



Quels impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau ?

Charles Perrin

Irstea - Antony

charles.perrin@irstea.fr



www.irstea.fr

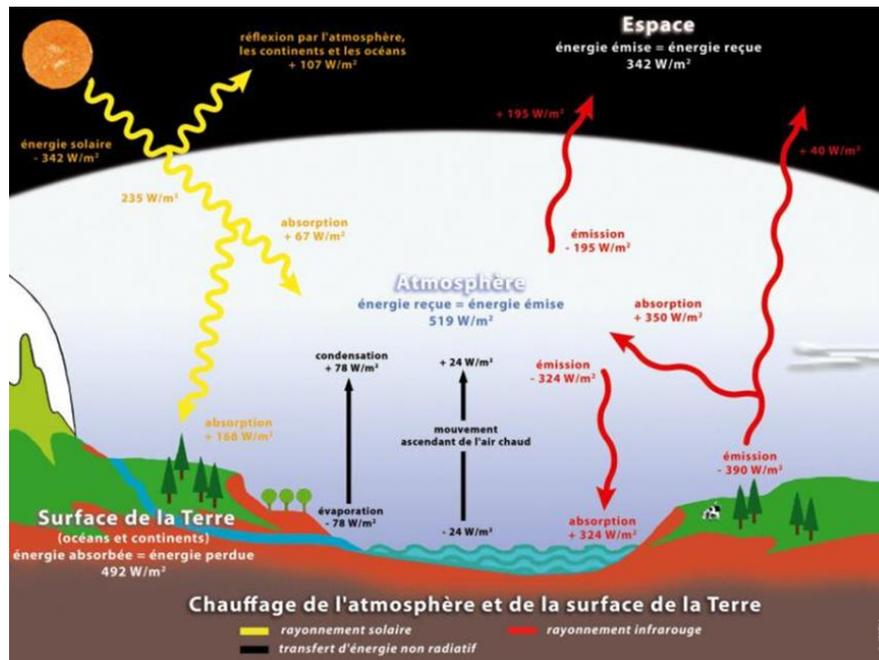
Journée d'échanges Projection
24 janvier 2014 – AFD – Paris



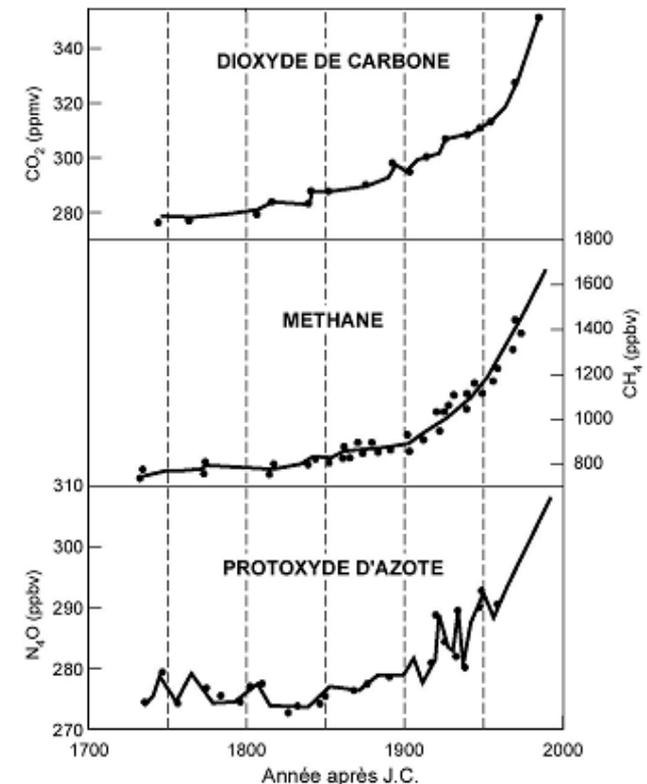
Le changement climatique, pourquoi ?

Exacerbation du phénomène naturel d'effet de serre

En cause, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre en lien avec les activités humaines

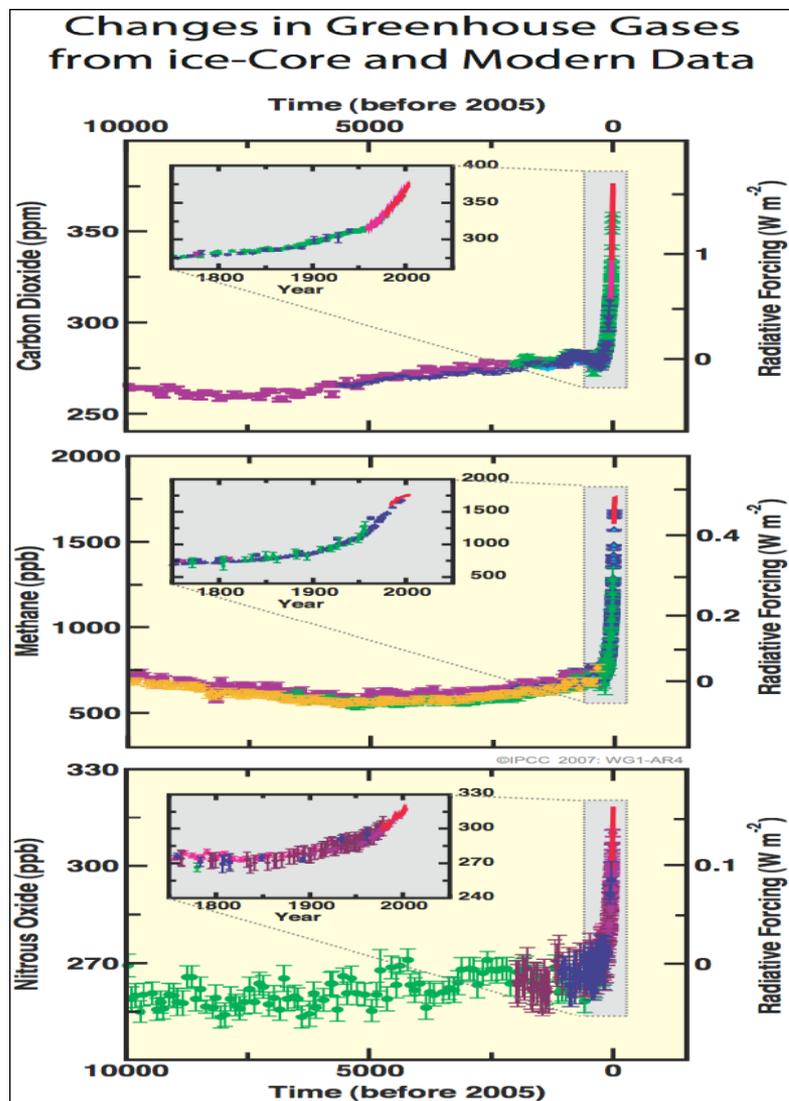


<http://www.insu.cnrs.fr/image2888.html>



Duplessy, J.-C. (2001). Etat des connaissances et incertitudes sur le changement climatique induit par les activités humaines. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 333(12): 765-773.

Variabilité naturelle ou réel changement ?



(Source : Le Treut, 2013)

Des conséquences déjà observables ?

⇒ augmentation de la température de surface de la Terre

⇒ augmentation du niveau moyen des océans

⇒ diminution de la couverture neigeuse

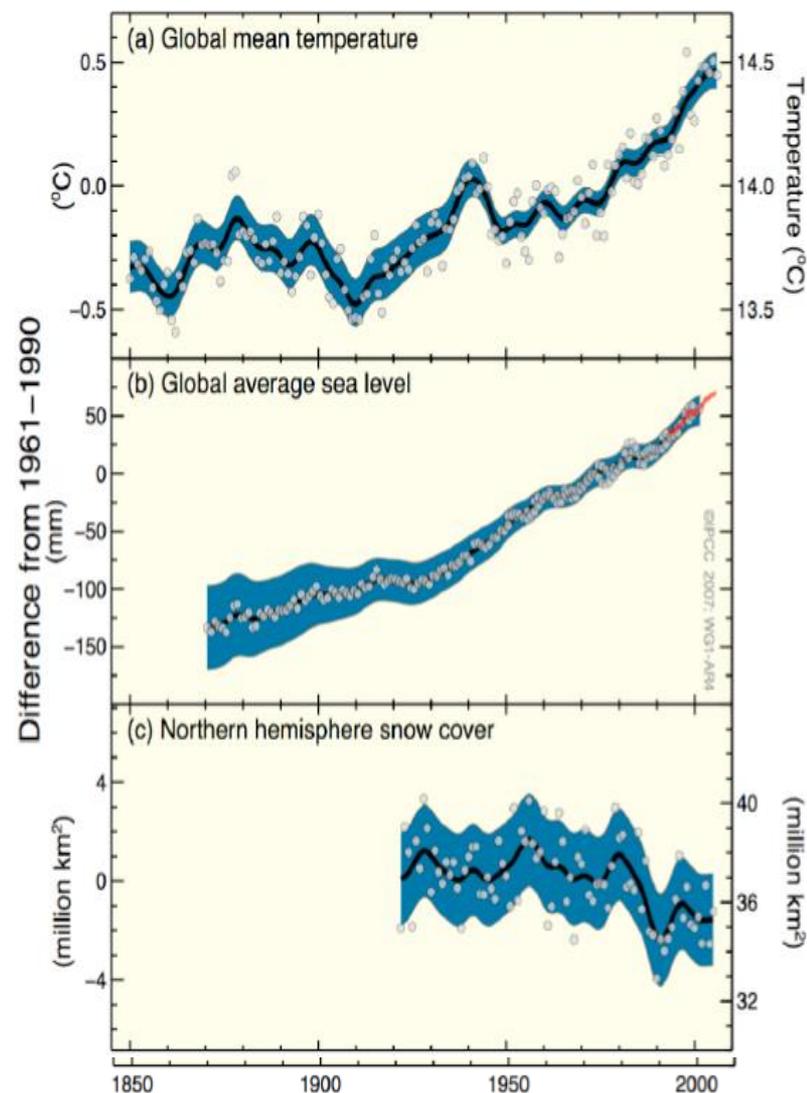


FIGURE SPM-3. Observed changes in (a) global average surface temperature; (b) global average sea level rise from tide gauge (blue) and satellite (red) data and (c) Northern Hemisphere snow cover for March-April. All changes are relative to corresponding averages for the period 1961-1990. Smoothed curves represent decadal averaged values while circles show yearly values. The shaded areas are the uncertainty intervals estimated from a comprehensive analysis of known uncertainties (a and b) and from the time series (c).

