Réunion « Risques en Montagne »

Chambéry, 26 juin 2013

Risques naturels et changement climatique dans les Alpes

Risques d'Origine Glaciaire et Périglaciaire (ROGP)

Risques associés aux glaciers rocheux

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

Office National des Forêts

rtm
restauration des terrains en montagne

Sommaire

PARN (*B. Einhorn, V. Boudières*) :

- **Risques naturels dans les Alpes et changements climatiques**
- **Synthèse et plan d'action scientifiques et techniques pour la prévention des ROGP**

RTM (*P. Bouvet*) :

- **Focale sur les risques associés aux "glaciers rocheux"**

Réunion « Risques en Montagne »

Chambéry, 26 juin 2013

Risques naturels et changement climatique dans les Alpes

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

Sommaire

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

Base Alpes-Climat-Risques

Contexte:

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

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

RhôneAlpes Région

ONERC
Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
ONERC

Outil:

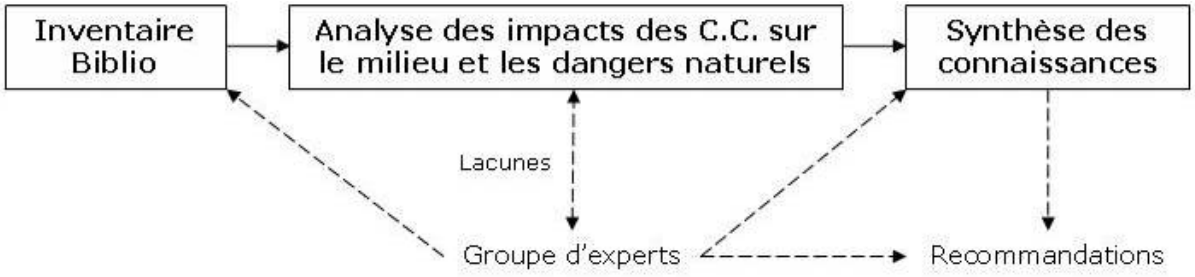
Base de connaissances bibliographique des effets du CC :

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

Interface:

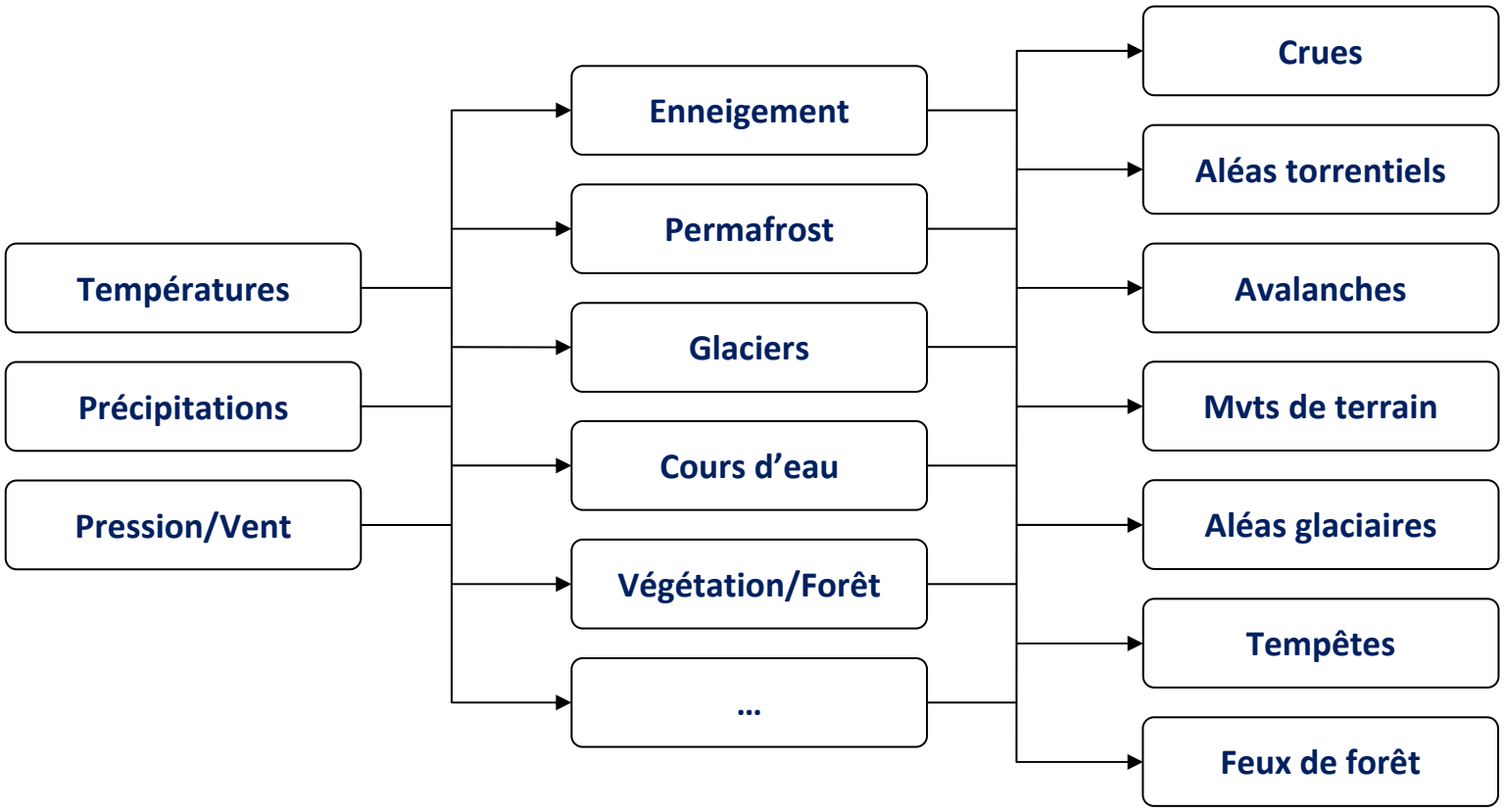
- Accès à Inventaire
- Analyse biblio.
- Synthèses thématiques

Démarche:



Base Alpes-Climat-Risques

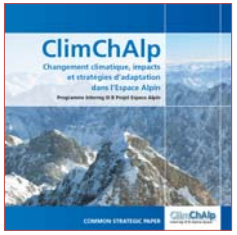
Thématiques:



Base Alpes-Climat-Risques

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

Sorties:



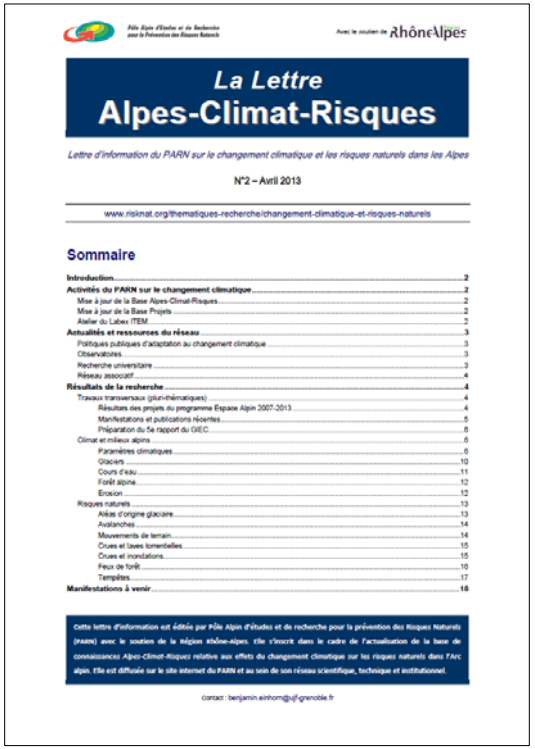
» ***Climate Change Report***

» ***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)

www.risknat.org/thematiques-recherche/changement-climatique-et-risques-naturels.html

Base Projets

Contexte:

Partenariat PARN / DREAL Rhône-Alpes depuis 2007
Focus: projets Eur., Nat., Rég., et Dép. sur les risques en montagne + plaine
Périmètre: régions Rhône-Alpes, PACA, Languedoc-Roussillon

Objectifs:

- Capitalisation et mise à disposition des **résultats de la recherche** sur les risques naturels
- Structuration de l'information pour porter à connaissance et accès rapides aux livrables

Interface:

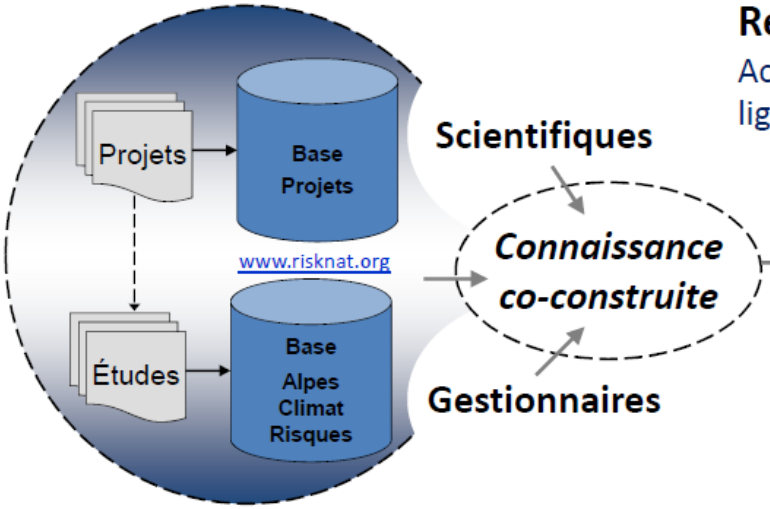
Moteur recherche multicritères
Catalogue des programmes
Catalogue des projets

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…"*



Restitution:
Actes complets et synthèse en ligne sur le site web du PARN

Le changement climatique dans les Alpes

Evolution des paramètres climatiques

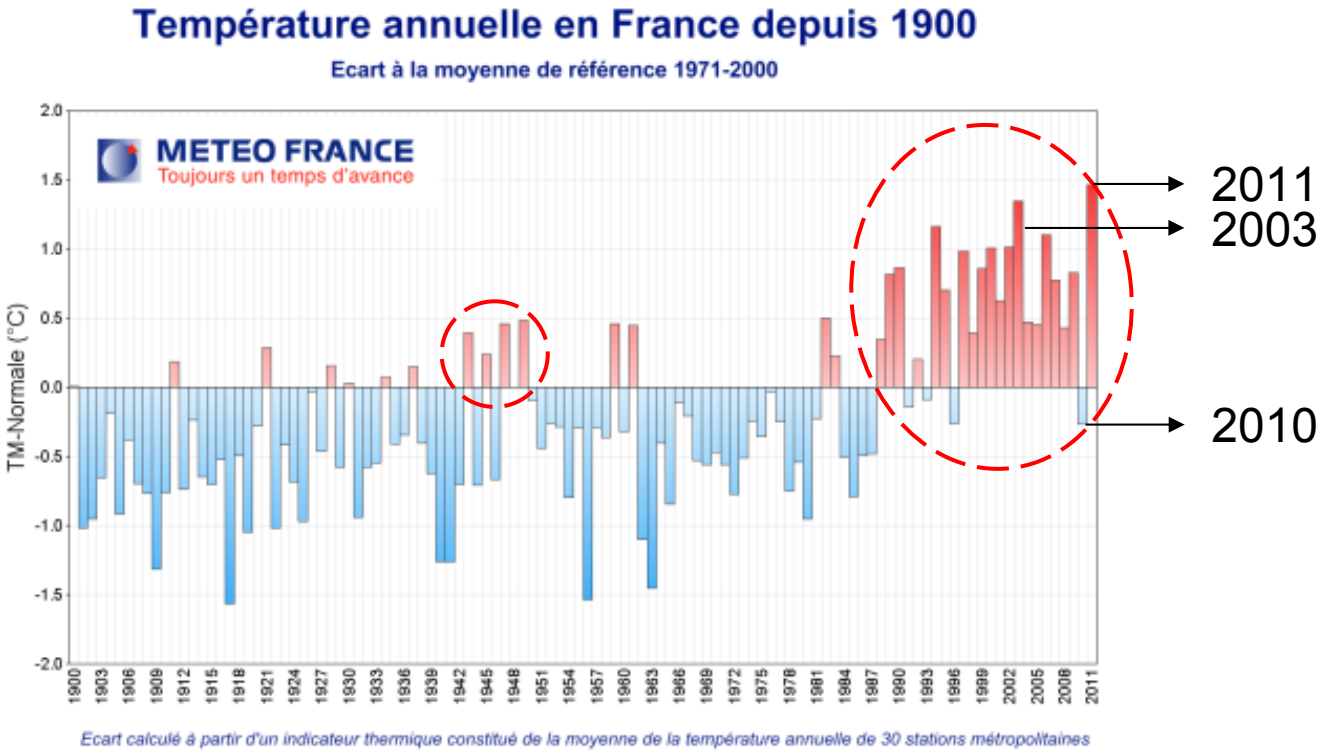
Effets sur les systèmes naturels

Evolution des paramètres climatiques

Observations

Températures

- 2010 : l'année **la + froide** depuis 1987 en France (à égalité avec 1996) mais **parmi les 3 + chaudes** depuis 1850 au niveau global
- 2011 : l'année **la + chaude** depuis 1900 (+ 1,5°C) > 2003 (+ 1,3°C)
- 2012 : proche de la **normale** qu'il s'agisse des températures, des précipitations ou de l'ensoleillement
- 2013 : printemps le plus froid depuis 1987 et l'un des plus pluvieux depuis 1959

