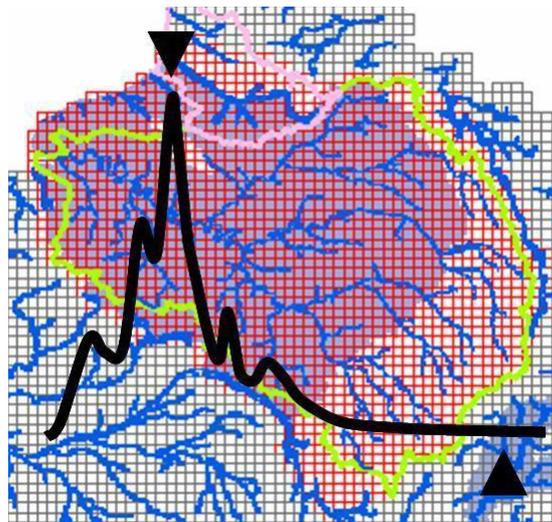


Projet RExHySS

Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme

Coordinatrice : A. Ducharne

UMR Sisyphe, UPMC/CNRS



Bassins versants étudiés

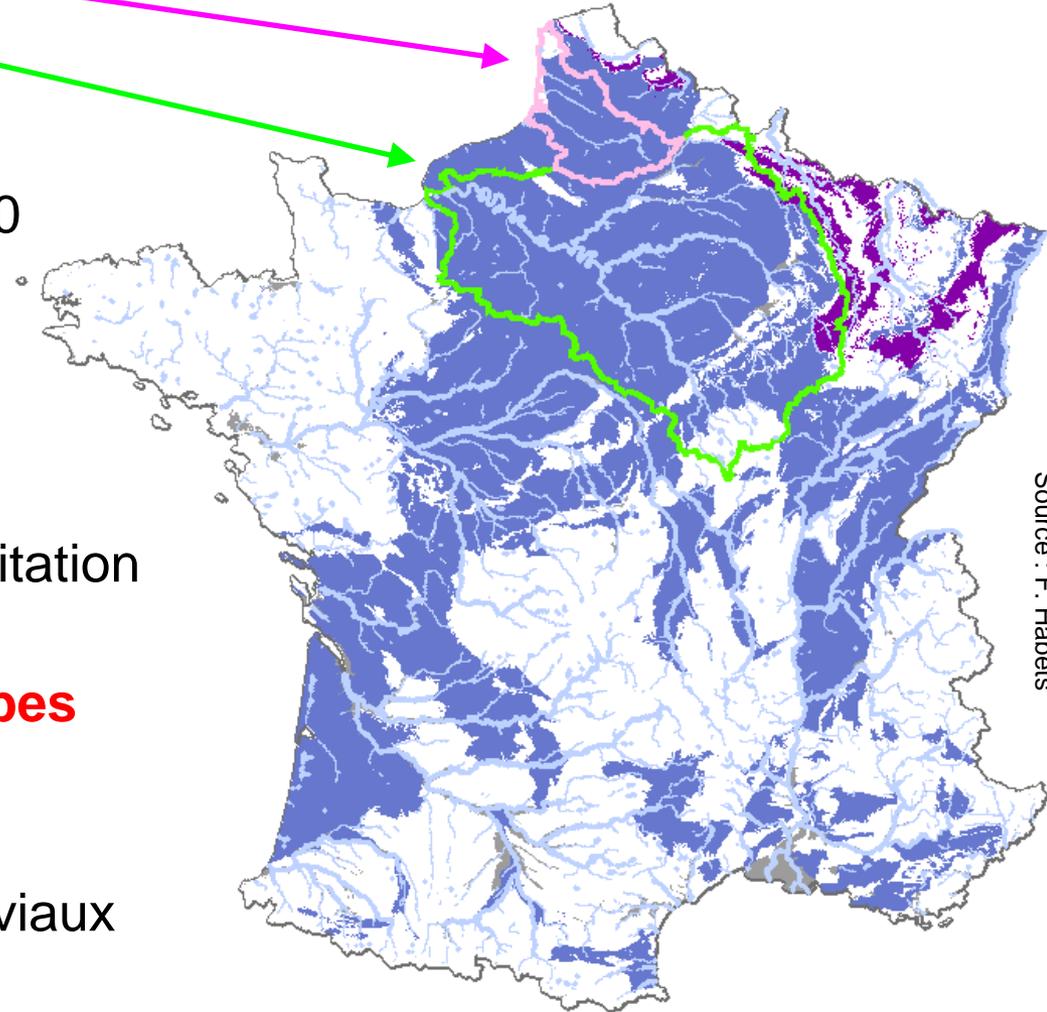
Somme ~ 7,000 km²
Seine ~ 75,000 km²

Bassins bien connus :

- ➔ Stations hydrométriques > 150
- ➔ Piézomètres > 100
- ➔ Nombreux modèles validés

