

# La modélisation à l'appui de l'adaptation des hydrosystèmes et de leur gestion

Exemples des bassins de la Seine, de la Somme et de la Durance

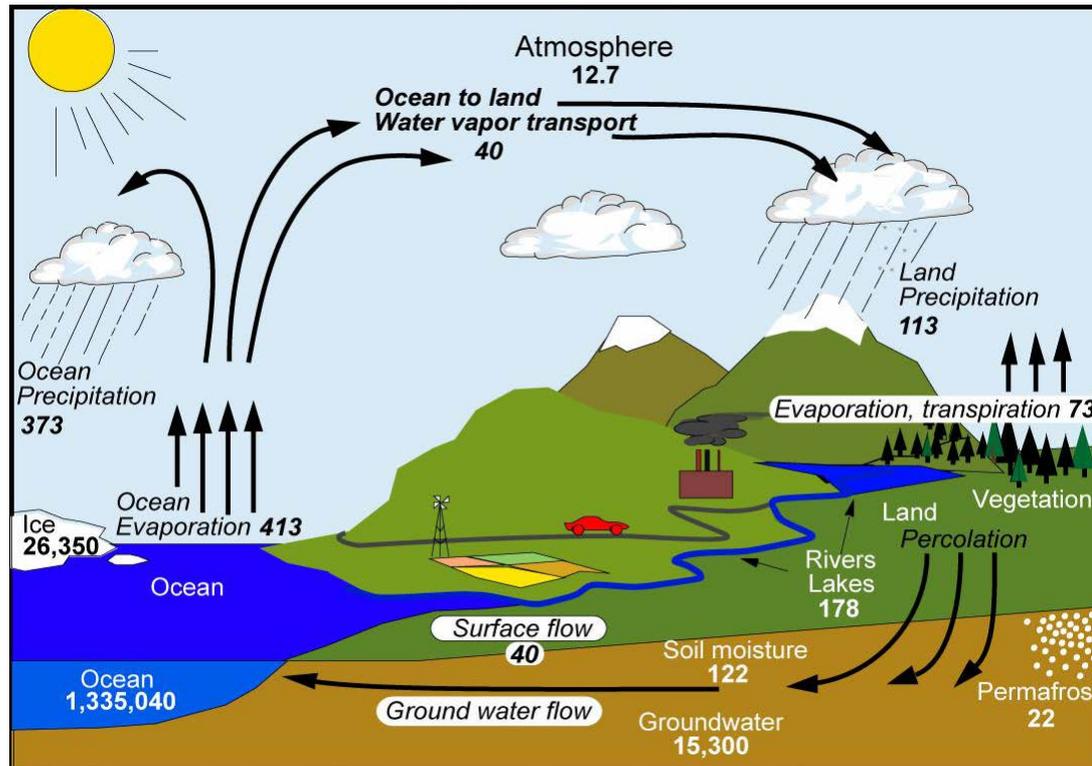
**Agnès Ducharne**

DR CNRS à l'UMR METIS, Paris  
Académie d'Agriculture de France

[Agnes.Ducharne@upmc.fr](mailto:Agnes.Ducharne@upmc.fr)



# Hydrosystèmes continentaux et cycle de l'eau



Units: Thousand cubic km for storage, and thousand cubic km/yr for exchanges

Source : Trenberth et al., 2007

## Ressources en eau

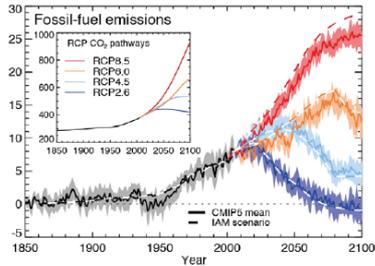
- Volumes d'eau douce circulant en surface et en souterrain
- Milieu des écosystèmes aquatiques + usages humains (e.g. prélèvements, hydraulique)
- Sans cesse renouvelés donc vulnérables (au CC et aux pressions anthropiques)

## Extrêmes hydrologiques

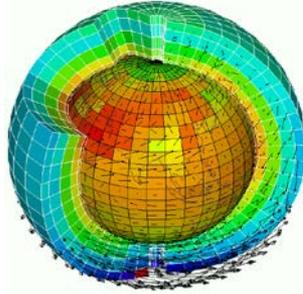
- Facteurs de risques (e.g. inondations, retrait des argiles) + défaillance sur la ressource

# Comment estimer les impacts du changement climatique ?

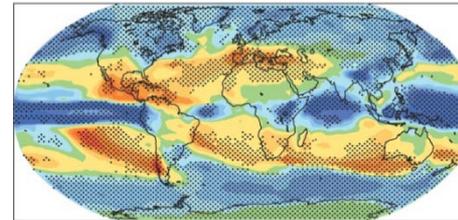
## Scénarios d'émissions



## Modèles climatique globaux



## Projections climatiques de grande échelle

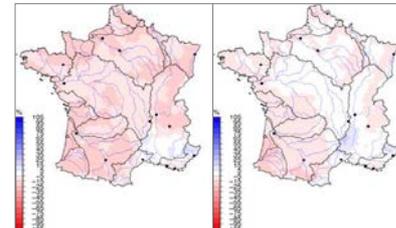


GIEC – WG1

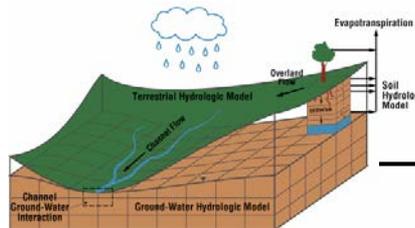
Approche multi-scénarios, multi-modèle pour caractériser les incertitudes

## Projections climatiques régionalisées

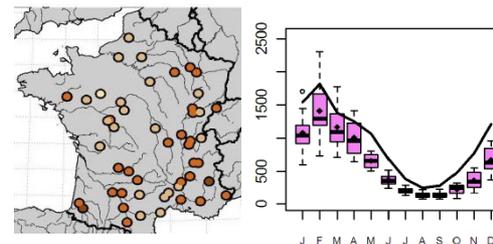
Descente d'échelle + correction de biais



## Projections hydrologiques régionalisées



Modèles hydrologiques



## Impacts, vulnérabilité ?

Impose de tenir compte des incertitudes (en cascade) et de proposer des diagnostics pertinents pour les parties prenantes (gestionnaires...)

## Adaptation ?

Impose souvent de tenir compte d'autres pressions (non climatiques) et d'autres modèles d'impact