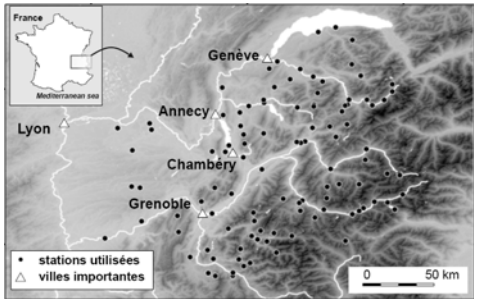


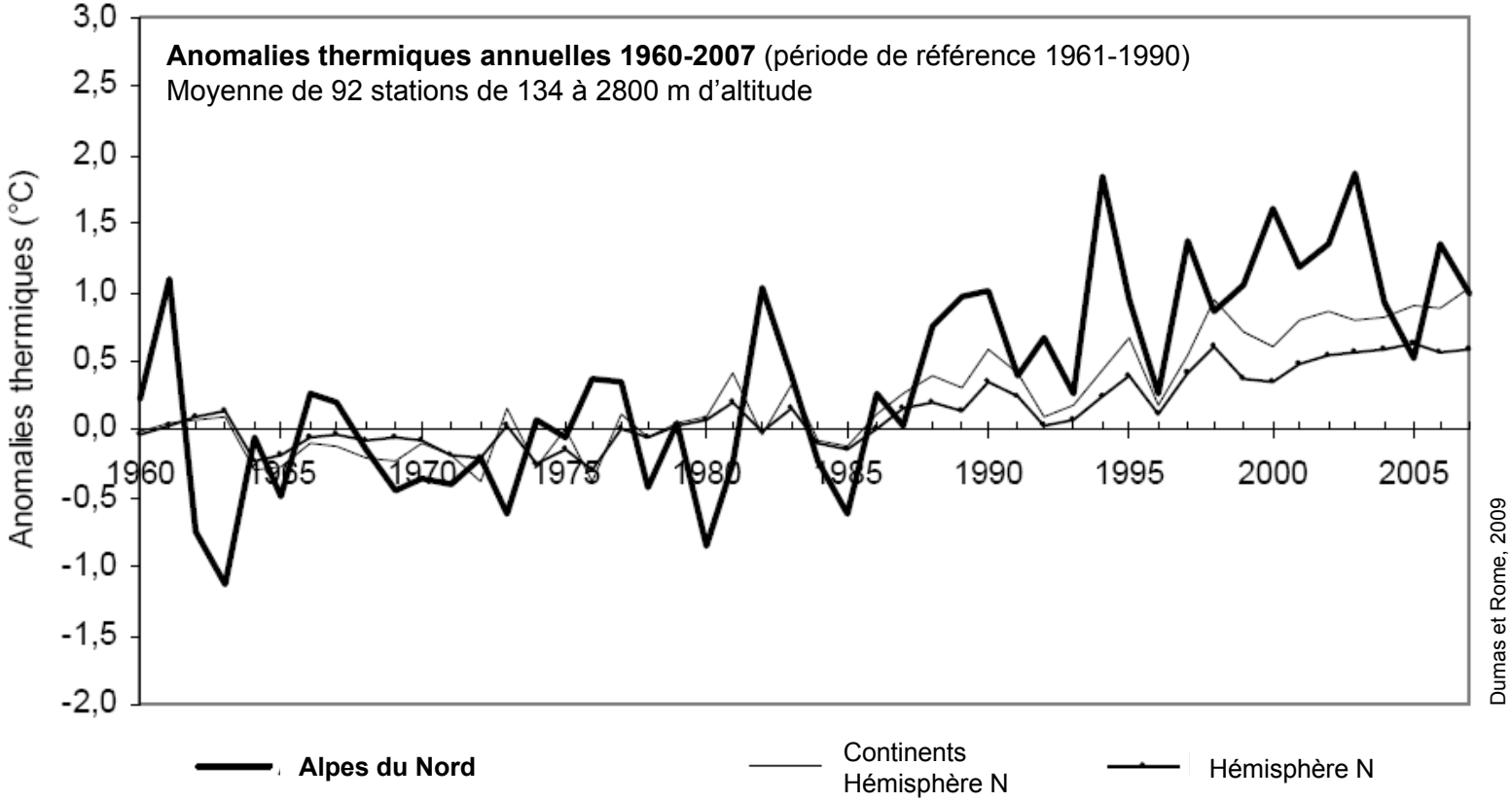
Evolution des paramètres climatiques

Observations

Températures

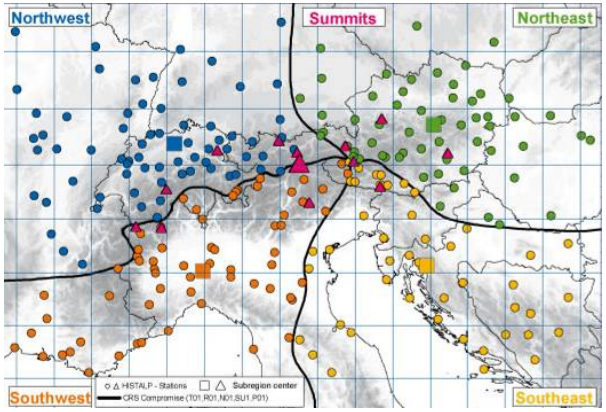
Alpes françaises





Dumas et Rome, 2009

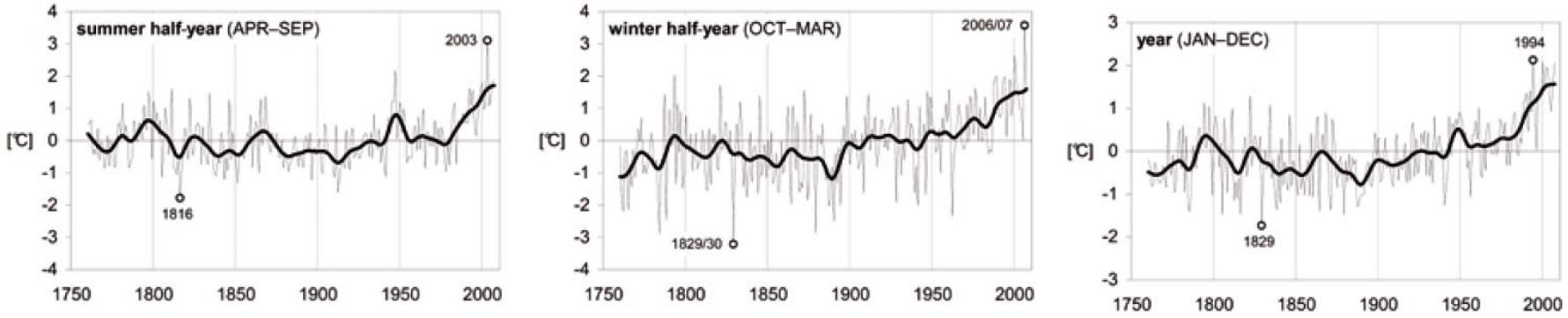
Evolution des paramètres climatiques



Observations

Températures

- augmentation générale aux échelles globale, alpine et stationnelle
- moyenne annuelle Alpes (HISTALP) : **–1°C** entre 1790 et 1890
  +2°C entre fin 19e et début 21e siècle



Températures moyennes annuelles (trait fin) et lissées sur 20 ans (en gras) 1760-2007 (relatives à la moyenne 1851-2000)
ZAMG-HISTALP - version 2008 (EEA 2009)

20e siècle : **+1,2°C / 100 ans** (+1,1 hPa / 100 ans)
à partir des années 1970 : **+1,2°C / 25 ans** (+0,6 hPa / 25 ans)

- réduction nombre jours de gel / augmentation des redoux hivernaux
  => accroissement gel/dégel (fortes amplitudes thermiques sur courtes périodes)

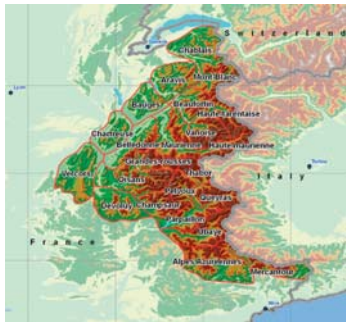
Evolution des paramètres climatiques

Observations + Réanalyses SAFRAN

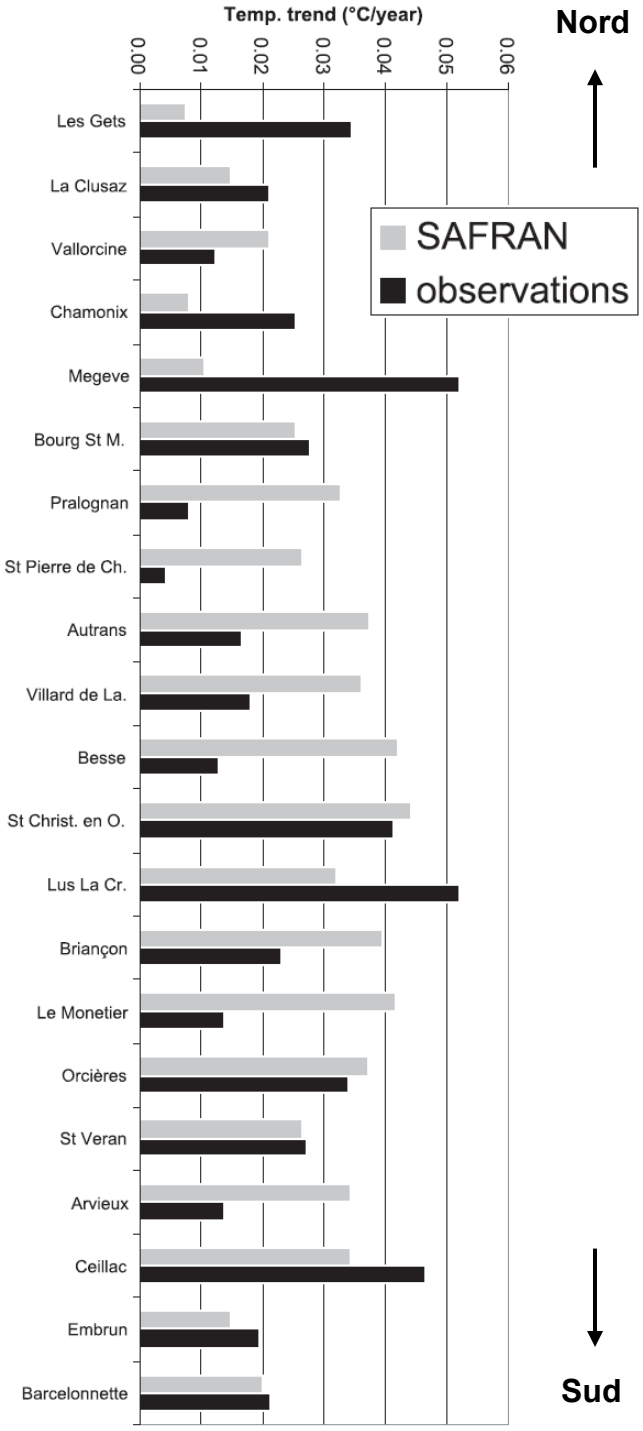
Températures

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°C/an) **aux altitudes moyennes (1500–2000m)**
  - s'atténue nettement au-delà de 3000m

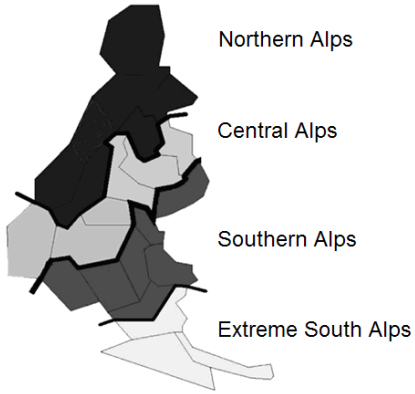


Tendances des **températures moyennes annuelles** observées et réanalysées par SAFRAN dans les Alpes françaises sur la période 1958–2005

(Durand *et al.*, 2009)

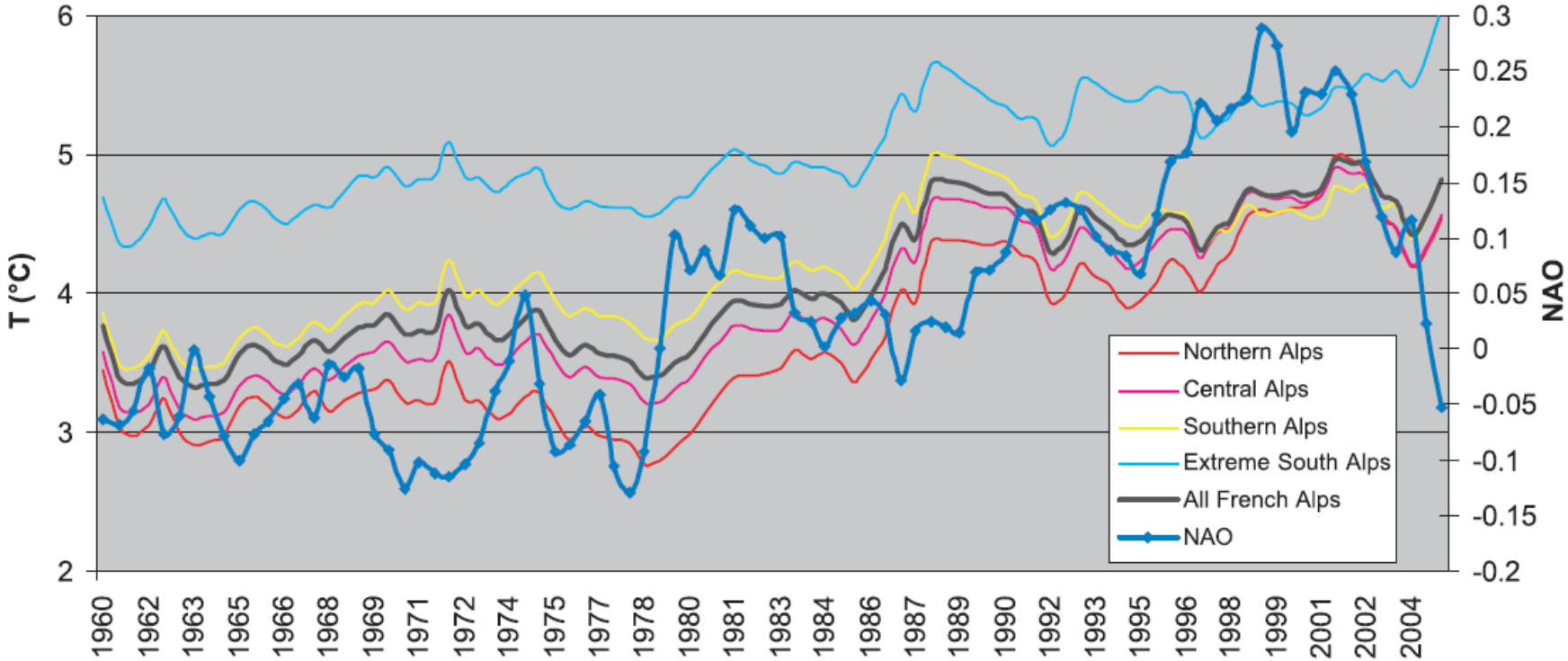
Evolution des paramètres climatiques

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)

(Durand *et al.*, 2009)

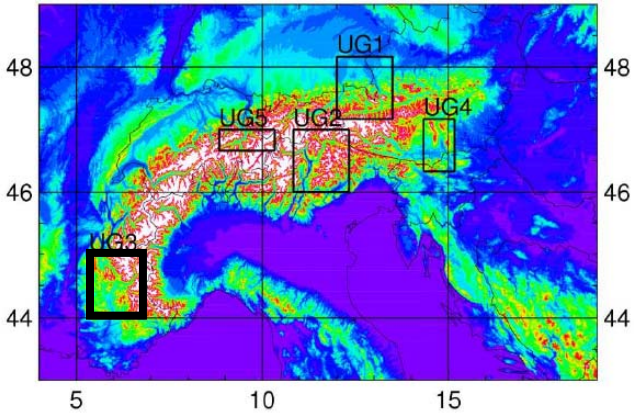
Evolution des paramètres climatiques

Projections

Températures

- Augmentation globale encore plus prononcée qu'au 20e s. attendue au 21e 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.

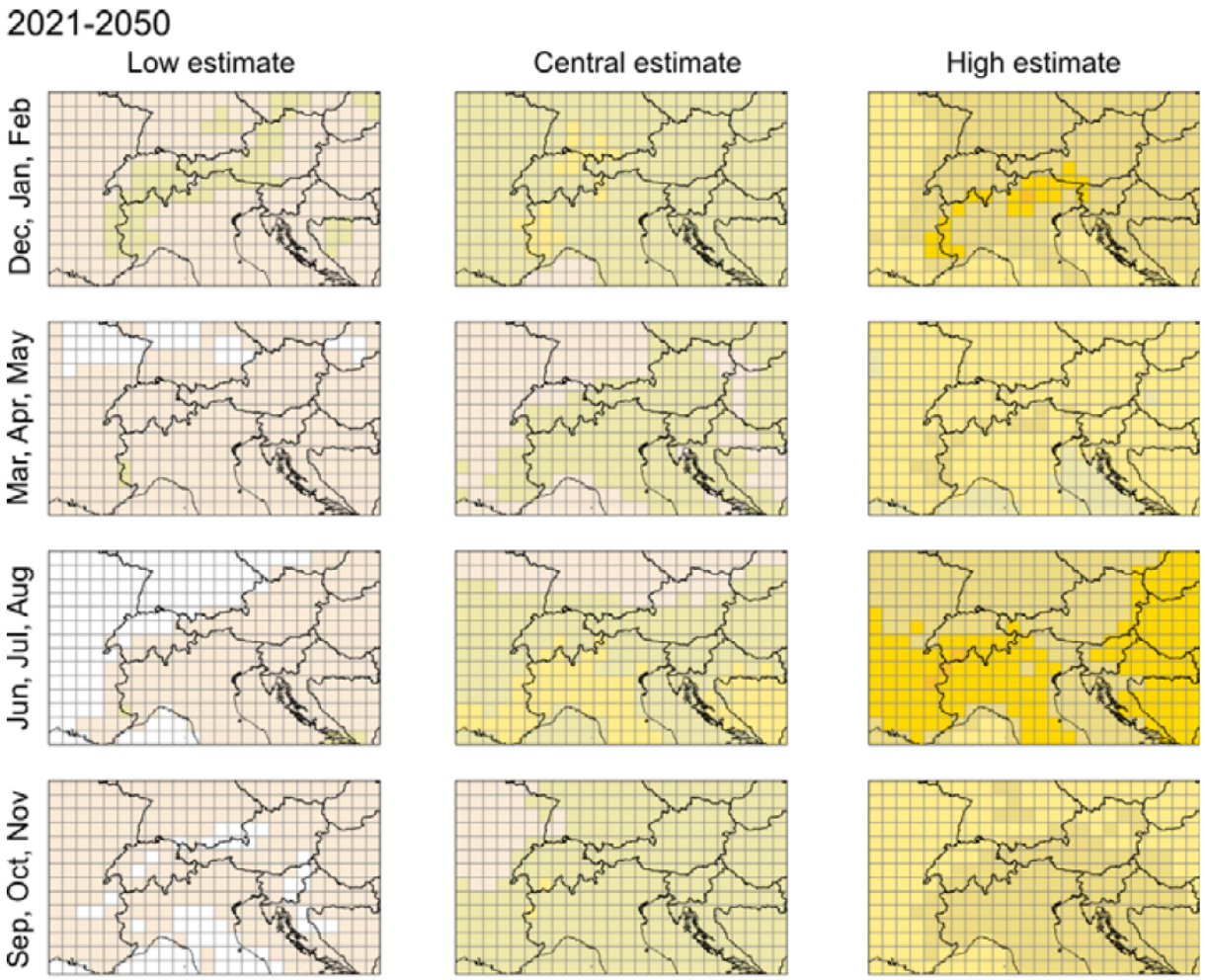


Figure 19: Change of seasonal air-temperature means in the periods 2021-2050 and 2071-2100 vs. 1971-2000 per meteorological season as estimated using an ensemble of 14 (2050) and 12 (2100) RCM runs. The "low estimate" corresponds to the 10th percentile, the "central estimate" to the 50th percentile,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