Caractéristiques actuelles :

- ➔ Climat océanique avec précipitation assez homogène toute l'année
- ➔ **Influence marquée des nappes aquifères sur les débits**
- ➔ Agriculture intensive
- ➔ Urbanisation des corridors fluviaux



Source : F. Habets

Carte des principales formations aquifères

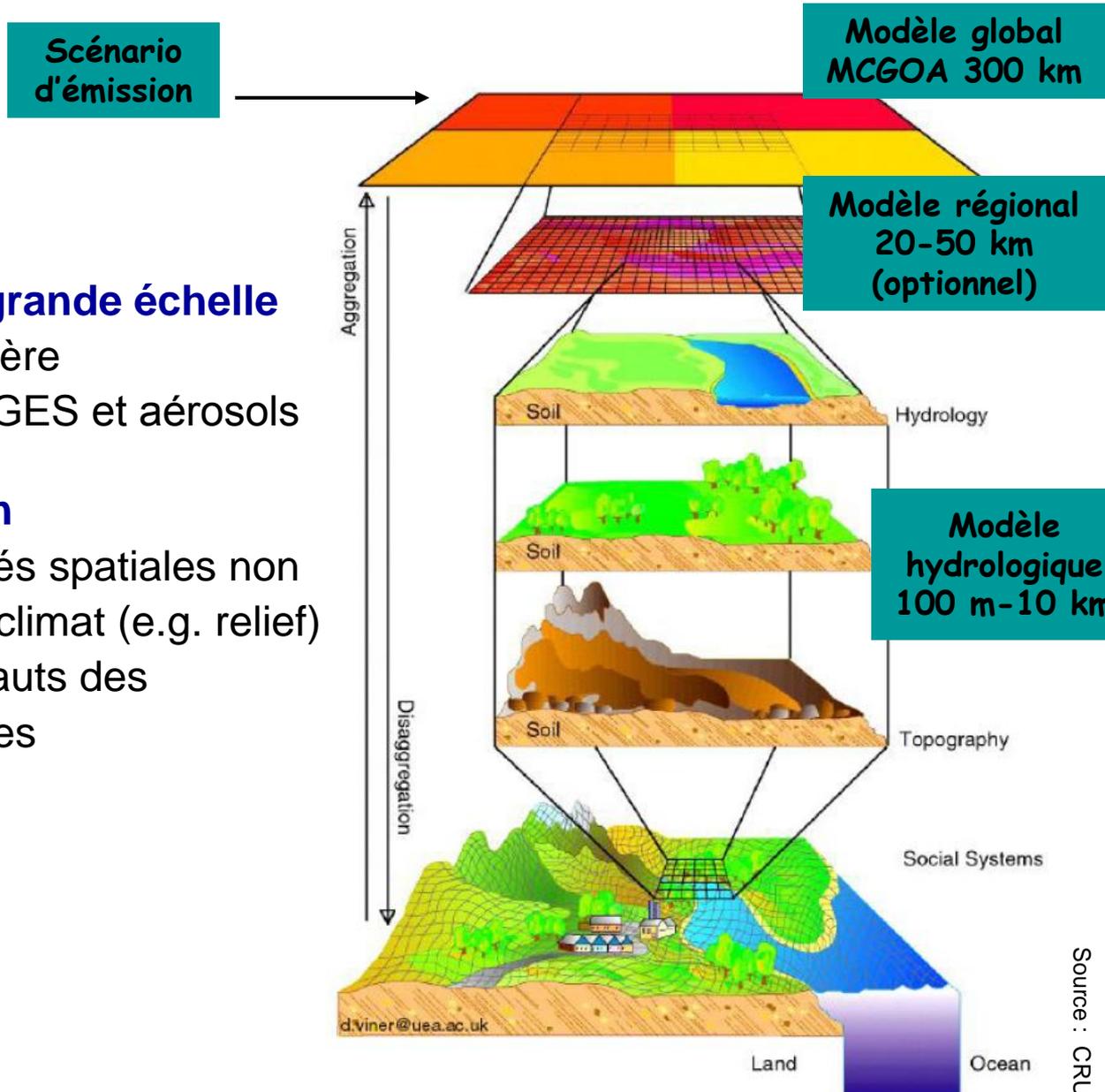
La démarche des impacts hydrologiques

Modélisation climatique à grande échelle

- ➔ couplage océan / atmosphère
- ➔ scénarios d'évolution des GES et aérosols

Nécessité de désagrégation

- ➔ 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)



Points clés de la méthodologie RExHySS

1. Méthodes de désagrégation permettant d'aborder l'évolution des extrêmes météo et hydrologiques

- ➔ régimes de temps (Boé et al., 2006)
- ➔ quantile-quantile (Déqué, 2007)

