

Évolution possible de l'hydrologie des cours d'eau - principaux résultats

Eric SAUQUET,

*Irstea, UR HHLY, 3 bis quai Chauveau - CP 220
F-69336 Lyon, France*

Contact : eric.sauquet@irstea.fr

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr



Introduction : une lecture croisée du passé et du futur

Deux aspects du traitement du changement climatique en hydrologie :

- Une projection dans le futur : que nous apprennent les scénarios climatiques sur l'évolution des débits ?
- Un regard sur le passé : existe-t-il déjà des signes dans les séries hydrologiques ?

Deux approches complémentaires

Observations
et détections
de tendance

Contrôle des modèles

Modèles et
simulations
sous projection
climatique

*Attribution des
changements
constatés*

Partie 1 de
l'exposé

Partie 2 de
l'exposé



Détection de tendance sur de longues séries d'observation de débits

Difficulté :

- le changement climatique pourrait induire des évolutions antagonistes sur les débits
- les débits sont fortement impactés par l'activité humaine
- les débits présentent une très forte variabilité naturelle, surtout dans les domaines extrêmes (étiage et crue)

Méthode : application de tests statistiques

- à l'échelle locale (sur un échantillon de valeurs extraites à la station de mesure pour examiner la significativité des changements)
- à l'échelle régionale (sur un ensemble de bassins versants jaugés au comportement réputé homogène pour examiner la cohérence des changements détectés)

Application :

- plus de 200 stations françaises de plus de 40 ans d'observations (Giuntoli *et al.*, 2010, 2012)
- 177 séries de 40 à 100 années de mesure en secteur alpin (France, Autriche, Italie, Allemagne, Slovénie, Suisse) (Bard *et al.*, 2012)

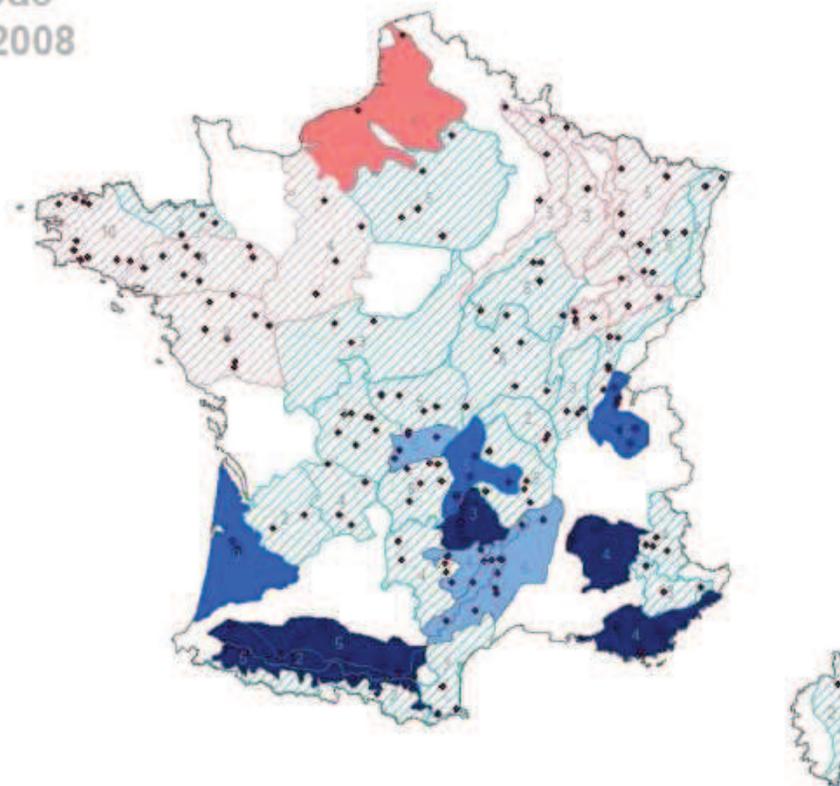
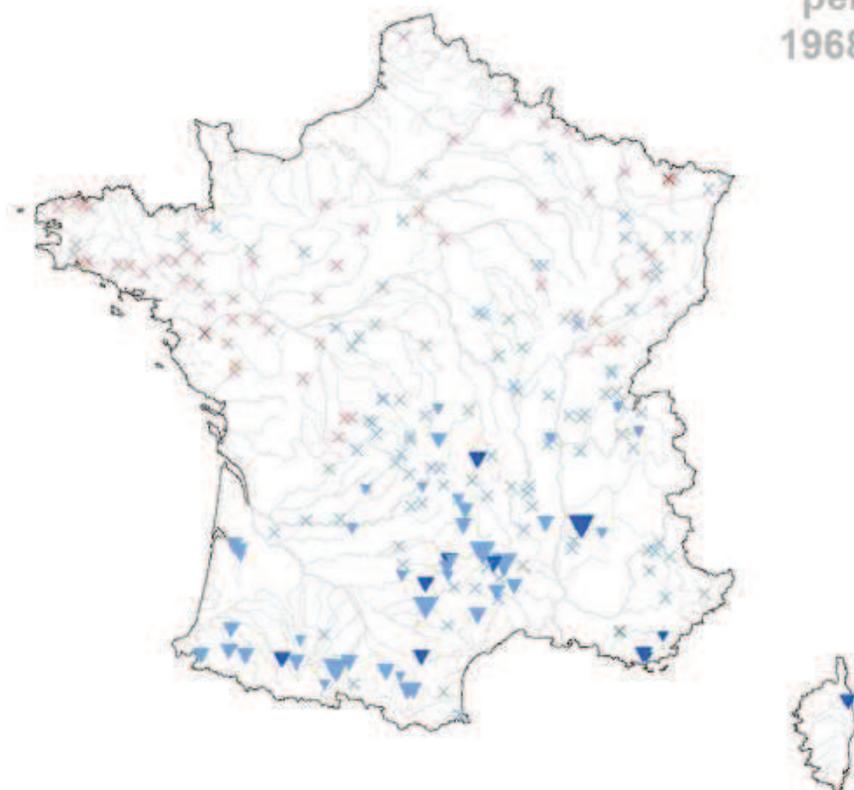


Résultats

Module inter-annuel

Sévérité

période
1968-2008



Légende Tendances détectées 220 stations

Significatives		Non significatives		Est. Coeff. de Tendance	
BAISSE	HAUSSE	B	H		
▽ (10%)	△ (10%)	□	□	▽ (0 à -0,015)	△ (0 à 0,015)
▽ (5%)	△ (5%)	×	×	▽ (-0,015 à -0,03)	△ (0,015 à 0,03)
▽ (1%)	△ (1%)			▽ (-0,03 à -0,05)	△ (0,03 à 0,06)