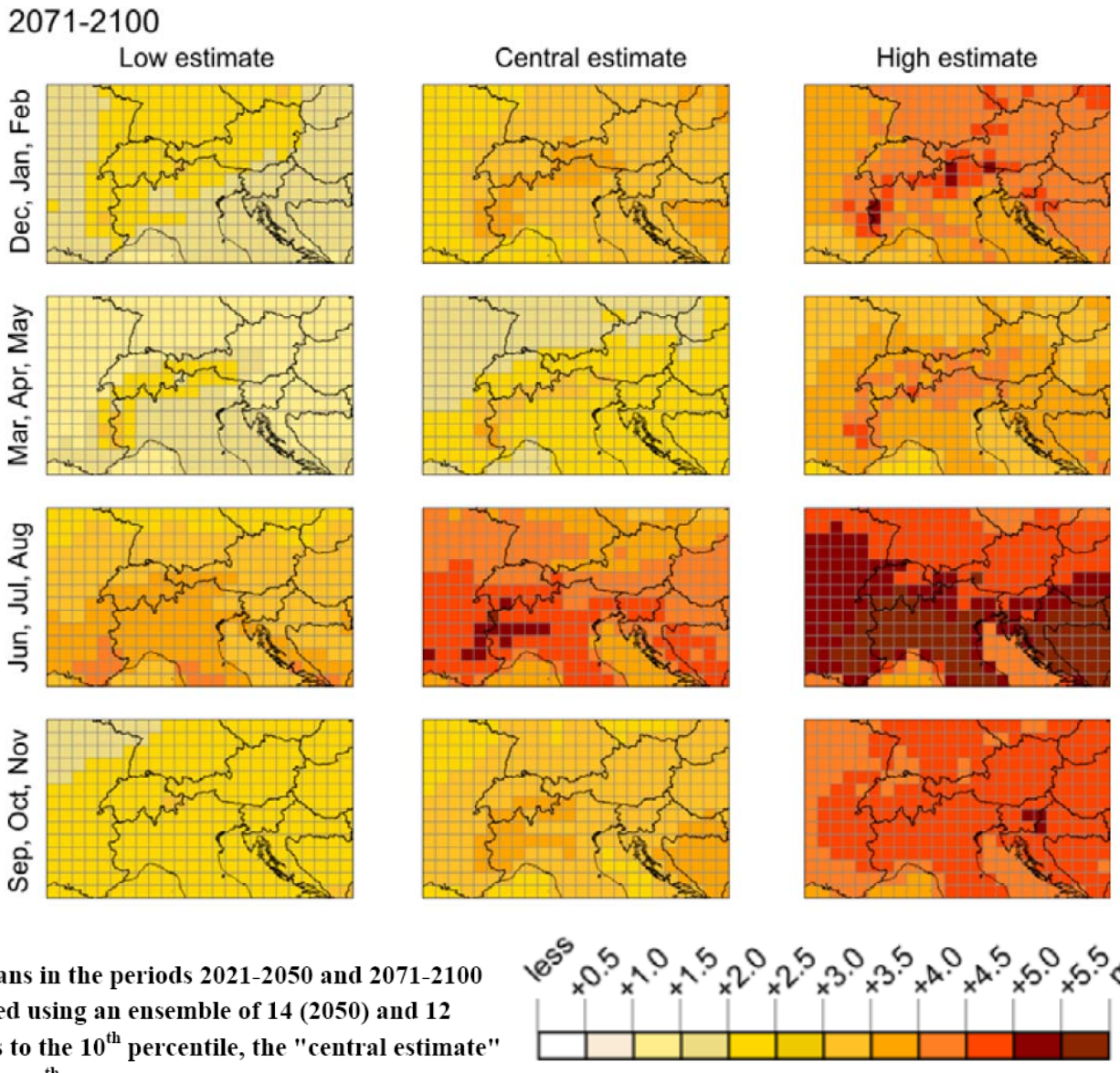


Figure 19: Change of seasonal air-temperature means in the periods 2021-2050 and 2071-2100 vs. 1971-2000 per meteorological season as estimated using an ensemble of 14 (2050) and 12 (2100) RCM runs. The "low estimate" corresponds to the 10th percentile, the "central estimate" to the 50th percentile,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

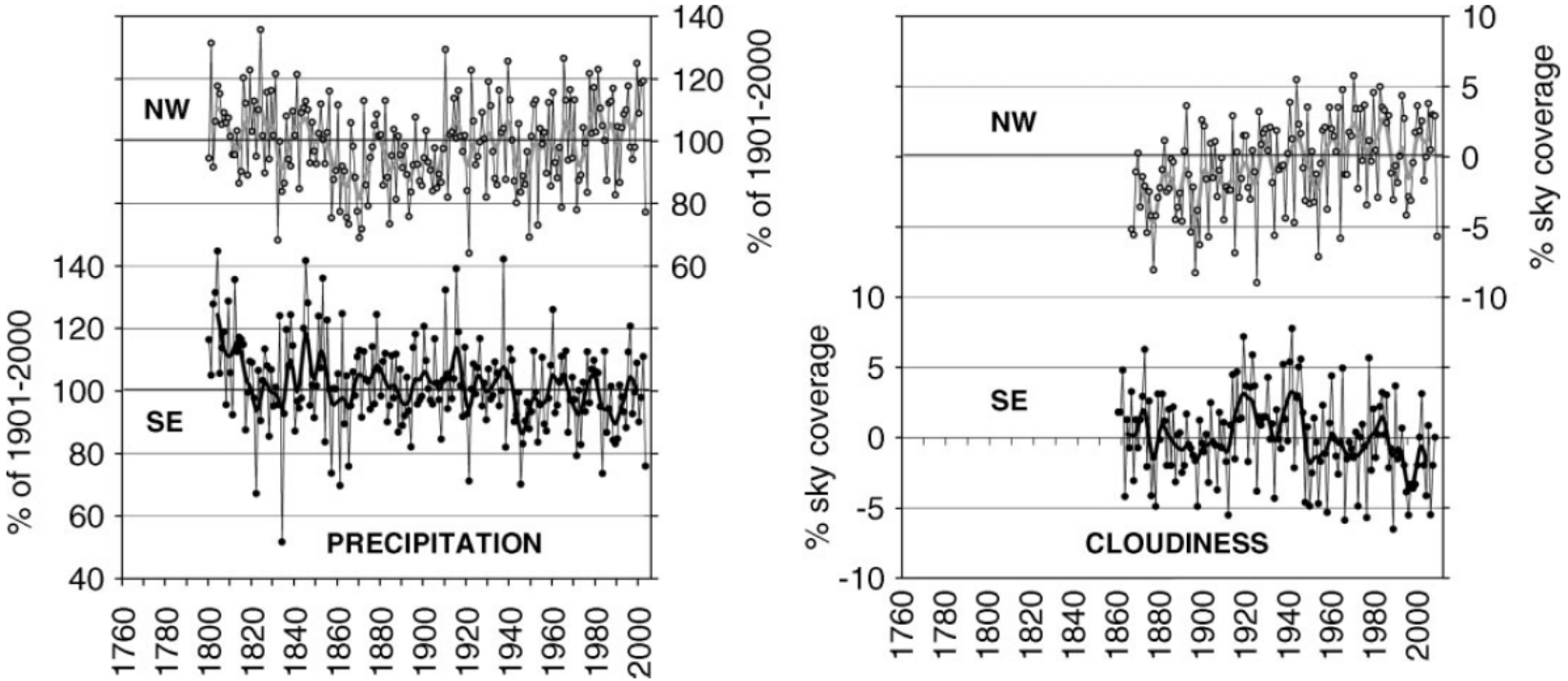
Evolution des paramètres climatiques

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)

Auer & al. 2007

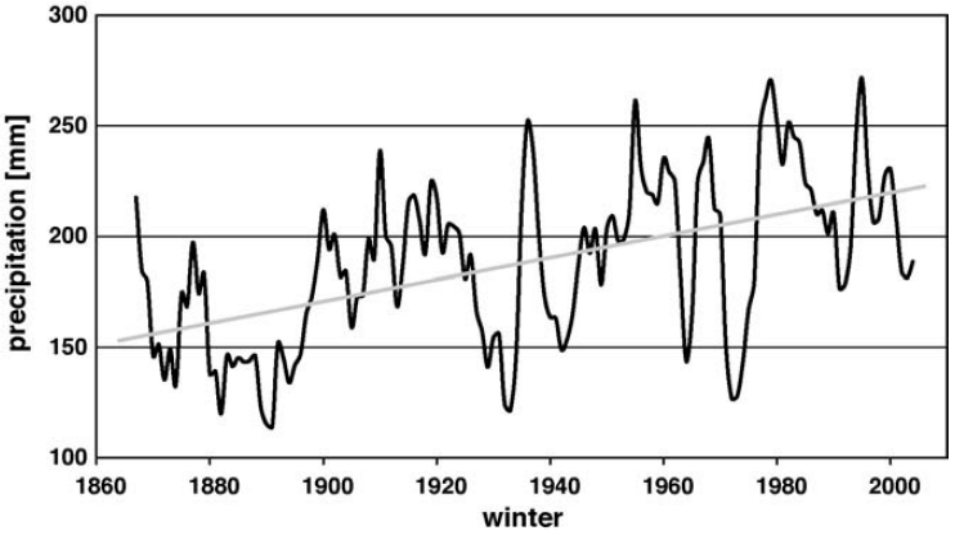
Evolution des paramètres climatiques

Observations

Précipitations

Suisse

- précipitations hivernales : augmentation de 50% des précipitations entre décembre et février



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)

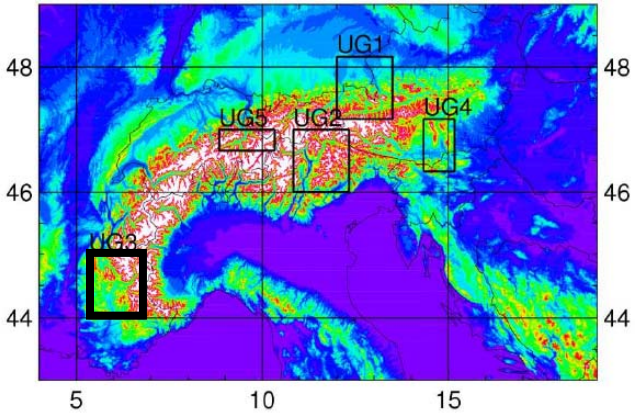
- tendances significatives à la hausse des fortes PP° en fréquence et intensité en hiver et en automne Schmidli & Frei 2005

Evolution des paramètres climatiques

Projections

Précipitations

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



Source : WP5_ClimChangeAsses_REPORT

	Season	GAR	UG1	UG2	UG3	UG4	UG5
Precipitation Ratio	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
	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

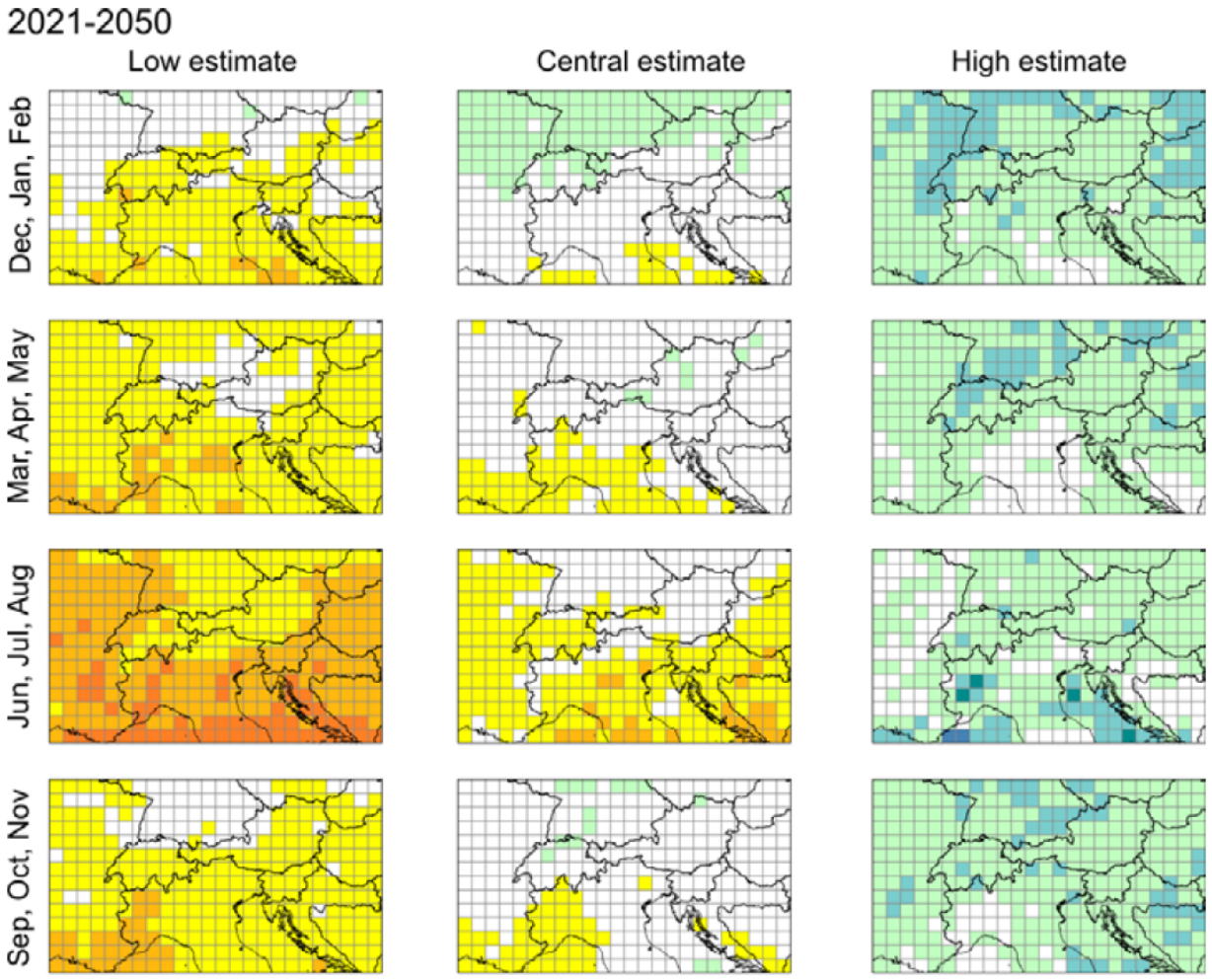


Figure 20: Change of seasonal precipitation sums in the periods 2021-2050 and 2071-2100 vs. 1971-2000 per meteorological season as estimated using an ensemble of 14 (2050) and 12 (2100) RCM runs. The "low estimate" corresponds to the 10th percentile, the "central estimate" to the 50th percentile, and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