Des différences entre continents ?

Global and Continental Temperature Change

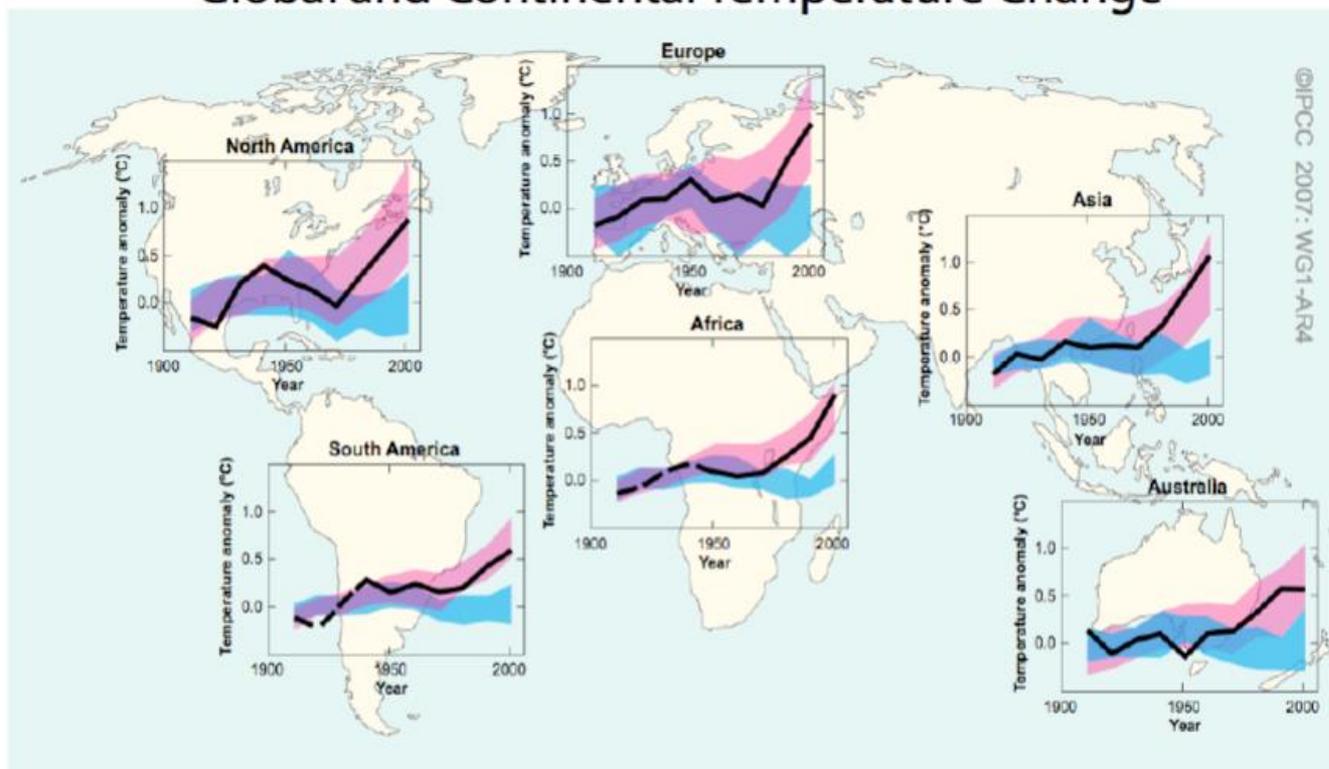
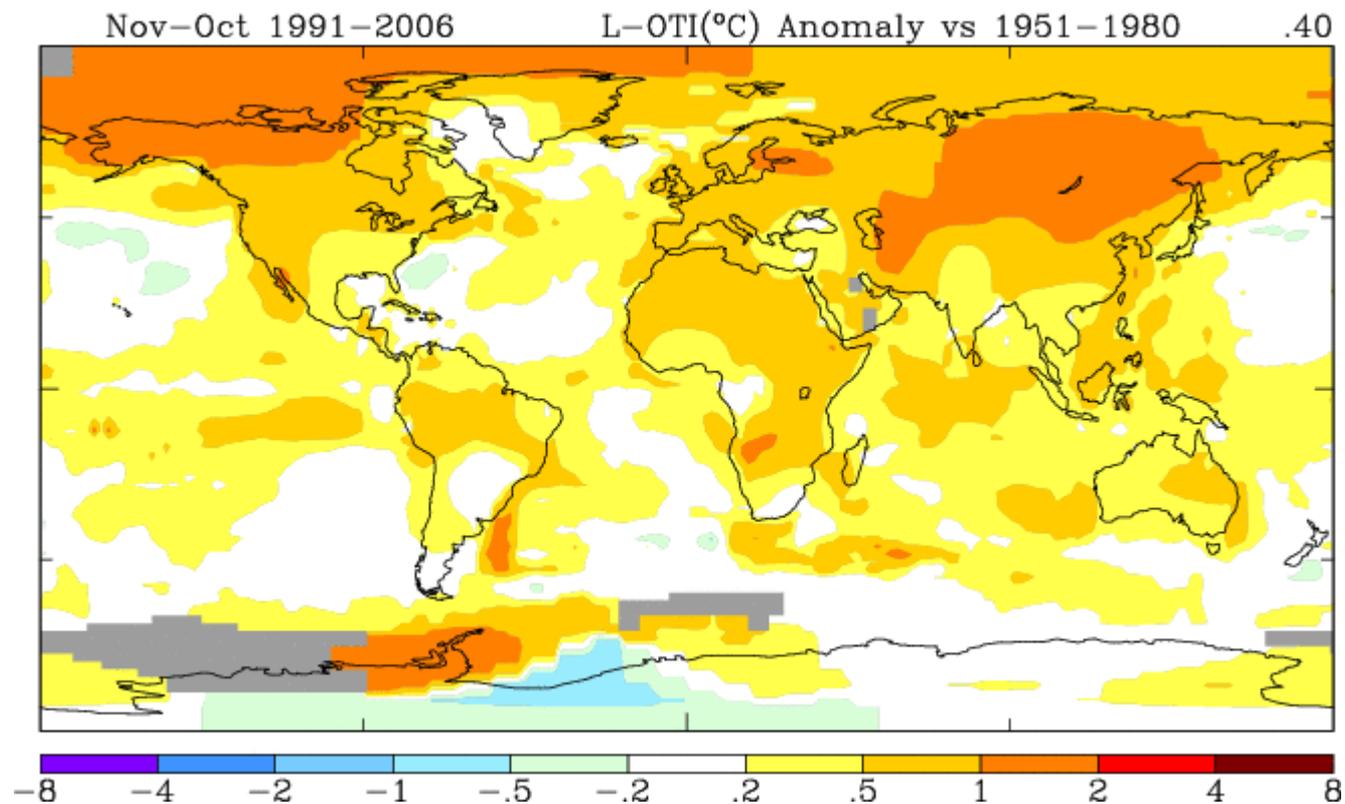


FIGURE SPM-4. Comparison of observed continental- and global-scale changes in surface temperature with results simulated by climate models using natural and anthropogenic forcings. Decadal averages of observations are shown for the period 1906–2005 (black line) plotted against the centre of the decade and relative to the corresponding average for 1901–1950. Lines are dashed where spatial coverage is less than 50%. Blue shaded bands show the 5–95% range for 19 simulations from 5 climate models using only the natural forcings due to solar activity and volcanoes. Red shaded bands show the 5–95% range for 58 simulations from 14 climate models using both natural and anthropogenic forcings.