2. Analyse des incertitudes

- ➔ **Modélisation climatique : approche multi - scénarios**
avec 20 scénarios définis par différents modèles climatiques (AR4), scénarios d'émission, horizons temporels et méthodes de désagrégation
- ➔ **Modélisation hydrologique : approche multi - modèles**
avec 6 modèles différents correspondant à l'état de l'art et validés en temps présent
- ➔ **L'objectif est d'identifier les impacts robustes parmi la dispersion, représentative *a minima* des incertitudes.**

Principaux résultats

V1. Scénarios climatiques et régionalisation

V2. Modélisation hydrologique et ressources en eau

V3. Analyse fréquentielle des événements hydrologiques extrêmes

V4. Inondations de la Somme aval

V5. Irrigation et ressources en eau souterraine

V6. Transfert aux gestionnaires

Conclusions

- **Implications pratiques**
- **Discussion sur les limites de l'exercice**

Détails dans le rapport final

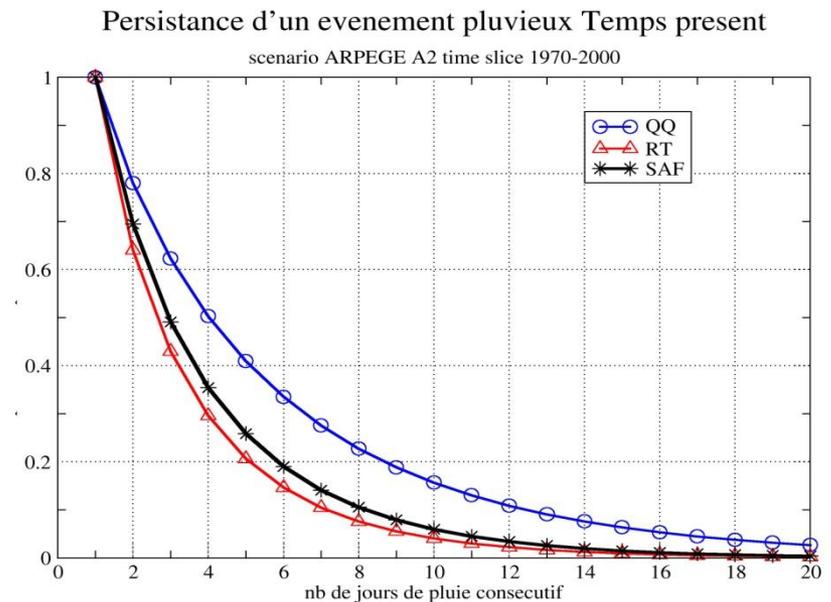
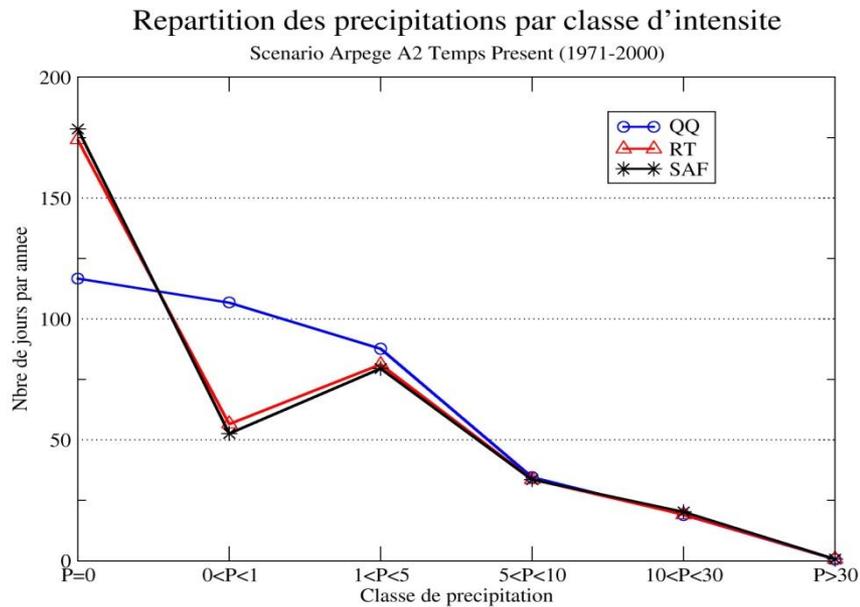
www.sisyphes.jussieu.fr/~agnes/rexhyss/

V1. Evaluation des scénarios désagrégés

1. Temps présent

Référence = analyse SAFRAN sur 1971-2000

- ➔ **P, T, ETP : biais faibles et distributions des valeurs journalières réalistes**
- ➔ la méthode quantile-quantile donne de moins bonnes distributions des précipitations journalières et surestime les débits