# A l'échelle de la France : Explore 2070

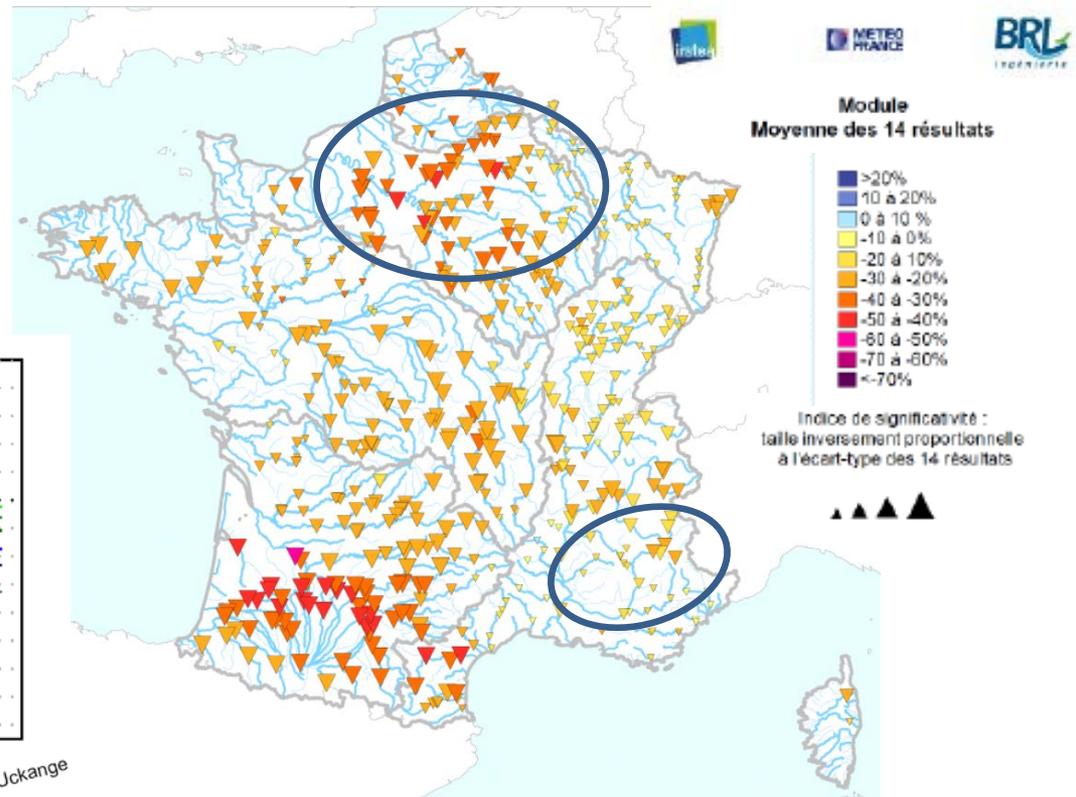
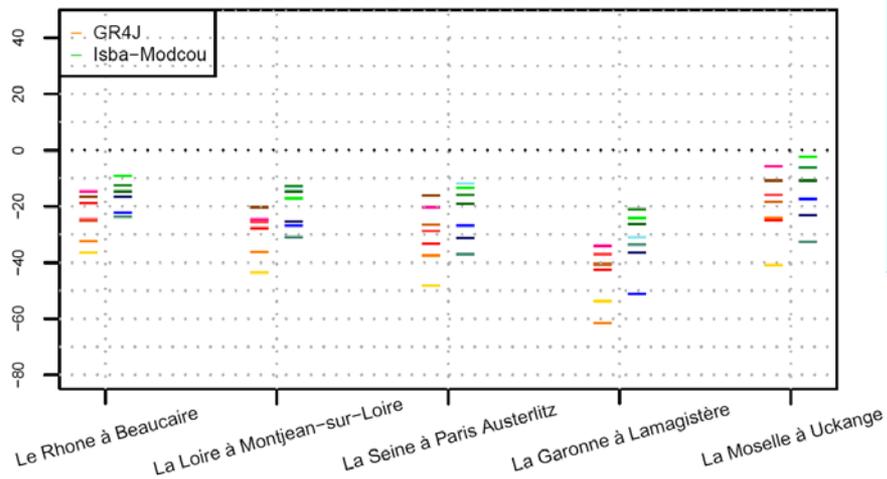
« Le projet Explore 2070, piloté par le MEDDE de juin 2010 à octobre 2012, a eu pour objectif :

- de connaître les **impacts du changement climatique** sur les milieux aquatiques et la ressource en eau à échéance 2070, pour anticiper les principaux défis à relever et hiérarchiser les risques encourus ;
- d'élaborer et d'évaluer des **stratégies d'adaptation dans le domaine de l'eau** en déterminant les mesures d'adaptation les plus appropriées pour répondre aux défis identifiés tout en minimisant les risques encourus. »

## A la base :

7 projections régionalisées  
2 modèles hydrologiques

## Changement de débit moyen (%) à l'aval des grands fleuves



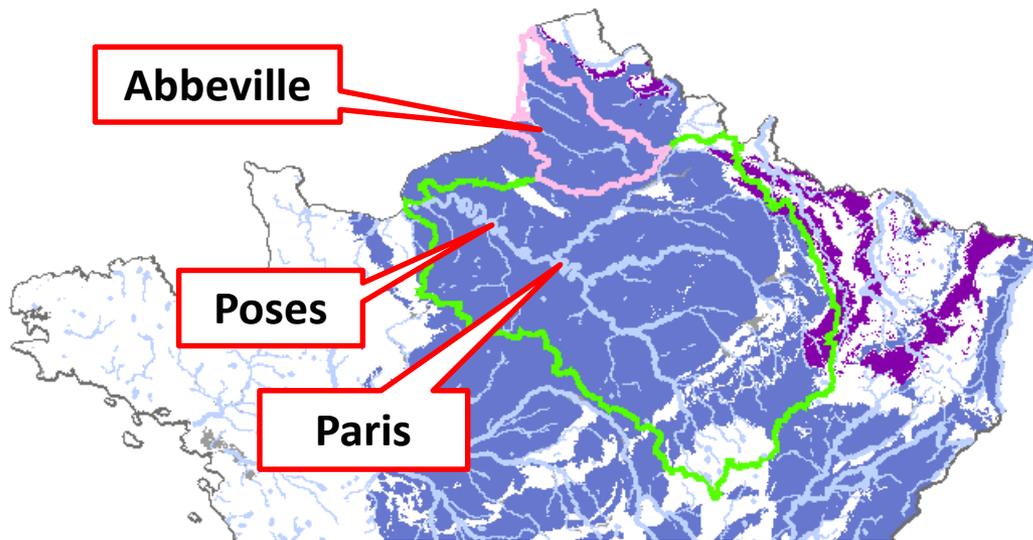
**Résultat majeur : baisse des ressources en eau sur tout le territoire français à l'horizon 2070**