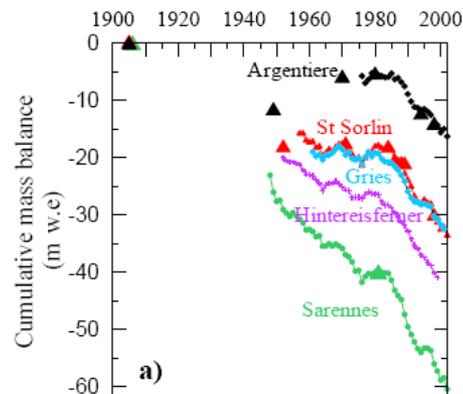
Des changements rapides



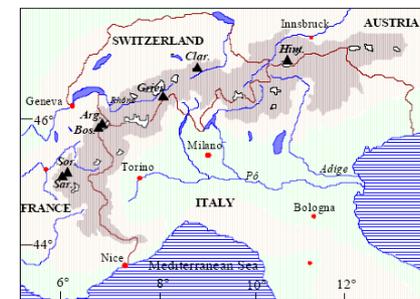
(Source : GIEC)

Quelques exemples

⇒ glaciers en régression



Le glacier d'Argentière perd 15 cm d'eau par an



<http://www-igge.uif-grenoble.fr/ServiceObs/images/bilan-climat.pdf>

Glacier d'Argentière vers 1850



Glacier d'Argentière vers 1960



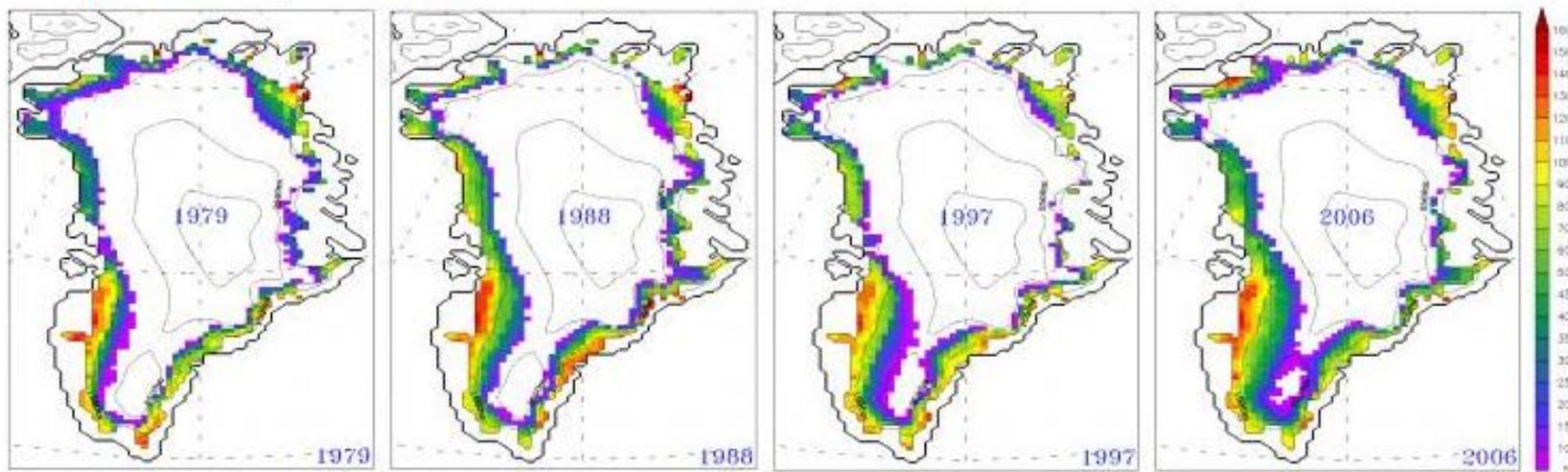
source: J. Guiscafre, « L'hydrologie urbaine »

Quelques exemples

⇒ augmentation du nombre de jours de fonte de fonte

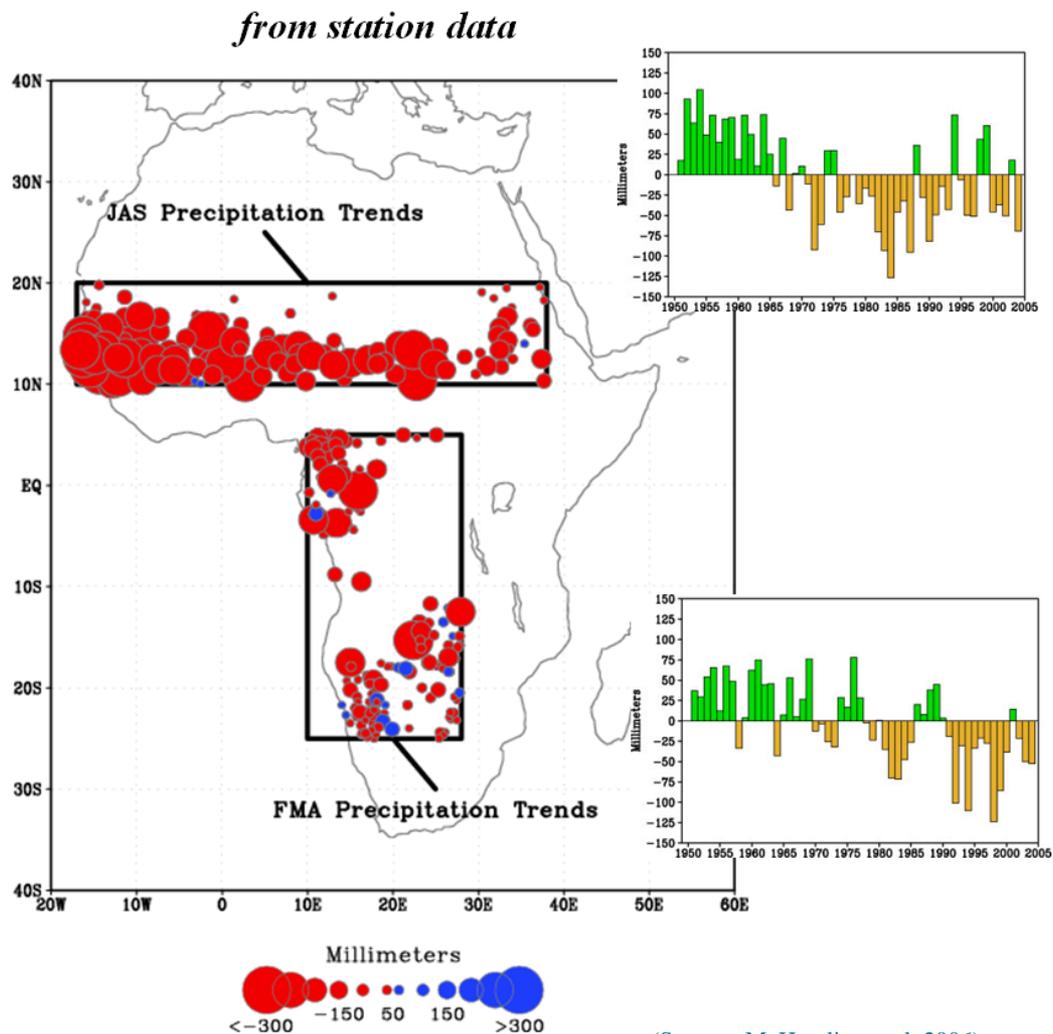
Progression du nombre de jours de fonte à la surface du Groenland entre 1979 et 2006. Chaque carré fait 25 kilomètres de côté.

© Université catholique de Louvain



Quelques exemples

⇒ Evolution des précipitations de la mousson africaine

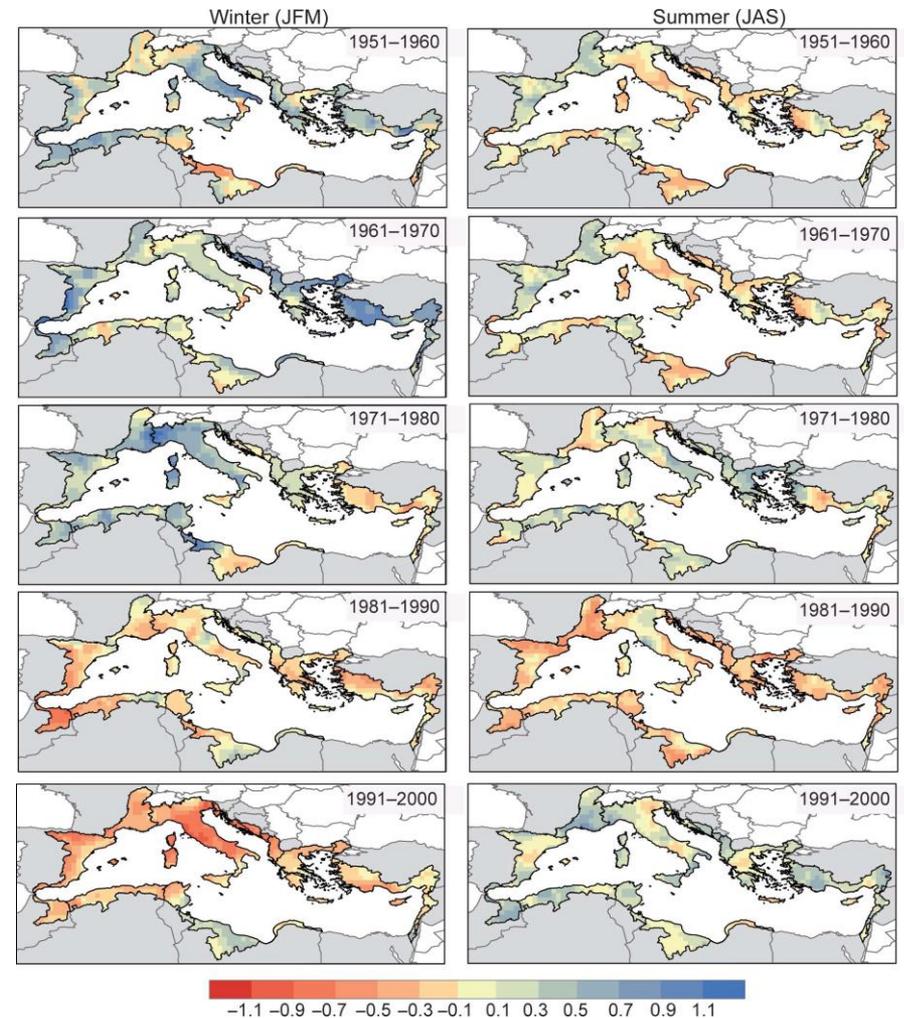


(Source : M. Hoerling et al. 2006)