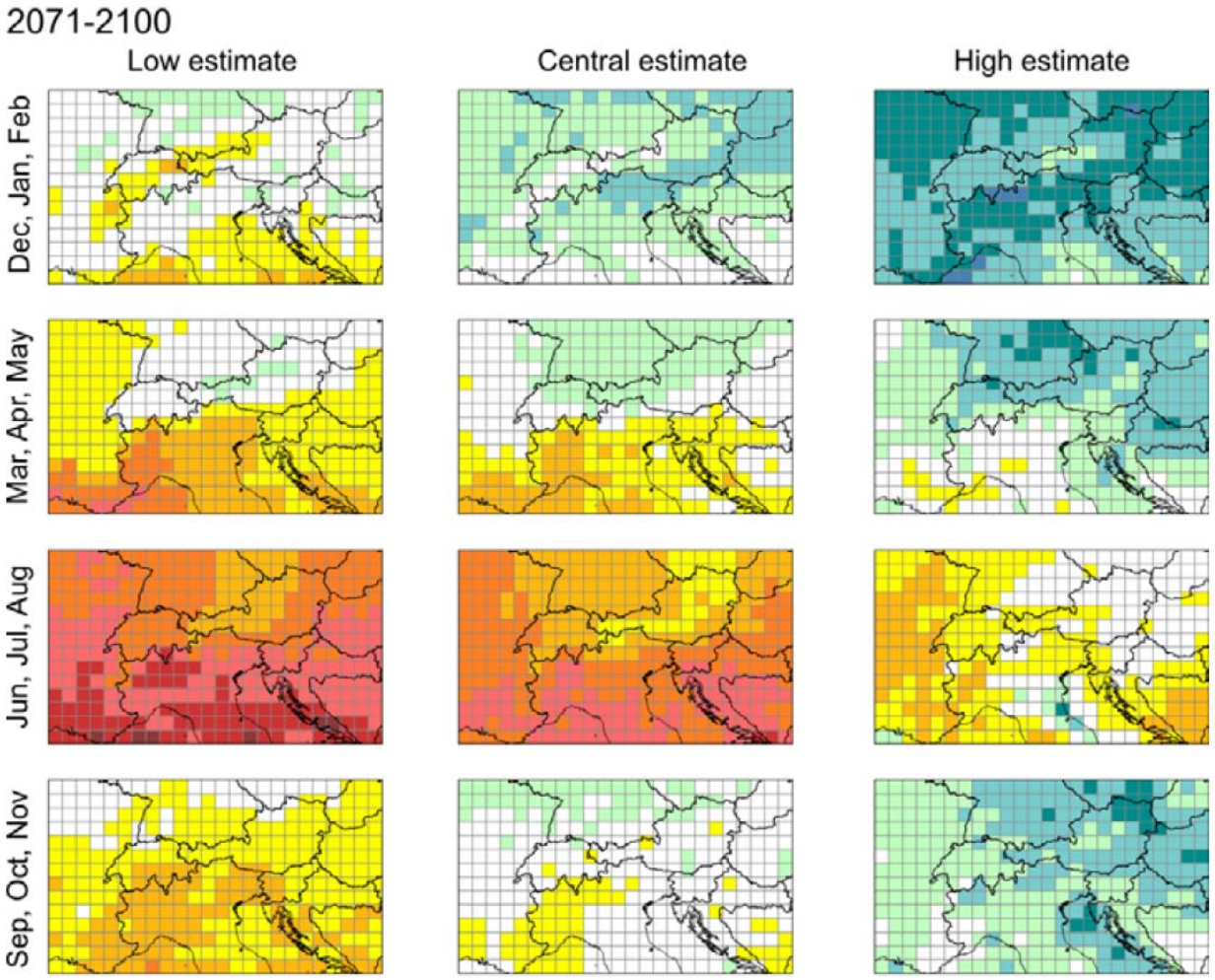


Figure 20: Change of seasonal precipitation sums in the periods 2021-2050 and 2071-2100 vs. 1971-2000 per meteorological season as estimated using an ensemble of 14 (2050) and 12 (2100) RCM runs. The "low estimate" corresponds to the 10th percentile, the "central estimate" to the 50th percentile, and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

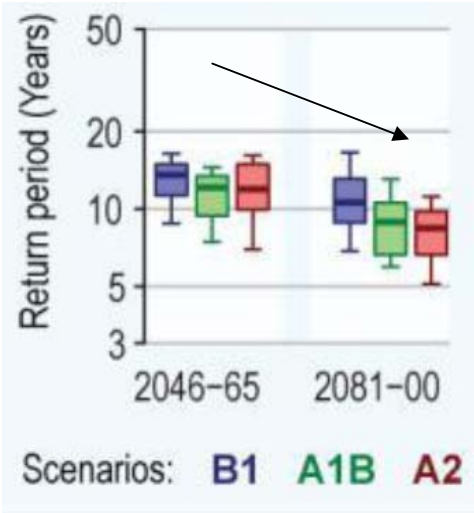
Evolution des paramètres climatiques

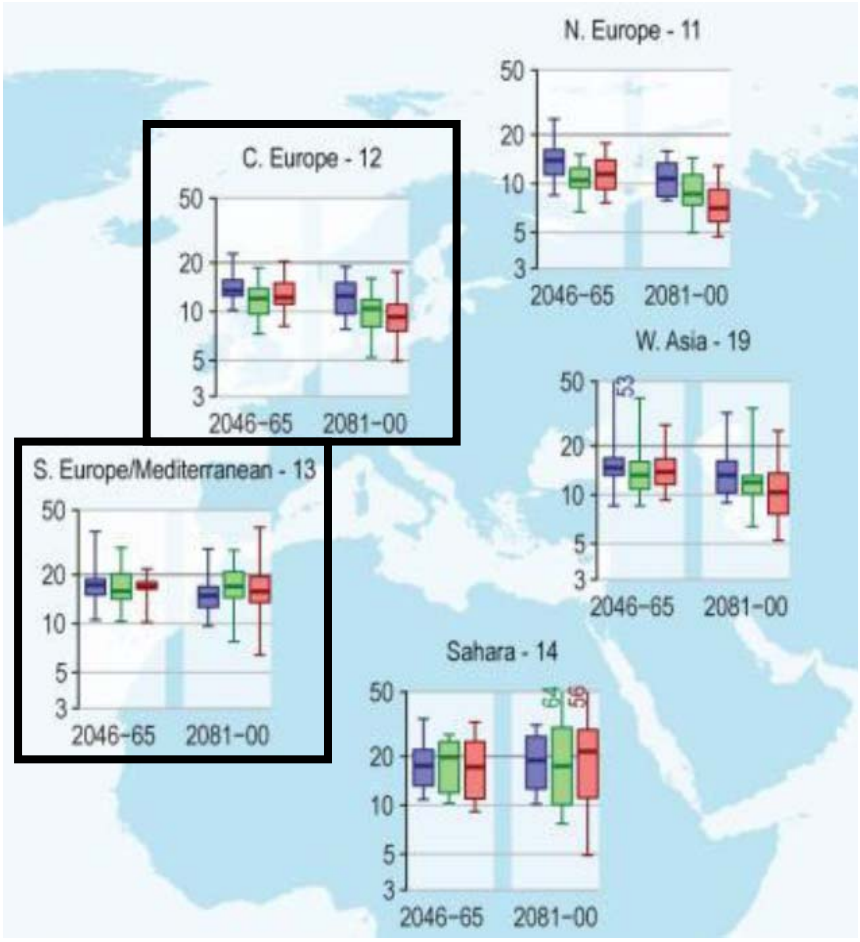
Projections

Précipitations intenses / extrêmes

- augmentation des événements météorologiques extrêmes ?

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





Rapport SREX, IPCC 2012

Le changement climatique dans les Alpes

Evolution des paramètres climatiques

Effets sur les systèmes naturels :

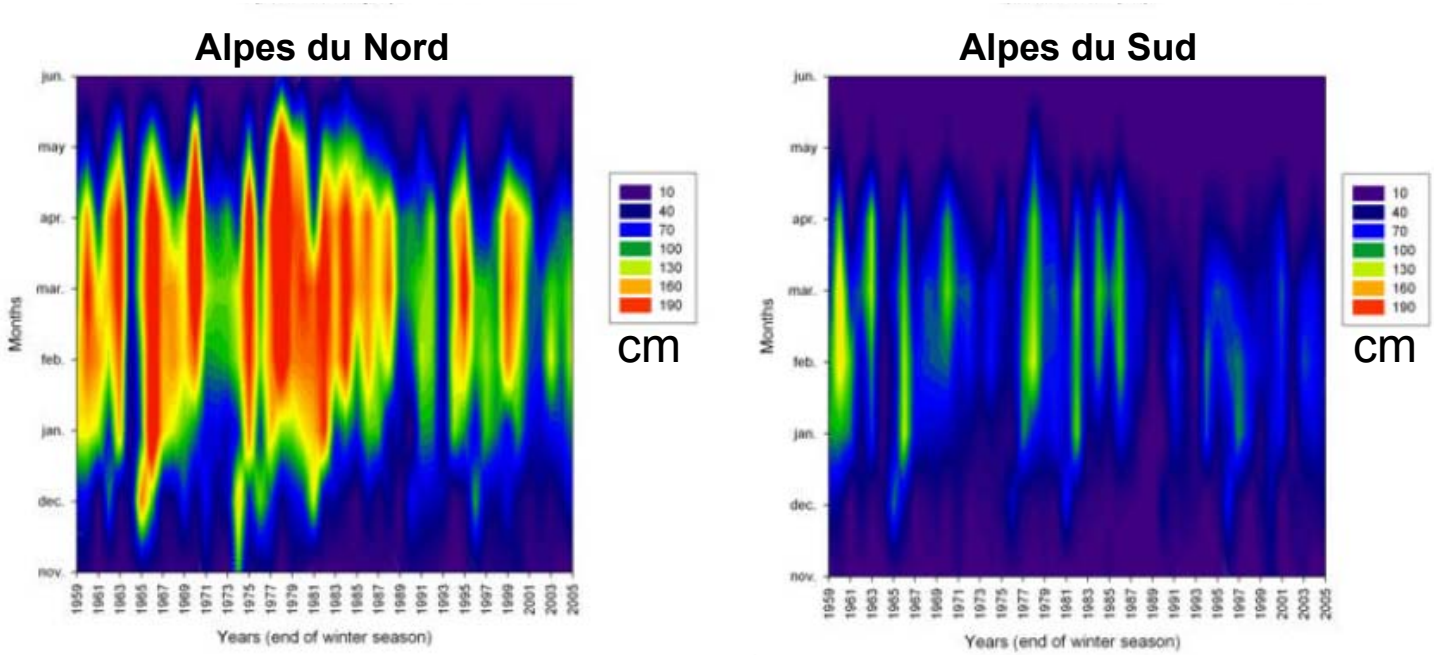
=> Enneigement, Glaciers, Permafrost

Effets sur les systèmes naturels

Enneigement

Observations

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



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

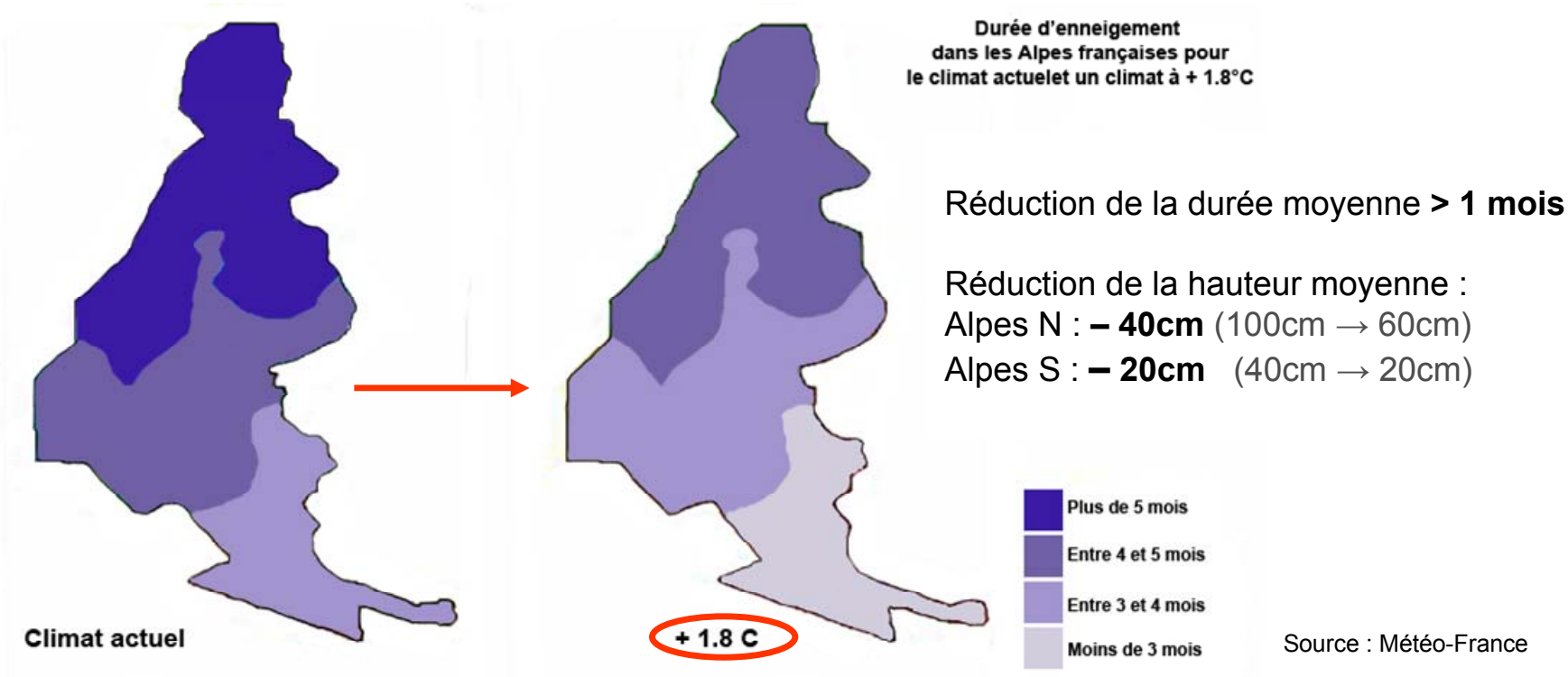
(Durand et al., 2009)

- tendances similaires dans les autres pays alpins

Enneigement

Projections

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



Réduction de la durée moyenne **> 1 mois**

Réduction de la hauteur moyenne :
Alpes N : **– 40cm** (100cm → 60cm)
Alpes S : **– 20cm** (40cm → 20cm)

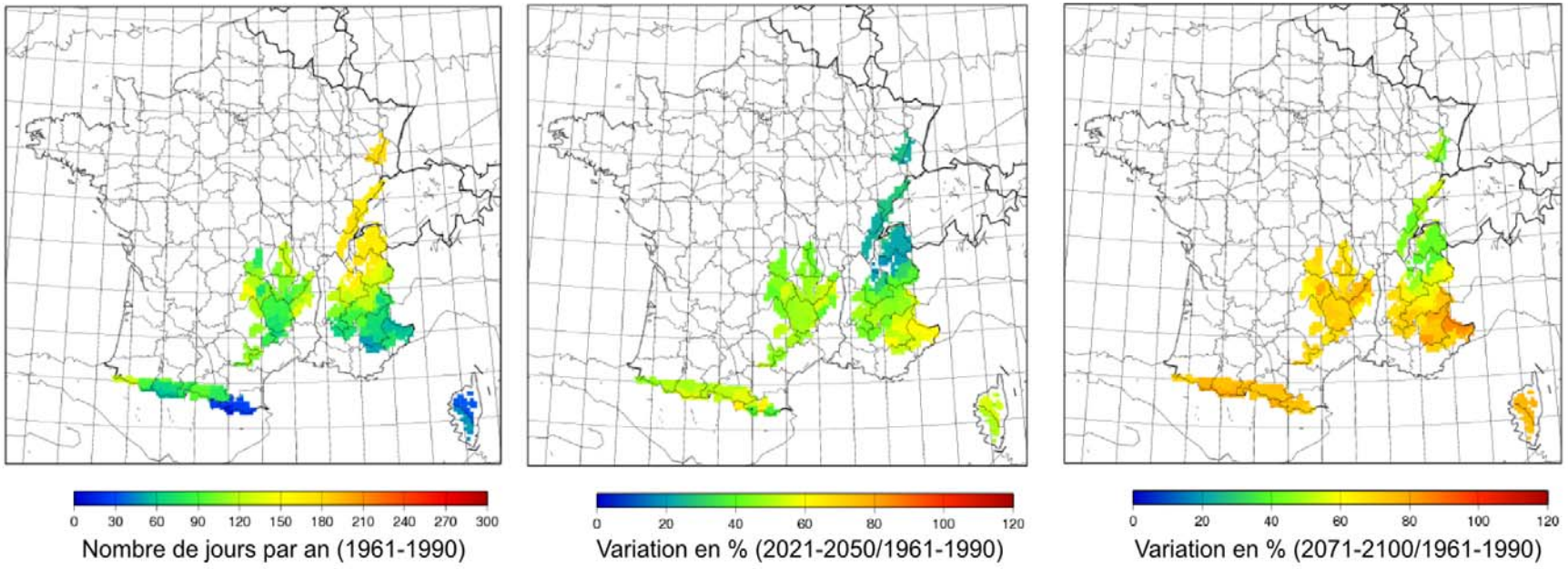
Source : Météo-France

- 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

Enneigement

Projections

- **Réduction de la durée annuelle d'enneigement,** dès le milieu du 21ème 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