Légende Tendances détectées 196 stations

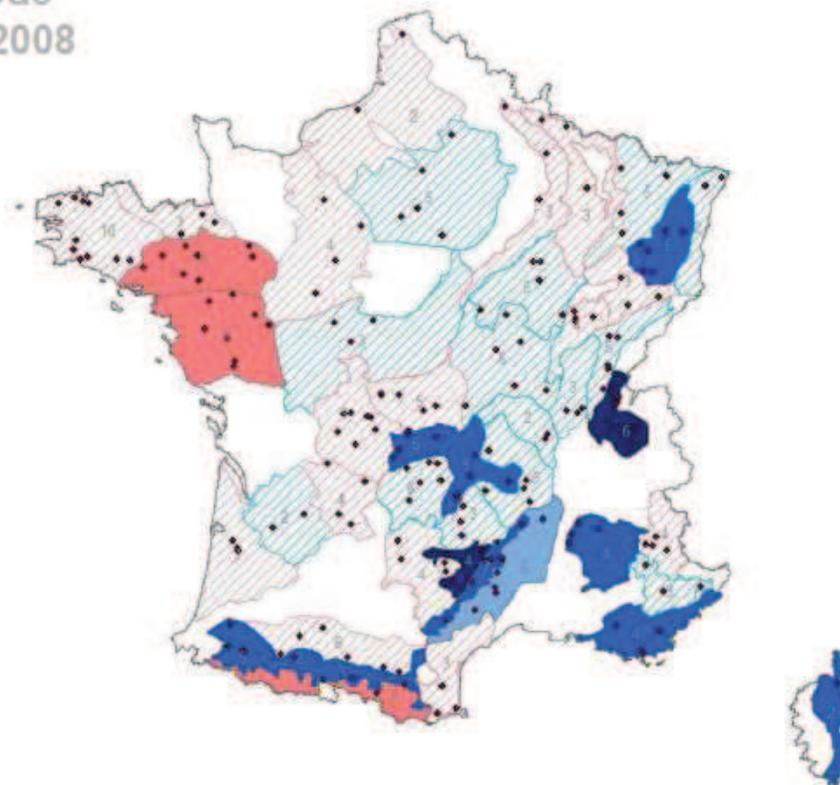
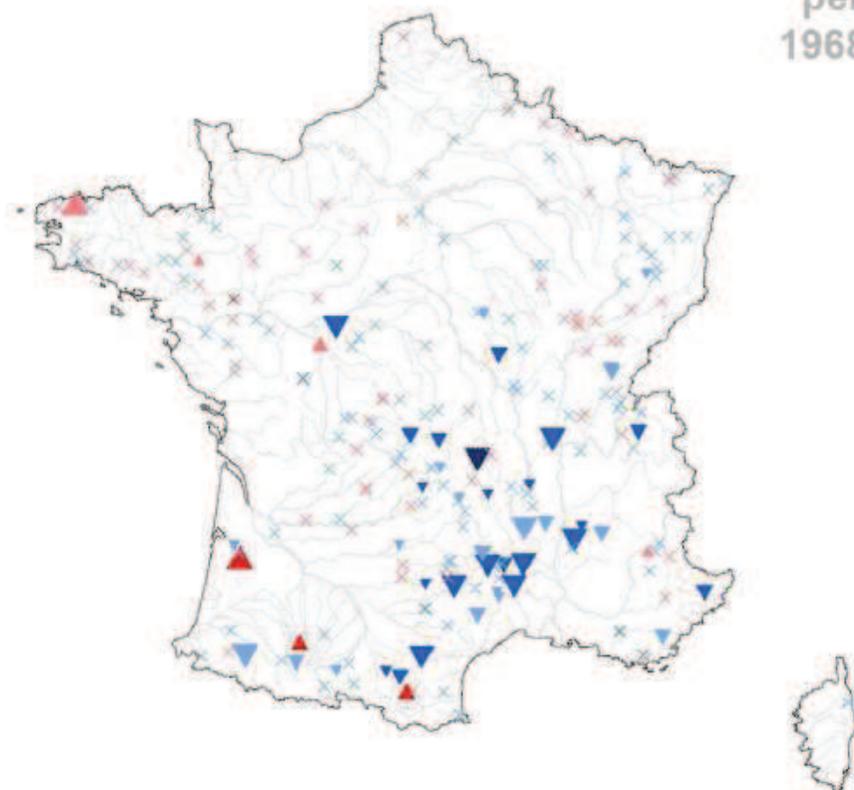
Significatives		Non significatives	
BAISSE	HAUSSE	B	H
■ (10%)	■ (10%)	□	□
■ (5%)	■ (5%)	□	□
■ (1%)	■ (1%)	□	□

Résultats

Débit minimum annuel

Sévérité

période
1968-2008



Légende Tendances détectées 220 stations

BAISSE	Significatives		Non significatives		Est. Coeff. de Tendance	
	au risque:		B	H		
▽	10 %	△	B	H	▽ 0 à -0,015	△ 0 à 0,015
▽	5 %	△	×	×	▽ -0,015 à -0,03	△ 0,015 à 0,03
▽	1 %	△			▽ -0,03 à -0,05	△ 0,03 à 0,06

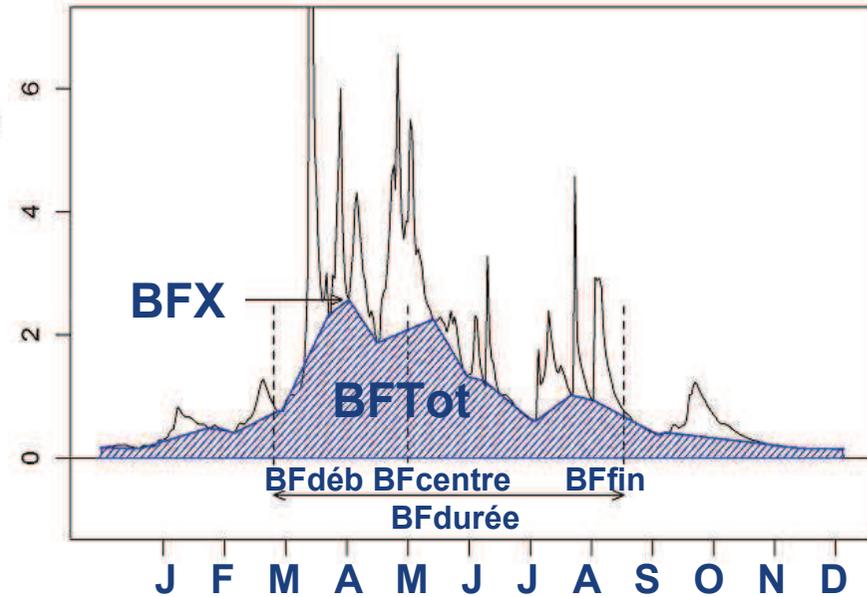
Légende Tendances détectées 196 stations