Quelques exemples

⇒ Evolution climatiques sur le pourtour méditerranéen sur 1951-2000

- Analyse sur 73 groupes de bassins sur le pourtour méditerranéen
- Tendence à la baisse des précipitations hivernales
- Augmentation des températures de 0.1°C par décennie depuis la fin des années 1970, avec des étés plus chauds



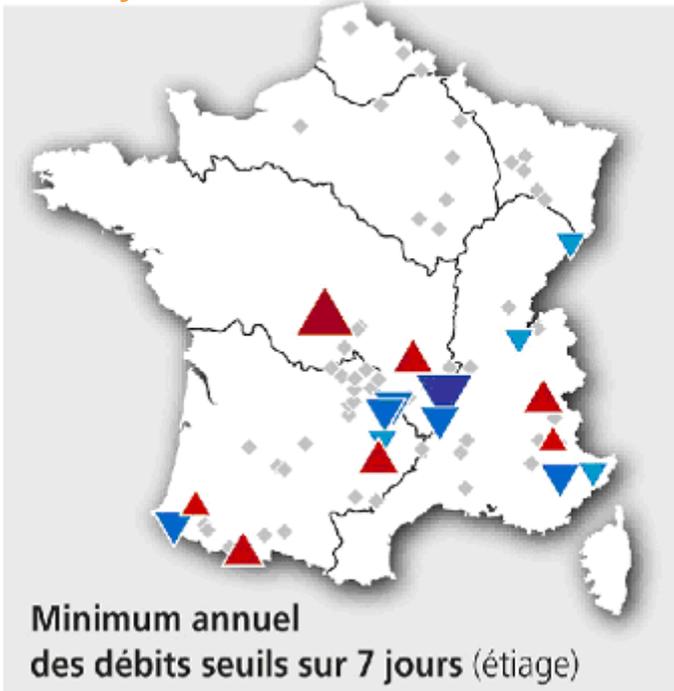
(Source : Milano et al. (2013))

Comment évaluer les changements passés ?

- Détection de tendance et/ou de rupture dans les séries d'observation passées
- Utilisation de tests statistiques adaptés

✓ Exemple : Tests de **détection d'évolutions** : séries hydrométriques en France (crues et étiages)

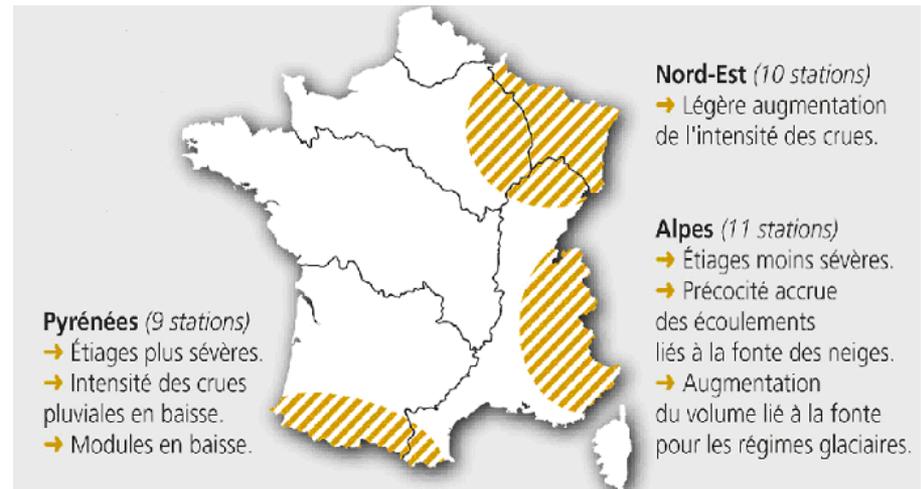
Analyse locale



Changement sur la moyenne (significativité)



Analyse régionale



Renard *et al.*, 2006. Évolution des extrêmes hydrométriques en France à partir de données observées. La Houille blanche, 6, 48-54.

Lang *et al.*, 2003. Projet PNRH : Détection de changements éventuels dans le régime des crues : Convention INSU 02CV036. 75 p.

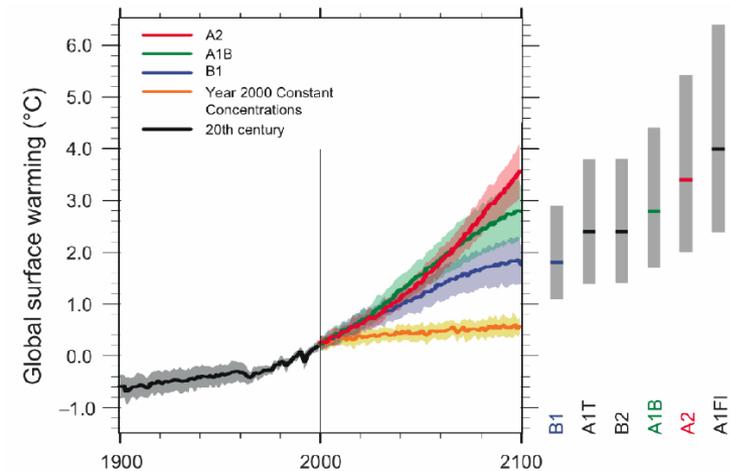
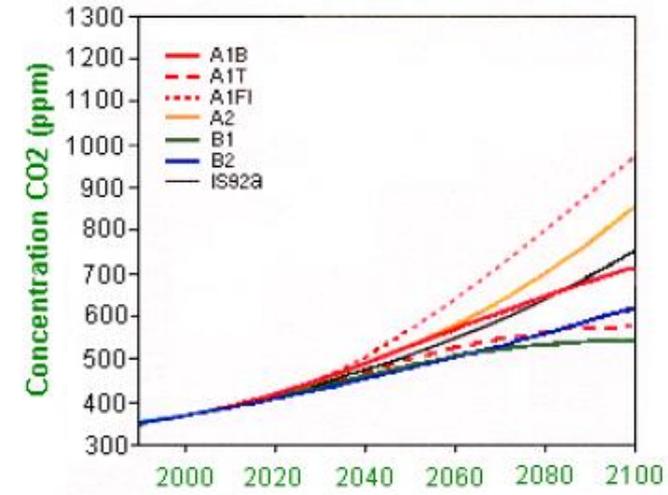
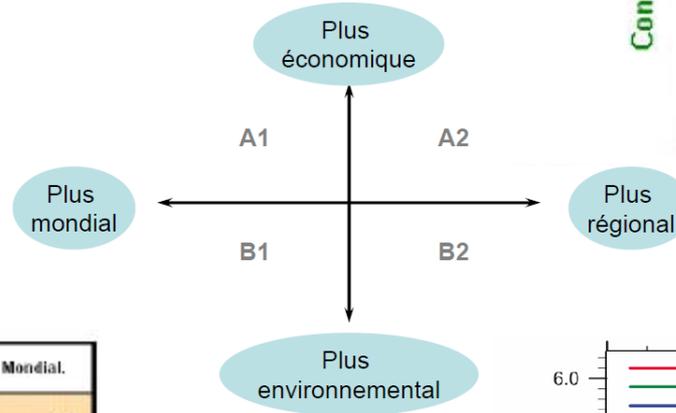
Quels futurs possibles ?

- Approche basée sur des outils de modélisation du climat et du cycle de l'eau à l'échelle

- Etapes principales des études d'impact :
 - Définition de scénarios
 - Modélisation du climat à large échelle
 - Descente d'échelle
 - Modélisation hydrologique
 - Analyse des impacts

Scénarios futurs

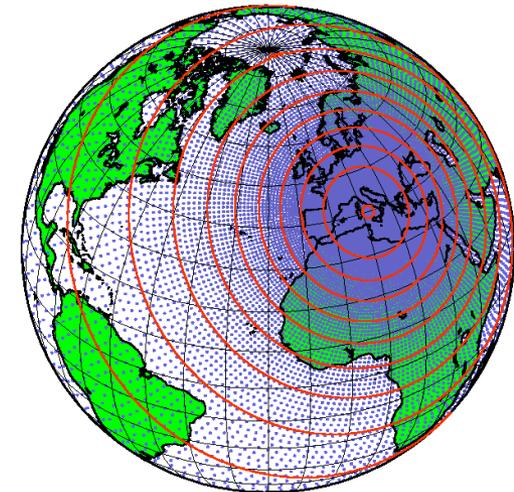
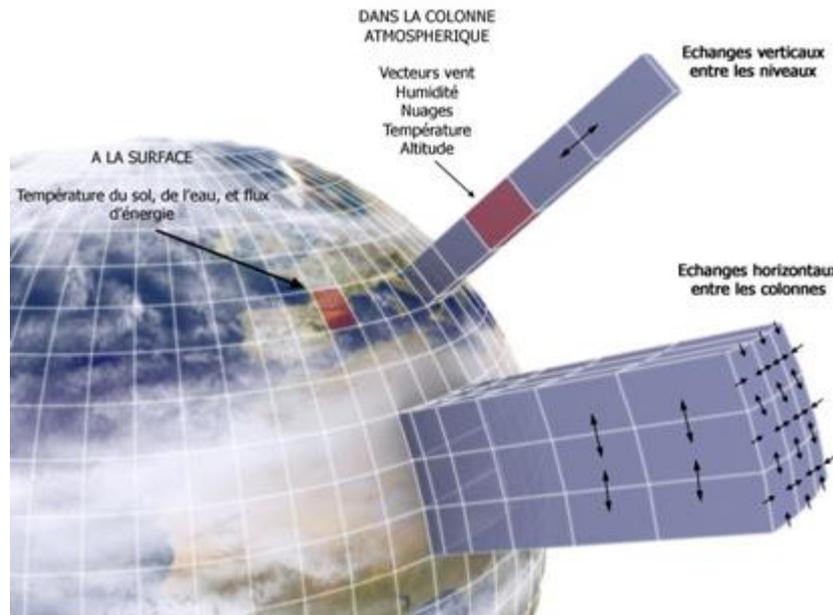
- Etablissement de scénarios socio-économiques, fonction de la démographie, des évolutions socio-économiques et de la technologie



