

Que peut-on dire de l'évolution des ressources en eau au cours des prochaines décennies en réponse au changement climatique ?

Agnès Ducharne

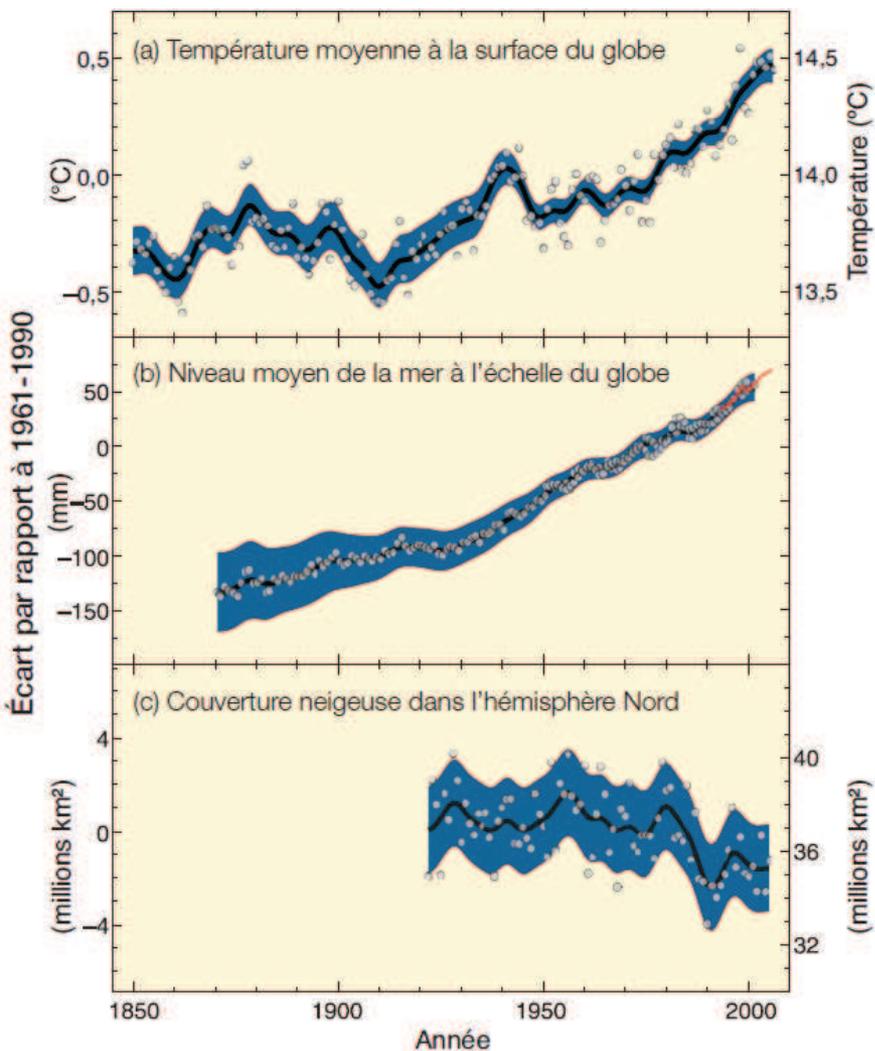
CNRS, UMR Sisyphe, Paris



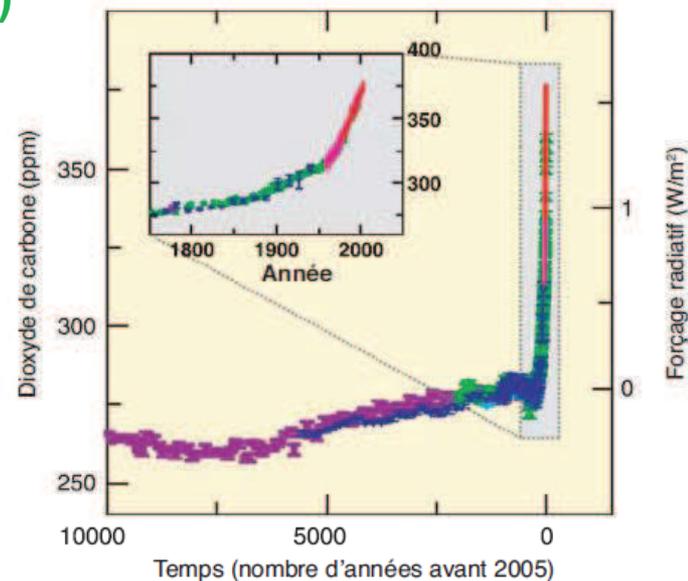
Le changement climatique "anthropique"

1. Contexte historique (d'après GIEC, 2007)

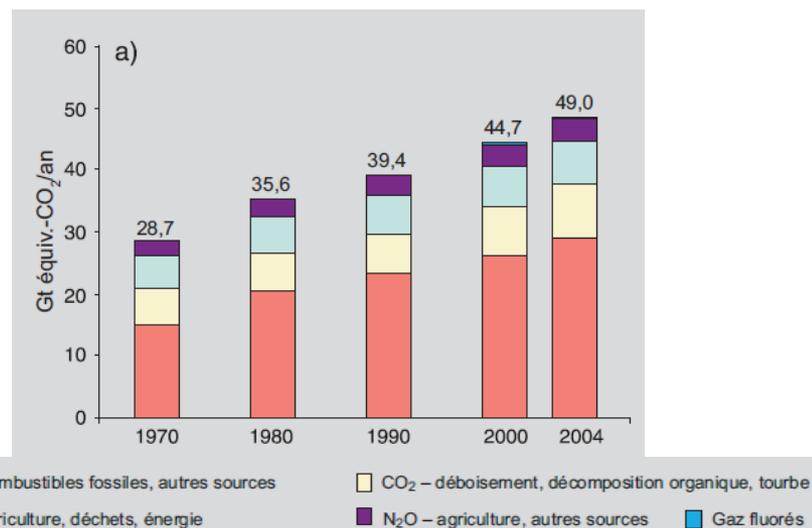
Evolutions climatiques depuis 1850



CO₂ depuis -10ky



Emissions anthropiques en GES depuis 1970

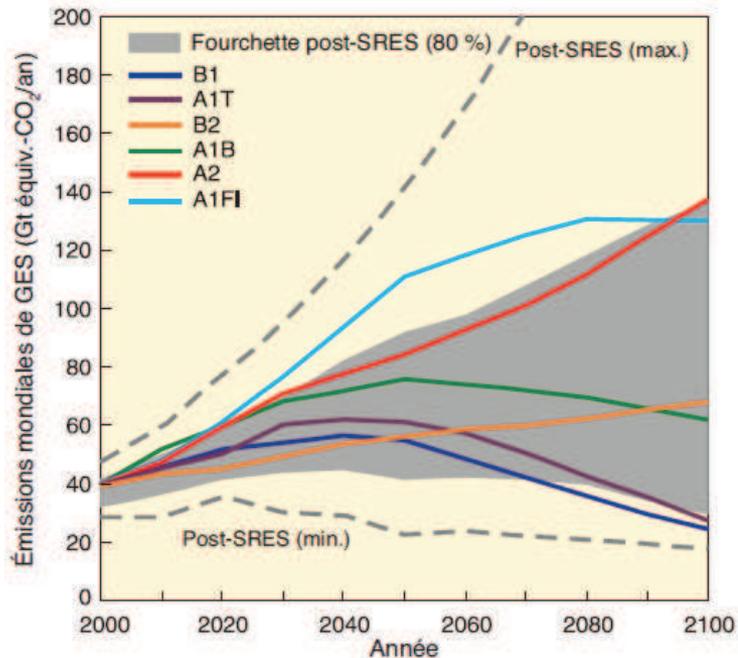


Le changement climatique “anthropique”