BAISSE	Significatives		Non significatives	
	au risque:		B	H
■	10 %	■	▨	▨
■	5 %	■		
■	1 %	■		

Le projet

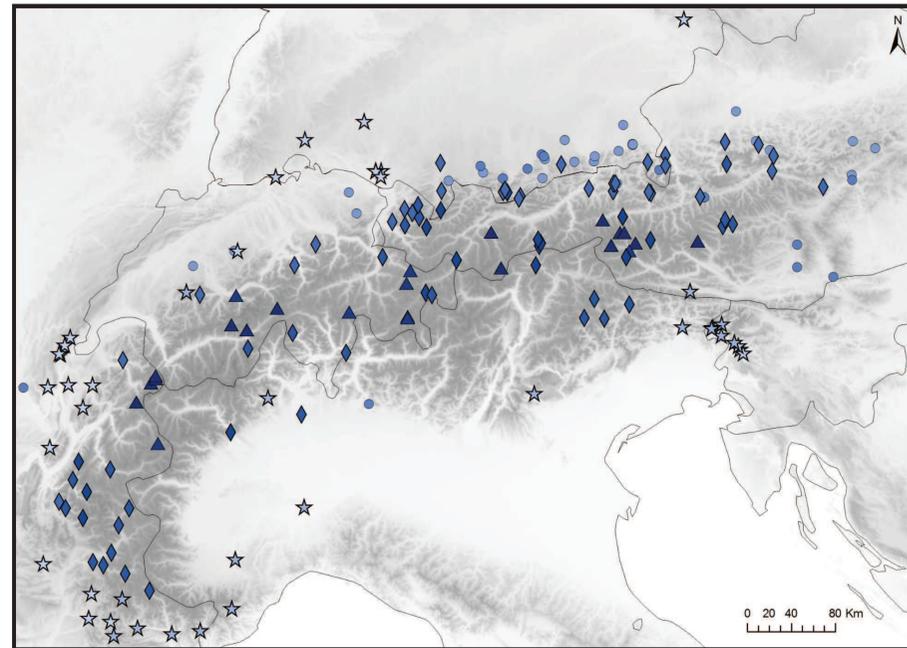
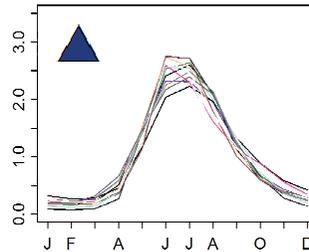
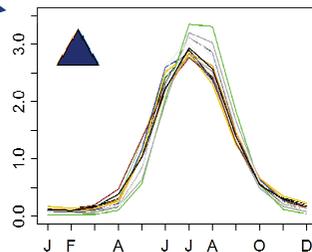


Variables descriptives
de la saisonnalité
et l'intensité de la contribution
de fonte du manteau neigeux

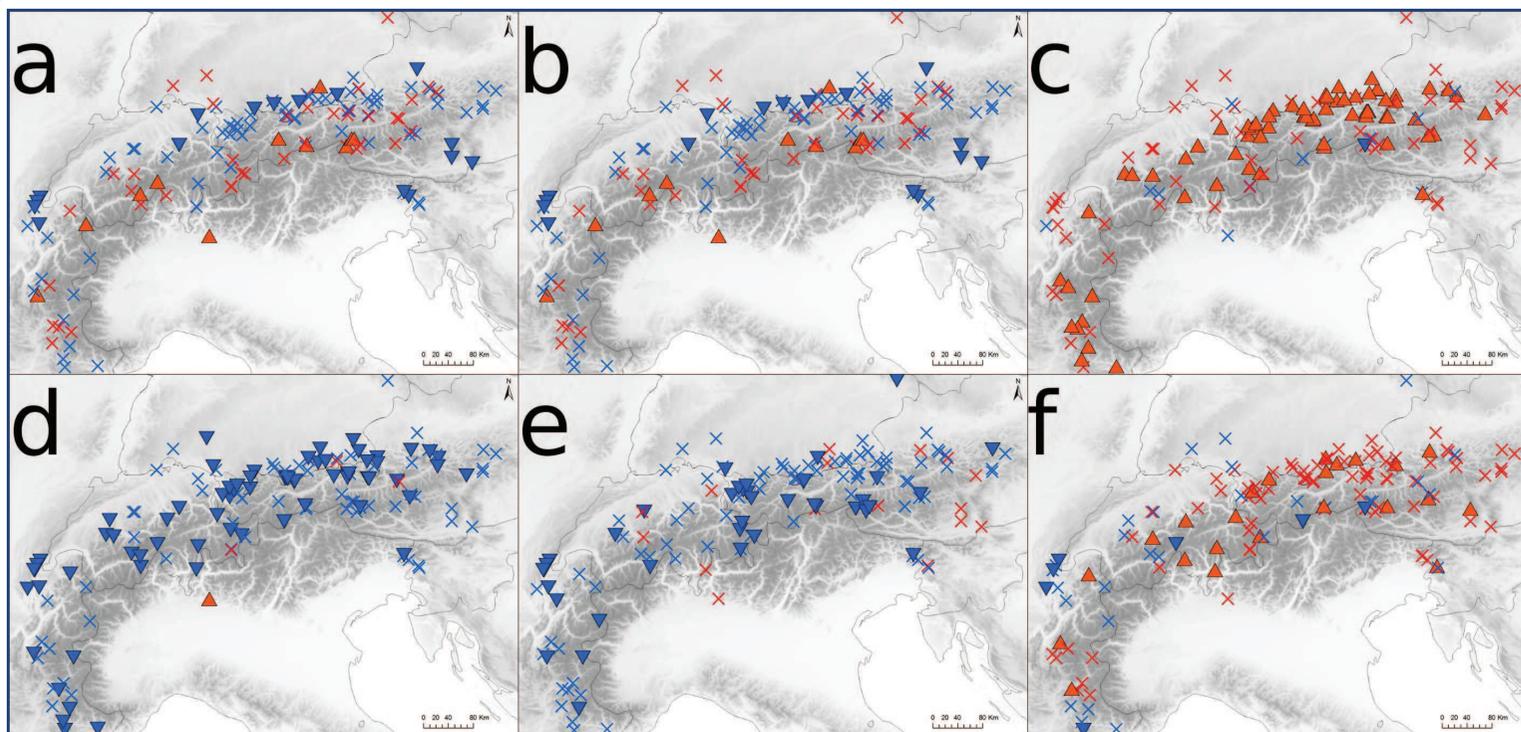


Régimes identifiés :