# Seine & Somme

## 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 :**

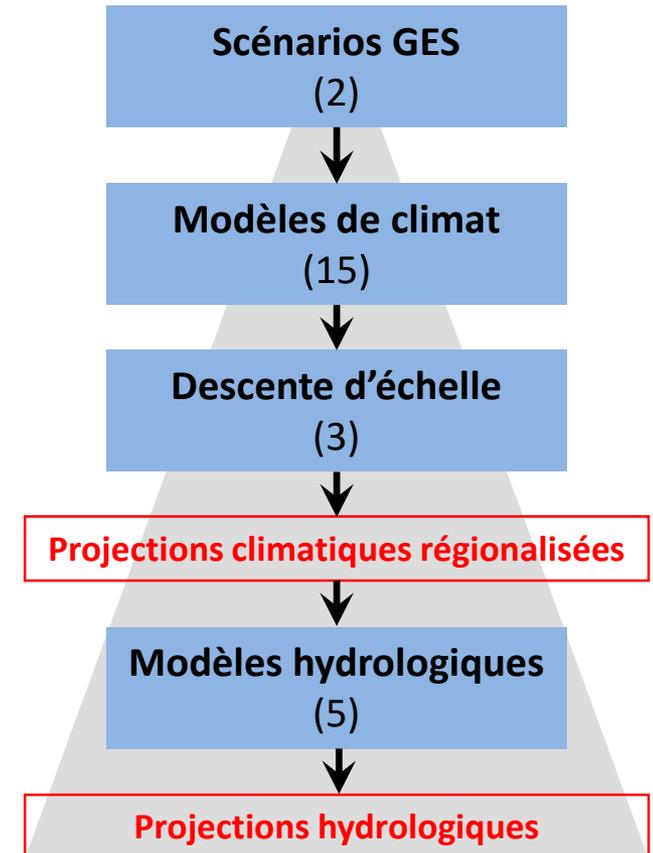


Ressource satisfaisante et « aléa » hydrologique modéré

**Vulnérabilité importante aux extrêmes**

- Urbanisation des corridors fluviaux
- Agriculture intensive

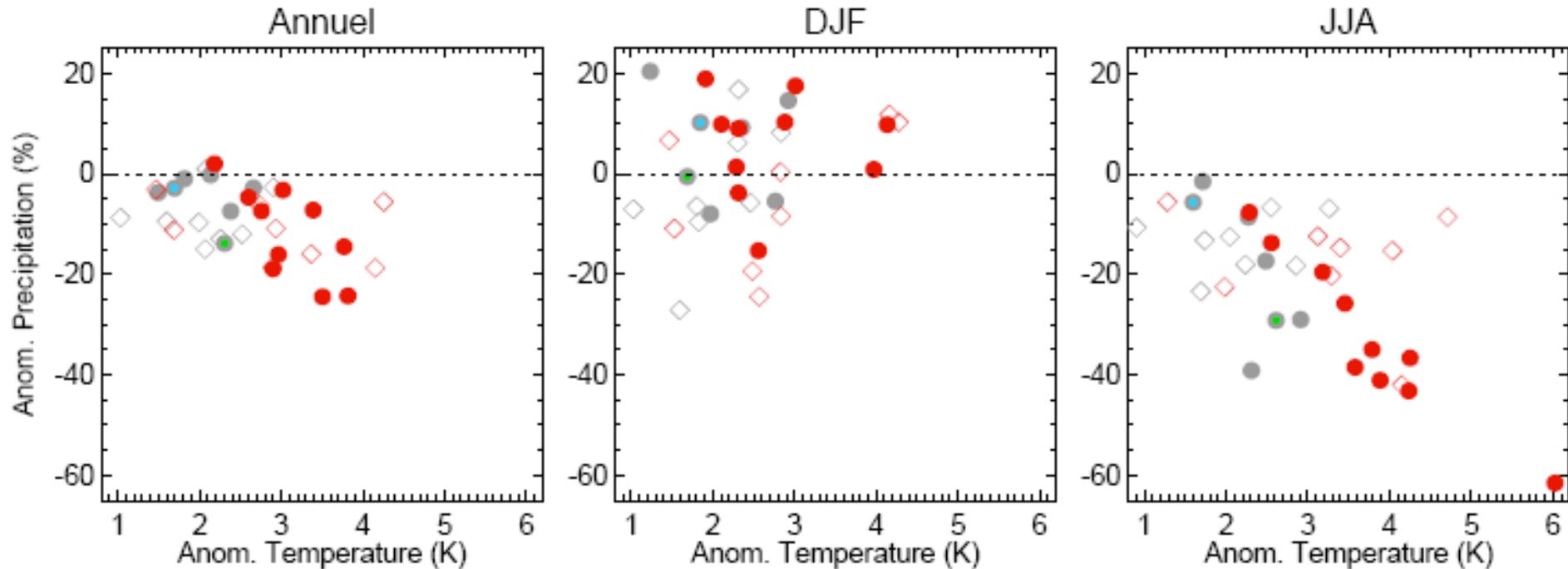
**Et dans le futur ?**



# Seine & Somme

## Changements de température et précipitation

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

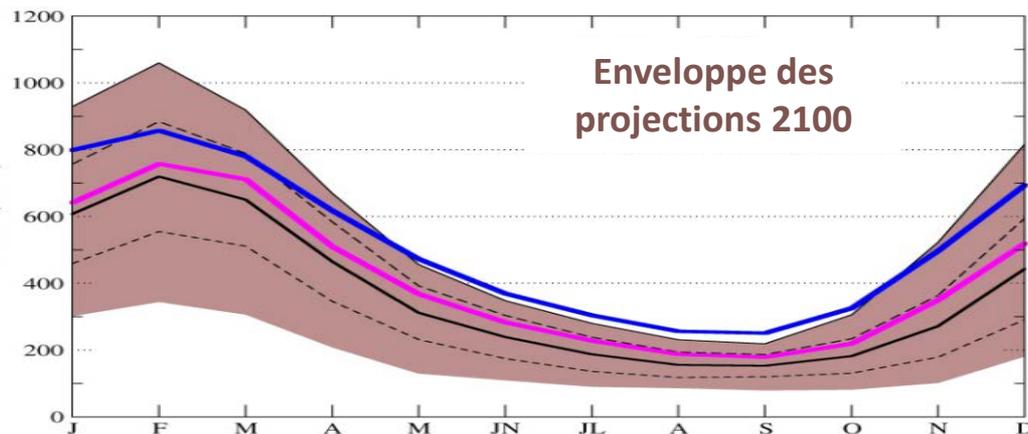


En moyenne sur tous les scénarios :

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

# Seine & Somme

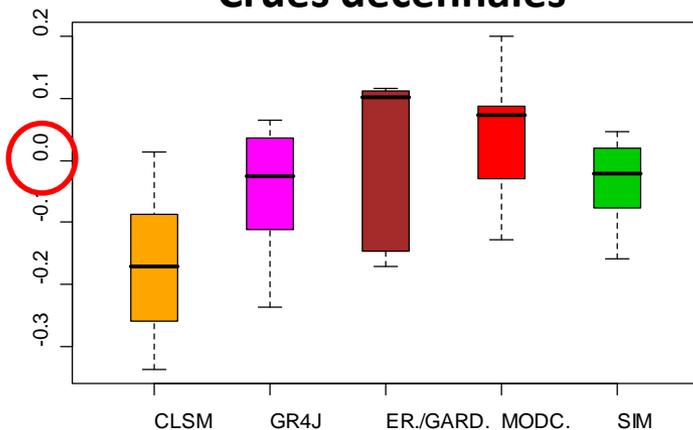
## Débit moyens de la Seine à Poses ( $m^3/s$ ) 12 scénarios régionalisés x 5 modèles hydrologiques validés



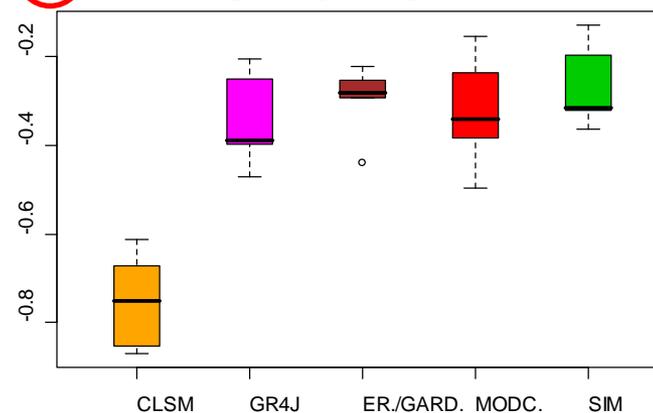
Baisse du débit moyen :  
 $-150 m^3/s \pm 60 m^3/s$   
( $-28 \% \pm 10\% TP$ )

## Extrêmes de débit dans toutes les stations Seine & Somme Changements relatifs entre 2050 et 2000

### Crues décennales

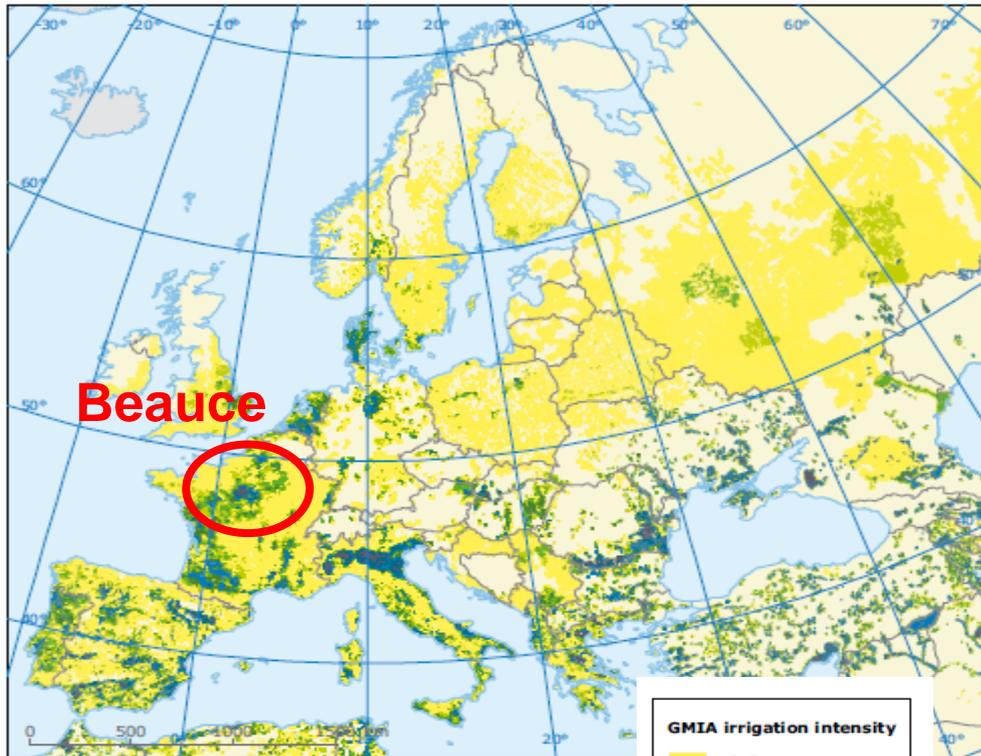


### Etiages quinquennaux



# Irrigation en Beauce

- 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, avec irrigation par eaux souterraines



Source: GMIA; Siebert *et al.*, 2007.