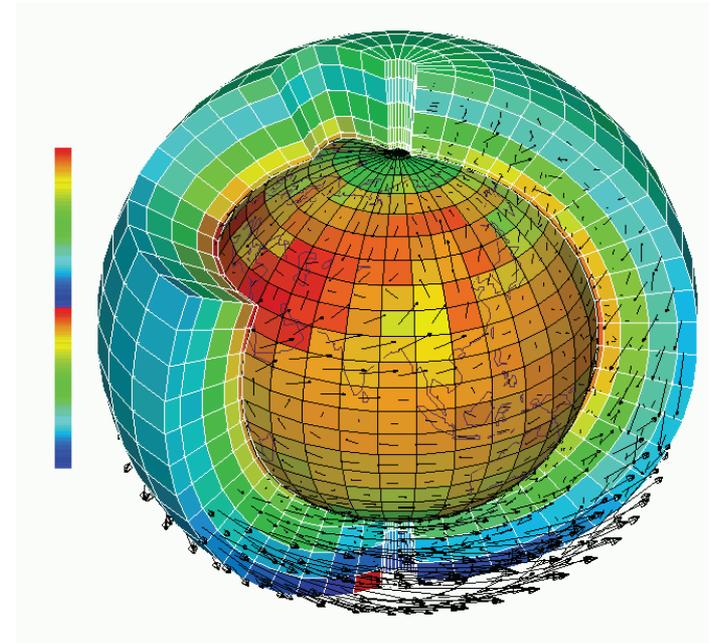
2. Projections pour le 21^{ème} siècle (d'après GIEC, 2007)

➔ Les ingrédients

Scénarios d'émissions en GES
pour la période 2000-2100
(sans politique climatique additionnelle)



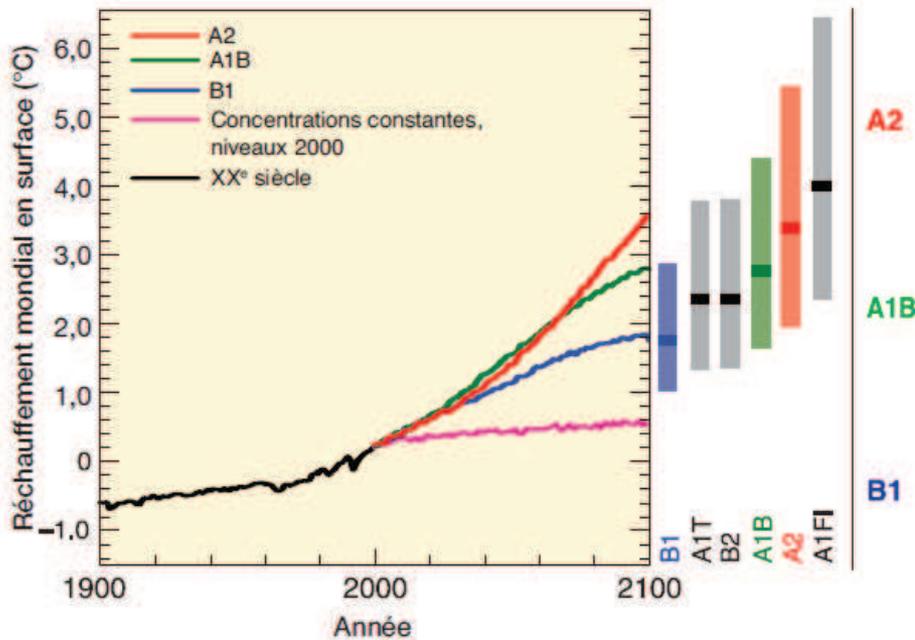
Modèles climatiques globaux
Océans - Atmosphère - Continents
Résolution horizontale ≈ 300 km



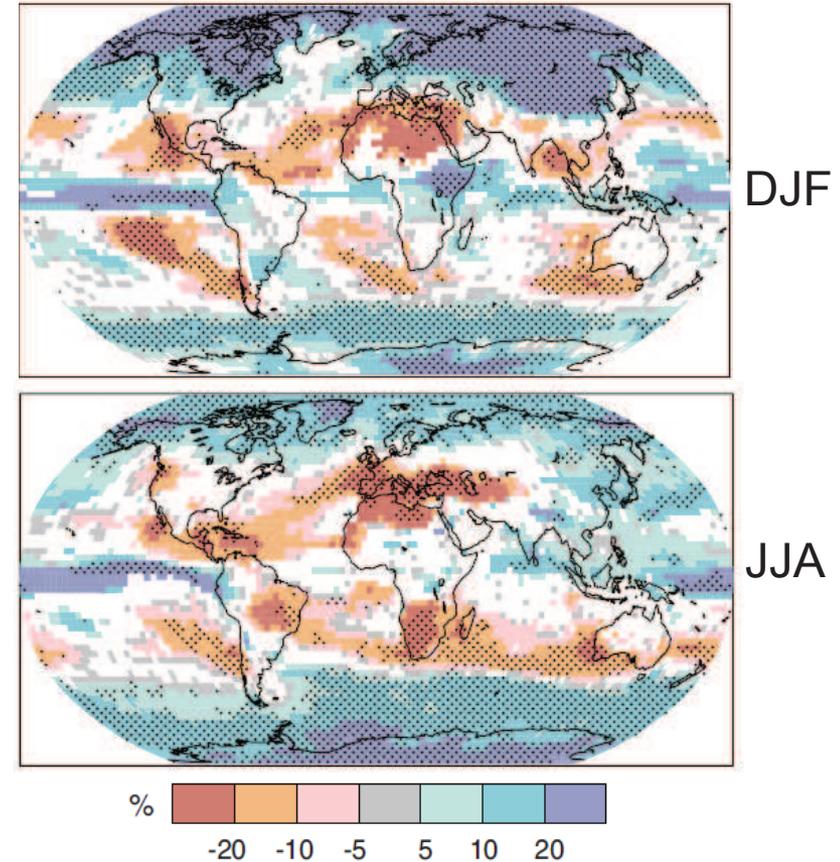
Le changement climatique “anthropique”

2. Projections pour le 21^{ème} siècle (d’après GIEC, 2007)

Température de surface (moyenne globale)