Scénario	Population	Economie	Environ.	Equité	Technologie	Mondial.
A1FI	↘	↗	↘	↗	↗	↗
A1B	↘	↗	↗	↗	↗	↗
A1T	↘	↗	↗	↗	↗	↗
B1	↘	↗	↗	↗	↗	↗
A2	↗	↗	↘	↘	↗	↘
B2	↗	↗	↗	↗	↗	↘

Modélisation du climat

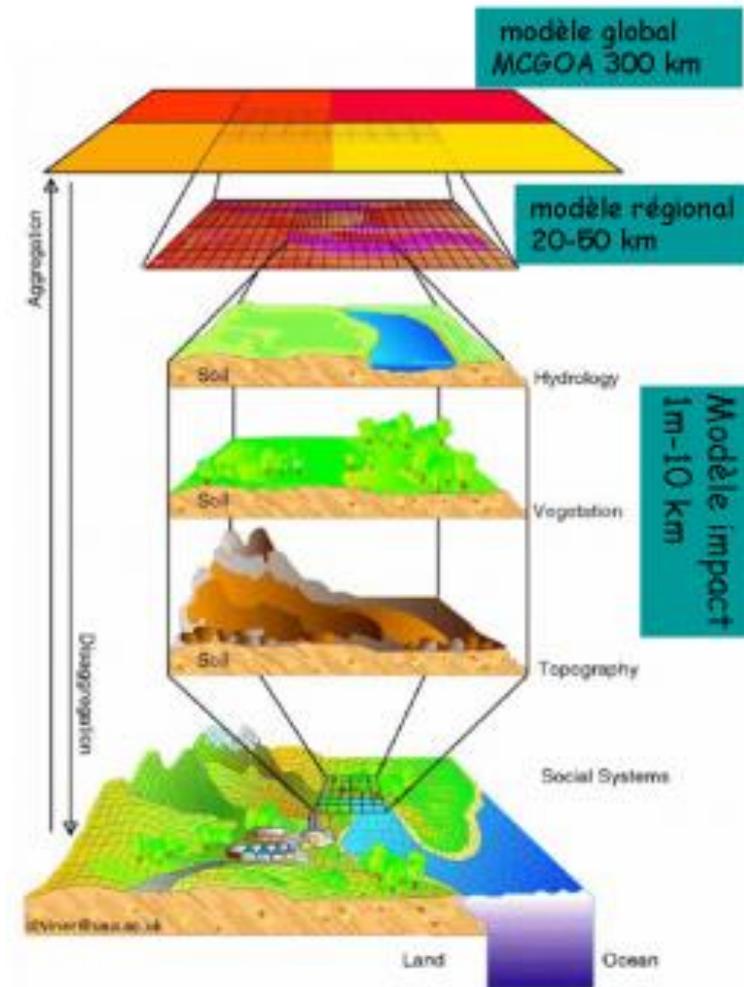
- Modèles de circulation générale
 - Modélisation complète de l'atmosphère et de l'océan (transferts de masse et d'énergie) + interfaces + cycle du carbone
 - Résolution de l'ordre de quelques centaines de kilomètres (éventuellement variables)



Points de grille ARPEGE climat maille étirée pôle Méditerranée

Descente d'échelle

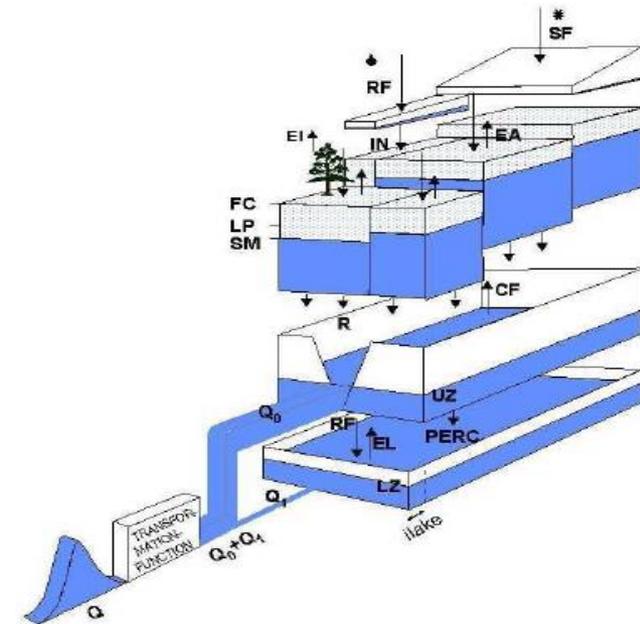
- Maille des modèles climatiques généralement trop large pour des applications hydrologiques
- Nécessité d'appliquer des méthodes de descente d'échelle (statistiques ou dynamiques)
- Application de méthodes de correction de biais pour assurer une meilleure correspondance entre observations et simulations en temps présent



(Source Climate Research Unit, University of East Anglia)

Modélisation hydrologique des bassins versants

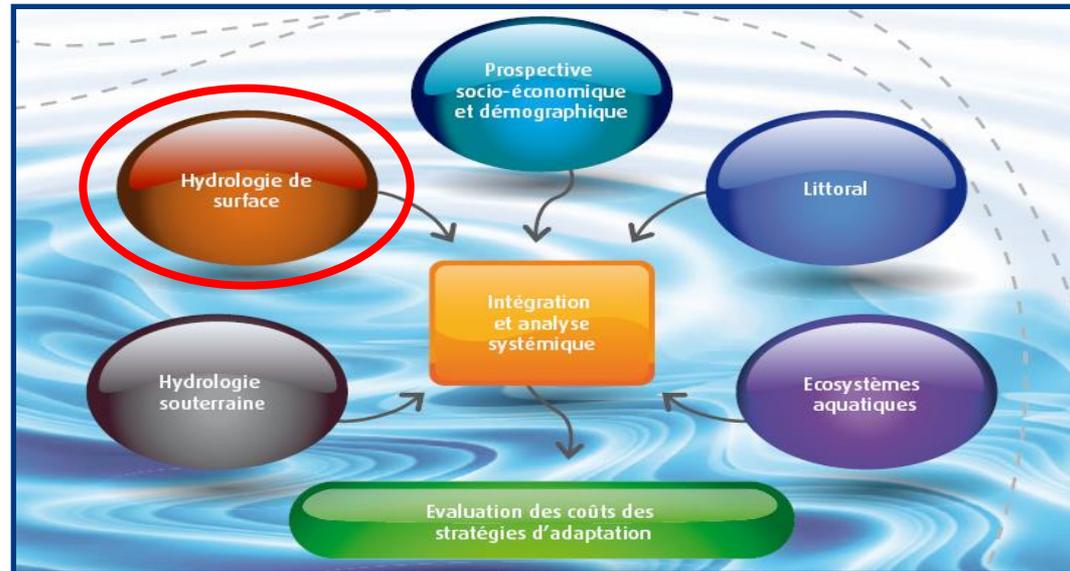
- Représentations simplifiées du bassin versant, permettant de simuler la réponse hydrologique aux variables climatiques (précipitation, température)
- Processus hydrologiques forcés par les simulations du climat
- Evolutions quantifiées par différence entre simulations en temps présent et simulation en temps futur



Exemple d'étude d'impact : le projet Explore2070



- Projet piloté par le Ministère de l'Ecologie (2010-2012)
- Objectif :
Analyse globale et transversale des impacts des changements climatiques à l'horizon 2070 pour élaborer puis évaluer des stratégies d'adaptation au changement climatique dans le domaine de l'eau
- Site : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-des-strategies-d.html>



Exemple d'étude d'impact : le projet Explore2070

- Chaîne de modélisation adoptée

1 scénario : A1B

X

7 GCM

X

1 méthode

X

2 modèles

- *Isba-Modcou*
- *GR4J*

14 projections

Choix de Scénario
d'émission de GES

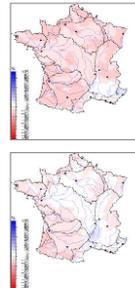
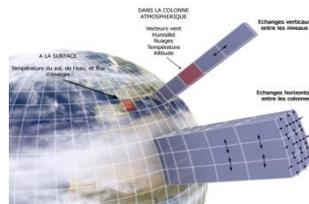
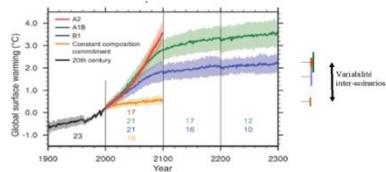
Modélisation
climatique (GCM)

Descente d'échelle
(par ex. RCM)

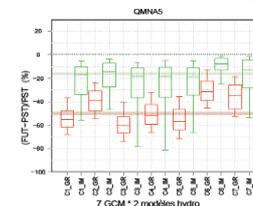
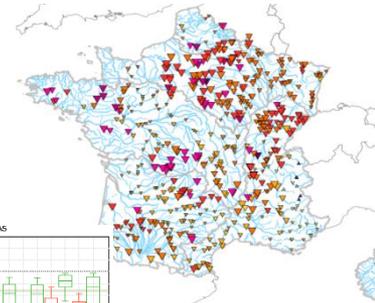
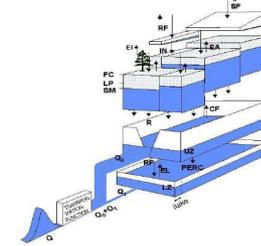
Correction de biais
éventuelle

Modélisation
hydrologique

Analyse
statistique des
résultats
Analyse
d'incertitudes
Illustration



...