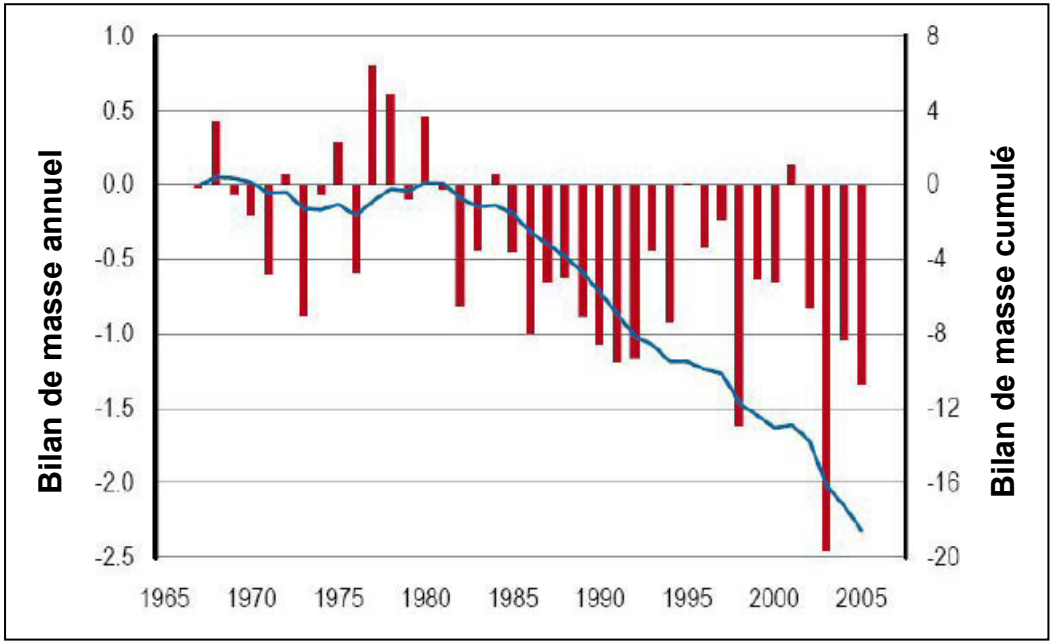


Nombre moyen de jours avec hauteur de neige supérieure ou égale à 5 cm.
Altitude 1500m, scénario A1B, moyenne des modèles haute résolution SCAMPEI

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

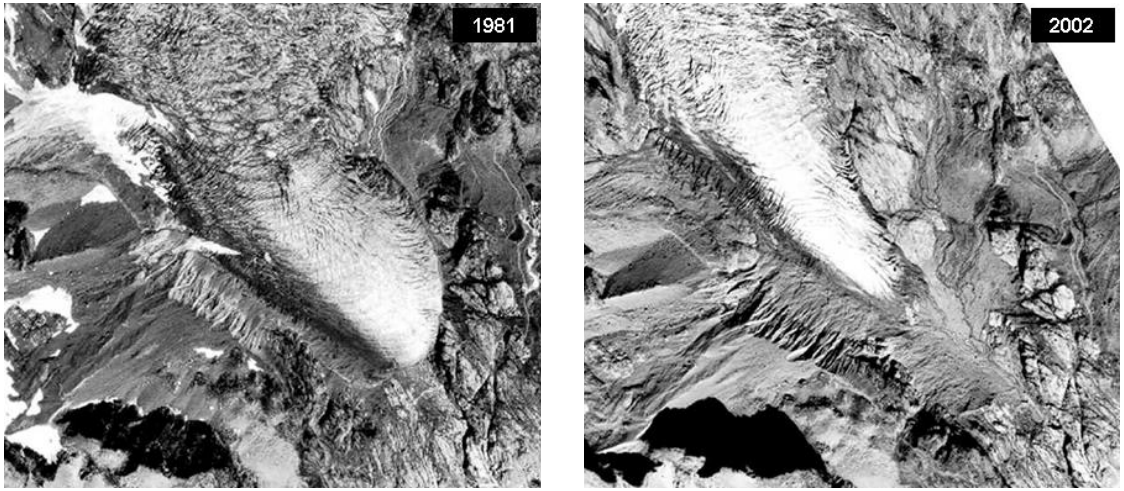
Glacier Blanc (massif des Ecrins)

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

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** :

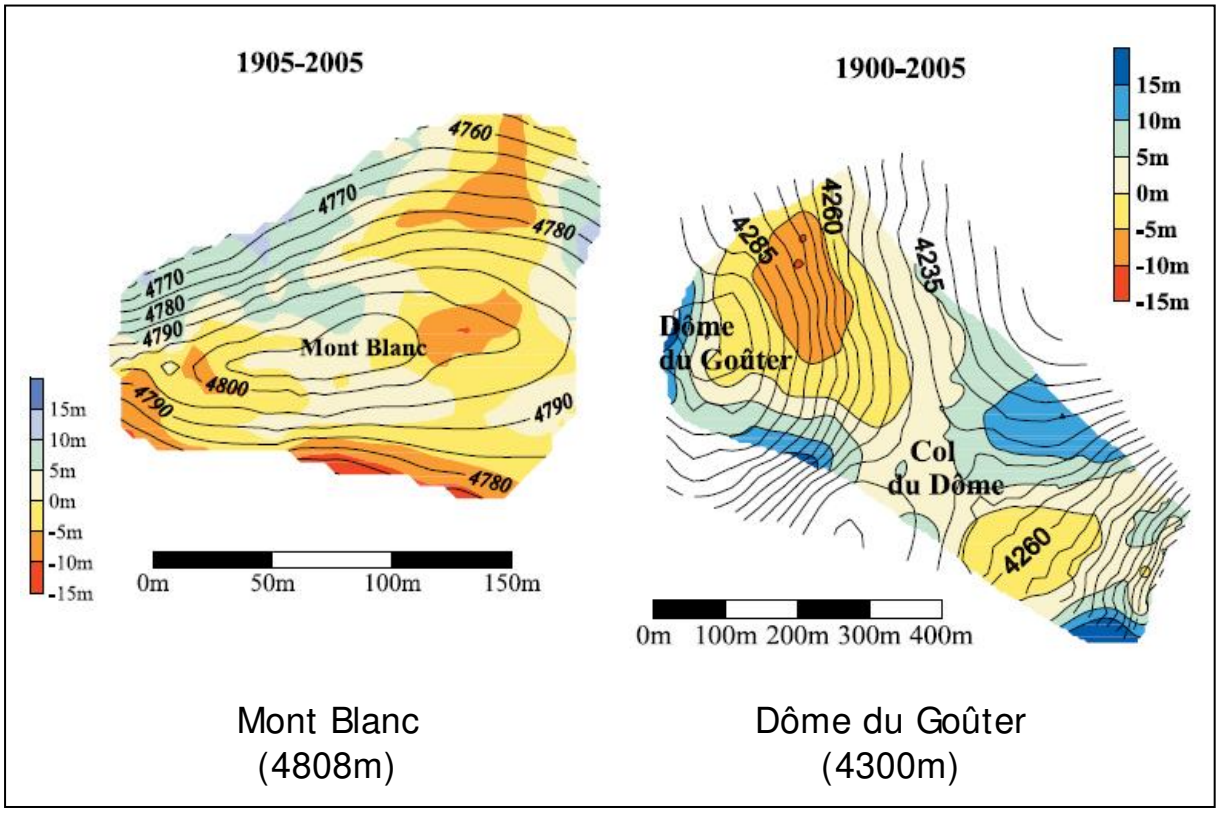
Vitesse du retrait multipliée par 1,5 entre [1967-71 à 1985-86] (–5% par décade) et [1985-86 à 2006-2009] (–8% par décade)

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

Glaciers

Observations

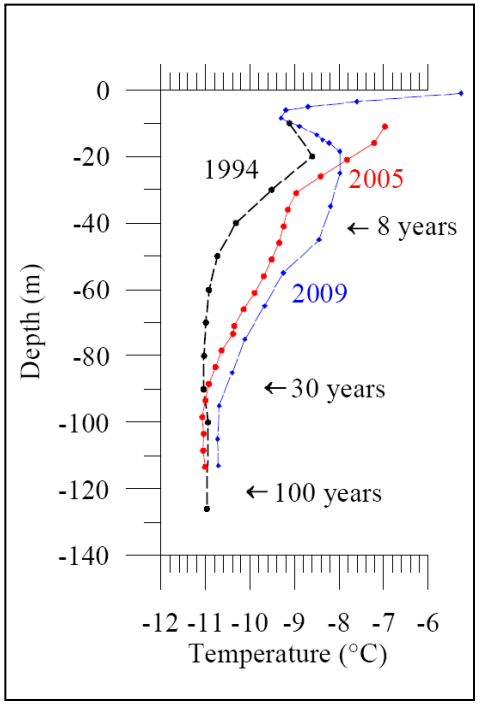
- variations de l'épaisseur de glace en altitude



Mont Blanc (4808m)

Dôme du Goûter (4300m)

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



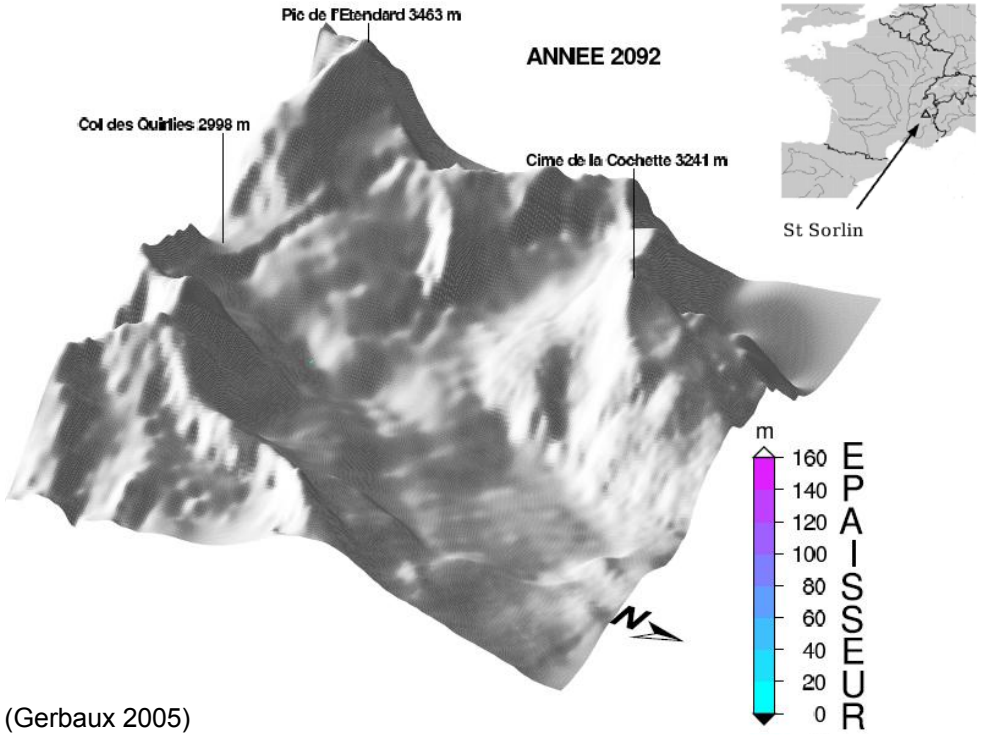
(C. Vincent, Expert hearing 26/01/2011)

Effets sur les systèmes naturels

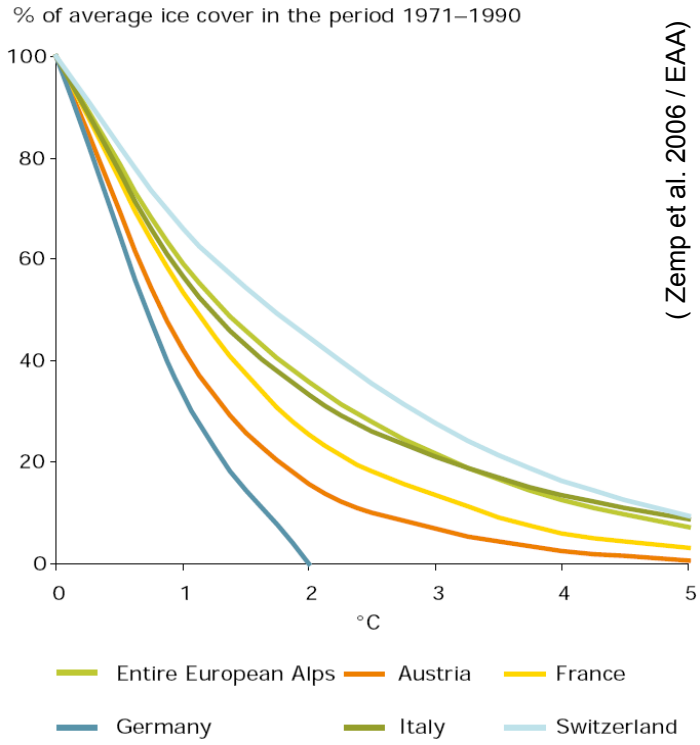
Glaciers

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)

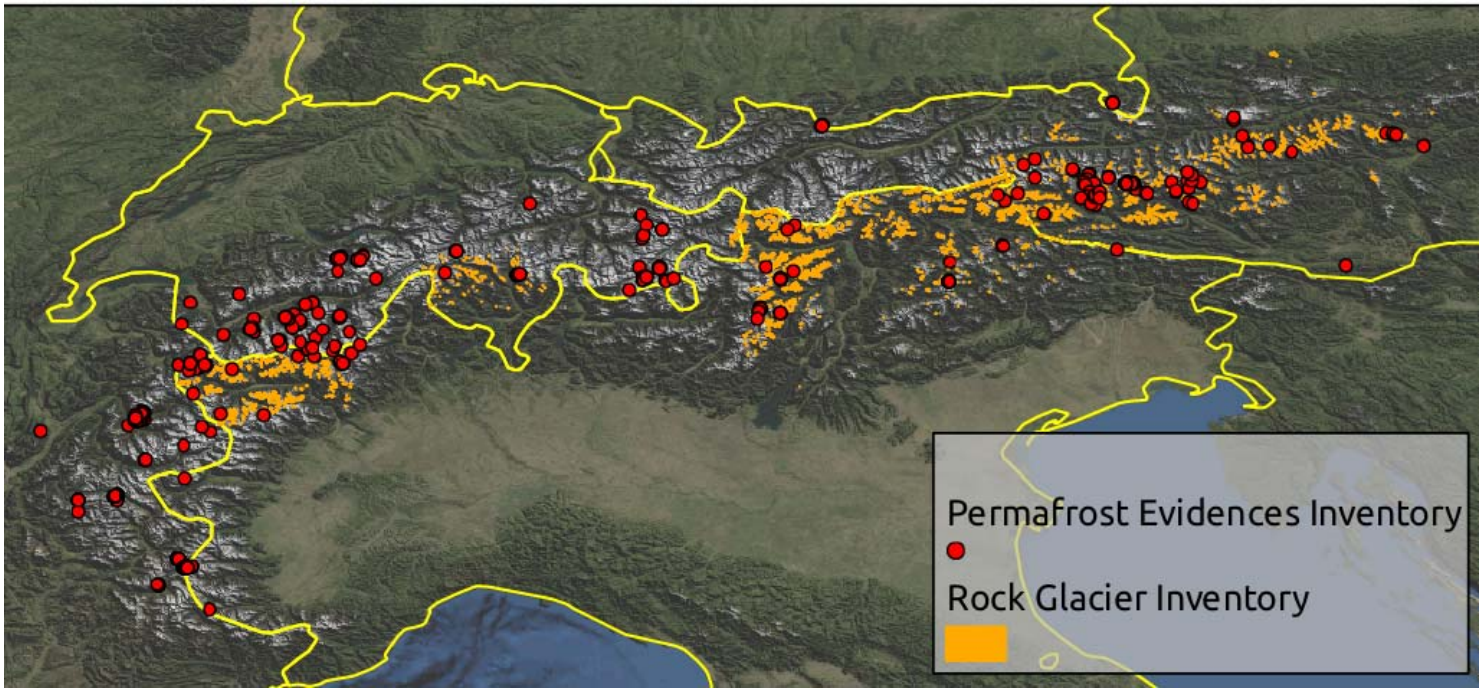


(Zemp et al. 2006 / EAA)