Précipitations



Changement du climat moyen et de la variabilité climatique
Avec conséquences sur régime hydrologique et extrêmes

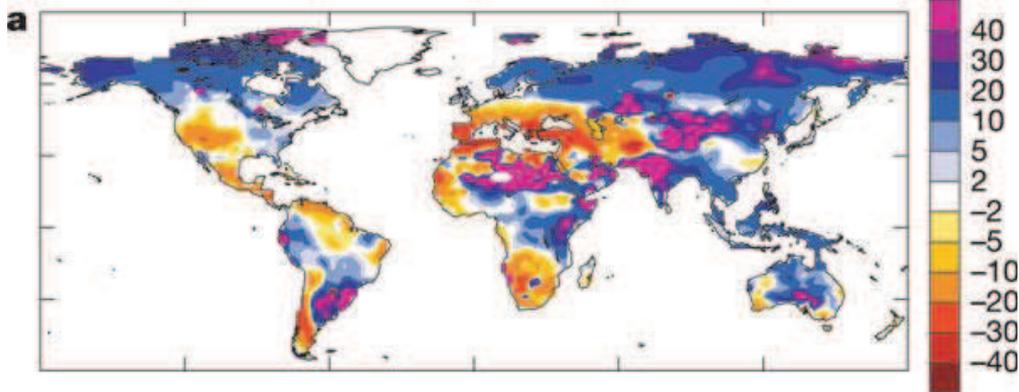
Limites des modèles climatiques en hydrologie

Exemple : Milly et al., 2005, Nature

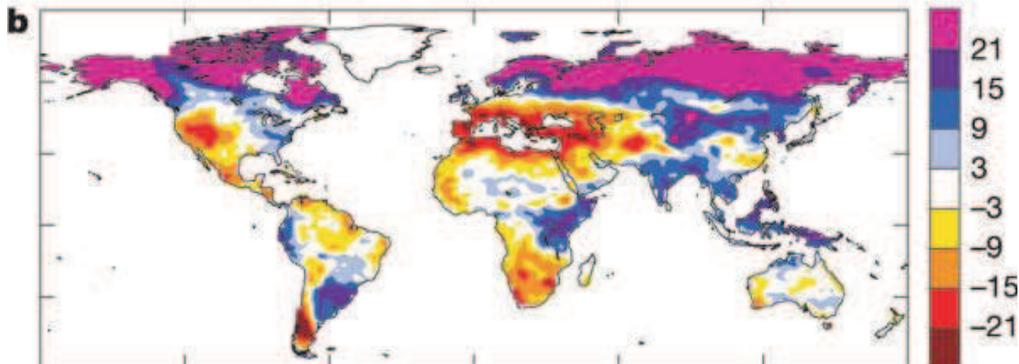
35 projections par modèles climatiques « couplés »
(océans + atmosphère + surfaces continentales)

Période 2041-2060 (A1B) vs. 1900-1970

Moyenne du changement relatif des écoulements

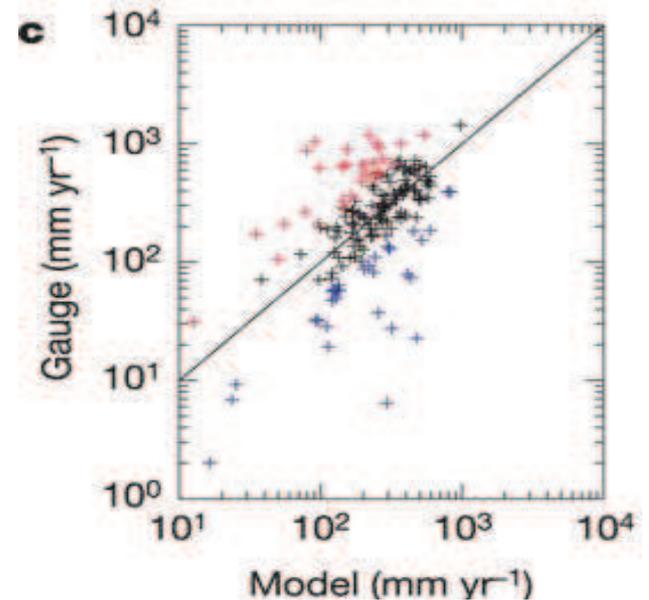


Nombre de runs d'accord sur le signe



Période 1900-1970 (« 20C3M »)

Validation des écoulements moyens
Obs vs. Model (165 bassins)



$R_{sim} > 2 R_{obs}$

$R_{sim} < R_{obs}/2$

La démarche des impacts hydrologiques

Scénario d'émission

Modèle global
MCGOA 300 km

Modèle régional
20-50 km
(optionnel)

Descente d'échelle / régionalisation

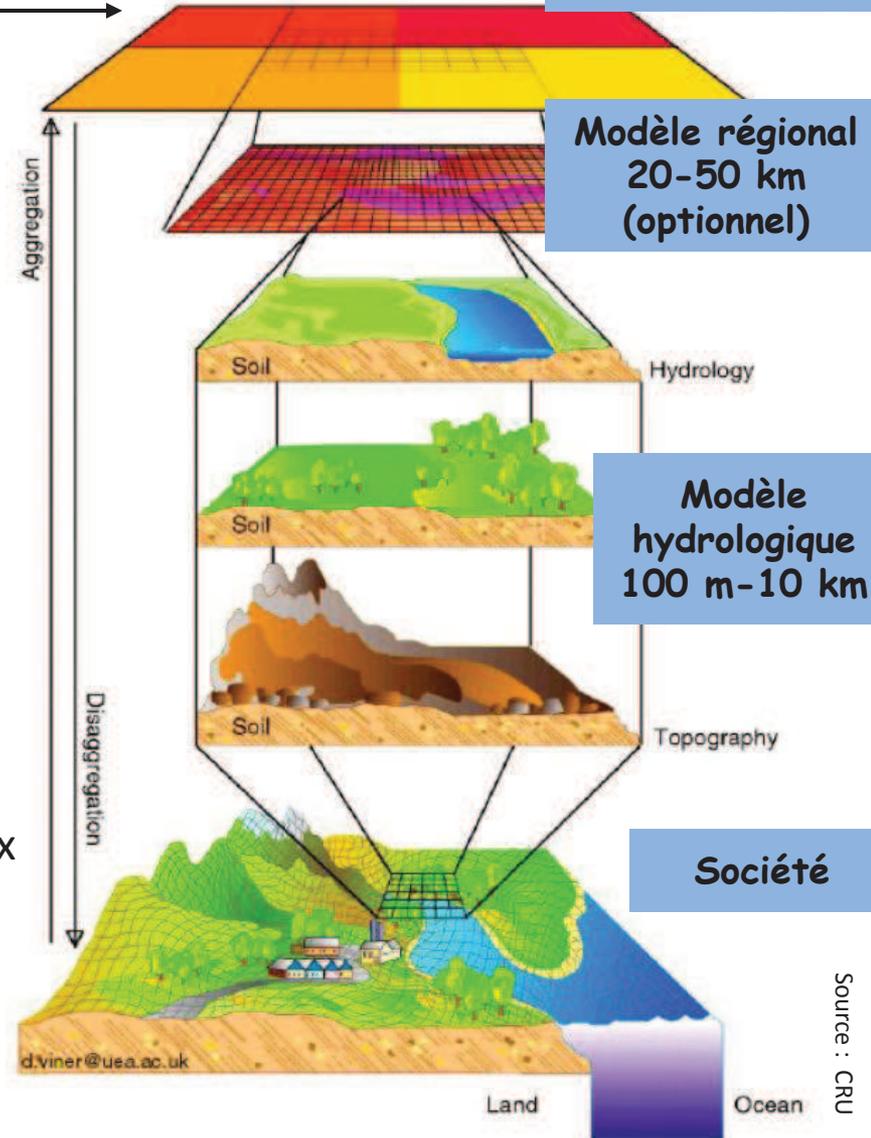
- ➔ introduire les **hétérogénéités** spatiales non résolues par les modèles de climat (e.g. relief)
- ➔ **corriger** les principaux défauts des distributions spatio-temporelles simulées (e.g. biais)