## 1. Modèle agronomique

➔ l'irrigation pourrait augmenter de 50 à 60% en Beauce à l'horizon 2100

## 2. Modèles hydrologiques

➔ baisse de la recharge d'environ 1/3 à l'horizon 2100

**3. Quelles conséquences sur les nappes, les débits et l'irrigation ?**

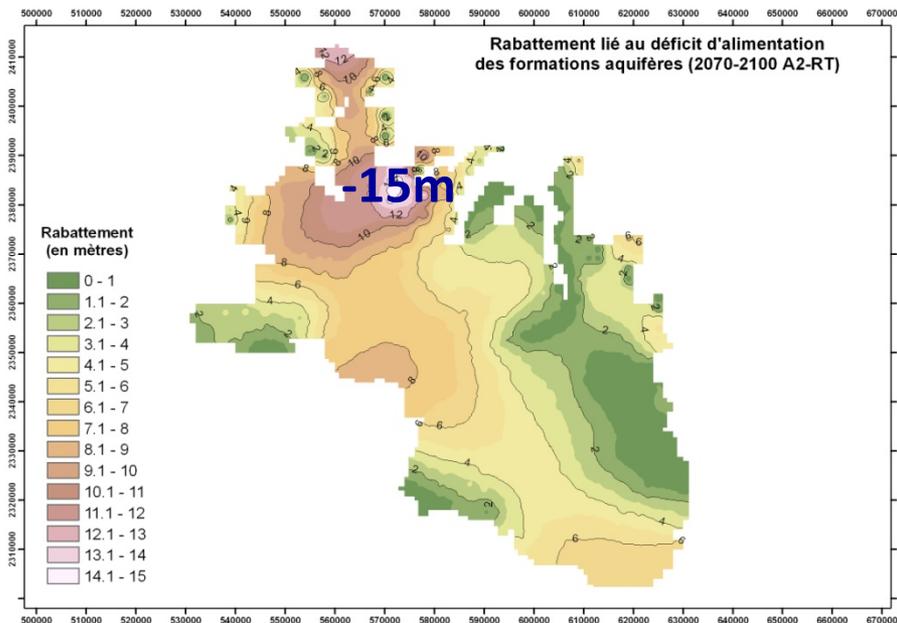
# Irrigation en Beauce

## Baisse de la nappe de Beauce à l'horizon 2100

simulée par un modèle hydrogéologique sous scénario A2 régionalisé

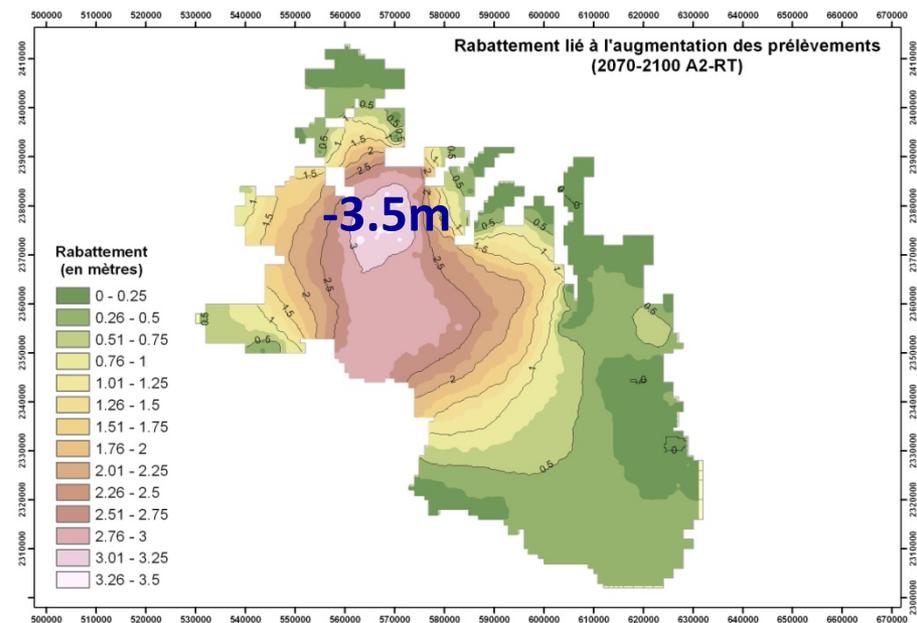
### 1. Déficit de recharge (-37%)

tel que simulé par modèle hydrogéologique  
sans changer l'irrigation



### 2. Augmentation de l'irrigation (+54%)

tel que simulé par modèle agronomique  
sans déficit de recharge



# Irrigation en Beauce

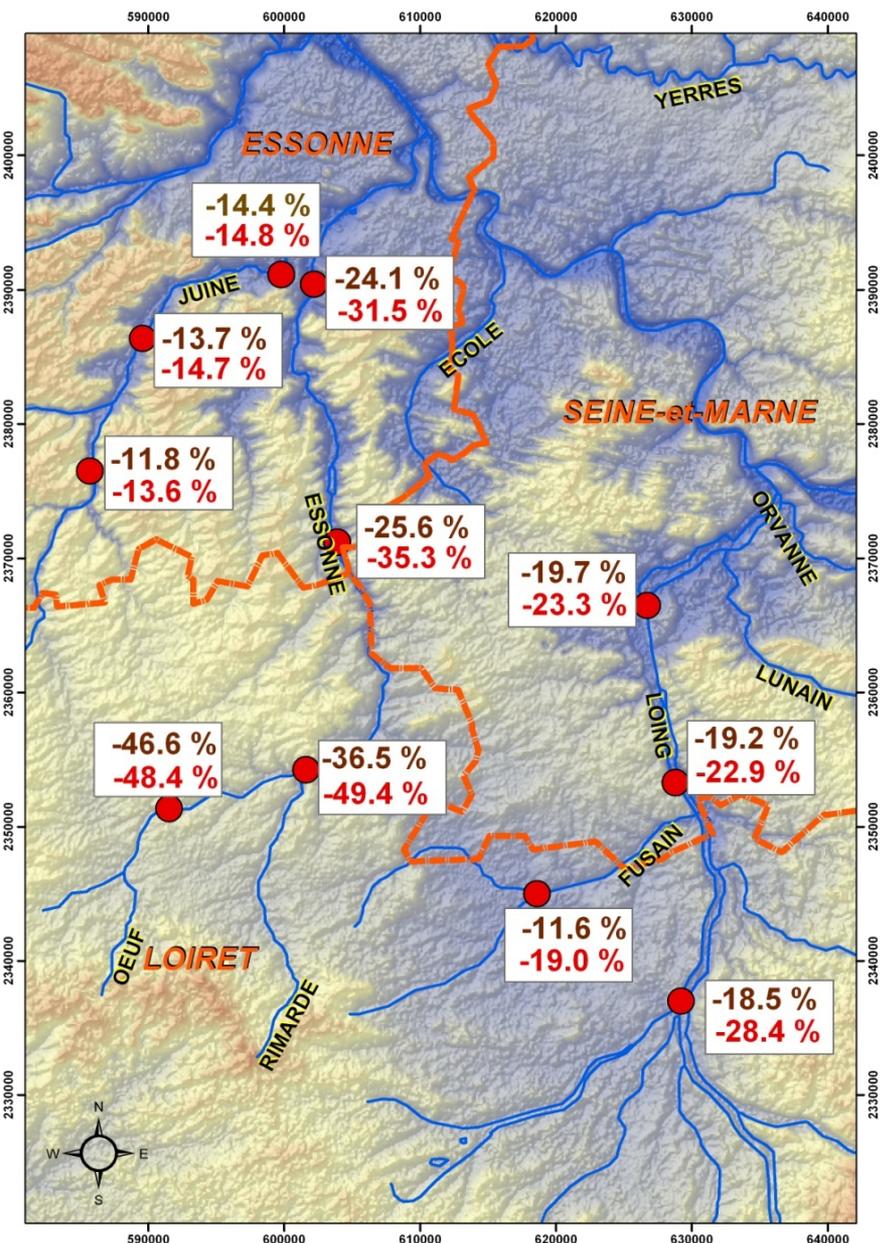
## Évolution relative du QMNA5 en fin de siècle sur les cours d'eau de la Beauce

Modèle hydrogéologique sous scénario climatique A2 régionalisé

1. Effet du changement climatique seul
- 1+2. Effet cumulé avec l'augmentation de l'irrigation induite par ce changement climatique