- à composante glaciaire ▲
- de type nival ◆
- de type nivo-pluvial ★
- de type nival composite ●



Résultats du projet



▲ ou ▼ Tendance significative, X Changement non significatif au seuil 10%

(a) Volume contributif neige BFTot ; (b) Max annuel de débit de fonte BFXA

→ Absence de changement généralisé, exception faite des bassins influencés par les glaciers

(c) BFdurée ; (d) BFdeb ; (e) BFcentre ; (f) BFfin

→ Changement généralisé : début et centre plus précoce, fin retardée





Synthèse sur les analyses de tendance

Étude à l'échelle nationale (Giuntoli *et al.*, 2010, 2012) :

- distinction nord-sud : aggravation de la sévérité des étiages dans plusieurs régions de la moitié sud
- de nombreux changements significatifs décrivant un décalage de la période d'étiage vers plus de précocité
- peu de changement sur le régime des crues (tendances régionales isolées décelées dans les bassins de la Meuse et la Moselle)

Étude sur les Alpes (Bard *et al.*, 2012) :

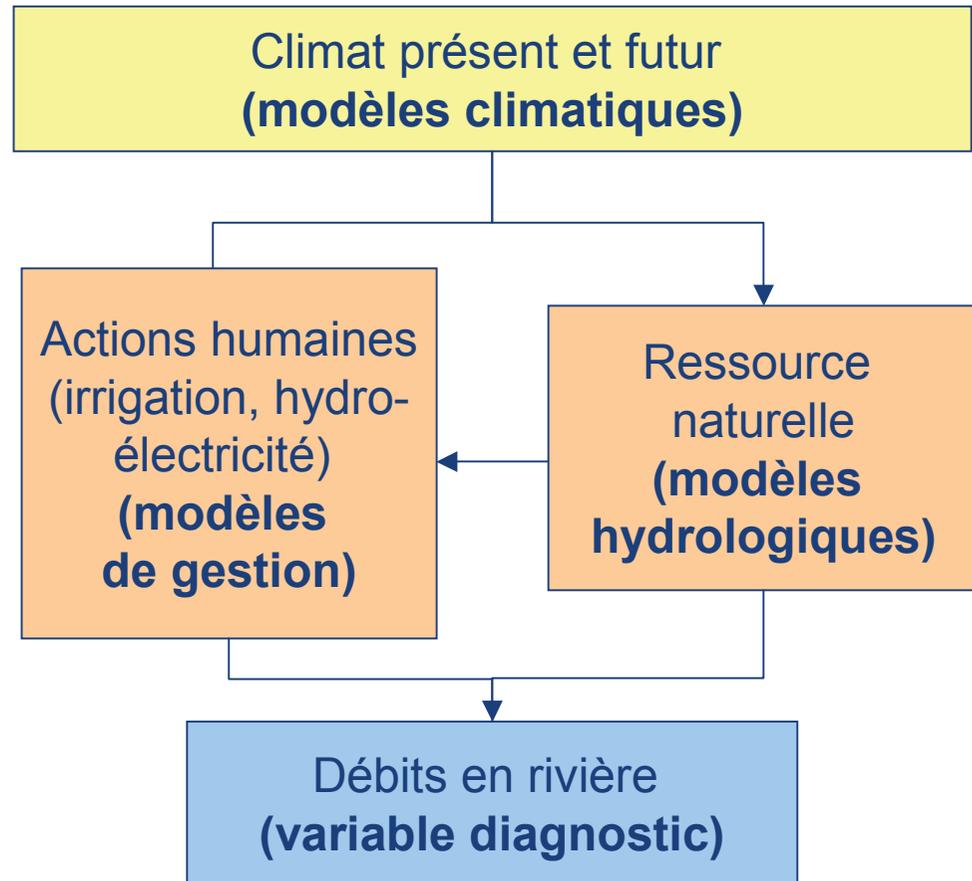
- tendance significative pour les bassins alimentés par les glaciers (augmentation des volumes contributifs et du pic de l'onde de fonte ; début de la fonte avancé)
- tendance à l'augmentation des débits d'étiage hivernal pour les bassins à composante glaciaire ou nival ; l'opposé est observé pour les régimes mixtes



Les études d'impact du changement climatique

Objectif : caractériser au mieux le système étudié (diagnostic, sensibilité et réponse du milieu) soumis à différentes perturbations

Approche employée : une chaîne de modélisation reproduisant le passé et susceptible de décrire le futur avec, en entrée une représentation du climat et en sortie la (les) variable(s) d'intérêt, caractérisant le devenir du système



→ Deux projets :

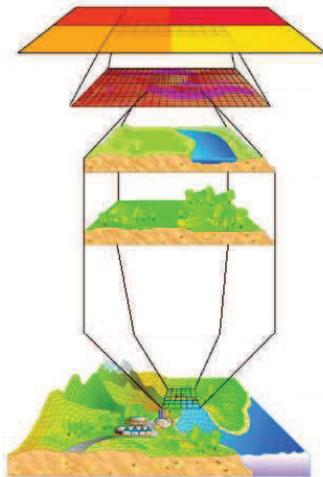


et



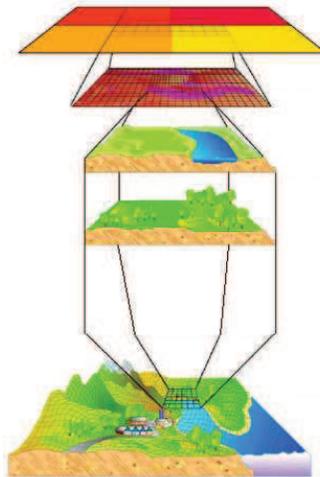
Comment mesurer les changements ? Comment exploiter les résultats malgré les incertitudes ?