Modèles hydrologiques

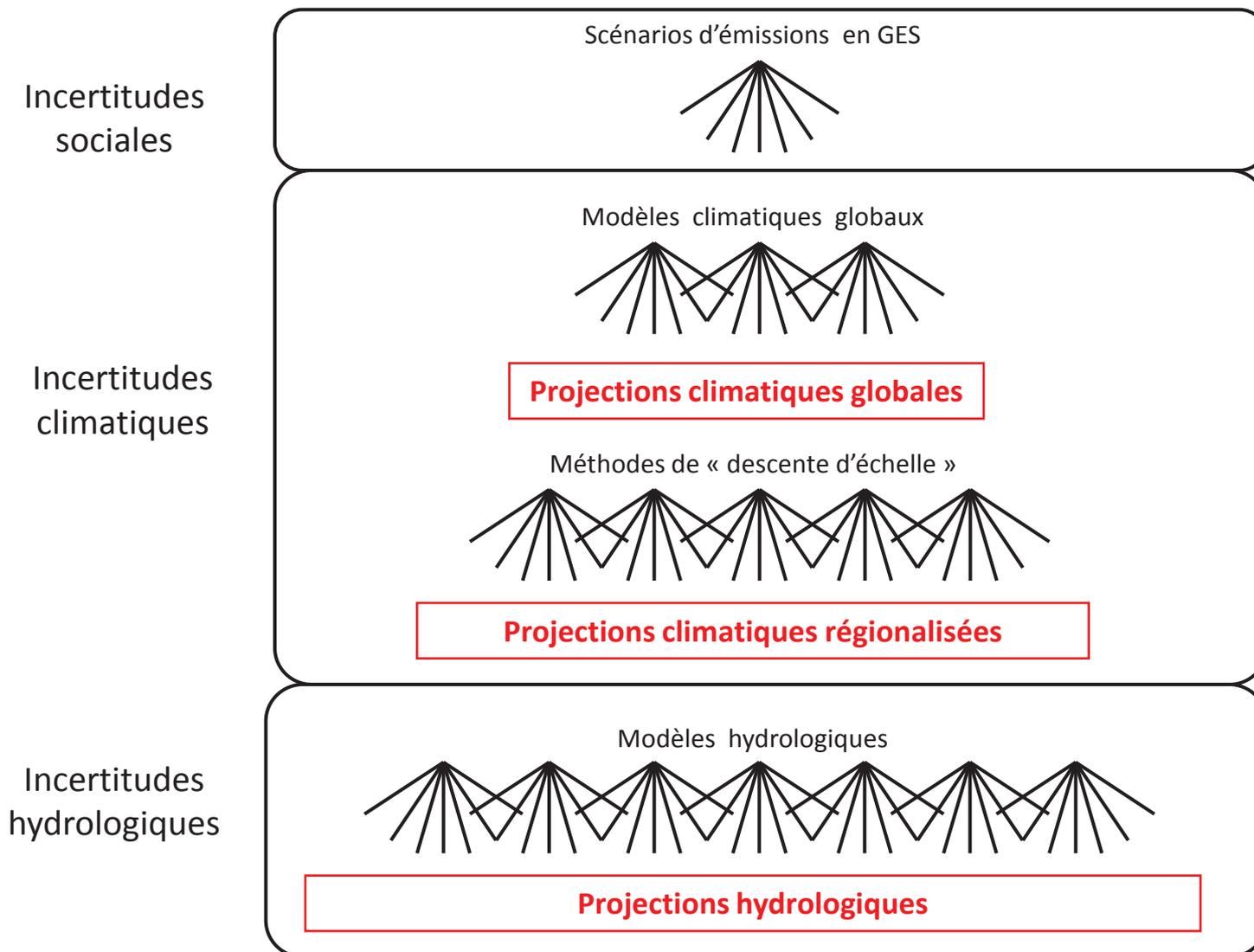
- ➔ calibrés/validés dans le domaine d'intérêt

Interprétation en indicateurs pertinents pour la société

- ➔ débits moyens, ressources souterraines (niveaux des nappes)
- ➔ intensité et probabilité de retour des événements extrêmes (débits de crue et d'étiage, sécheresses)



Une cascade d'incertitudes élargie



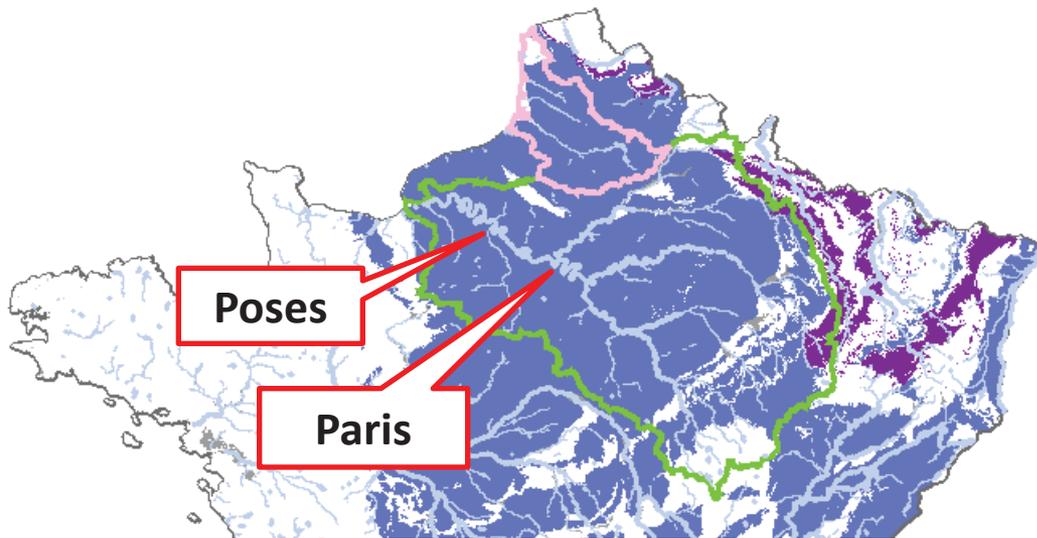
Que peut-on dire malgré tout ?