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



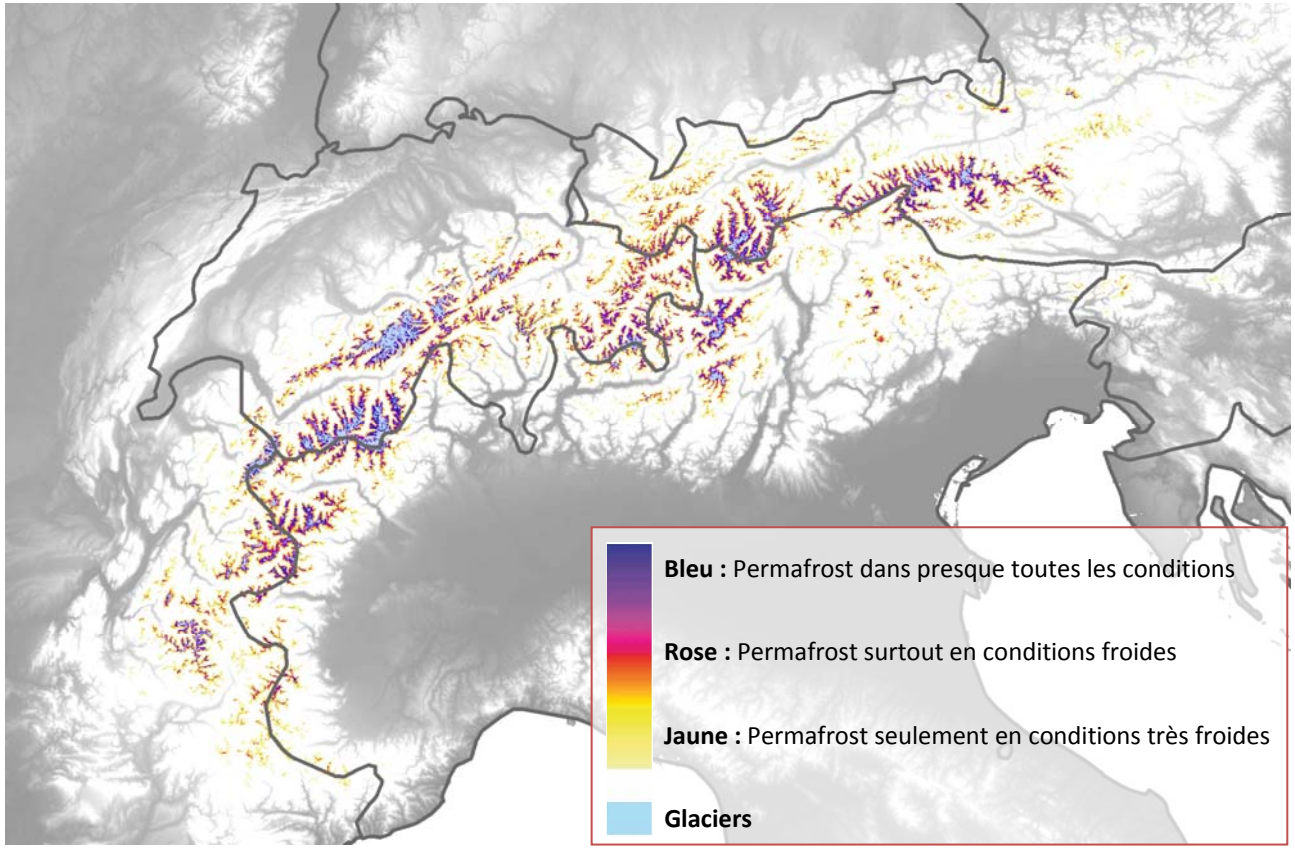
permanet
Permafrost Monitoring Network

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



Böckli *et al.* (PermaNET Final Conference)

Permafrost

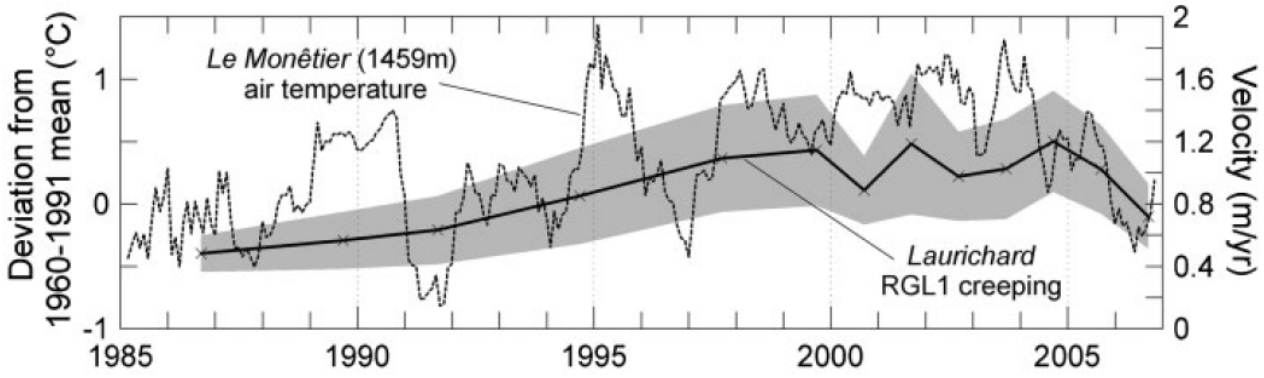
Observations

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 depuis 2004 …

ex. Laurichard (05) : phases synchrones avec les variations régionale des T°



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

(Bodin et al., 2009)

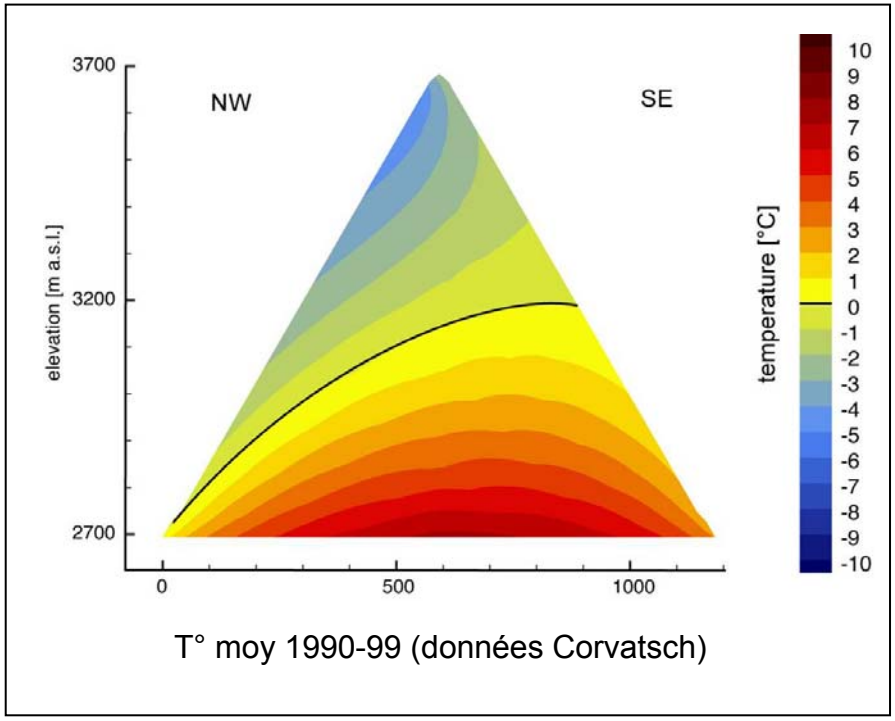
Glacier rocheux du Laurichard

Effets sur les systèmes naturels

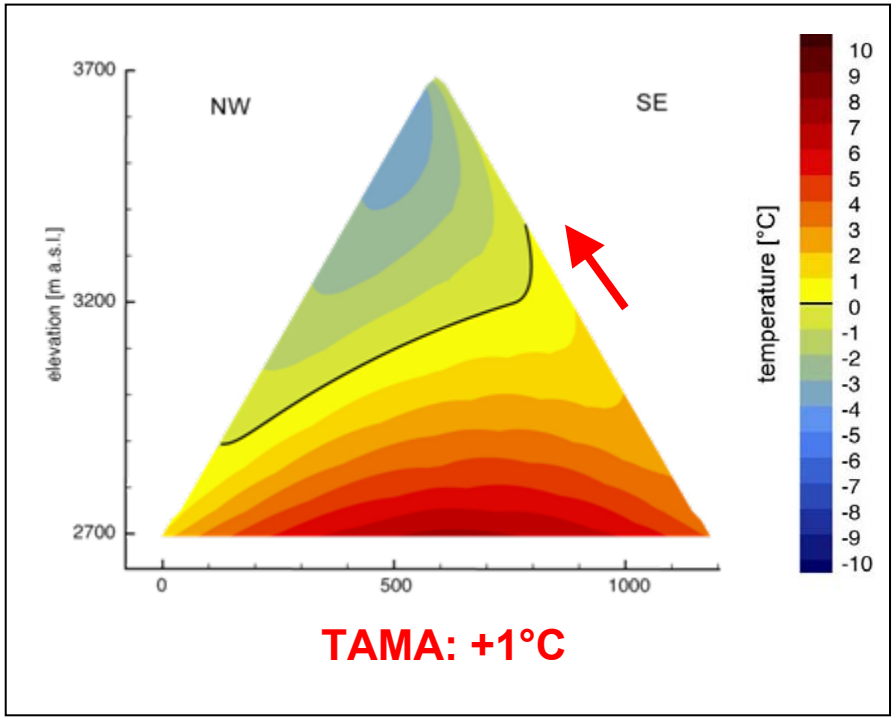
Permafrost

Projections

- modélisation de la température au sein des massifs rocheux



T° moy 1990-99 (données Corvatsch)



TAMA: +1°C

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

Crues / inondations

Mouvements de terrain

Crues et laves torrentielles

Risques d'origine glaciaire

Feux de forêt

Tempêtes

Mouvements de terrain

Observations

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

Glissement de Séchilienne (Isère)

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

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 1er 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.

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 ?)

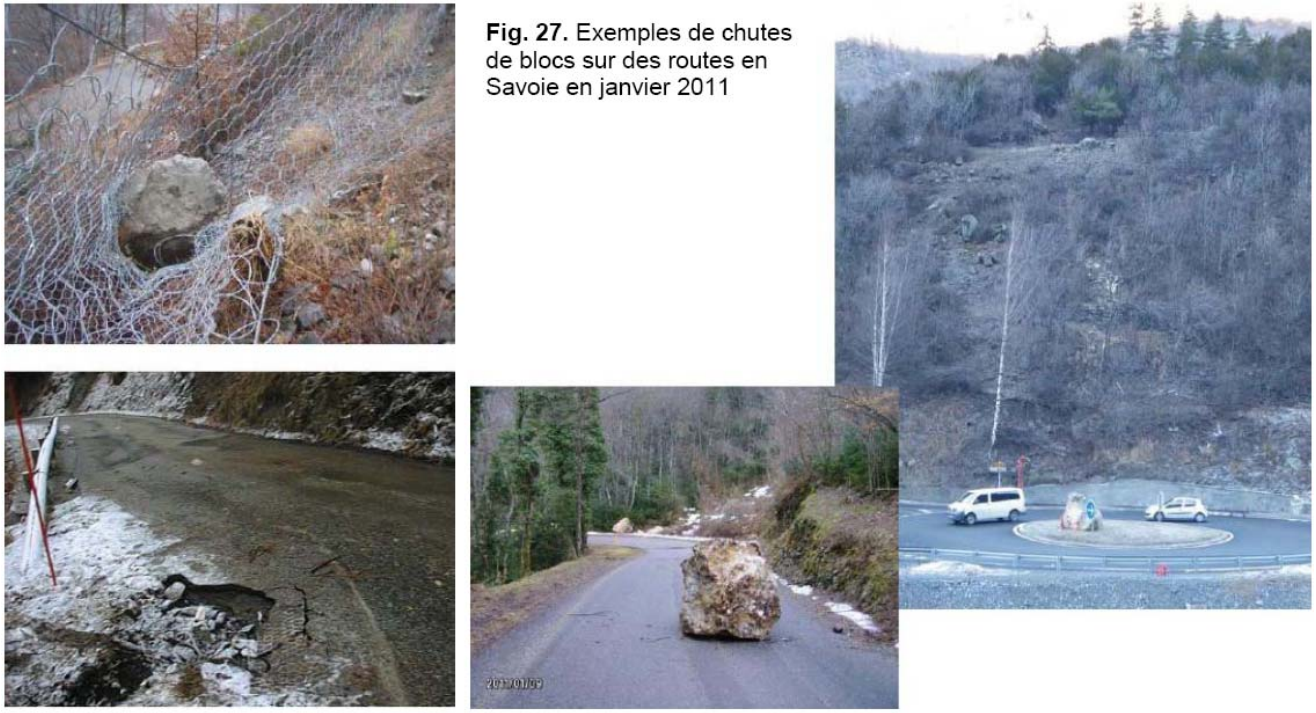


Fig. 27. Exemples de chutes de blocs sur des routes en Savoie en janvier 2011

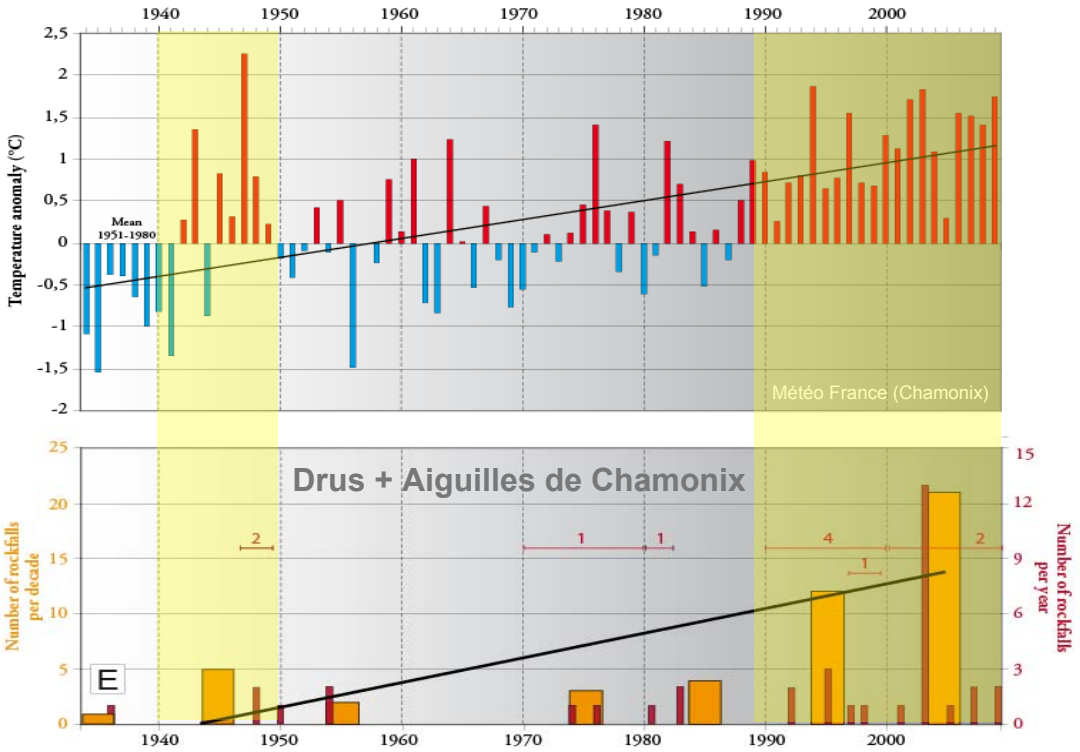
RD76 Montgellafrey10/01/11 RD914a col du Chat 09/01/11 RD1006 Orelle16/01/11

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…

Eboulement aux Drus, Oct. 2011



P. Deline, « Expert hearing » AdaptAlp, 26/01/2011

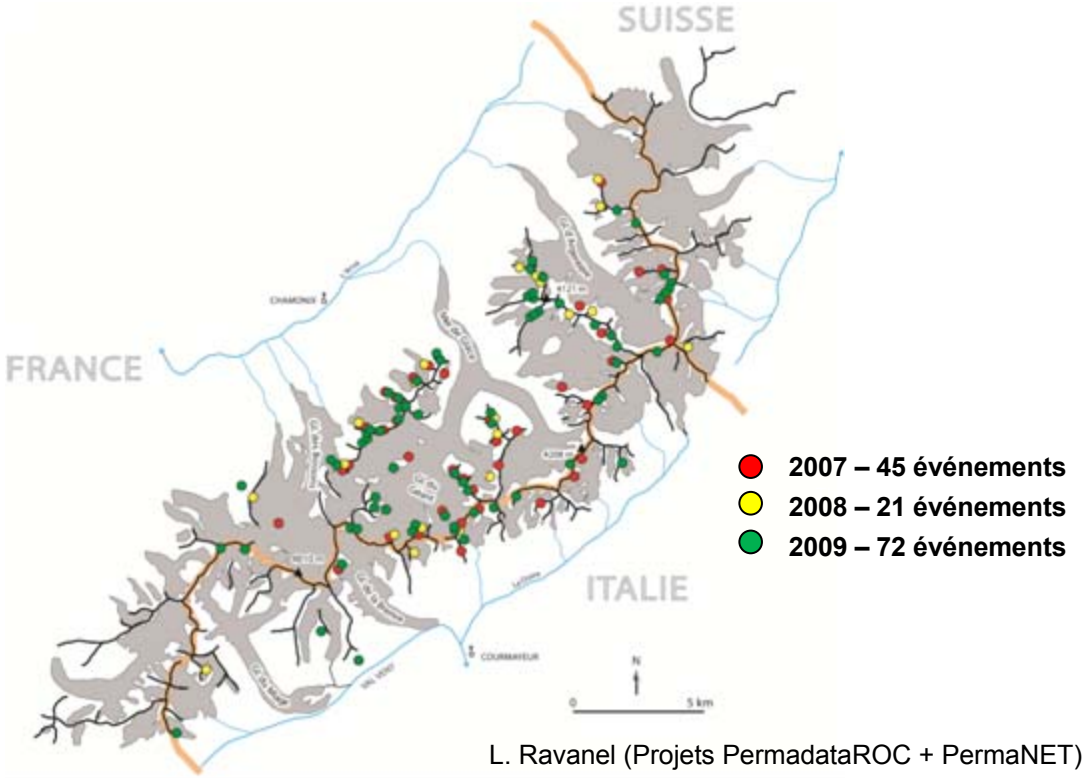
Mouvements de terrain

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…

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

dégradation du **permafrost** !