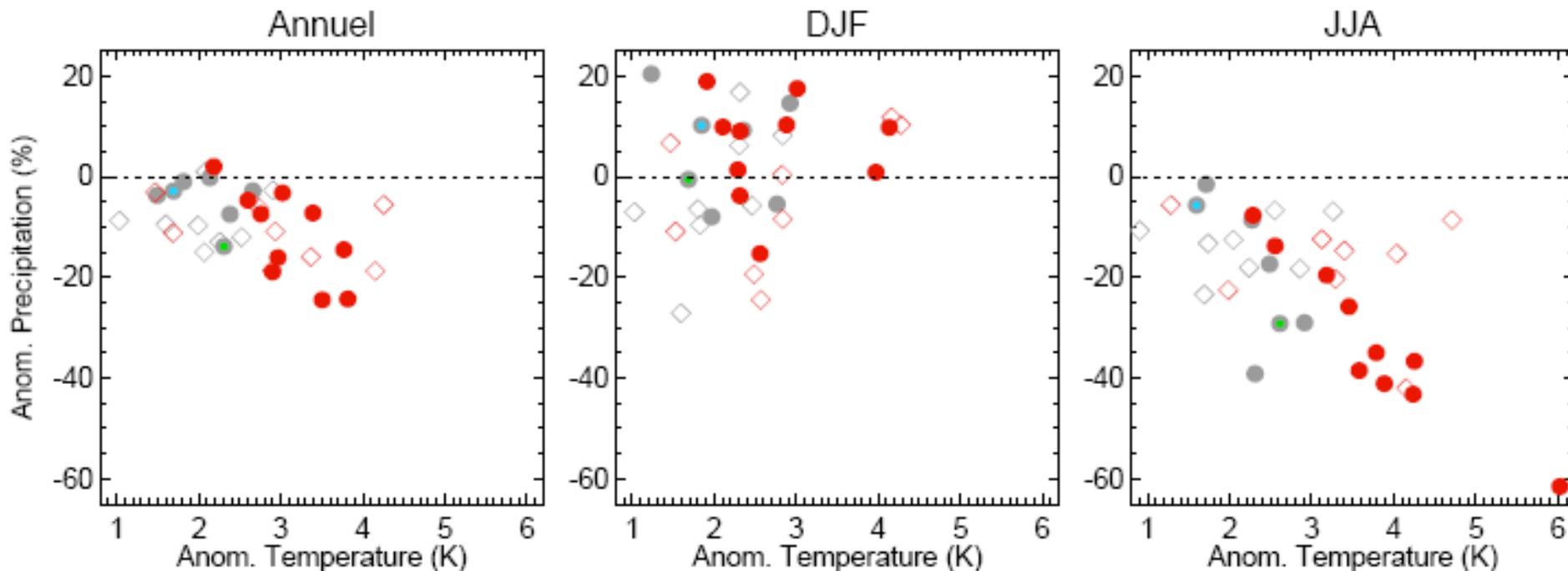


2. Temps futur

- ➔ **Les deux méthodes donnent des réponses similaires en fin de siècle**

V1. Changement climatique régionalisé

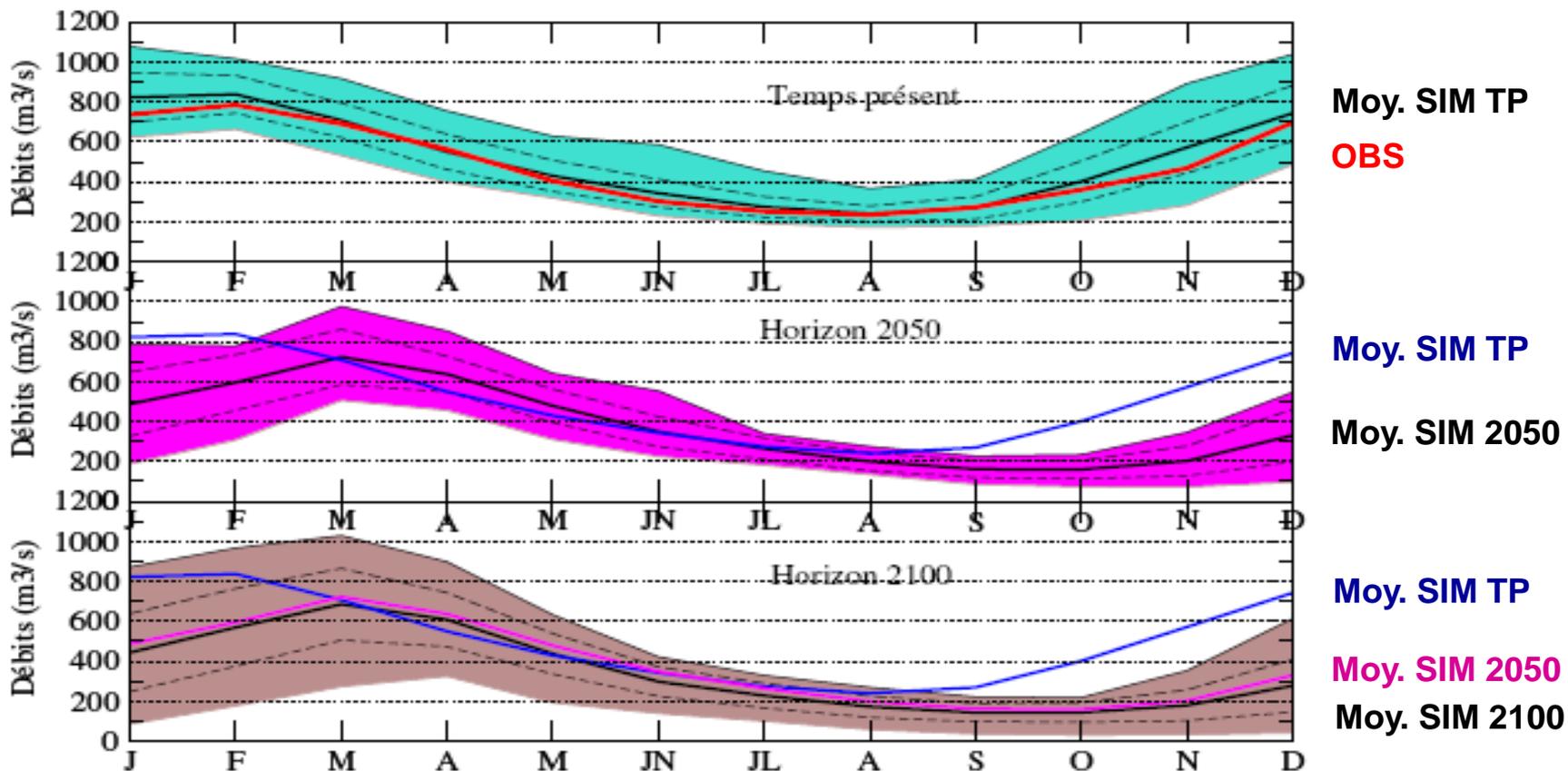
Changements de température et précipitation et leurs incertitudes selon 18 scénarios **Fin de siècle** et Milieu de siècle