Un exemple concret dans le Nord de la France

Projet RExHySS : Ressources en eau et Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et de la Somme

Programme GICC (2007-2009), 8 partenaires et 23 chercheurs

Actuellement :

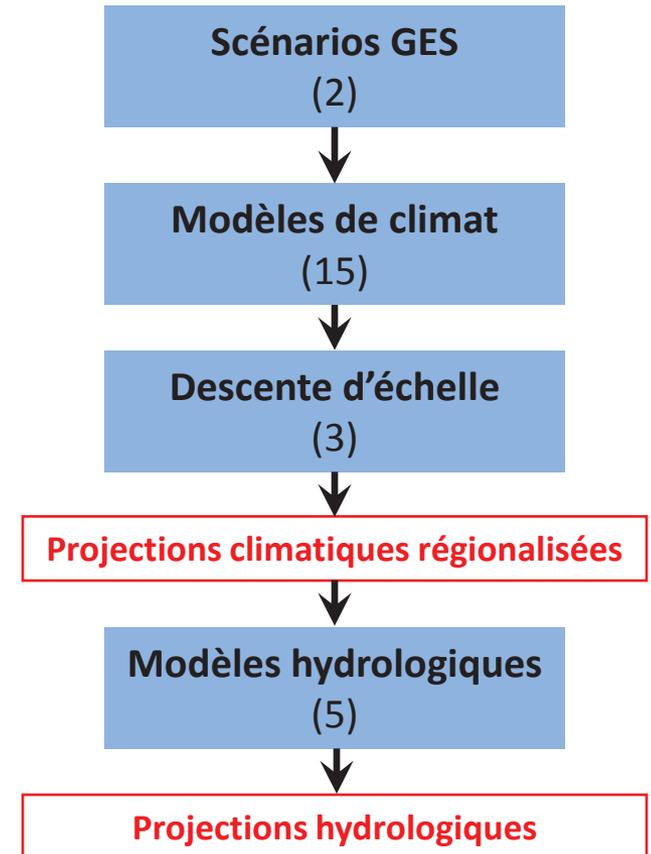


Ressource satisfaisante et « aléa » hydrologique modéré

Vulnérabilité importante aux extrêmes

- Urbanisation des corridors fluviaux
- Agriculture intensive

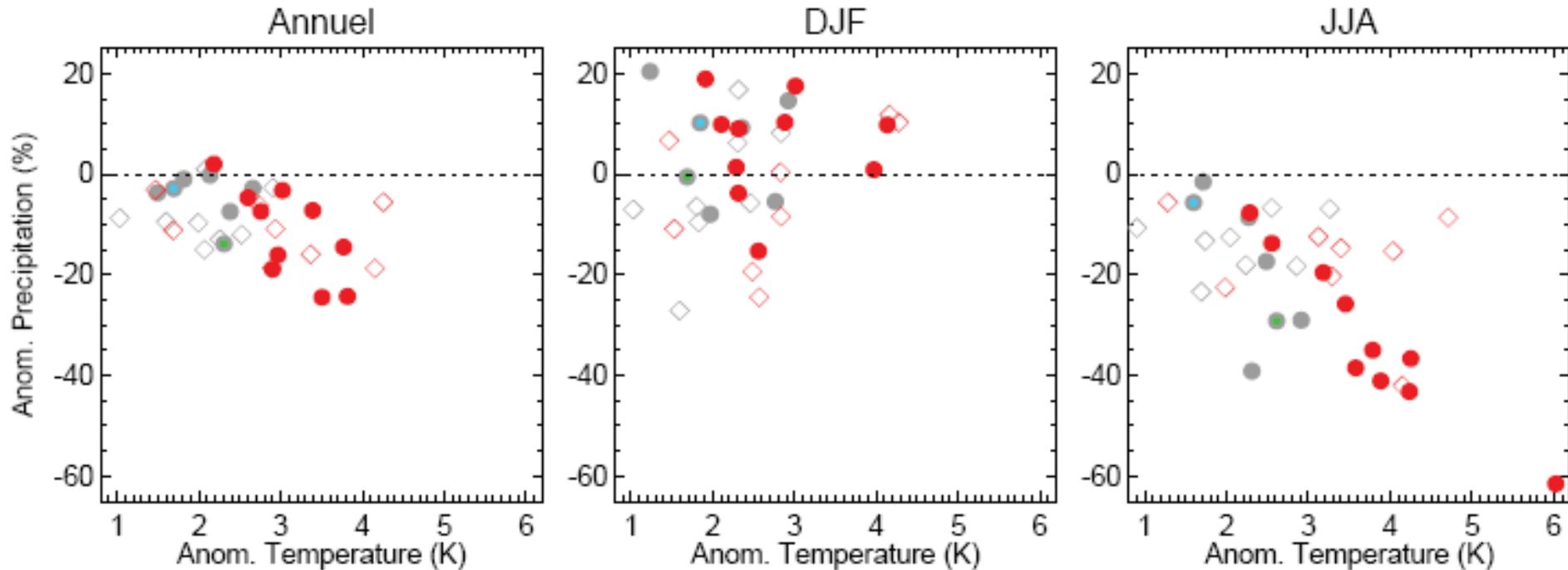
Et dans le futur ?