L. Ravanel (Projets PermadataROC + PermaNET)

Mouvements de terrain

Rupture de glacier rocheux

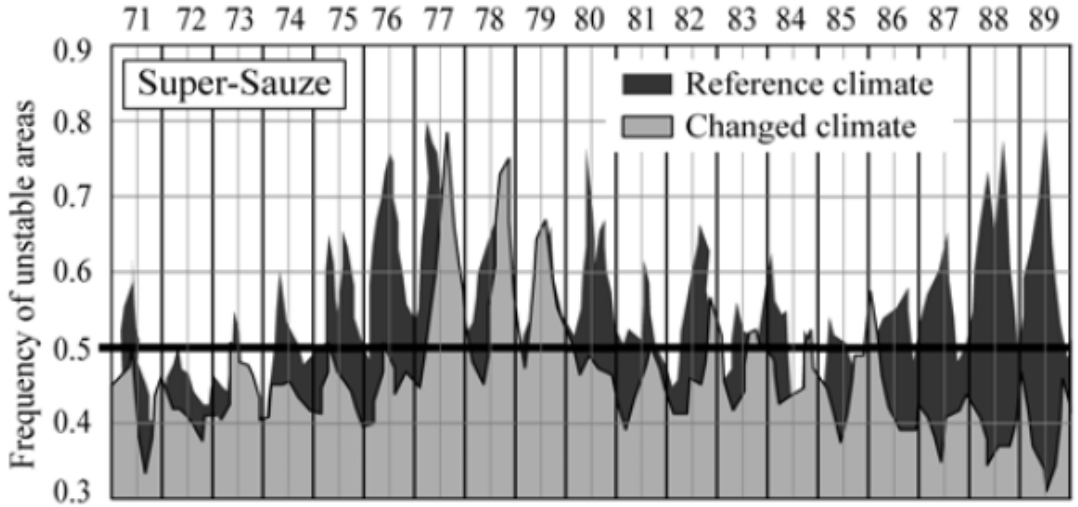
Le Bérard (Alpes-de-Haute-Provence), été 2006

Photo : J.-M. Krysiecki

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)

Malet et al. 2007

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. RiskYdrogéo 2006)

Effets sur les aléas naturels

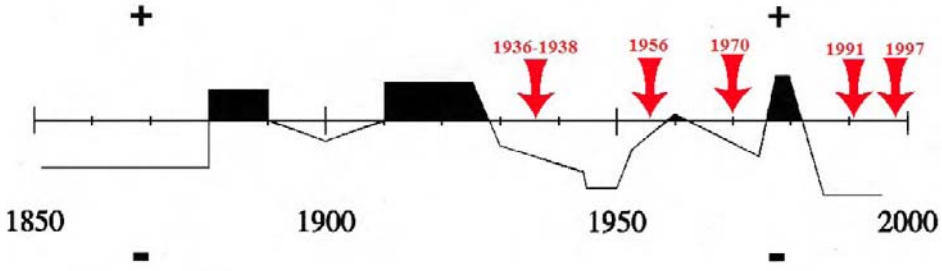
Crues et laves torrentielles

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

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)

- 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 !

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)

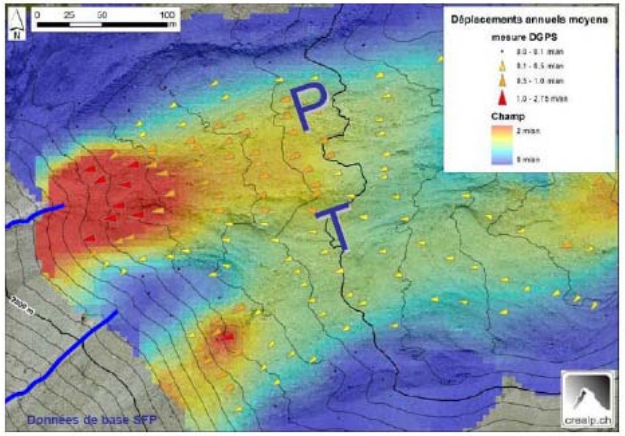


Fig. 8. Interprétation des mesures DGPS 2006-2009.

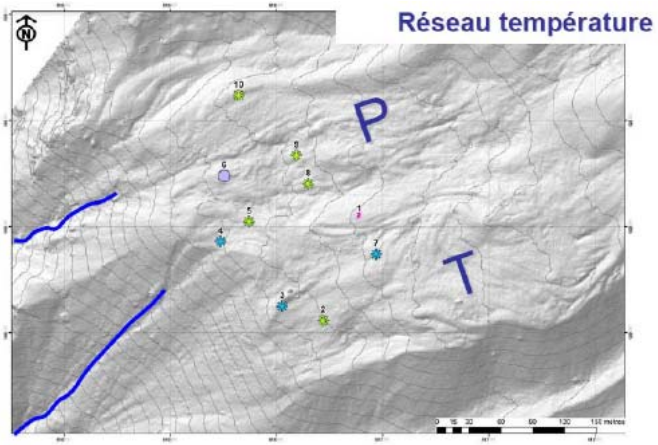


Fig. 9. Réseau de mesure des températures.

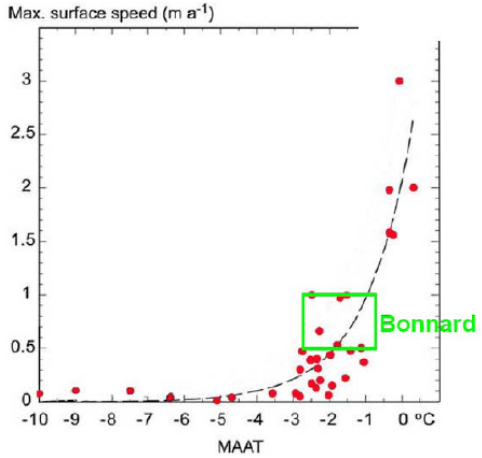


Fig. 10. Relation entre vitesses de surface mesurées sur des glaciers rocheux alpins et température moyenne annuelle de l'air (Harris et al., 2009). Carré vert : gamme des vitesses mesurées au glacier Bonnard.

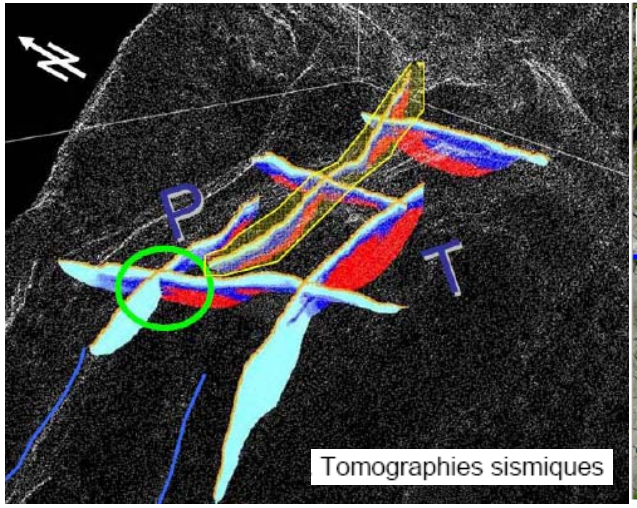
Crues et laves torrentielles

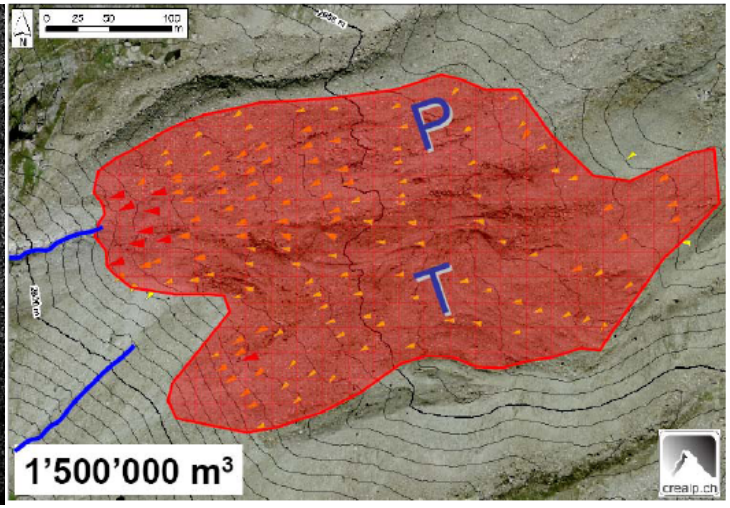
Pistes d'adaptation

- 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

E. Bardou, Expert hearing AdaptAlp 20/04/2011

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

Risques d'origine glaciaire

Observations

- typologie :
  - **chutes de séracs** / ruptures de glacier ex. : Taconnaz, Grandes Jorasses, Cheval Blanc (2002), Ruan (2009)…

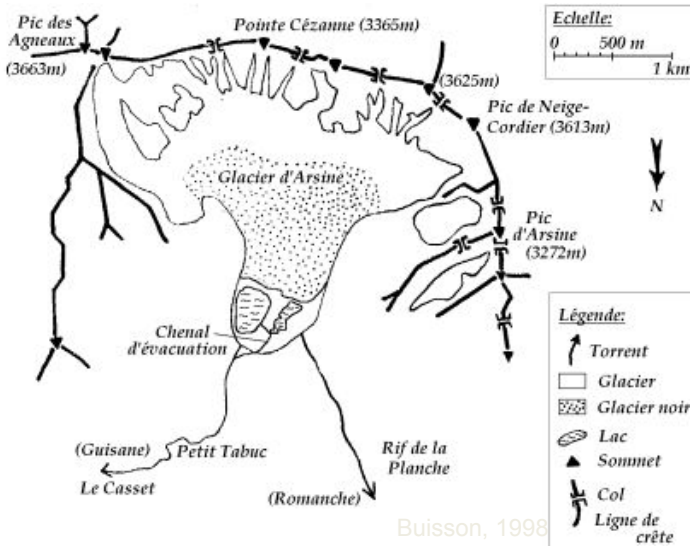
Glacier suspendu de Taconnaz (Mont Blanc, France)
Source : Kääb et al. 2005

Effets sur les aléas naturels

Risques d'origine glaciaire

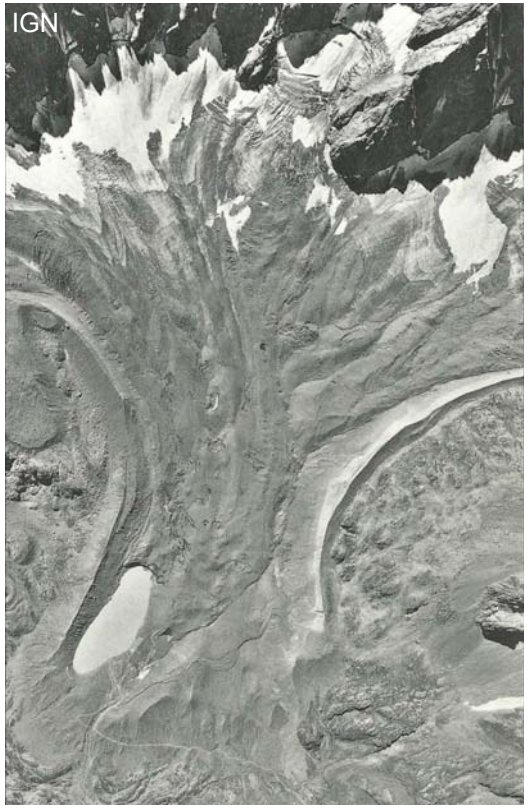
Observations

- typologie :
  - chutes de **séracs** / ruptures de glacier — ex. : Taconnaz, Grandes
  - **lacs** pro- / supra-glaciaires — ex. : Arsine (1986)



Buisson, 1998

Source : LGGE



Source : BT Nature

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),

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

Scénario d'aléa
GLACIORISK

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)…

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 — ex. : Taconnaz, Grandes Jorasses, Cheval Blanc (2002), Ruan (2009)
  - **lacs** pro- / supra-glaciaires — ex. : Arsine (1986), Belvédère (2002), Rochemelon (2004-2005)…

18 sept. 2004 (cliché L. Mercalli)

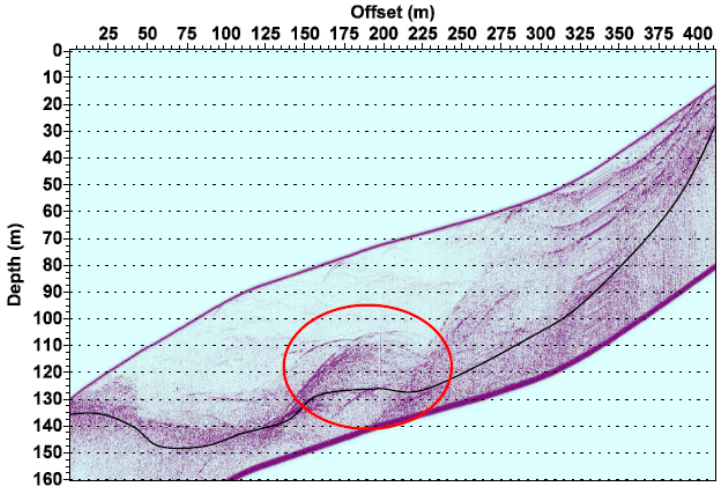
22 Août 2004
(cliché M. Caplain)

Août 2006 (cliché P. Macabiès)

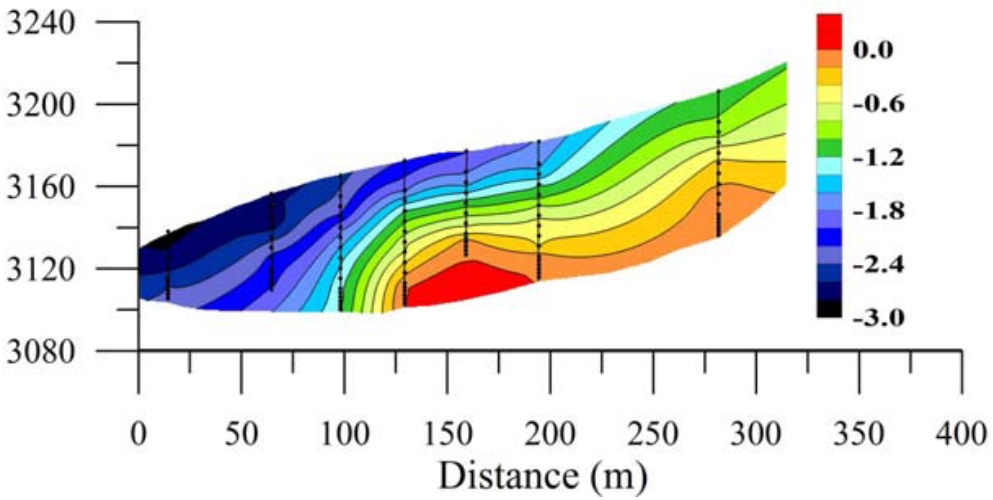
Risques d'origine glaciaire

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)



Profil longitudinal d'anomalies radar

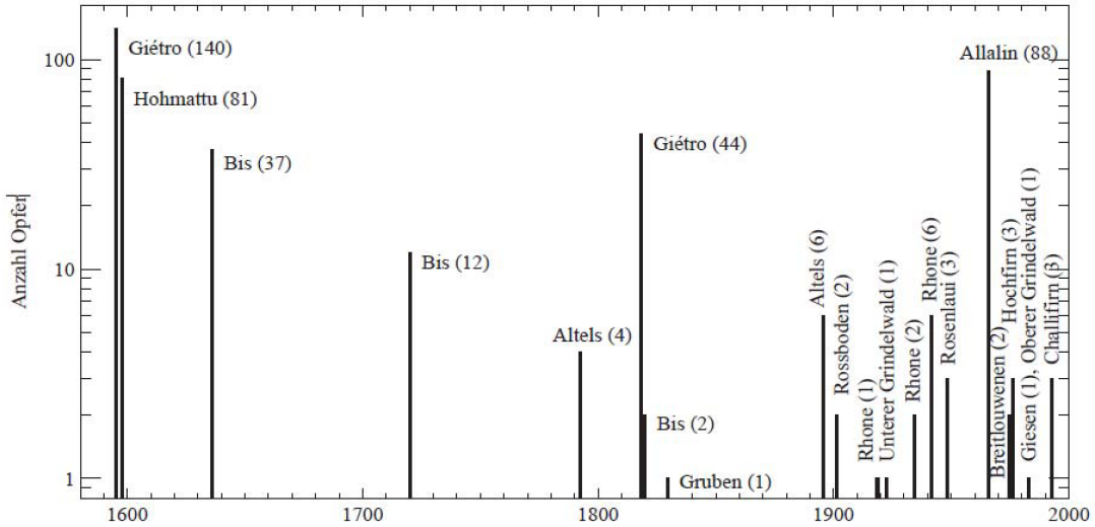


Coupe longitudinale du glacier et échelle des températures de la glace

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. : 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**

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)
- …

=> Cf. Proposition Plan d'actions ROGP du PARN

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.