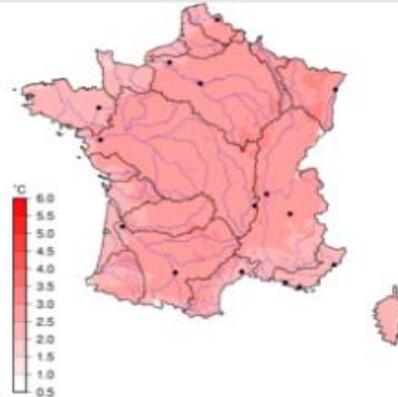


Exemple d'étude d'impact : le projet Explore2070

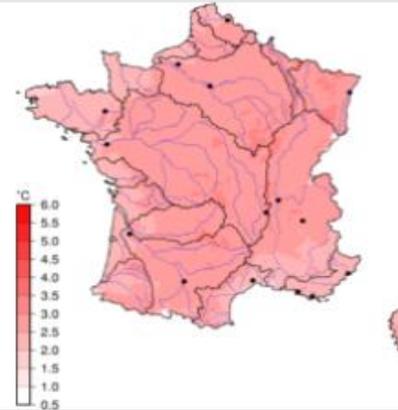
Écarts de température moyennes en été : futur (2046-2065)-référence (1961-1990)

ETE

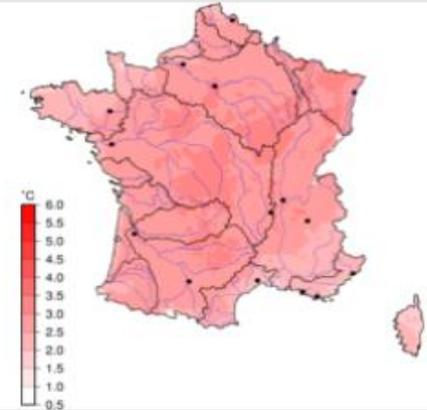
CCCMA-CGCM3



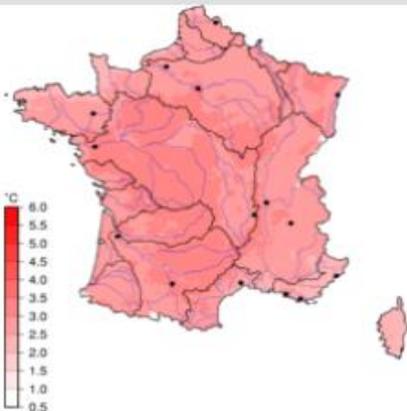
ECHAM5-MPI



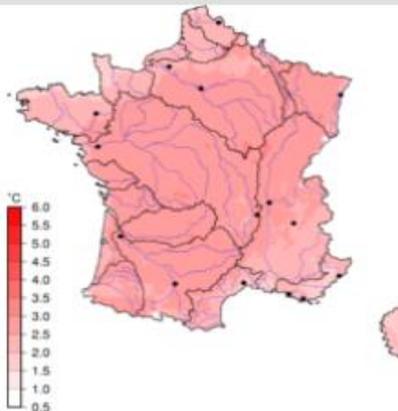
AIB-ARPV3



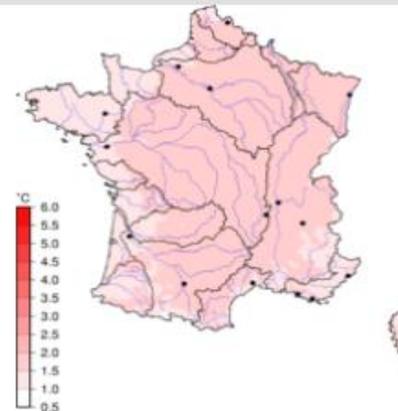
GFDL-CM2.0



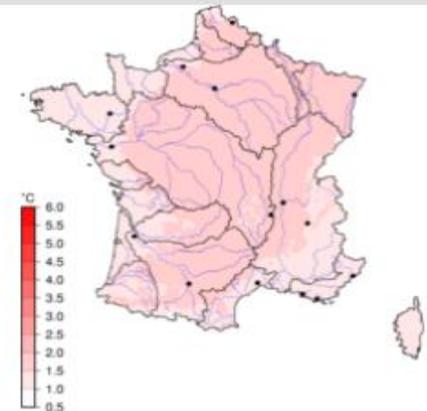
GFDL-CM2.1



GISS-MODEL-ER



MRI-CGCM2.3.2

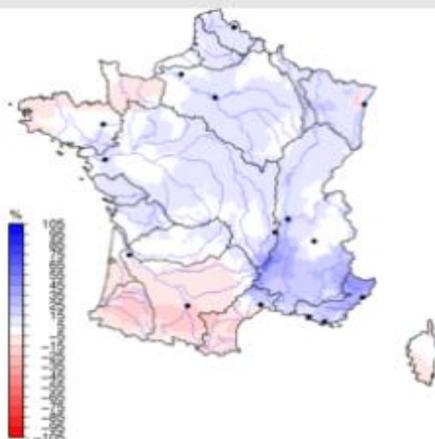


Exemple d'étude d'impact : le projet Explore2070

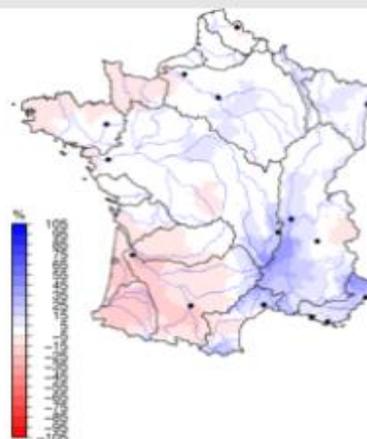
Rapports de cumuls de précipitations hiver
[futur (2046-2065)-référence]/référence (1961-1990)