Changement climatique régionalisé

Changements de température et précipitation

18 scénarios *Fin de siècle* et *Milieu de siècle*



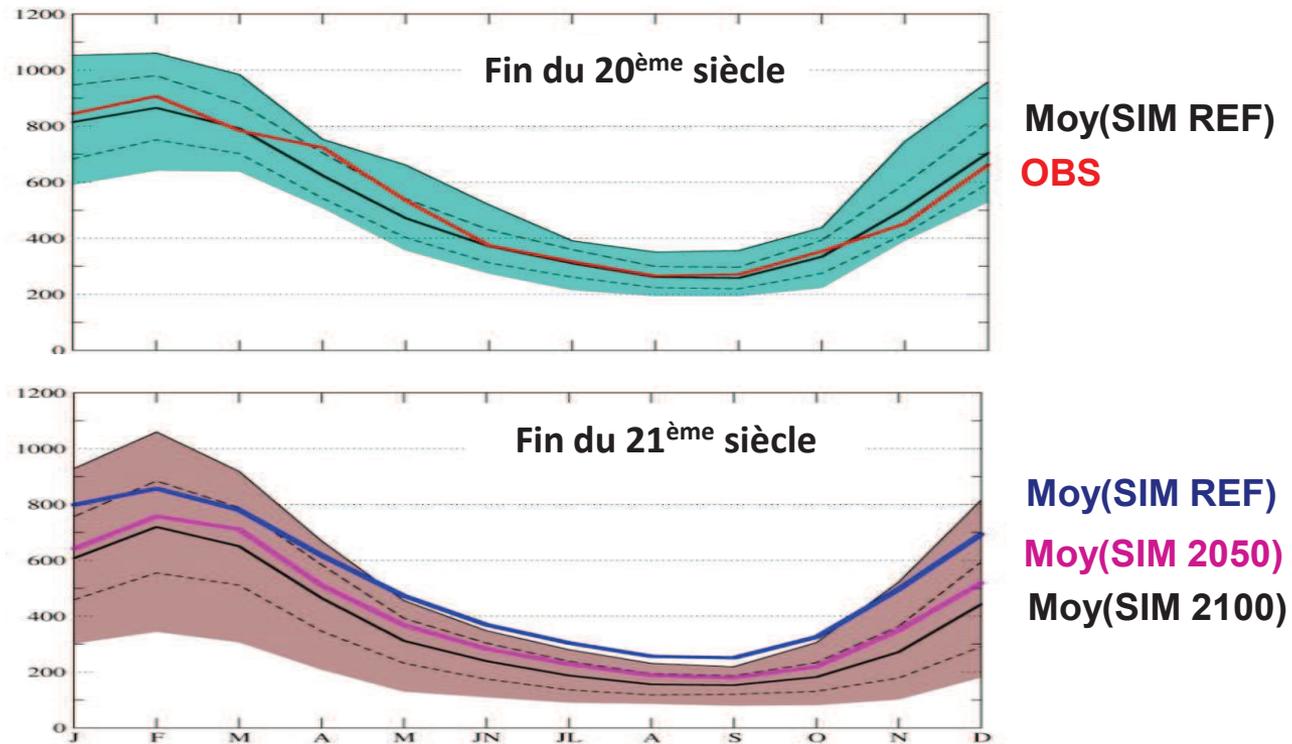
En moyenne sur tous les scénarios :

- Précipitations : -6% en milieu de siècle ; -12% en fin de siècle
- ETP : + 16% en milieu de siècle ; + 23 % en fin de siècle

Impacts sur le régime hydrologique

Débit de la Seine à Poses (m^3/s)

12 scénarios régionalisés x 5 modèles hydrologiques validés



➡ Baisse du débit moyen d'ici à 2100 : $-150 m^3/s \pm 60 m^3/s$ ($-28 \% \pm 10\% TP$)

Les débits extrêmes

- Evénements caractérisés en termes d'intensité – durée – fréquence
- Probabilités par ajustement à des lois de probabilité *ad hoc*
- Souvent exprimées en période de retour moyenne T

*Crue de la Seine à Paris
Pont de l'Alma, 28 janvier 1910
(photo Pierre Petit)*

$T \approx 100$ ans



$T \approx 15$ ans

*Crue de la Seine à Paris
Pont de la Tournelle, janvier 1982
(photo AESN)*

Les débits extrêmes dans RExHySS

Trois fenêtres de 20 ans sous hypothèse de pseudo-stationnarité

PST (1981-2000) ; **MS** (2046-2050) ; **FS** (2081-2100)

Méthodes classiques d'analyse fréquentielle

Dans l'ensemble du bassin de la Seine :

- 154 stations (seulement 8 par tous les modèles hydro)
- environ 8000 chroniques

QJXA10 → Crues moyennement sévères

Débit journalier maximal annuel surpassé en moyenne tous les 10 ans

QMNA5 → Etiages sévères

Débit mensuel minimal annuel sous-passé en moyenne tous les 5 ans

Justification :

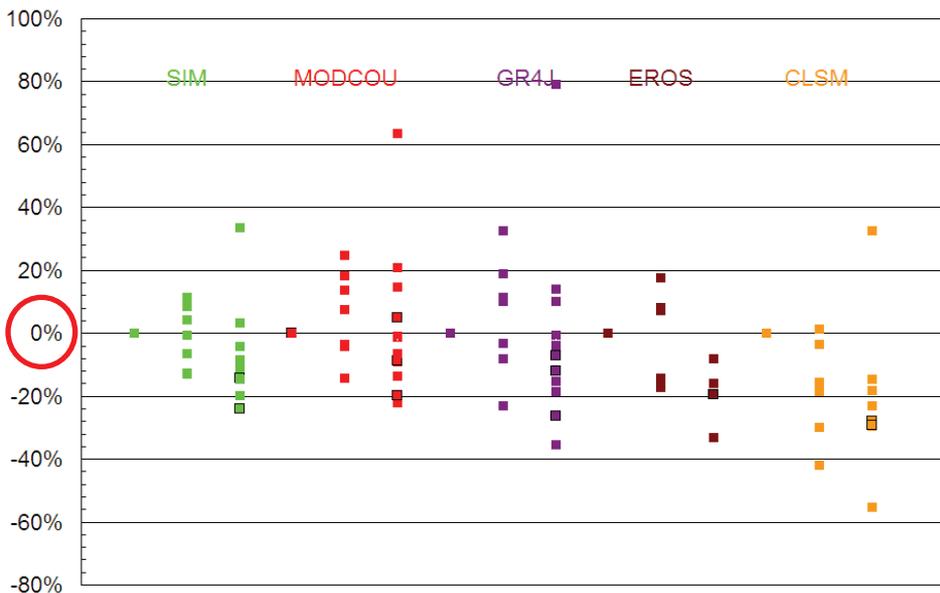
- Faciles à mettre en œuvre de manière automatique
- **Utilisés couramment pour la planification et la gestion**
 - dimensionnement d'ouvrages et plans de prévention des risques, avec des indicateurs d'événements plus extrêmes
 - alertes inondation et sécheresse