Modélisation en temps présent



Sorties

Modélisation sous scénarios d'émission



Sorties

→ On **suppose** que les biais des modèles resteront identiques sous changement climatique

→ L'effet du changement est mesuré par les écarts entre :

→ la variable d'intérêt issue de la chaîne de modélisation avec un climat *temps présent simulé par un GCM*

et

→ la variable d'intérêt issue de la chaîne de modélisation avec le climat *futur simulé par le même GCM*

→ Ainsi on **suppose** filtrer les biais systématiques et on suppose que seul le changement climatique s'exprime dans ces écarts

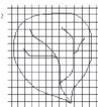


Les outils d'

Deux modèles hydrologiques fonctionnant au pas de temps journalier :



- un modèle global empirique, calés sur des débits observés (Perrin *et al.*, 2003) (GR4J)



- un modèle semi-distribué à base physique (bilan en eau et en énergie) partiellement calé (Habets *et al.*, 2008) (Isba-Modcou)

Une référence climatique : la réanalyse Safran (1961-1990) pour caractériser les performances des modèles hydrologiques en climat présent (Vidal *et al.*, 2010)

→ Capacité des modèles = fonction du type de régime, évoluant donc d'un point à un autre

→ Outils jugés exploitables pour une étude d'impact

Les débits de calage/référence (= les observations) ne sont pas corrigés des influences

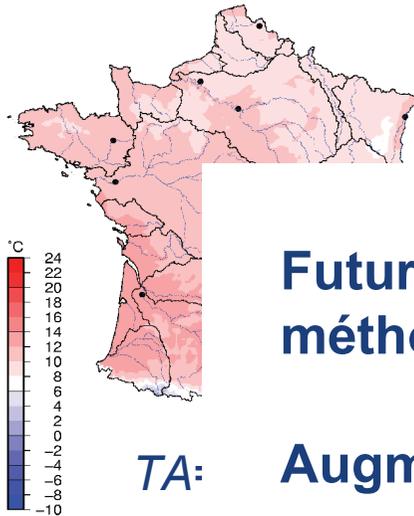


Projections climatiques



1961-1990

Changement projeté en 2050



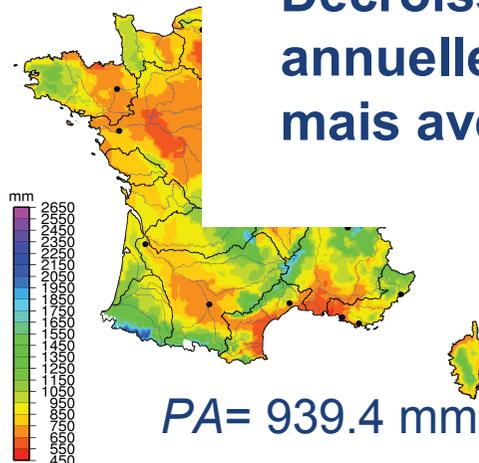
CCCMA

GISS

Futur décrit par sept modèles climatiques AR4 + 1 méthode de descente d'échelle CERFACS DSCLIM

TA: Augmentation de la température (1.4°C - 3.5°C)

Décroissance modeste des précipitations totales annuelles. Tendence marquée à la diminution en été mais avec de fortes disparités régionales



CCCMA

GFDL-CM2.0

-105% +105%

Changements projetés en milieu de siècle

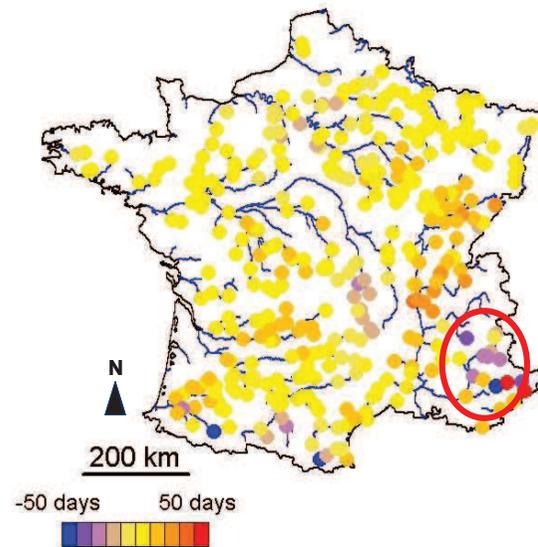


Méthode :

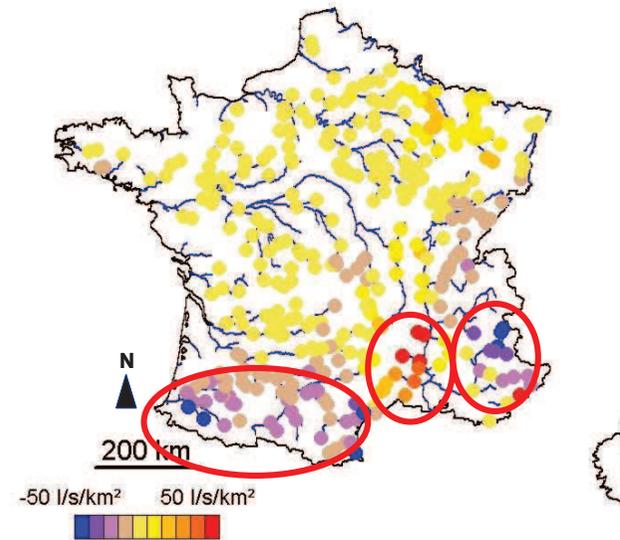
- analyse aux stations portant sur les écarts entre simulations « temps présent » et simulations « futures »
- synthèse cartographique des changements moyens sur plus de 400 points du réseau français

Sur les crues :

Occurrence des crues



Débit journalier maximal annuel de période de retour 10 ans

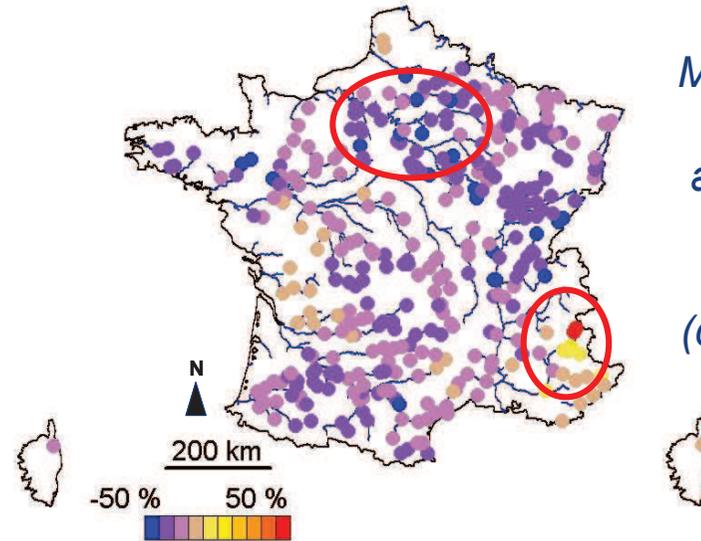
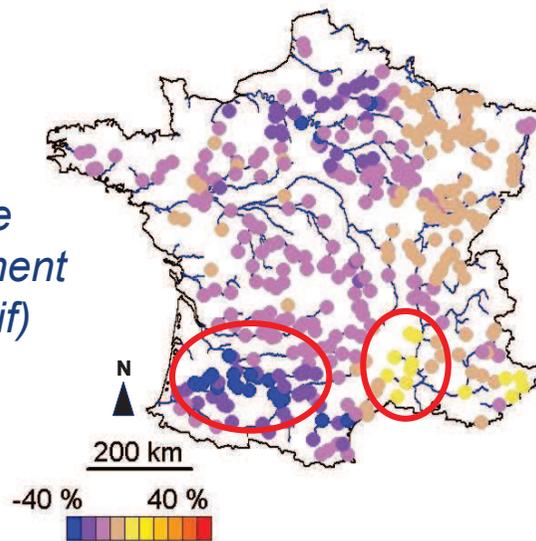


