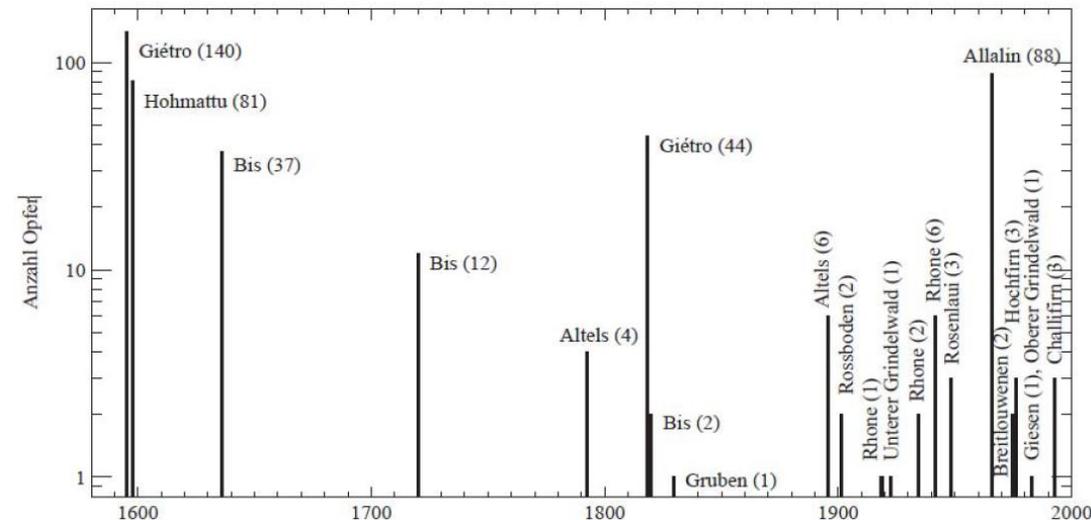
ex. : Arsine (1986), Belvédère (2002), Rochemelon (2004-2005)...

▪ poches intra- / sous-glaciaires (invisibles !)

ex. : Tête Rousse (1892, 2010)

- les mécanismes qui régissent ces phénomènes sont très complexes et **mal connus**

- au regard du faible nombre d'événements et du déficit d'observations, **aucune tendance n'est détectée**



Nombre de décès causés par des catastrophes d'origine glaciaire en Suisse

<http://glaciology.ethz.ch/inventar/>

Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

Observations

- typologie :

- chutes de **séracs** / ruptures de glacier ex. : Tacconnaz, Grandes Jorasses, Cheval Blanc (2002), Ruan (2009)
- **lacs** pro- / supra-glaciaires ex. : Arsine (1986), Belvédère (2002), Rochemelon (2004-2005)...
- **poches** intra- / sous-glaciaires (**invisibles !**) ex. : Tête Rousse (1892, 2010)

- les mécanismes qui régissent ces phénomènes sont très complexes et **mal connus**

- au regard du faible nombre d'événements et du déficit d'observations, **aucune tendance n'est détectée**

Projections

- avec le retrait des glaciers, une augmentation de la taille et du nombre de **lacs proglaciaires** est probable

- l'augmentation des températures de la glace laisse supposer une perte de **stabilité des glaciers suspendus**

Pistes d'adaptation

- identification des « **glaciers à risque** » (GLACIORISK, GlaRiskAlp)

- **suivi** de leur évolution

- **détection précoce** et **planification** des situations de crise (ex. Tête Rousse)

- ...



Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

GlaRiskAlp

Etudes menées à l'échelle régionale des Alpes occidentales :

- Inventaire des extensions actuelle et ancienne des glaciers.
- Cartographie géomorphologique des secteurs déglacés depuis la fin du Petit-Âge-Glaciaire.
- Elaboration d'une typologie des aléas glaciaires.
- Méthodologie d'évaluation de la prédisposition aux aléas des secteurs englacés et récemment déglacés.

Etudes réalisées sur des sites pilotes :

- **Glaciers de Taconnaz (Haute-Savoie)** : caractérisation de la fréquence et du volume des ruptures de séracs et détermination du régime thermique du glacier.
- **Glacier des Grandes Jorasses (vallée d'Aoste)** : suivi de l'évolution morphologique du sérac (développement d'un système d'acquisition photogrammétrique et réalisation d'un modèle 3D) et caractérisation du régime thermique du glacier.
- **Glacier de Tête Rousse (Haute-Savoie)** : campagnes d'observation sur le glacier pour mieux comprendre les mécanismes de formation de la poche d'eau actuelle et de celle à l'origine de la catastrophe de Saint-Gervais en 1892 (analyse des mécanismes de remplissage de la poche d'eau, étude du risque d'effondrement de la cavité, étude du régime thermique du glacier).
- **Secteurs récemment désenglacés (quatre sites pilotes)** : test de méthodes qui permettent de : (i) recenser de manière détaillée les processus passés et actuels et leurs combinaisons éventuelles, générateurs d'aléas ; (ii) quantifier le volume de matériaux mobilisés/mobilisables ; (iii) caractériser ces matériaux, en particulier du point de vue de leur stabilité.
- **Glacier de l'Argentière (Haute-Savoie)** : acquisition et analyse de données in situ et exploitation des données de télédétection pour le suivi de la dynamique glaciaire (champs de vitesses de surface).