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

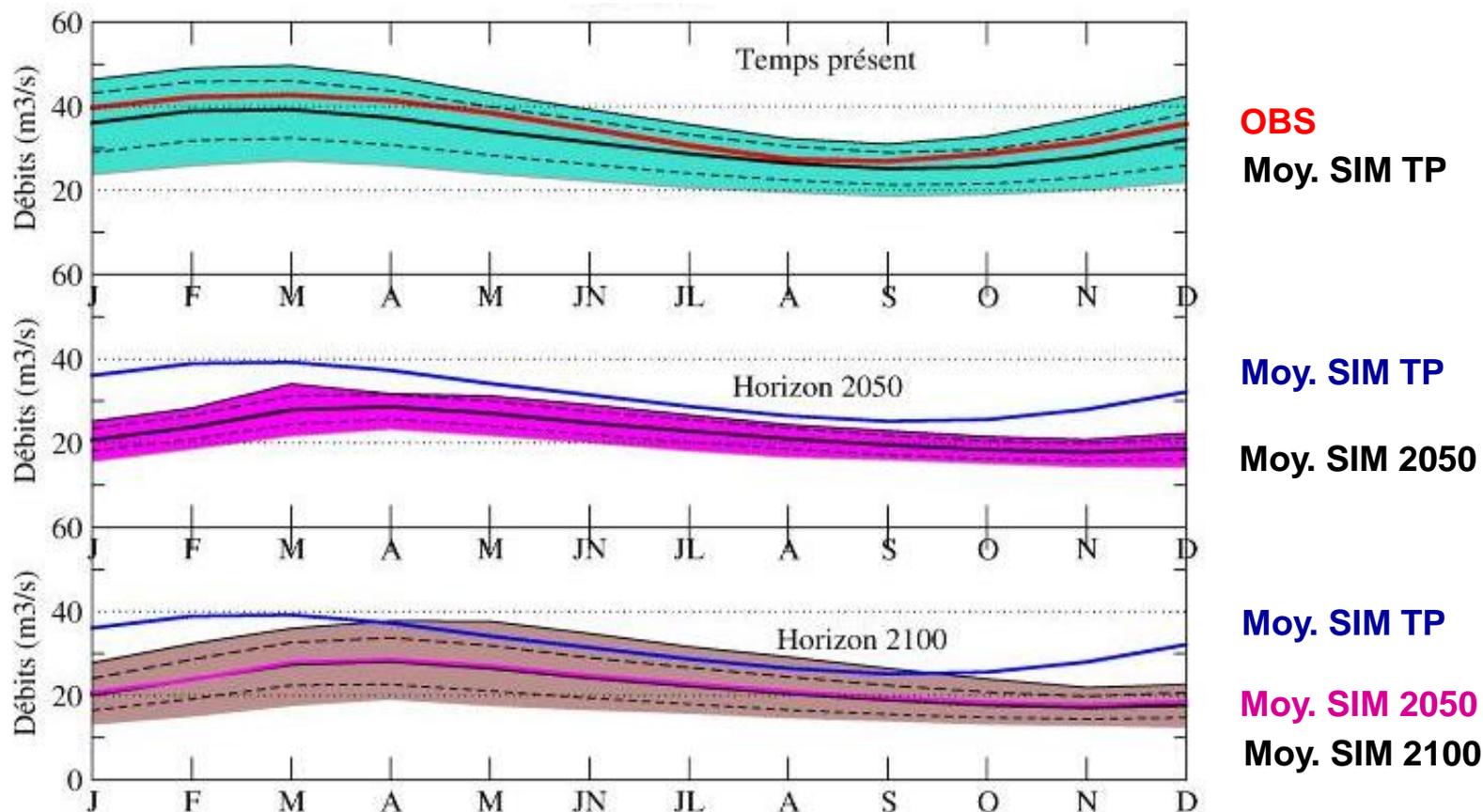
V2. Régime hydrologique : la Seine à Poses