L'effet direct du changement climatique domine, et suffit à remettre en cause la viabilité de l'irrigation des grandes cultures telle que pratiquée actuellement

Avec la baisse du QMNA5, les valeurs actuelles, utilisées comme seuil alerte sécheresse, deviennent plus fréquentes, donc l'irrigation actuelle n'est plus possible



# Inondation de la Somme aval

Référence = Crue de 2001 en tenant compte des réaménagements qui ont suivi

➔ dont passe supplémentaire sur l'écluse de Saint-Valéry

➔ baisse des volumes inondants de  $890.10^3 \text{ m}^3$



Abbeville le 10 avril 2001 (Photo AFP)

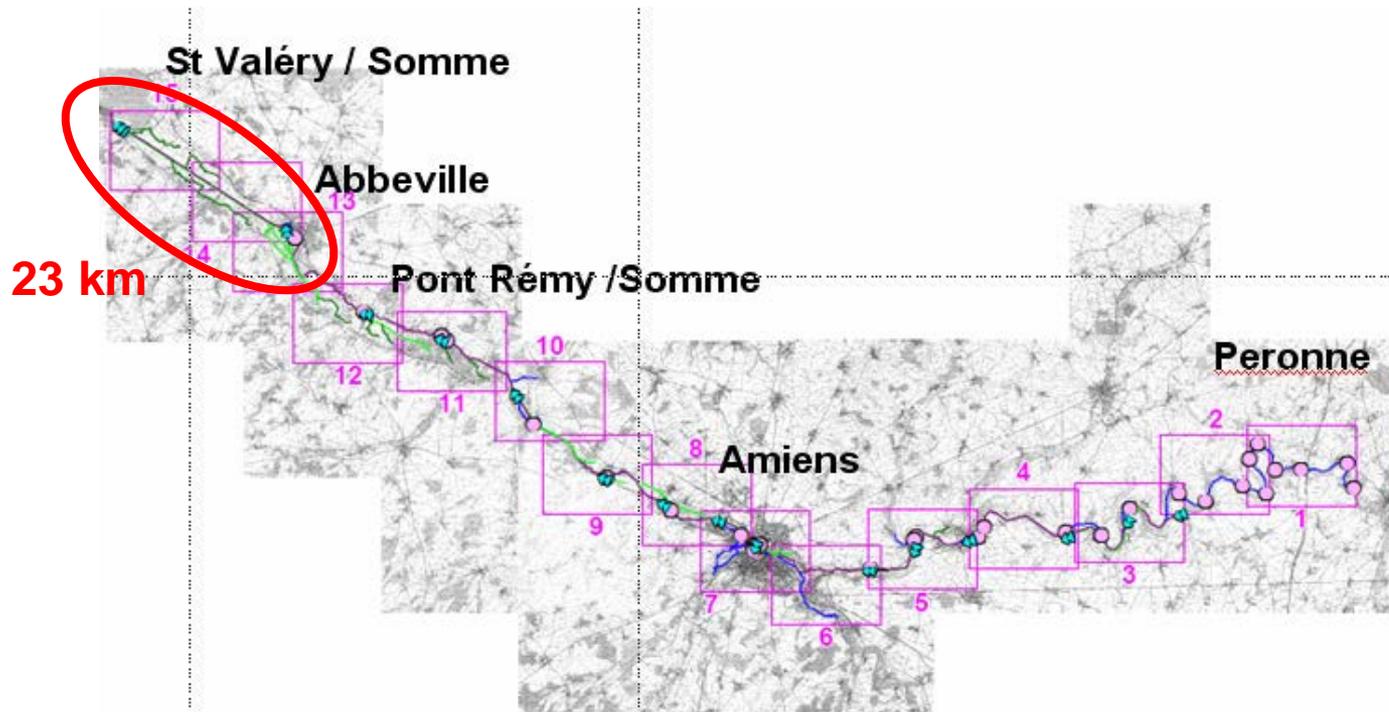
# Inondation de la Somme aval

Référence = Crue de 2001 en tenant compte des réaménagements qui ont suivi

- ➔ dont passe supplémentaire sur l'écluse de Saint-Valéry
- ➔ baisse des volumes inondants de  $890.10^3 \text{ m}^3$

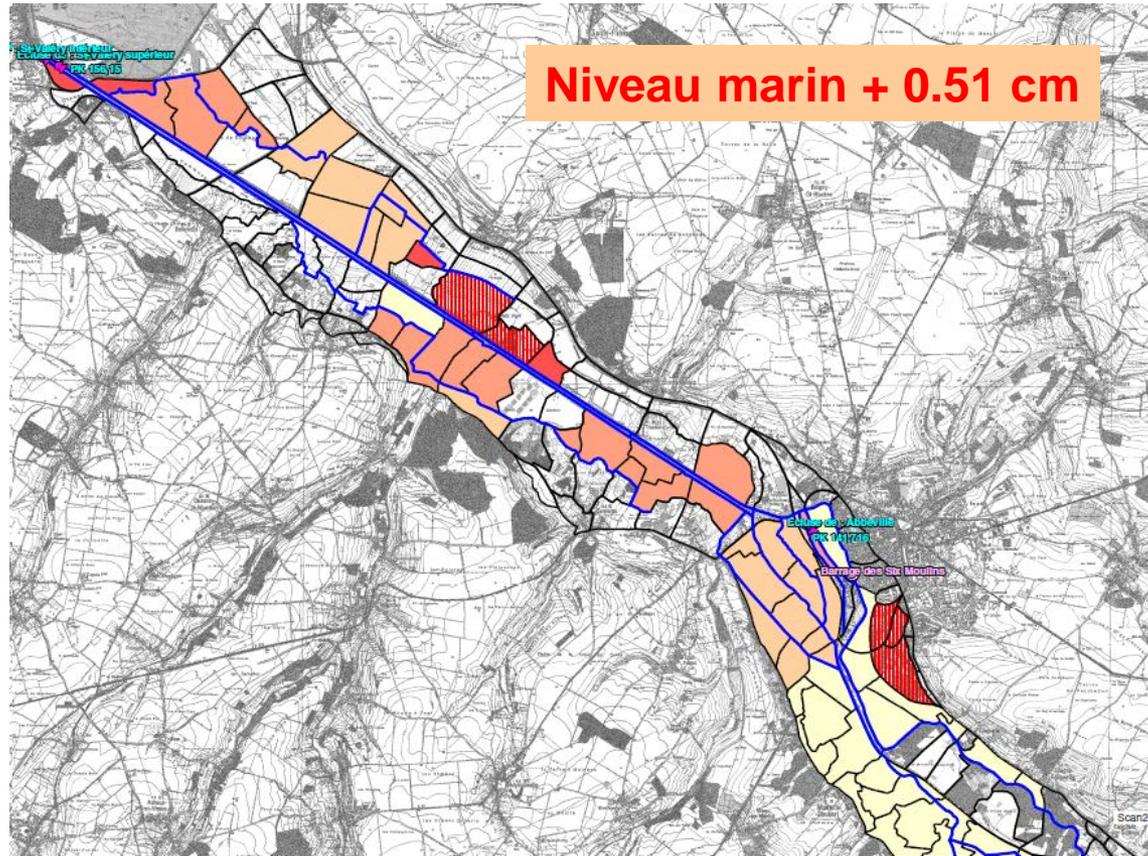
Hypothèses sur le changement climatique en fin de siècle :

- ➔ impact négligeable sur les débits de crue
- ➔ élévation du niveau de la mer : entre +0.20 m et +0.51 m



# Inondation de la Somme aval

## Impact sur les hauteur d'eau maximum (cm)



**Cette augmentation du volume inondant représente seulement 10 % de la baisse due aux réaménagements**

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

Coordination : Eric SAUQUET (Irstea HHLV Lyon-Villeurbanne)

Soutenu par le programme GICC (2011-2014)