Changements projetés en milieu de siècle



Sur la ressource :

Module
(changement
en relatif)



Moyenne des
minimaux
annuels des
débits
mensuels
(changement
en relatif)

Changements attendus pour le milieu du XXI^e siècle

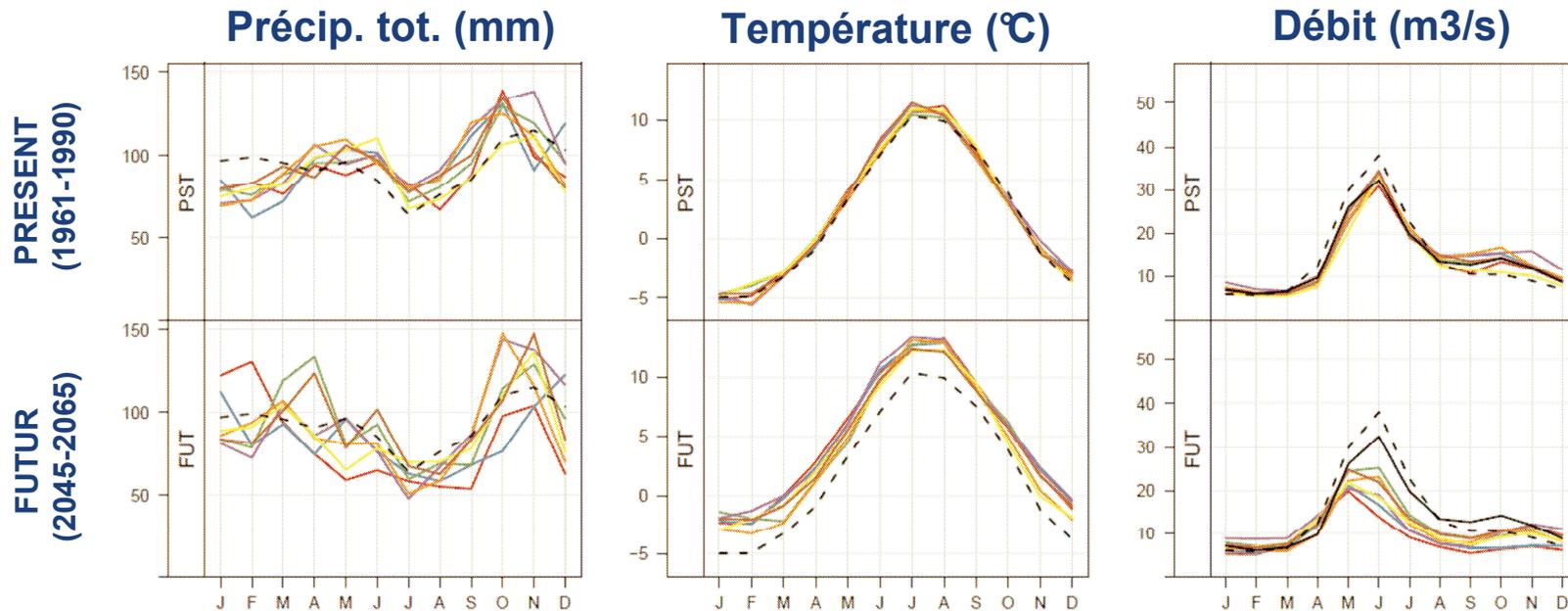
- ➔ Absence de tendance partagée par les modèles sur le régime des crues
- ➔ Diminution significative quasi-généralisée de la ressource en eau



Changements projetés en milieu de siècle



Un zoom sur la Durance au pas de temps mensuel :



Changements attendus pour la Durance à Briançon selon GR4J pour le milieu du XXI^e siècle

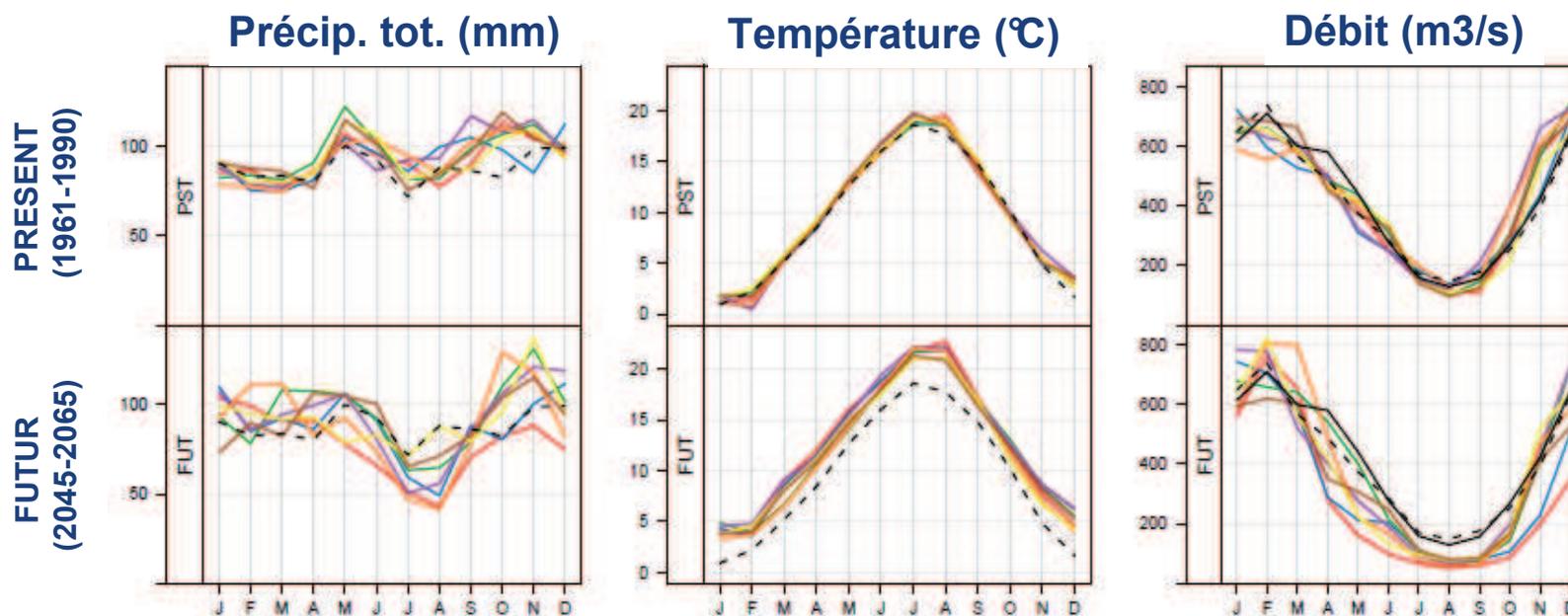
- ➔ Composante nivale atténuée sur les bassins de montagne
- ➔ Résultats cohérents avec un précédent projet de recherche, le projet GICC Rhône (Leblois, 2002)