10 scénarios régionalisés et 5 modèles hydrologiques

- ➔ **Hydrogramme décalé** (hautes et basses eaux retardées)
- ➔ **Baisse des débits sauf au printemps** (très robuste en étiage)

V2. Régime hydrologique : la Somme à Abbeville



10 scénarios régionalisés et 5 modèles hydrologiques

- ➔ **Même réponse que pour la Seine**
- ➔ **Baisse plus systématique, surtout en milieu de siècle**

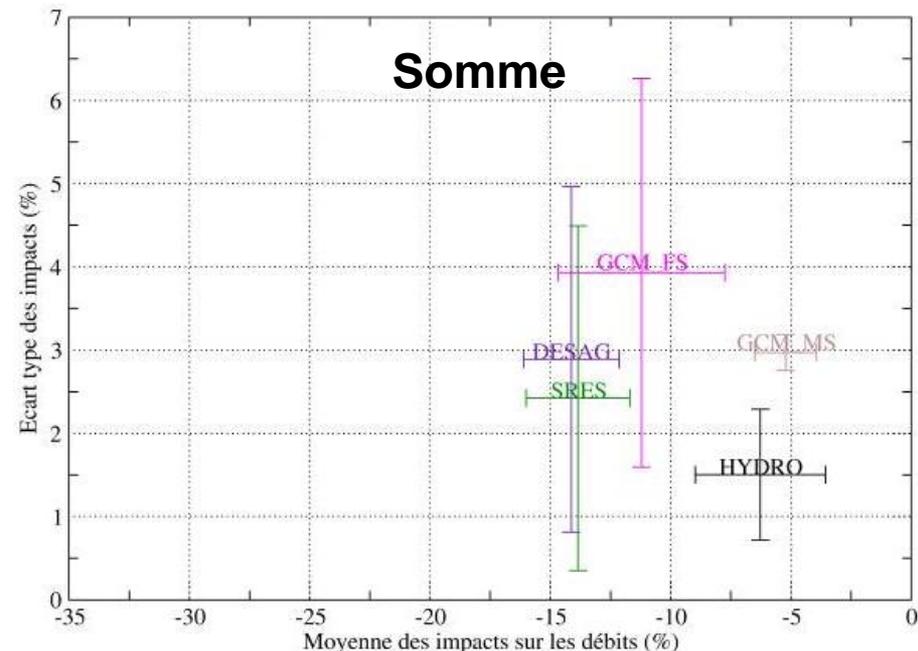
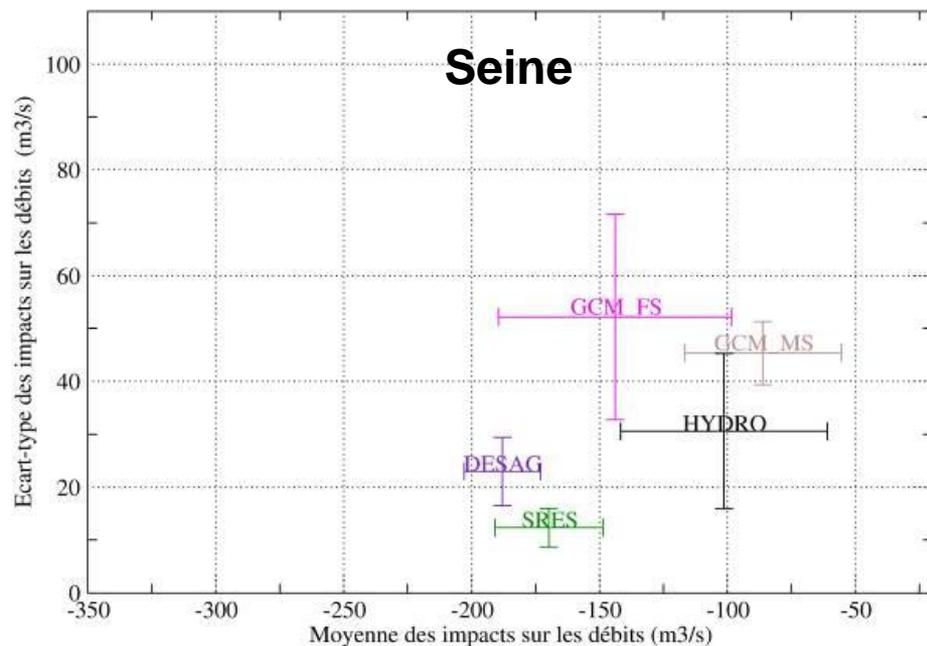
V2. Analyse des incertitudes