Evolution des extrêmes du débit

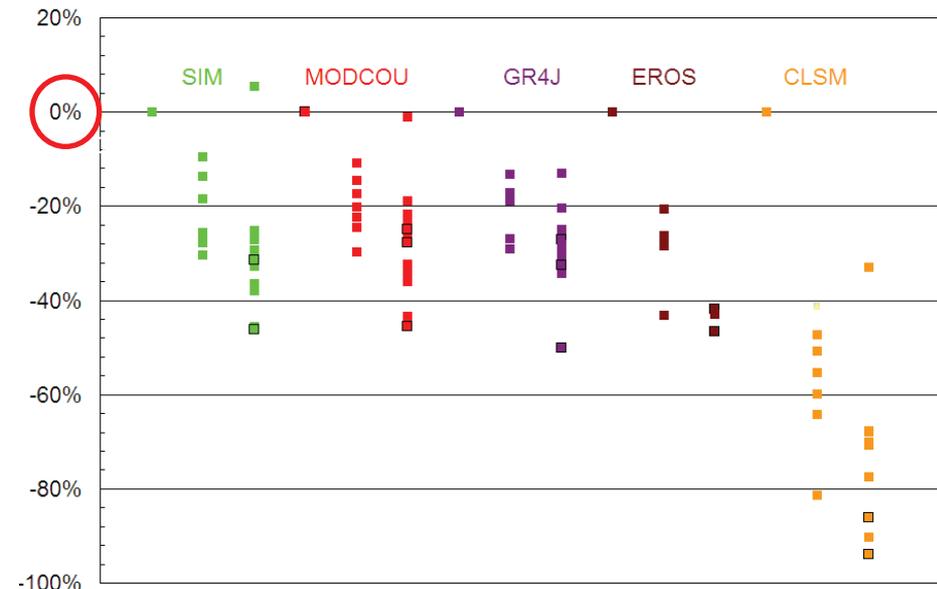
La Seine à Paris

Variations relatives par rapport aux simulations PST

QJXA10



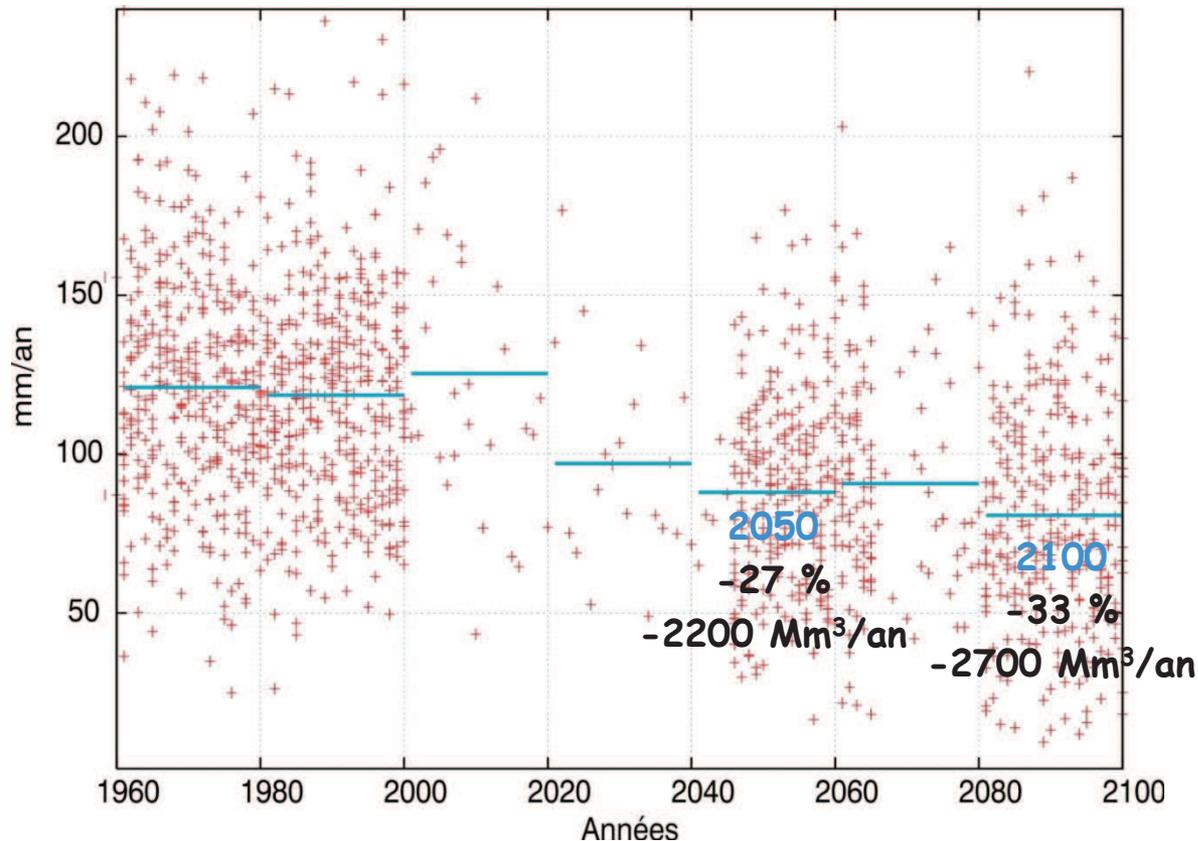
QMNA5



- ➔ Baisses systématiques des étiages sévères (QMNA5)
- ➔ Réponse incertaine des pointes de crue (QJXA10)

Eaux souterraines : évolution de la recharge

*Recharge annuelle simulée par le modèle hydrogéologique MODCOU
19 scénarios climatiques*

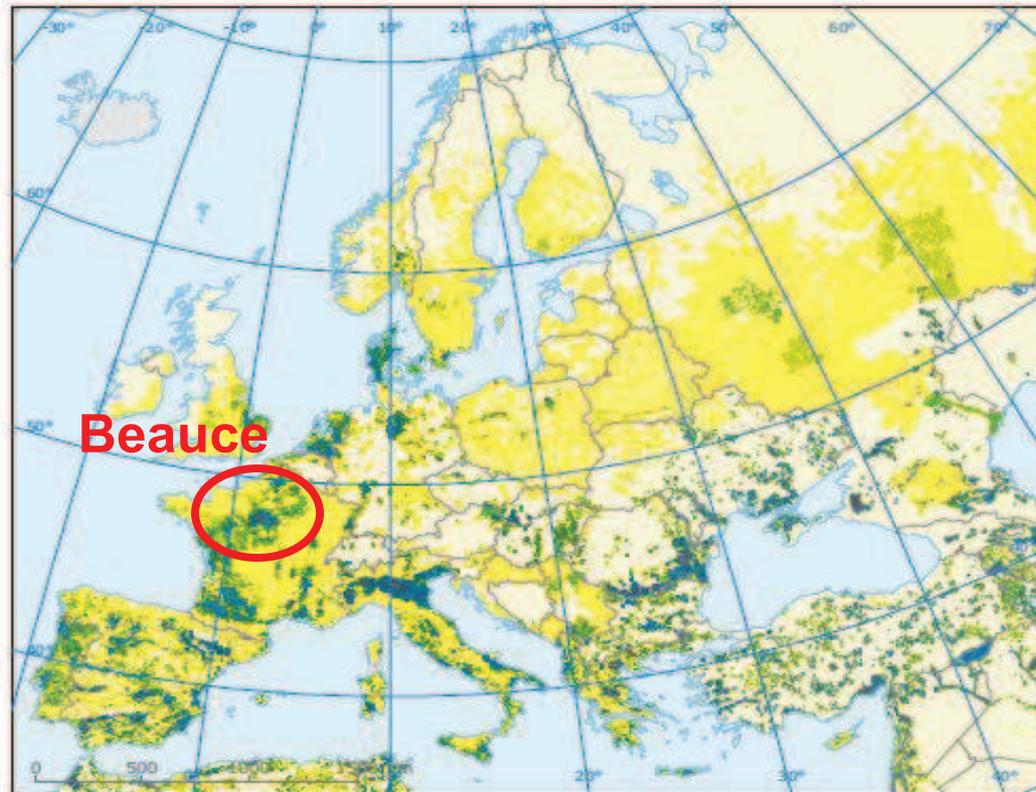


- ➔ Changements de moyenne statistiquement significatifs
- ➔ Déficits proches des prélèvements totaux actuels (nappes + surface)
- ➔ Double des prélèvements actuels en nappe