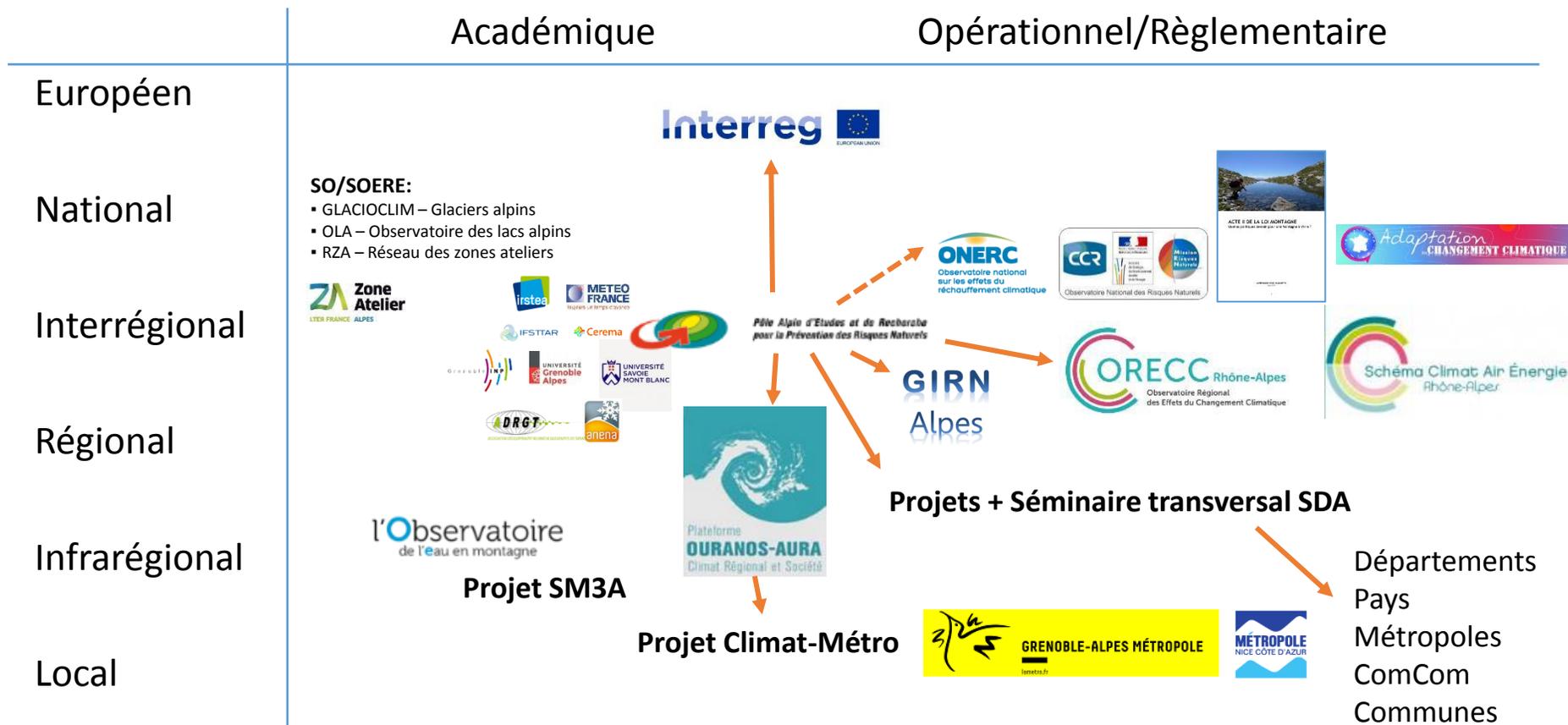
L'adaptation aux effets du CC

- Comment mieux comprendre ces impacts ?
- Comment s'y adapter ?

→ Besoin d'**observation à différentes échelles** de temps et d'espace

→ Besoin de dispositifs d'**interface science-société** pour l'accompagnement des collectivités

Exemples de partenariats



Programme de coopération territoriale européenne Interreg Alcotra

- **Projet ARTACLIM**
« Adaptation et Résilience des Territoires Alpins face au Changement Climatique »

Chef de file : ASADAC-MDP73

Budget du projet déposé : 1 775 145,00 €

Activités prévues :

WP1 Gestion et gouvernance administrative

WP2 Communication

WP3 L'évaluation des enjeux climatiques et de planification

- Activité 3.1 : Etablir l'état de l'art sur la planification de l'adaptation aux impacts du CC
- Activité 3.2 : Définir un jeu d'indicateurs climatiques
- Activité 3.3 : Étudier la vulnérabilité des territoires

WP4 L'adaptation des territoires au changement climatique et les moyens de planification

- Activité 4.1 : Former les personnels techniques, les décideurs et les acteurs du territoire
- Activité 4.2 : Construire des stratégies et mesures d'adaptation dans la planification territoriale
- Activité 4.3 : Développer et installer des outils de gestion de l'adaptation dans les institutions publiques





Pour en savoir plus

ORECC

- Site internet : <http://orecc.rhonealpes.fr/>
- Profil climat "Montagne - Alpes du Nord« : <http://orecc.rhonealpes.fr/fr/donnees-territoriales/profils-climat.html>

Plateforme OURANOS

- Site internet : <http://plateforme-ouranos.fr/>

PARN

- Site internet : <http://risknat.org/>
- Portail Alpes-Climat-Risques : <http://www.risknat.org/alpes-climat-risques/>

Articles

Einhorn B. (2015) – **Les risques naturels en montagne en 2015 : un avant-goût des impacts du changement climatique ?** *Nature et Patrimoine en Pays de Savoie*, n°47, pp. 26-31. | [PDF](#) |

Einhorn B., Eckert N., Chaix C., Ravanel L., Deline P., Gardent M., Boudières V., Richard D., Vengeon JM., Giraud G., Schoeneich P. (2015). – **Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes : Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socio-économiques.** *Journal of Alpine Research | Revue de Géographie Alpine*, 103-2. | [PDF](#) | <http://doi.org/10.4000/rga.2829>



***Pôle Alpin d'Etudes et de Recherche
pour la Prévention des Risques Naturels***

Merci