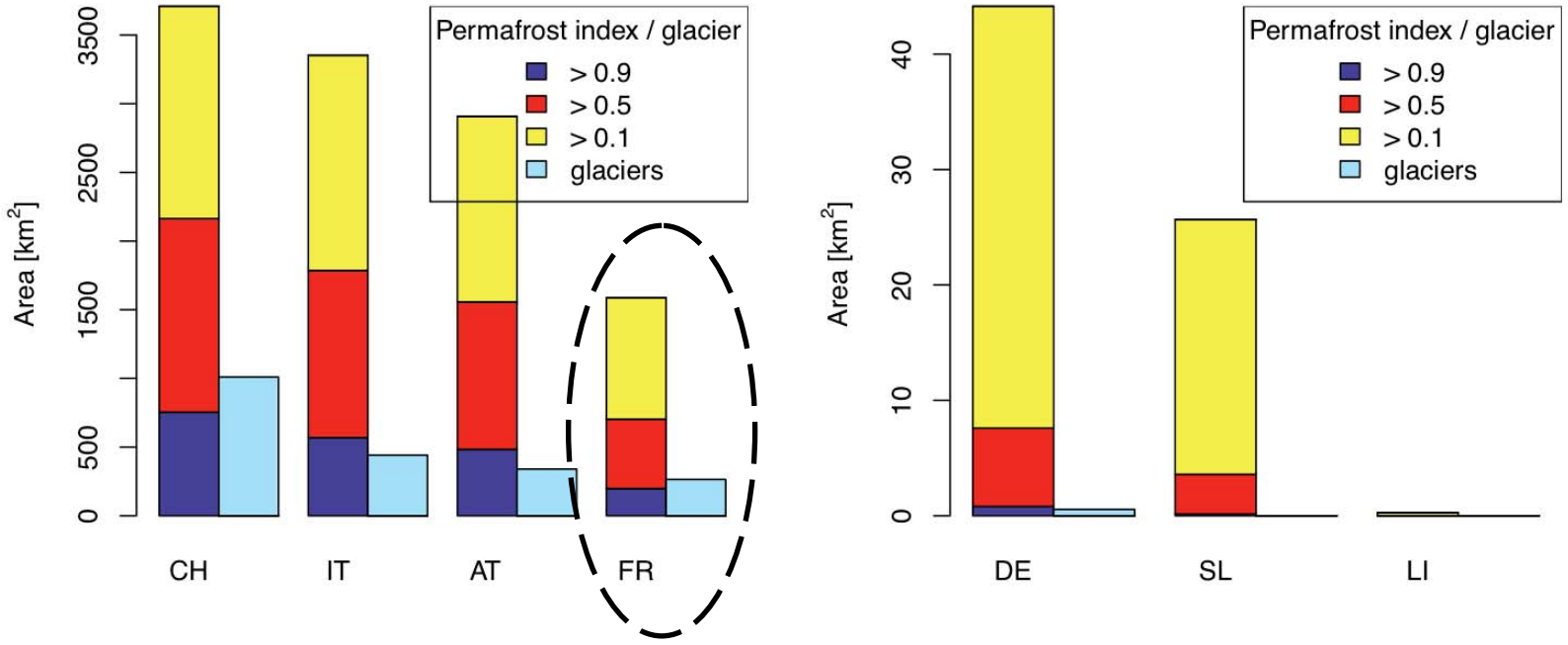
Etudes réalisées sur des sites pilotes :

- **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).

Permafrost

Observations

- cartographie de la présence potentielle du permafrost (projet PermaNET)
- surfaces concernées dans les différents pays alpins :



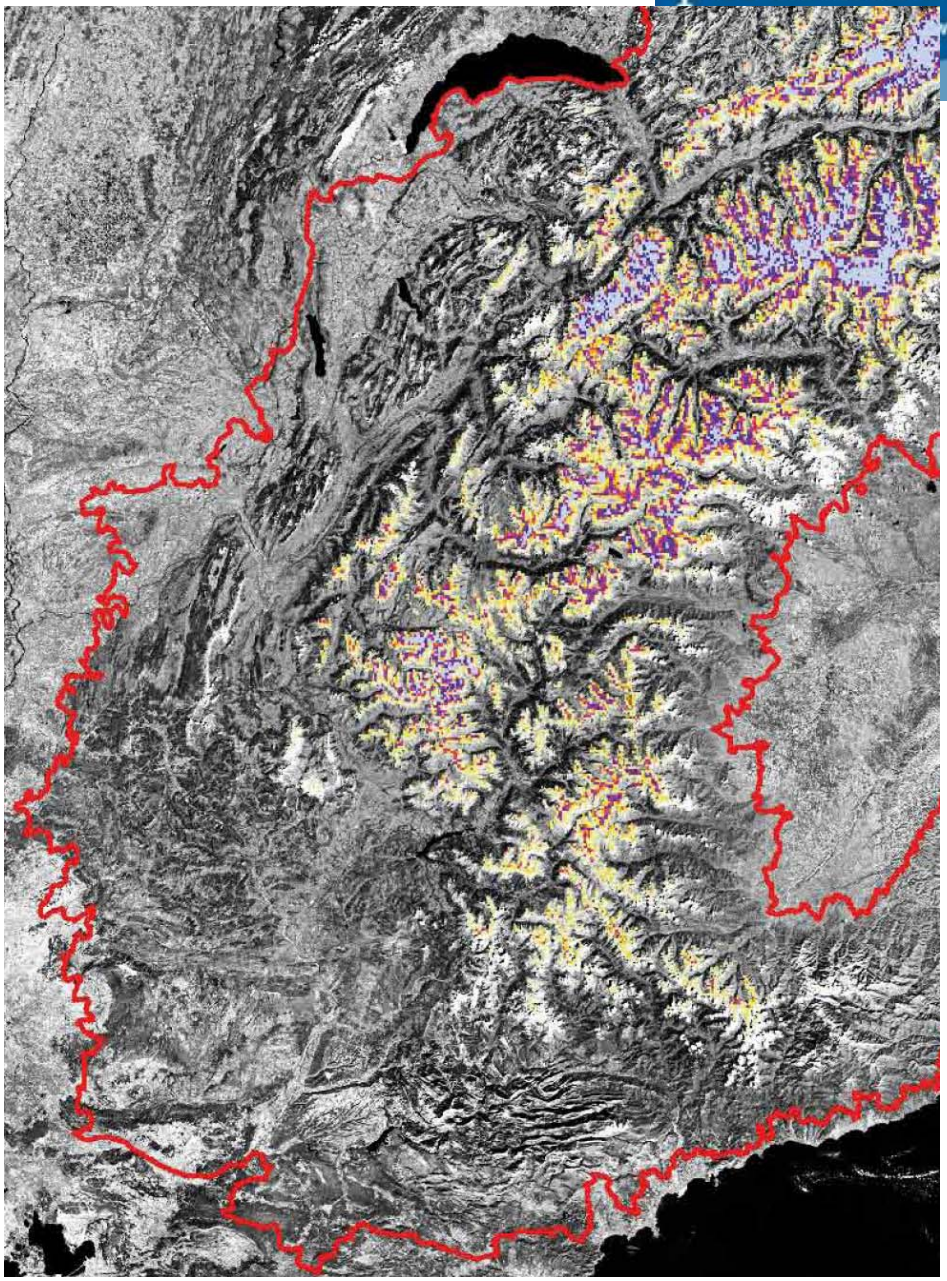
Source : Böckli *et al.* (PermaNET Final Conference)

Effets sur les systèmes naturels

Permafrost

Le réseau PermaFRANCE

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



Bleu : Permafrost dans presque toutes les conditions

Rose : Permafrost surtout en conditions froides

Jaune : Permafrost seulement en conditions très froides

Glaciers

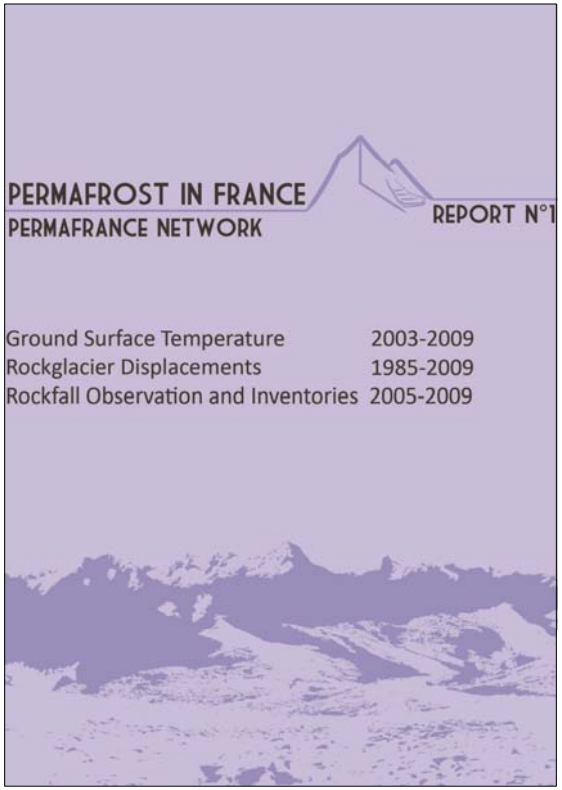
Permafrost

Le réseau PermaFRANCE

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

- inventaires de glaciers rocheux (en cours) :
  - Hautes-Alpes
  - Mercantour
  - Vanoise et Haute Maurienne
  - Haute-Savoie (inventaire partiel)

- rapport "Permafrost in France"

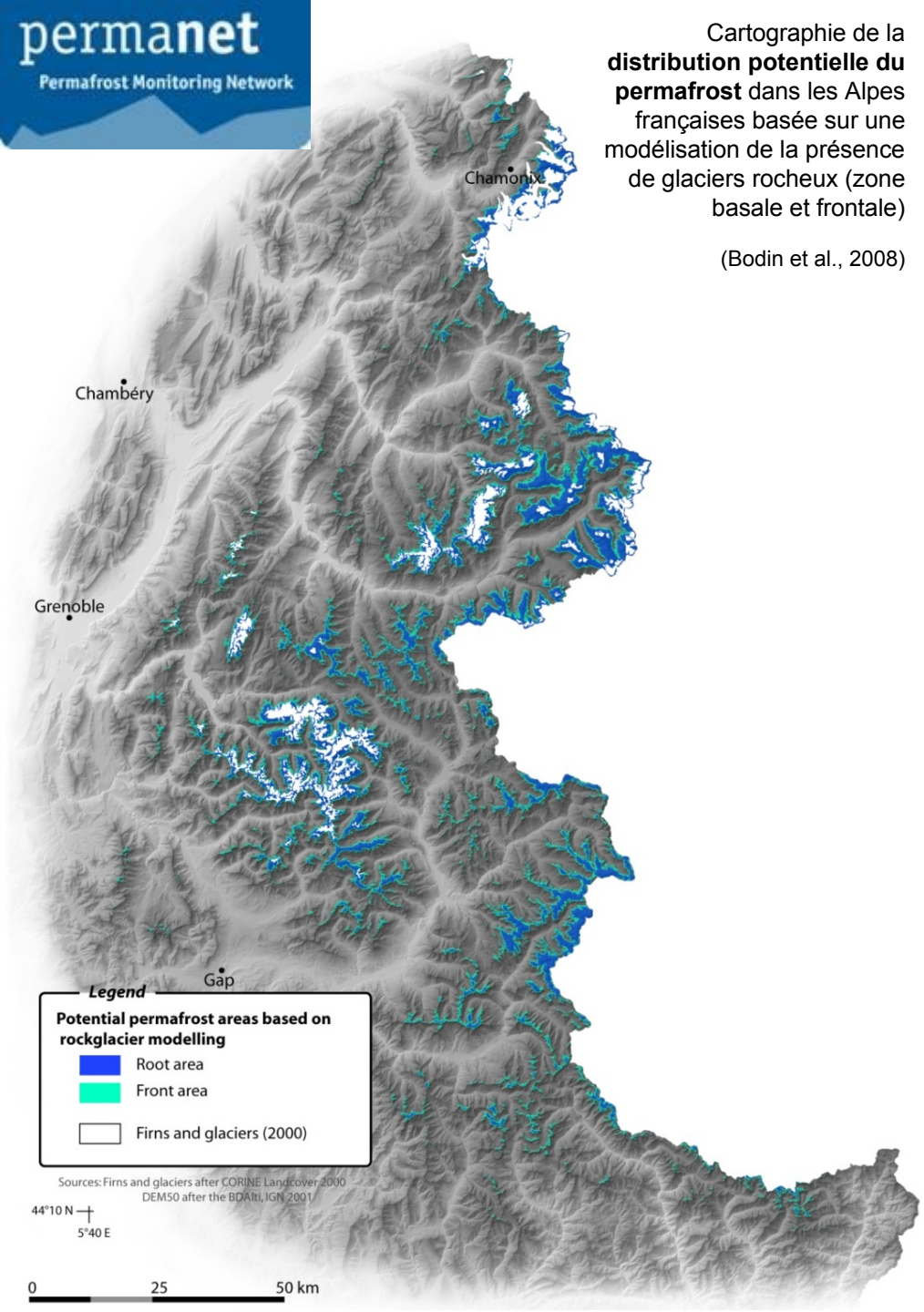


Source : Schöneich (PermaNET Final Conference)

permanet
Permafrost Monitoring Network

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'étrage 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

...

Source : Schöneich (PermaNET Final Conference)

permanet
Permafrost Monitoring Network

Chamonix
Dérochoir (74)
Chambéry
Sachette (73)
Lanserlia (73)
Bouchet (73)
Grenoble
Lac Rouge (05)
Deux-Alpes (38)
Laurichard (05)
Casse des Clausins (05)
Foréant (05)
Gap
Bérard (04)

Legend
Potential permafrost areas based on rockglacier modelling
Root area
Front area
Firns and glaciers (2000)

Sources: Firns and glaciers after CORINE Land Cover 2000
DEM50 after the BDALTI-IGN 2001

44°10 N
5°40 E

0 25 50 km

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

Reconnaissances géophysiques répétées
- Sondages géoélectriques depuis 1985
- Tomographies ? depuis 2007

Source : Schöneich (PermaNET Final Conference)