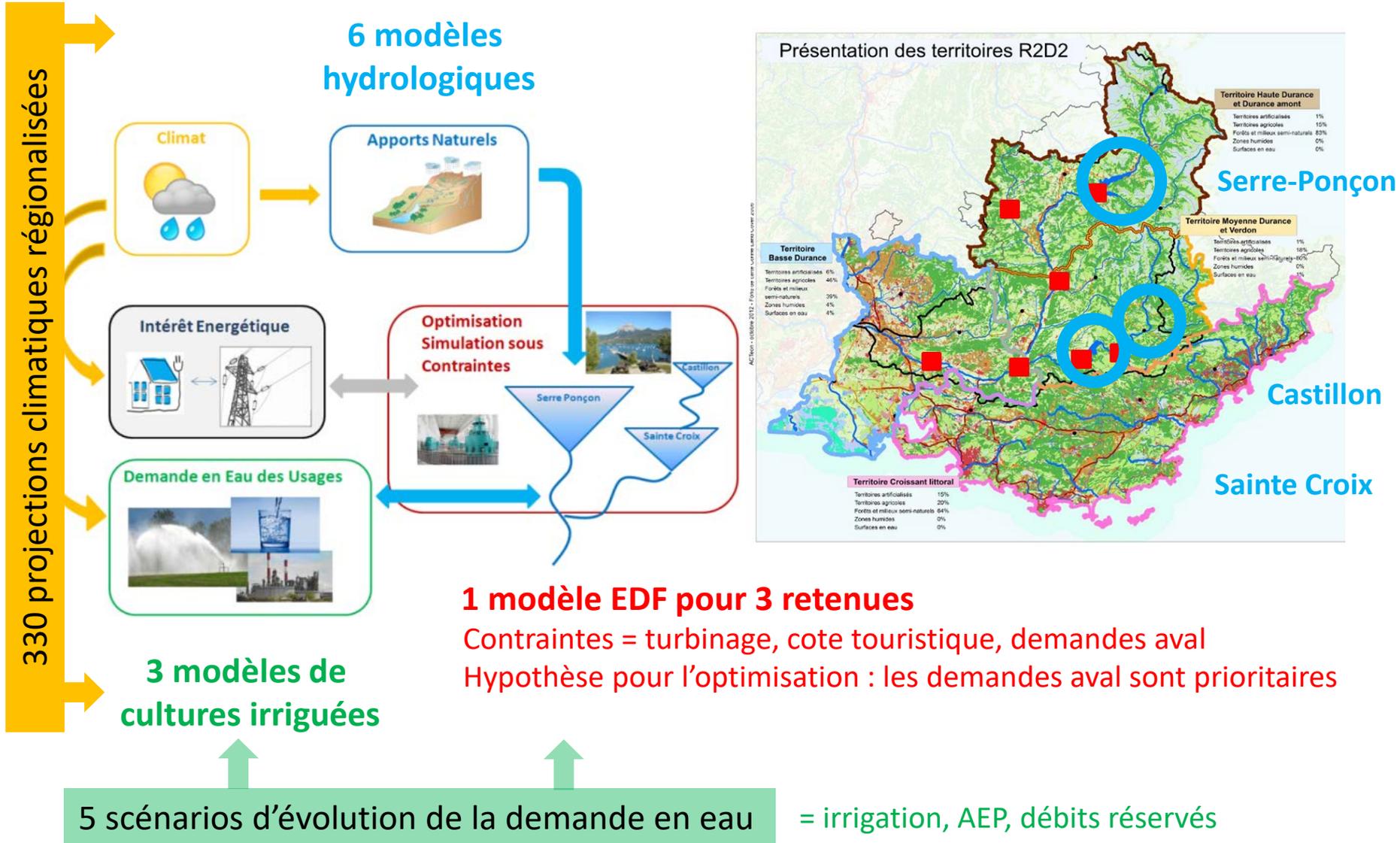


### Questions scientifiques :

- Evolutions du régime hydrologique des principaux cours d'eau = **offre en eau**
- Estimation des **demandes en eau** actuelles et futures (hydro-électricité, agriculture, eau potable, tourisme)
- **Déséquilibres potentiels futurs** entre offre/demande sous scénarios de changement climatique et d'évolution socio-économique
- Marges de manœuvre et **alternatives de gestion** pour une gestion « équilibrée et durable » de la ressource en eau en cohérence avec les enjeux du territoire

# Conflits d'usage dans le bassin de la Durance ?

## Les composantes du projet

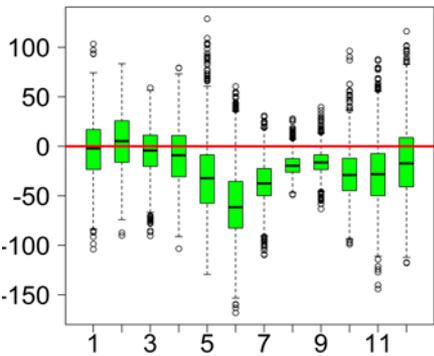


# Conflits d'usage dans le bassin de la Durance ?

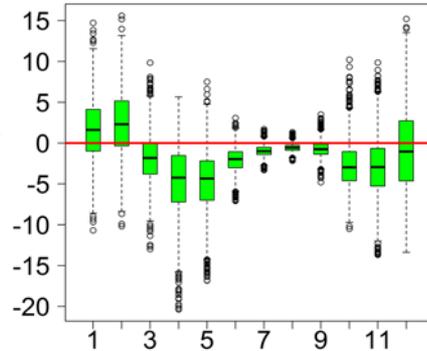
## Vers une baisse de l'offre

Changements  
des débit mensuels  
(m<sup>3</sup>/s, 2050 – 2000)