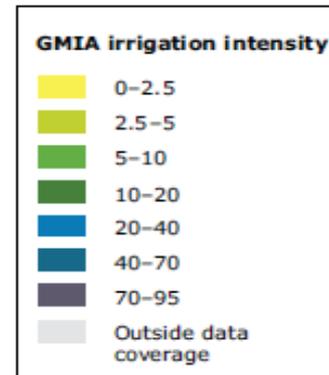
Conséquences sur les usages de l'eau

1. Exemple de l'irrigation

- L'agriculture consomme actuellement 50% des eaux prélevées en France
- L'assèchement des sols devrait entraîner une intensification de l'irrigation
- Etude ciblée sur la Beauce = « hot spot » en Europe



**Modèle agronomique ⇒
l'irrigation pourrait augmenter
de 50 à 60% en Beauce à
l'horizon 2100**



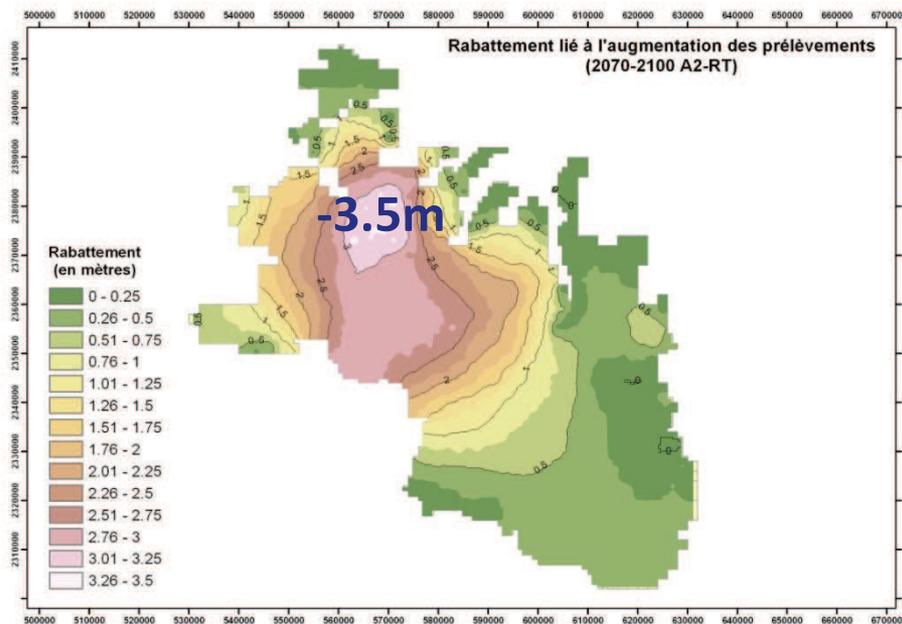
Eaux souterraines et irrigation

Baisse de la nappe de Beauce à l'horizon 2100

simulée par un modèle hydrogéologique sous scénario A2 régionalisé
selon 2 impacts distincts du changement climatique

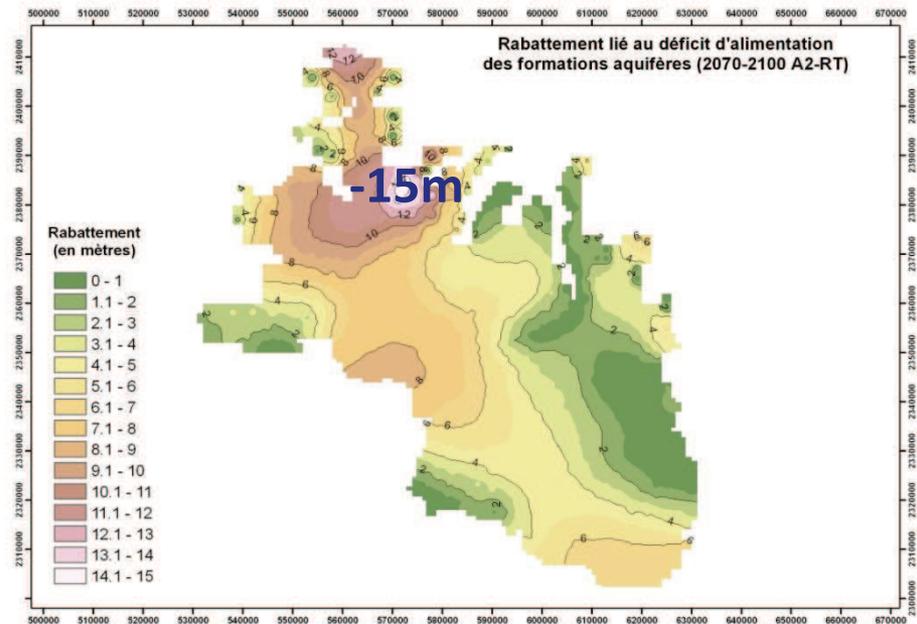
1. Augmentation de l'irrigation (+54%)

simulé par modèle agronomique
sans déficit de recharge



2. Déficit de recharge (-37%)

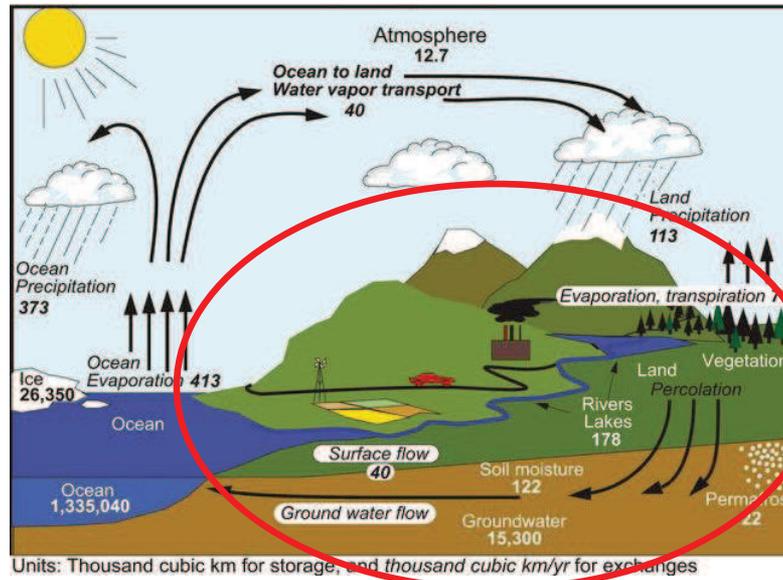
simulé par modèle hydrogéologique
sans changer l'irrigation



➡ L'effet direct du changement climatique (recharge) suffit à remettre en cause la viabilité de l'irrigation des grandes cultures telle que pratiquée actuellement.

Conséquences sur les usages de l'eau

2. Partage de l'eau ou conflits d'usage ?



➔ Economisons dès à présent l'eau dans tous les secteurs