Changements projetés en milieu de siècle



Un zoom sur la Saône au pas de temps mensuel :



Changements attendus pour la Saône à Macon selon Isba-Modcou pour le milieu du XXI^e siècle

- Étiages plus prononcés
- Réponse relativement incertaine en hiver





Certitudes et incertitudes

- Ne garder qu'une valeur, c'est masquer (délibérément) les incertitudes
- Utiliser plusieurs modèles reste à ce jour le moyen de mieux caractériser les incertitudes, de mieux cerner ce qui est robuste et au delà de ne pas optimiser une stratégie d'adaptation sur une seule évolution certainement contestable
- Les sources d'incertitude sont nombreuses (depuis la métrologie aux représentations de la physique des phénomènes, en passant par la prise en compte ou non des facteurs socio-économiques et aux éventuelles rétro-actions)
- Quelle est la source principale d'incertitude ? Elle diffère de la variable examinée (Sauquet *et al.*, 2012) :
 - Intensité des crues et module → les modèles climatiques
 - Dynamique des crues et étiages → les modèles hydrologiques
- Comment la réduire ? La question reste ouverte...

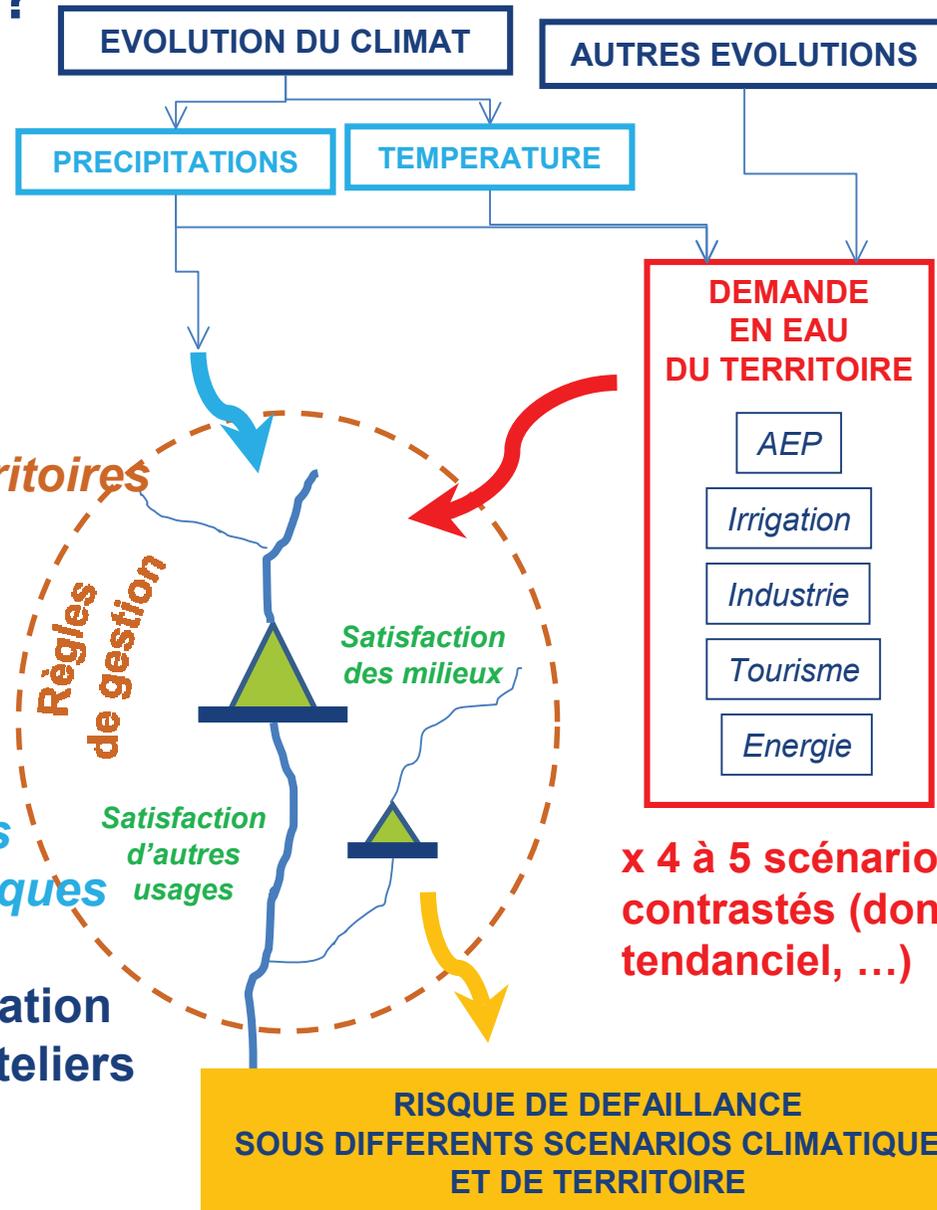


Prespective : des études d'impact nouvelles générations ?



Exemple : le projet R²D² 2050
 “Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050” (*en cours*)

Objectif : caractériser au mieux le système étudié (diagnostic, sensibilité et réponse du milieu) soumis à différentes perturbations en associant les acteurs pour construire leur avenir



5 modèles hydrologiques

x 4 à 5 scénarios contrastés (dont tendanciel, ...)