1. Baisses du débit moyen à l'horizon 2100

- ➔ Seine à Poses : -152 m³/s (-28 % TP) +/- 60 m³/s (10% TP)
- ➔ Somme à Abbeville : -10 m³/s (-29 % TP) +/- 5 m³/s (15% TP)

2. Hiérarchisation des facteurs d'incertitude

- ➔ Modèles climatiques > Modèles hydro > Méthodes de désagrégation
- ➔ Horizon et scénarios d'émission beaucoup plus faibles, car l'essentiel de la réponse est acquise dès 2050



V3. Indicateurs des débits extrêmes

Crués extrêmes :

- ➔ QJXA10 : débit journalier maximal annuel surpassé en moyenne tous les 10 ans
- ➔ Durée de crue

Etiages extrêmes :

- ➔ QMNA5 : débit mensuel minimal annuel sous-passé en moyenne tous les 5 ans
- ➔ Fiabilité : Nb de jours au dessus du QMNA5 « temps présent »

Justification :

- ➔ Faciles à mettre en œuvre : Caractérisés par ajustement aux lois de probabilités classiques des événements rares
- ➔ Utilisés couramment pour le dimensionnement d'ouvrages ou les plans de prévention des risques, avec des indicateurs d'événements plus extrêmes.

V3. Indicateurs des extrêmes du débit

Crués extrêmes :

- ➔ **QJXA10** : débit journalier maximal annuel surpassé en moyenne tous les 10 ans
- ➔ Durée de crue

Etiages extrêmes :

- ➔ **QMNA5** : débit mensuel minimal annuel sous-passé en moyenne tous les 5 ans
- ➔ Fiabilité : Nb de jours au dessus du QMNA5 « temps présent »

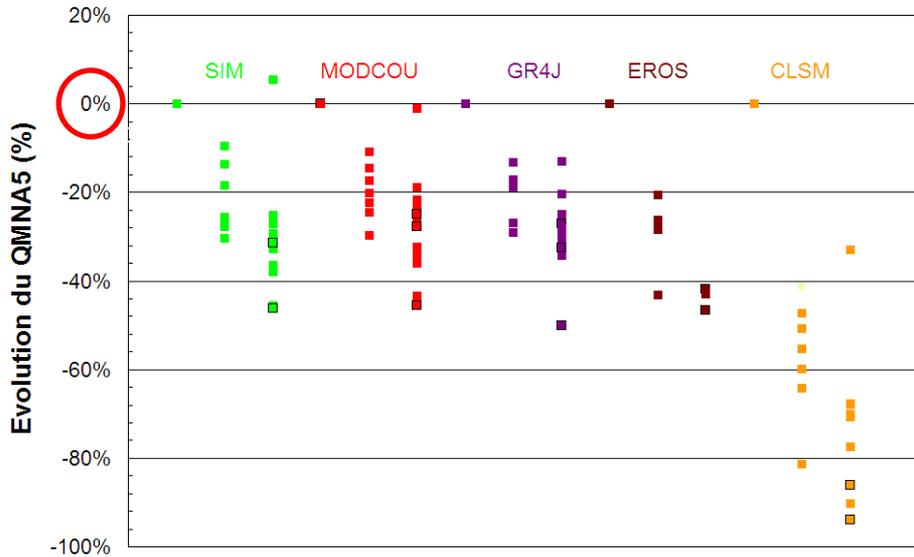
Justification :

- ➔ Faciles à mettre en œuvre : Caractérisés par ajustement aux lois de probabilités classiques des événements rares
- ➔ Utilisés couramment pour le dimensionnement d'ouvrages ou les plans de prévention des risques, avec des indicateurs d'événements plus extrêmes.