HIVER

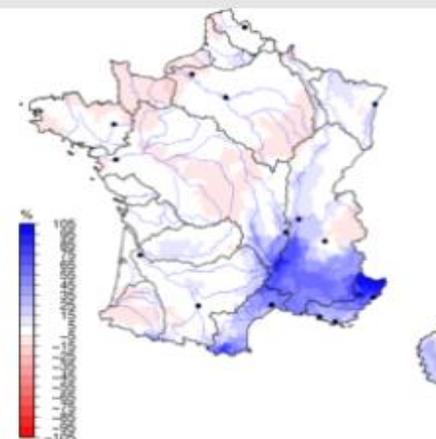
CCCMA-CGCM3



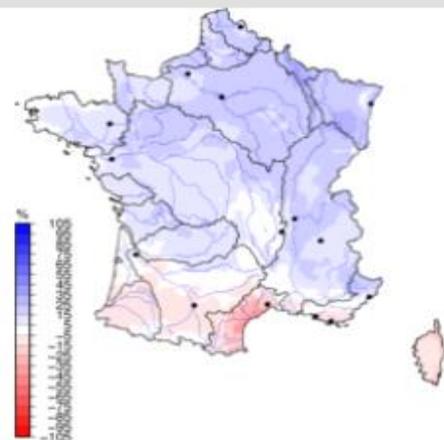
ECHAM5-MPI



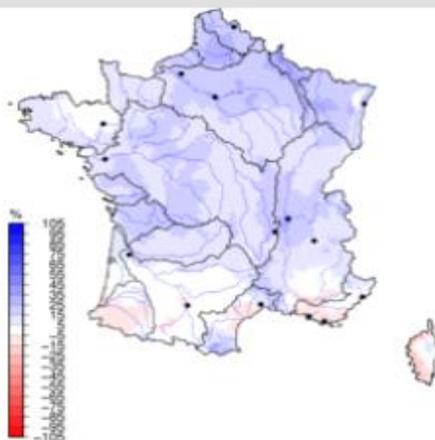
AIB-ARPV3



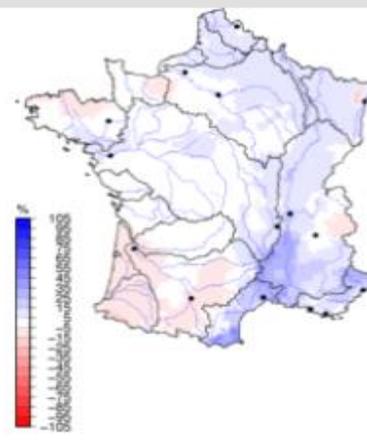
GFDL-CM2.0



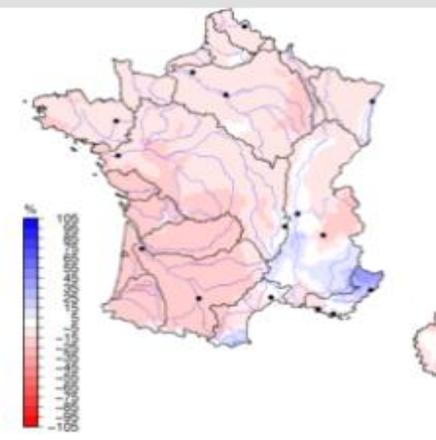
GFDL-CM2.1



GISS-MODEL-ER



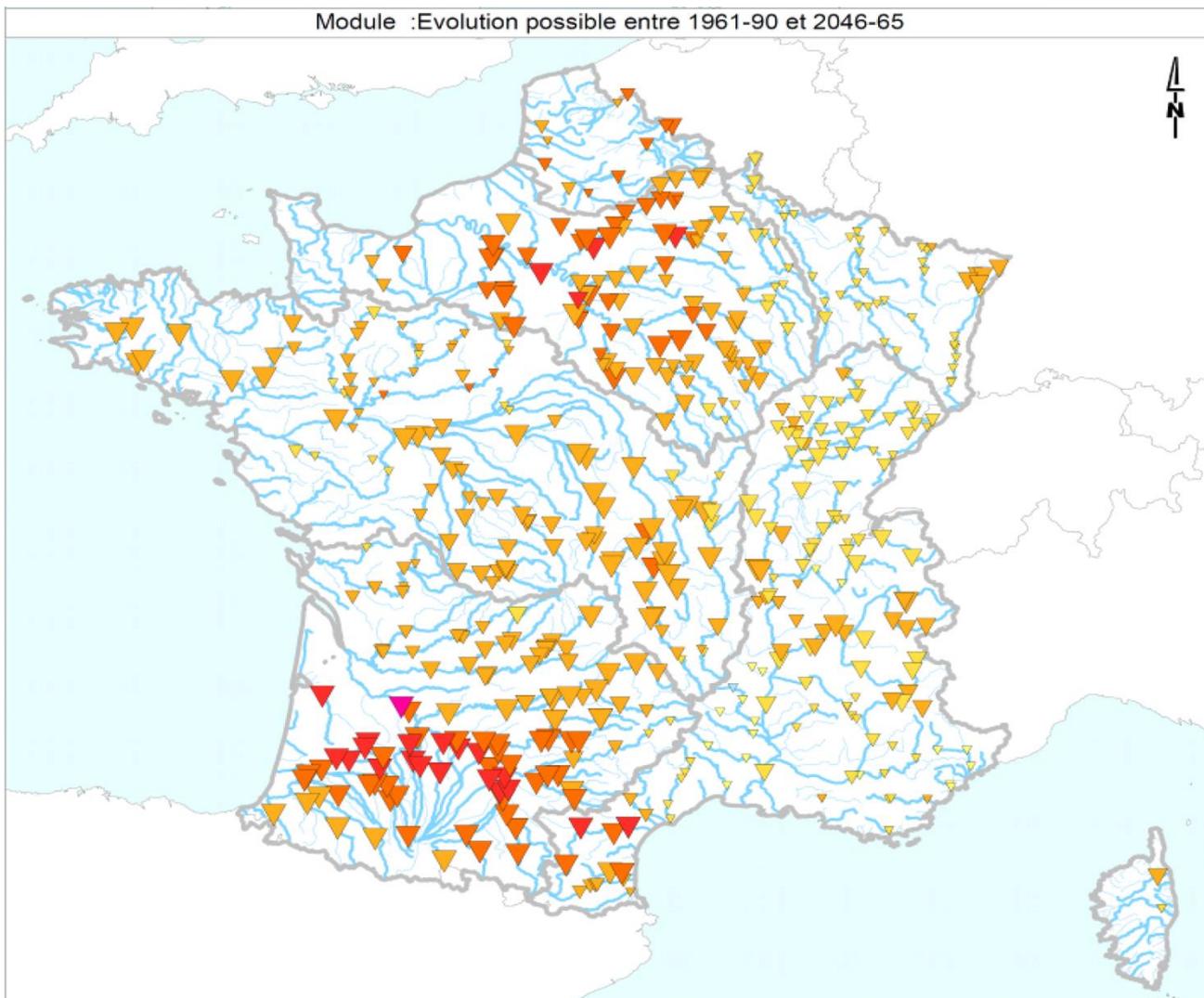
MRI-CGCM2.3.2



Exemple d'étude d'impact : le projet Explore2070

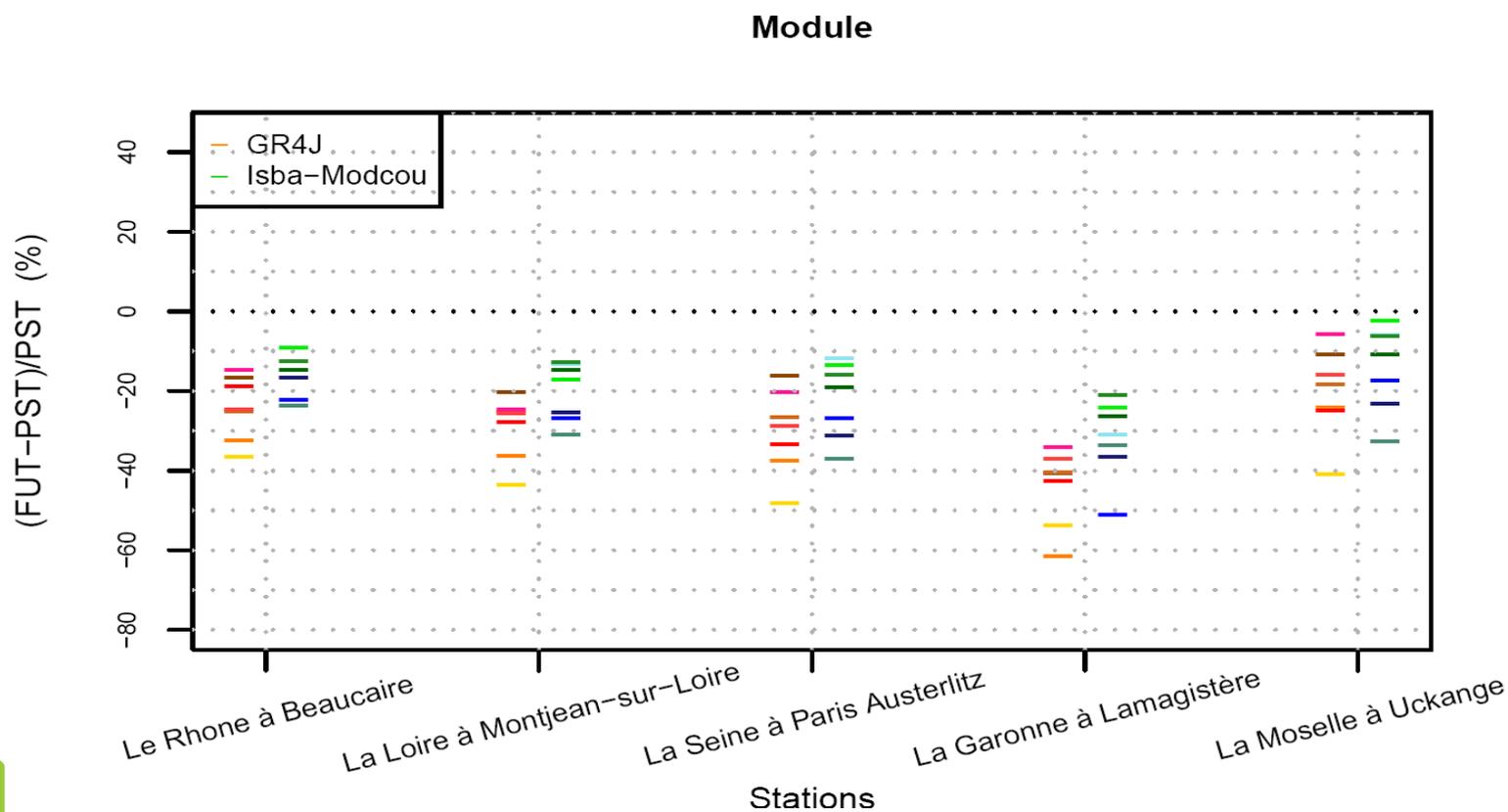
Evolution du débit moyen annuel

Module : Evolution possible entre 1961-90 et 2046-65



Exemple d'étude d'impact : le projet Explore2070

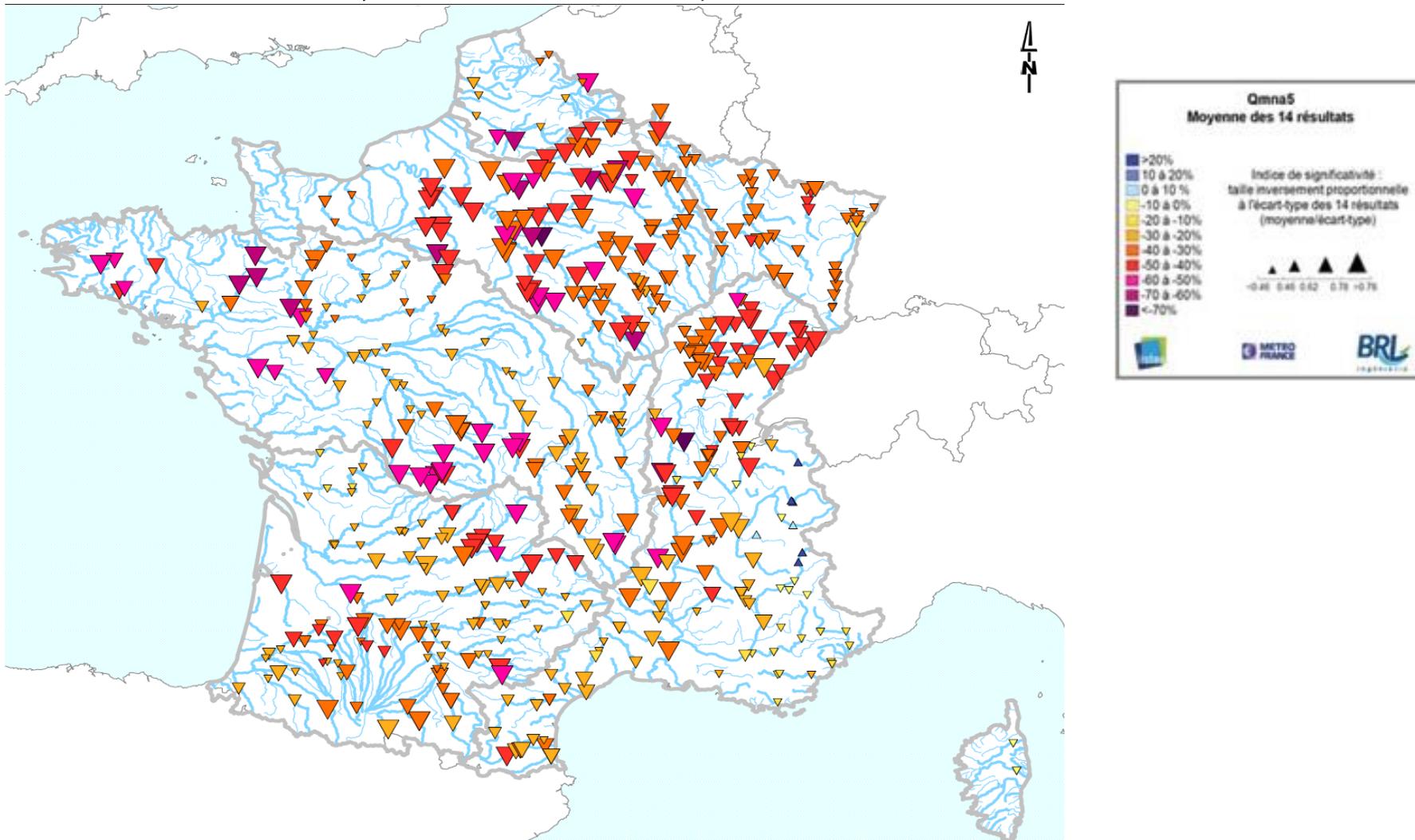
Aperçu des résultats pour cinq grands bassins