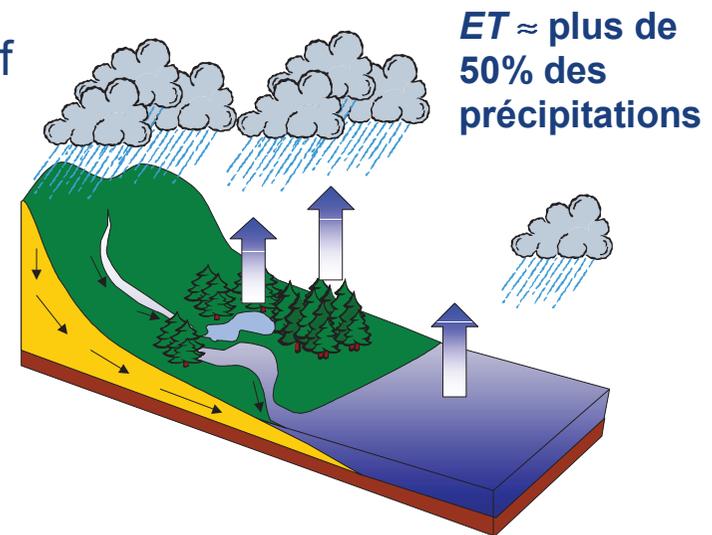
Octobre 2012 : mobilisation des acteurs dans les ateliers prospectifs (GTL)



Un nécessaire regard critique

Sur les données

- Connaître le futur requiert de connaître le passé et le présent, d'où nécessité d'entretenir un réseau de mesure
- Des réanalyses à résolution détaillée perfectibles sur des secteurs complexes (Gottardi, 2009)
- L'évapotranspiration *ET* : un terme clef pour quantifier les besoins en eau agricole mal connu
 - Influence non négligeable de cette variable sur les étiages estivaux
- Une quantification des influences humaines sur les débits : un préalable indispensable pour dissocier l'effet anthropique de la variabilité climatique et pour envisager la mise en place de nouvelles règles d'allocation (adaptation) (Sauquet *et al.*, 2009)





Un nécessaire regard critique

Sur les modèles

- Un modèle est une représentation de la réalité
- Sans filet dans des situations climatiques nouvelles, **TOUS** les modèles sont livrés à eux mêmes (d'où besoin de mieux comprendre les processus et de mieux les représenter en temps présent)
- Exploiter les modèles calés dans le passé est un pari/une hypothèse que les facteurs dominants sur lesquels ils se fondent resteront les mêmes
- Possibilité de bien s'ajuster sur les données temps présent mais des réponses extrêmes sous changement climatique
- Méfiance sur les études globales (résolution grossière, outils non adaptés et absence d'expertise notamment sur les données)





Un nécessaire regard critique

Sur les tendances identifiées

- La détection de tendance n'est pas une fin en soi. Il **FAUT** attribuer l'origine des tendances. Plusieurs origines possibles : problèmes météorologiques, influences humaines, changement climatique ou simple variabilité climatique...
- Attention à ne pas extrapoler des tendances détectées (ex. les bassins à composante glacière)
- Dans les deux études présentées (Giuntoli *et al.*, 2010, 2012 ; Bard *et al.*, 2012) :
 - soin apporté à la sélection des stations + changement cohérent sur plusieurs régions → la météorologie n'est sûrement pas la seule cause
 - tendances sur les caractéristiques d'étiage cohérentes avec les projections pour le XXI^e siècle **MAIS** dépendance de ces tendances à la fenêtre temporelle



Conclusions

« Les résultats ne constituent pas des prévisions mais des projections visant à donner une image des états possibles des cours d'eau français à l'horizon 2050-2070 » (Rapport Lot Hydrologie de surface A1 – Rapport de synthèse, )

Quels sont les changements possibles ?

- Diminution des étiages
- Peu d'évolution sur les crues
- Glissement des régimes hydrologiques influencés par la neige vers des régimes pluviaux

Quelle est la cohérence des résultats ?

- Forte cohérence sur les étiages
- Désaccord des modèles sur les évolutions des crues (les modèles sont en accord sur des régions mal reproduites en temps présent)



Merci de votre attention



Risque, Ressource en eau et gestion Durable de la Durance en 2050



EXPLORE2070



References

- Bard et al. (2012). Floods in the Alpine areas of Europe. In « Changes in flood risk in Europe », Chap. 20, IAHS Press. Editor Z. W. Kundzewicz, 362-371.
- Boé et al. (2006). A simple statistical-dynamical downscaling scheme based on weather types and conditional resampling. *J. Geophys. Res.*, 111:D23106.
- Giuntoli et al. (2012). Floods in the Alpine areas of Europe. In « Changes in flood risk in Europe », Chap. 20, IAHS Press. Editor Z. W. Kundzewicz, 199-211.
- Giuntoli, I. & Renard, B. (2010). Identification des impacts hydrologiques du changement climatique : constitution d'un réseau de référence pour la surveillance des étiages. Rapport d'étude Cemagref-ONEMA, 106 pages.
- Gottardi, F. (2009). Estimation statistique et réanalyse des précipitations en montagne - Utilisation d'ébauches par types de temps et assimilation de données d'enneigement – Application aux grands massifs montagneux français. Thèse de doctorat, INPG, Grenoble, 261 pages.
- Habets et al. (2008). The SAFRAN-ISBA-MODCOU hydrometeorological model applied over France. *J. Geophys. Res.*, 113:D06113.
- Leblois, E. (2002). Évaluation des possibles impacts du changement climatique par modélisation distribuée (projets Gewex-Rhône et Gicc-Rhône). *La Houille Blanche*, 8:78-83.
- Perrin et al. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *J. Hydrol.*, 279(1-4):275–289.
- Renard et al. (2008). Regional methods for trend detection: assessing field significance and regional consistency, *Water Resour. Res.*, doi:10.1029/2007WR006268, 44, W08419.
- Sauquet et al. (2009). Impacts anthropiques et étiages de la Garonne à l'horizon 2030. Proceedings of the “Colloque 193 SHF : Etiages, Sécheresses, Canicules rares et leurs impacts sur les usages de l'eau”, Lyon, France, 7-8/10/ 2009.
- Sauquet et al. (2012). Climate and hydrological uncertainties in projections of flood and low-flows in France. *Geophysical Research Abstracts*, 14, EGU2012-5424, 2012.
- Vidal et al. (2010). A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *Int. J. Climatol.*, 30:1627-1644.