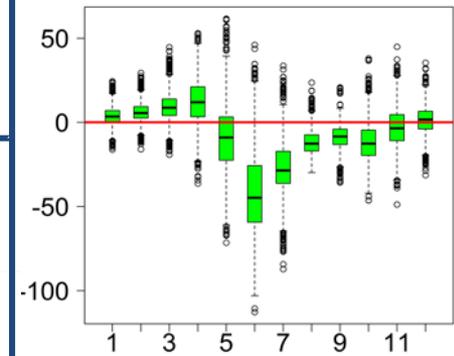
Mallemort



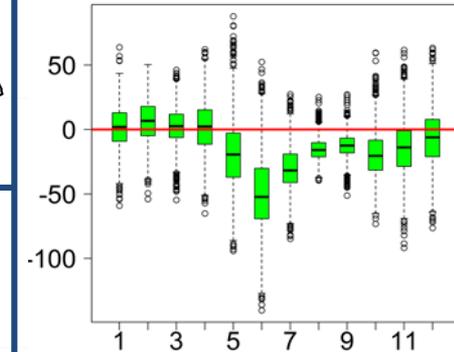
Buëch



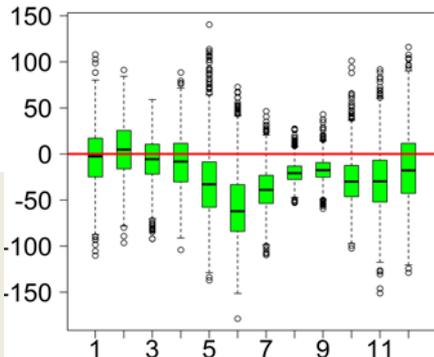
Serre-Ponçon



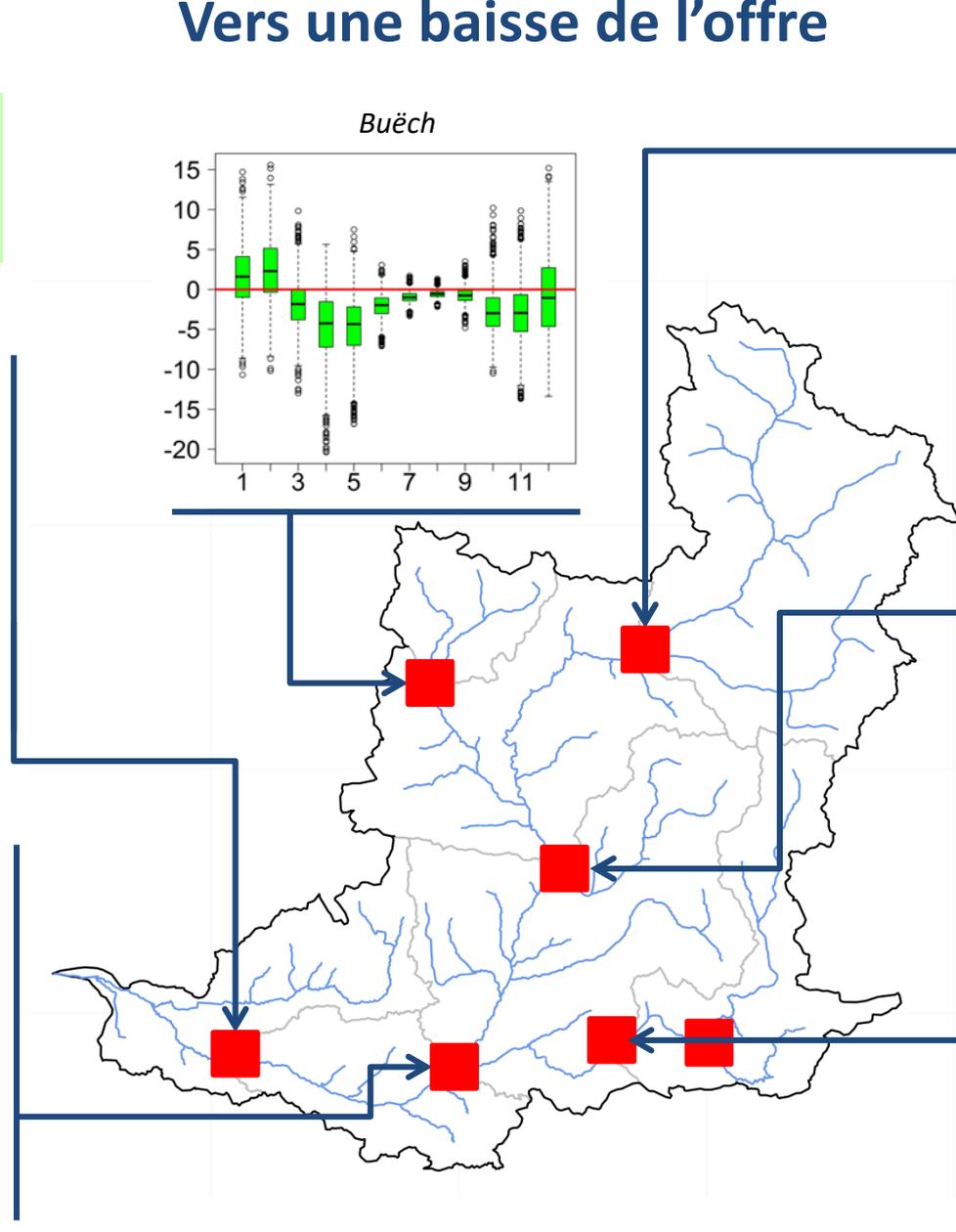
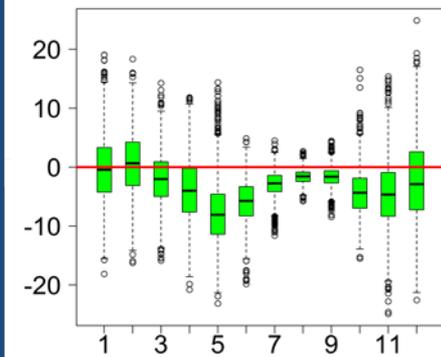
Oraison



Cadarache

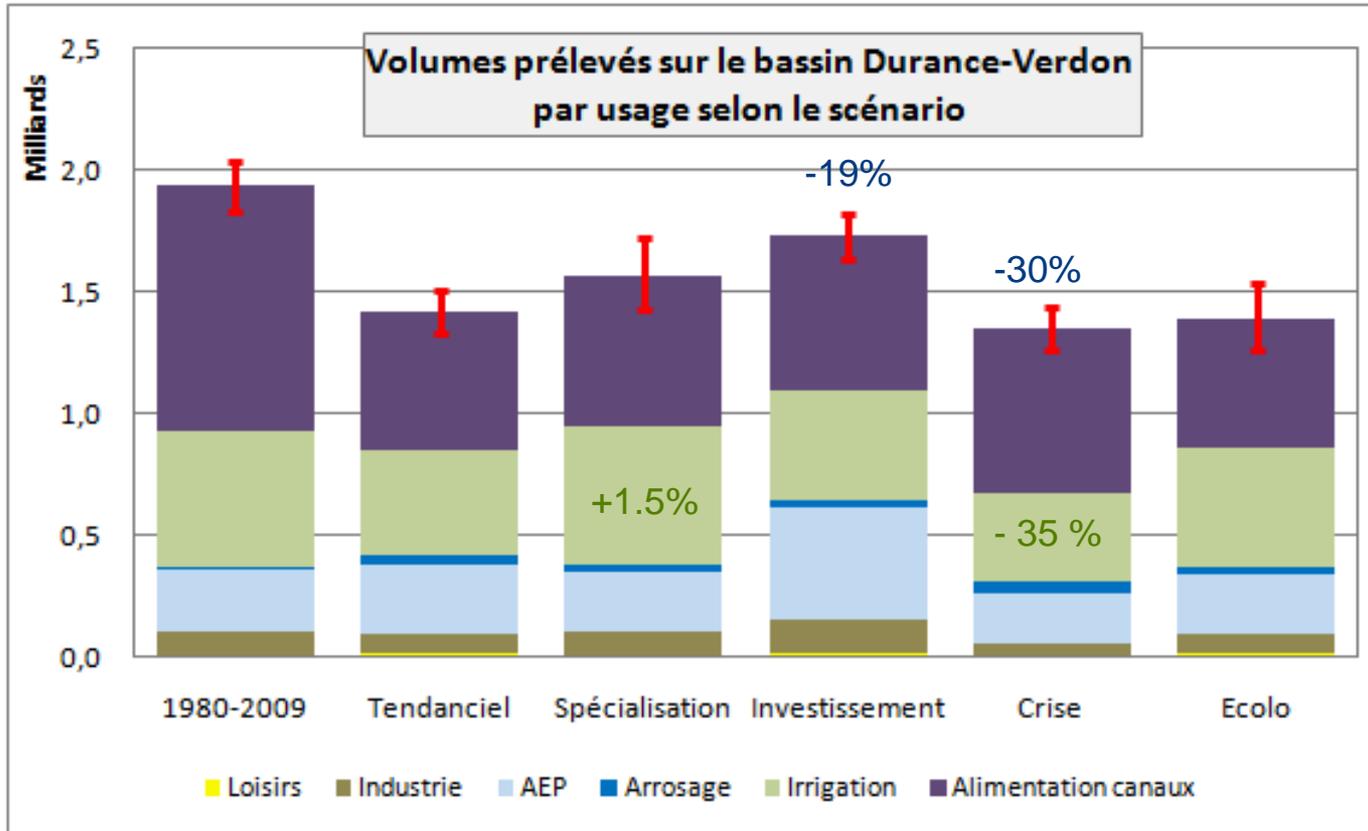


Sainte-Croix



# Conflits d'usage dans le bassin de la Durance ?

## Les scénarios de demande en eau



Une baisse des prélèvements...