Exemple d'étude d'impact : le projet Explore2070

Evolution des étiages

Débit mensuel minimal annuel de période de retour 5 ans : Evolution possible entre 1961-90 et 2046-65



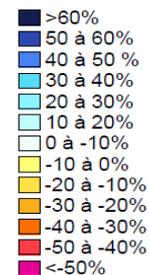
Exemple d'étude d'impact : le projet Explore2070

Evolution des crues

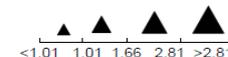
Débit journalier maximal annuel de période de retour 10 ans : Evolution possible entre 1961-90 et 2046-65



Qjxa10
Moyenne des 14 résultats

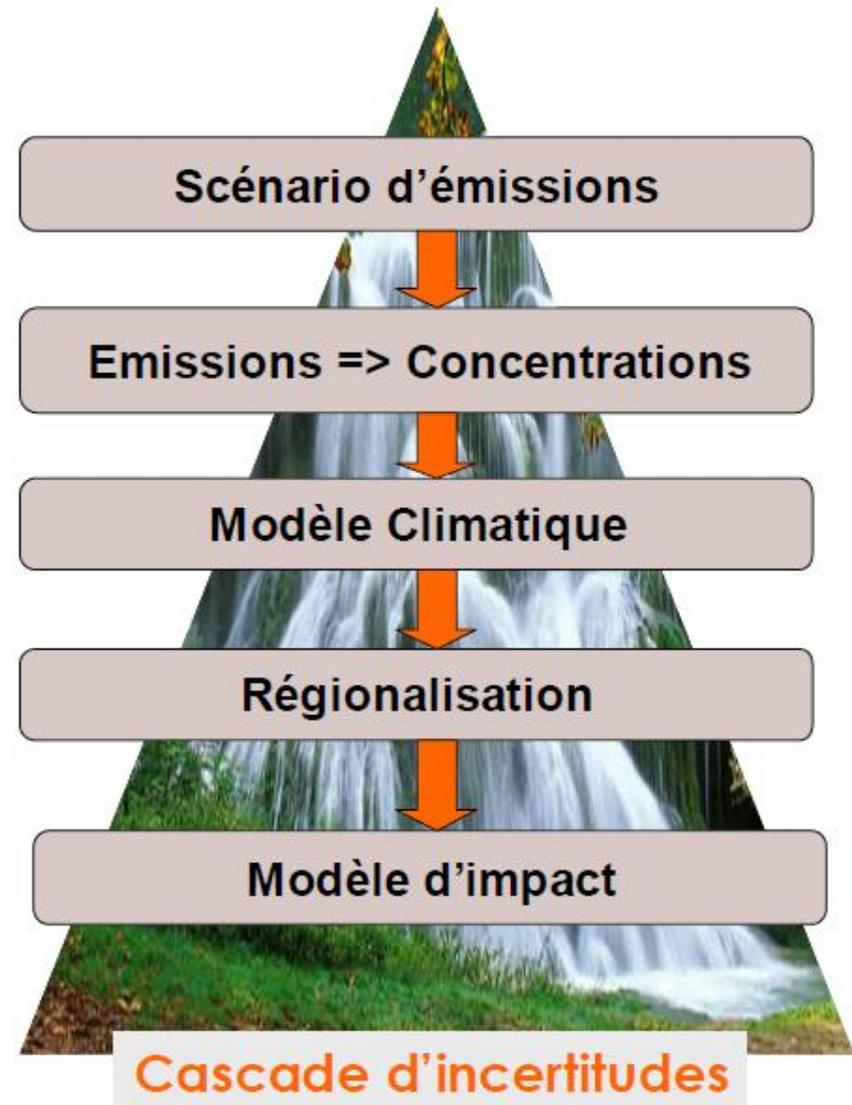


Indice de significativité :
taille inversement proportionnelle
à l'écart-type des 14 résultats
(moyenne/écart-type)



De nombreuses sources d'incertitudes

- Résultats d'études d'impact inutiles sans quantification des incertitudes associées
- Erreurs liées aux modélisations parfois de l'ordre de grandeur des tendances mises en évidence dans les projections
- Prudence sur l'interprétation des résultats



(Source DRIAS)

Vers des stratégies d'adaptation

- Les incertitudes ne doivent pas empêcher l'action
- Nombreuses conséquences potentielles en termes de risques et d'accès à la ressource :
 - Inondations
 - Eau potable
 - Agriculture
 - Production énergétique
 - Etc.
- Possibilité de tester des stratégies d'adaptation



Source : Union of Concerned Scientists

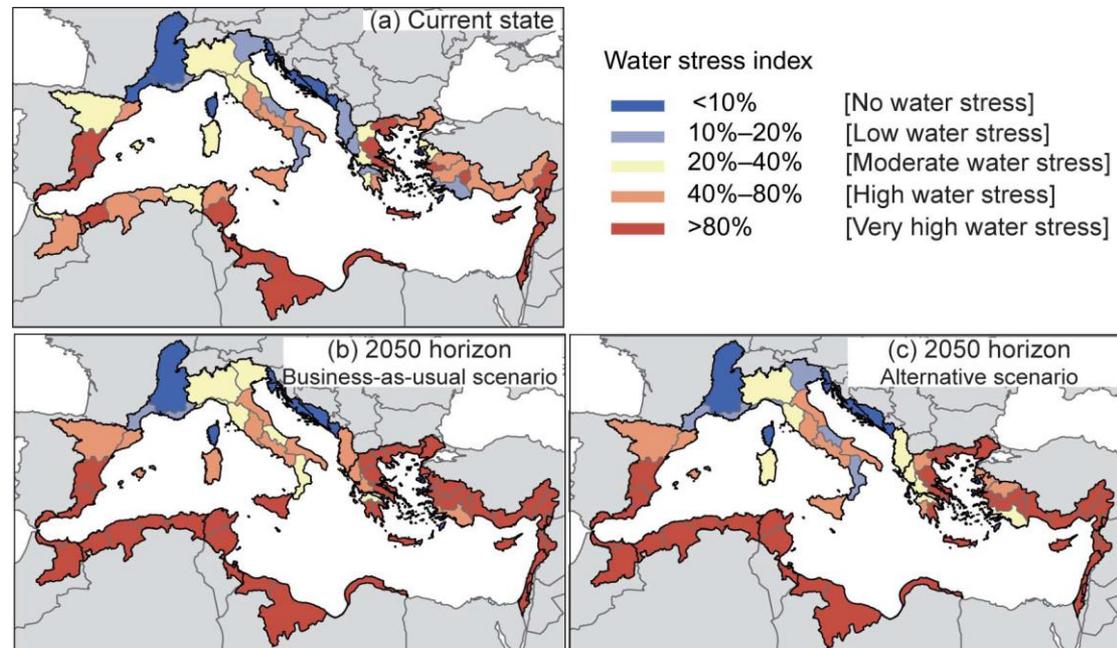
Vers des stratégies d'adaptation

Exemple sur le bassin méditerranéen

- Evolution de l'indice de stress hydrique (rapport entre eau prélevée et eau disponible)
- Deux scénarios : « business-as usual » et objectifs atteints de la Stratégie méditerranéenne pour le développement durable
- Nombreux bassins déjà en état de stress

- Augmentation future du stress pour de nombreux pays, notamment au Maghreb

- Efficacité du scénario alternatif sur les bassins présentant un stress modéré



Conclusion et perspectives

- Forts enjeux environnementaux et sociétaux des changements climatiques
- Dimension humaine, stratégique et géopolitique
- Echelle régionale indispensable pour le développement de stratégies d'adaptation
- Grandes différences entre les pays dans leur résilience face aux changements climatiques et leur capacité à mettre en place des stratégies d'adaptation
- Besoin de progresser dans notre connaissance du système Terre