Hausse des rendements des canaux

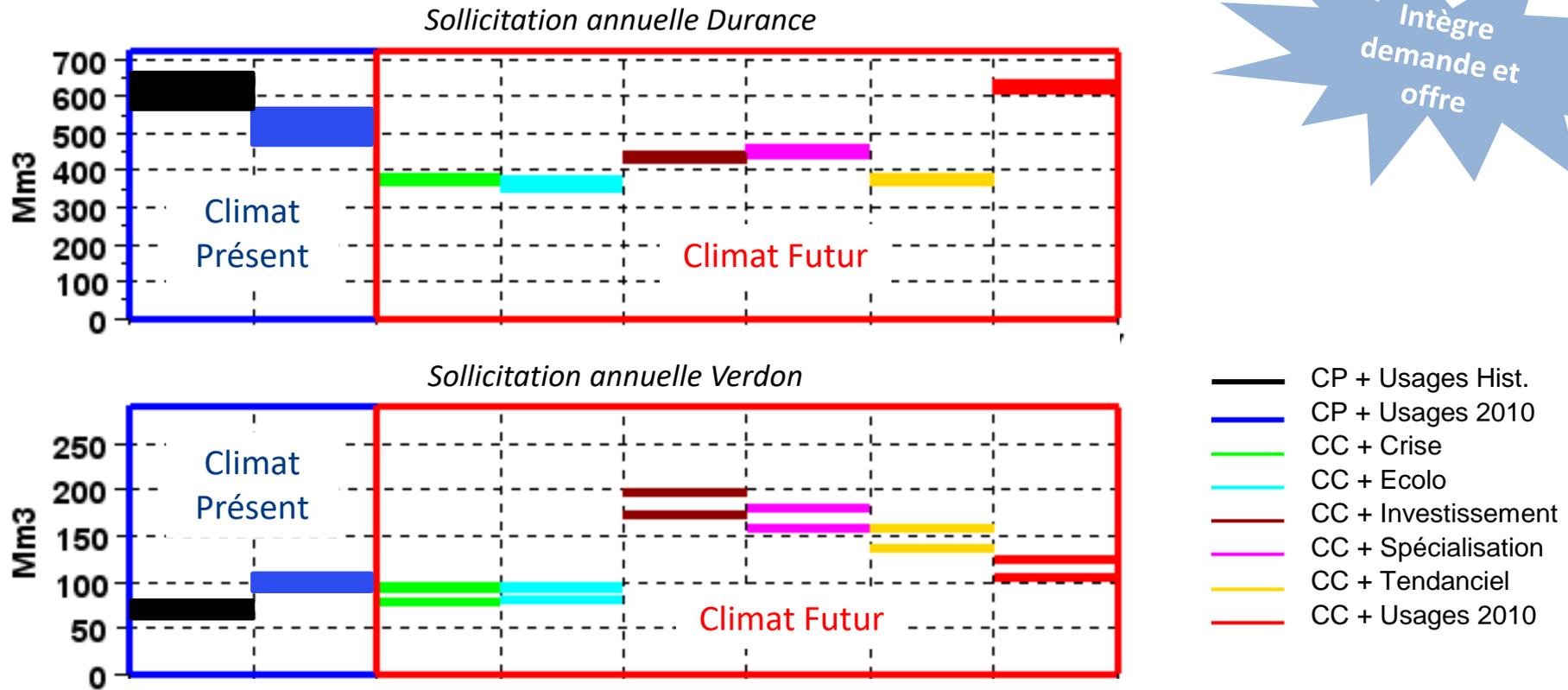
Du gravitaire au sous pression

Scénarios prospectifs établis en concertation avec les gestionnaires du territoire (élus, Agence de l'eau, DREAL... + EDF, SCP)

# Conflits d'usage dans le bassin de la Durance ?

## 1. Sollicitation des retenues

(Eau manquante à l'aval pour que les usages qui disposent d'un droit puissent assurer leurs prélèvements)



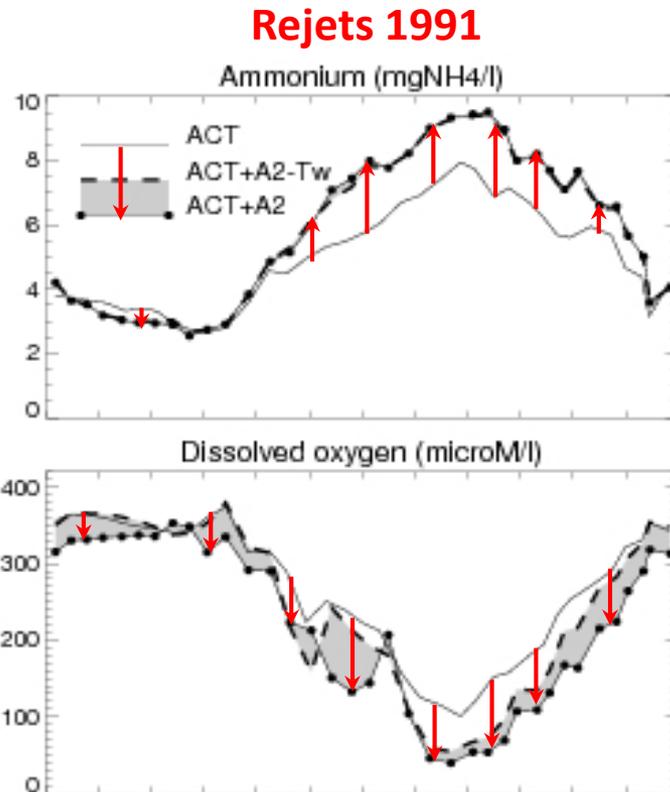
## 2. Conséquences « socio-economiques »

- **Baisse de la production électrique** car réduction de l'alimentation par l'amont
- **Durance : équilibre offre-demande possible** (si demande en baisse, remplissage anticipé pour cote touristique)
- **Verdon : possible conflit d'usages** entre cote touristique, production électrique et prélèvements aval  
↳ Stratégie d'adaptation non évidente

# Qualité de l'eau dans le bassin de la Seine

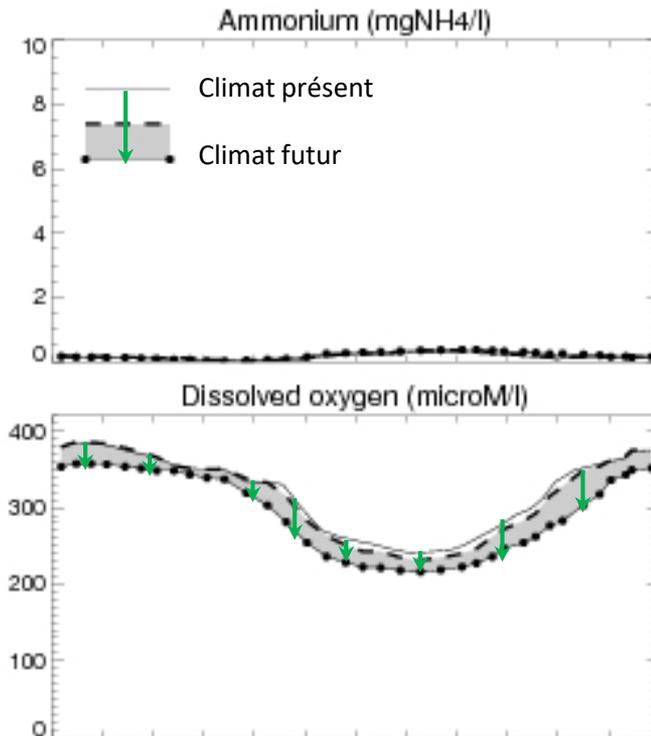
## Impacts croisés du CC + technologies d'épuration

*Cycles annuels moyens  
à Conflans/Seine  
Aval STEP Achères*



Prospective spécialisée

**Rejets 2050**



**Si les rejets ponctuels ne baissent pas,  
l'impact du changement climatique sur la qualité  
devient beaucoup plus négatif**

# Conclusions

## 1. Vulnérabilité des hydrosystèmes continentaux en France

### Effets incertains :

- Pluies et crues intenses en région Méditerranéenne
- Débits de crue en France du Nord
- **Car fortes incertitudes sur les projections des précipitations**

### Effets robustes

- **Augmentation des risques de défaillance de la ressource en été**
  - Baisse des débits d'étiages et des niveaux piézométriques
  - Réduction des stocks de neige/glace et de leur effet tampon
- **Implications pratiques pour les secteurs suivants :**
  - Agricole, via l'irrigation
  - Industries dépendantes de la ressource en eau (navigation, AEP, énergie, industries polluantes)
  - Zones humides et milieux aquatiques, qualité de l'eau, DCE...
  - Bâtiments et infrastructures

# Conclusions

## 2. Enseignements pour l'adaptation

- **Dans le secteur de l'eau, la difficulté de l'adaptation vient des conflits d'usages**
  - Stratégie d'adaptation principale = économie d'eau (« sans regret »)
  - Les solutions techniques sont sans doute nécessaires mais pas suffisantes
- La modélisation « intégrée » est une contribution importante en permettant de (re)jouer plusieurs scénarios
- Mais l'appropriation des scénarios par les acteurs est également essentielle

**Merci de votre attention**

**Et merci à mes collègues des projets présentés:**

### **RExHySS (Seine et Somme):**

F. Habets, L. Oudin (METIS), P. Viennot (MINES-ParisTech), E. Sauquet (IRSTEA), L. Evaux (SOGREAH), J. Boé, L. Terray (CERFACS), E. Martin, M. Déqué (CNRM), etc.

### **R2D2-Durance:**

E. Sauquet, J.P. Vidal, I. Braud (IRSTEA), F. Hendrickx, R. Samie (EDF), J.F. Brun (SCP), Y. Arama (Acteon), B. Ingray (LTHE), C. Magand (METIS), etc.