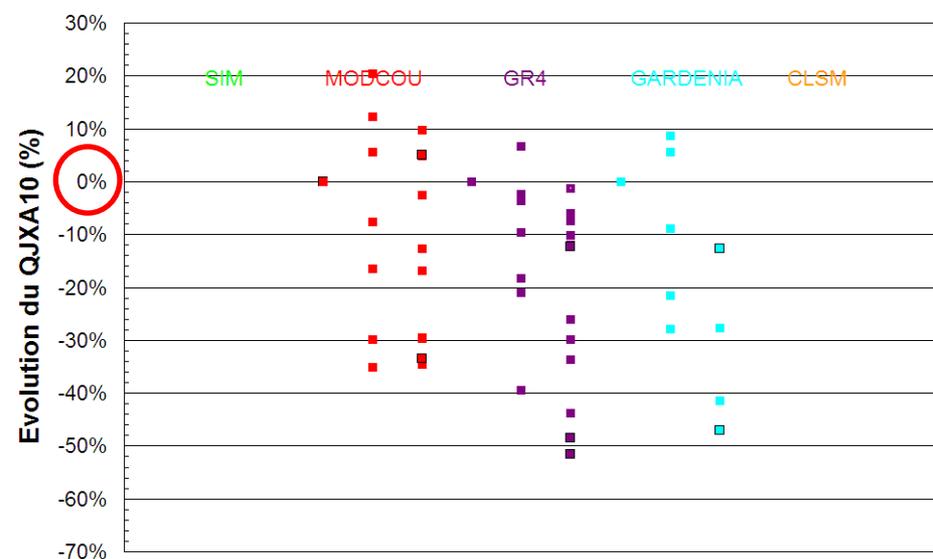
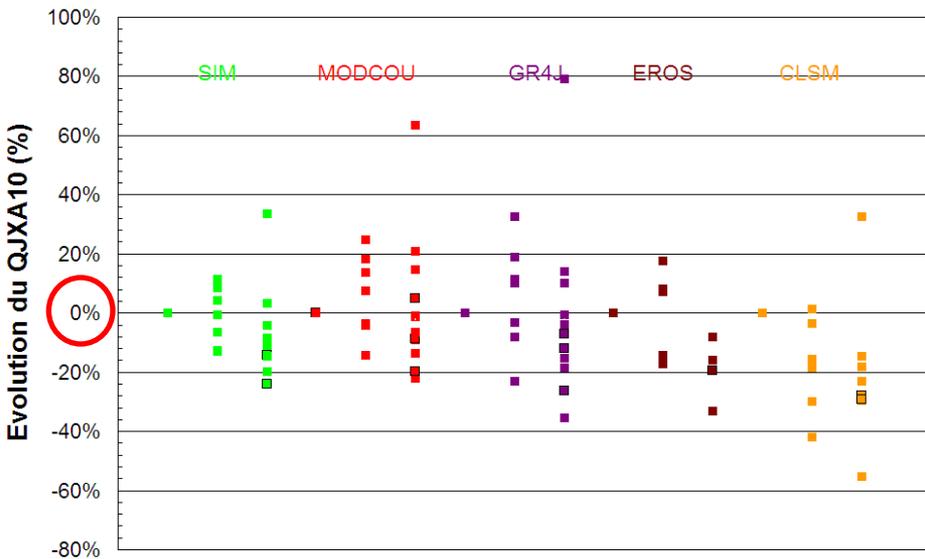
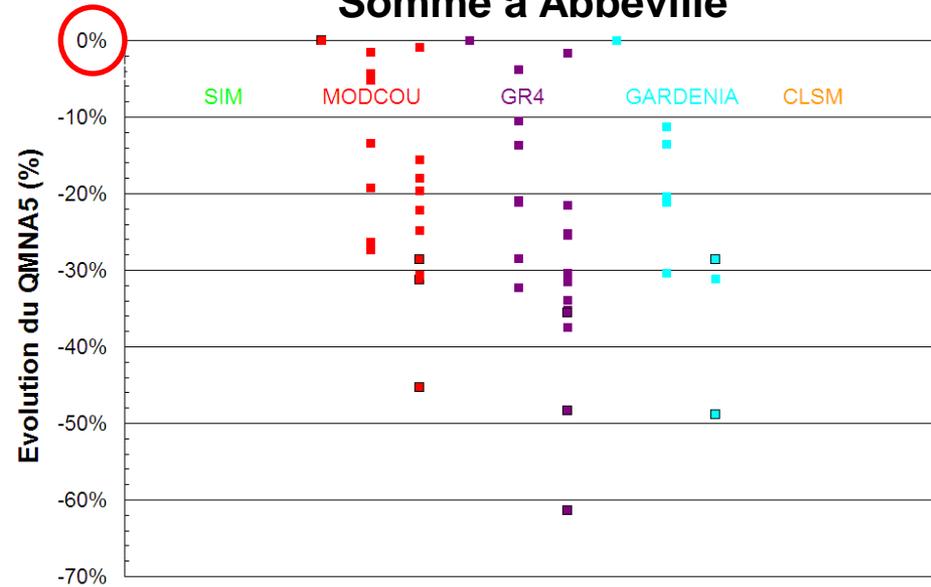
Evolution illustrée par la Seine à Paris et la Somme à Abbeville

V3. Evolution des extrêmes du débit

Seine à Paris



Somme à Abbeville



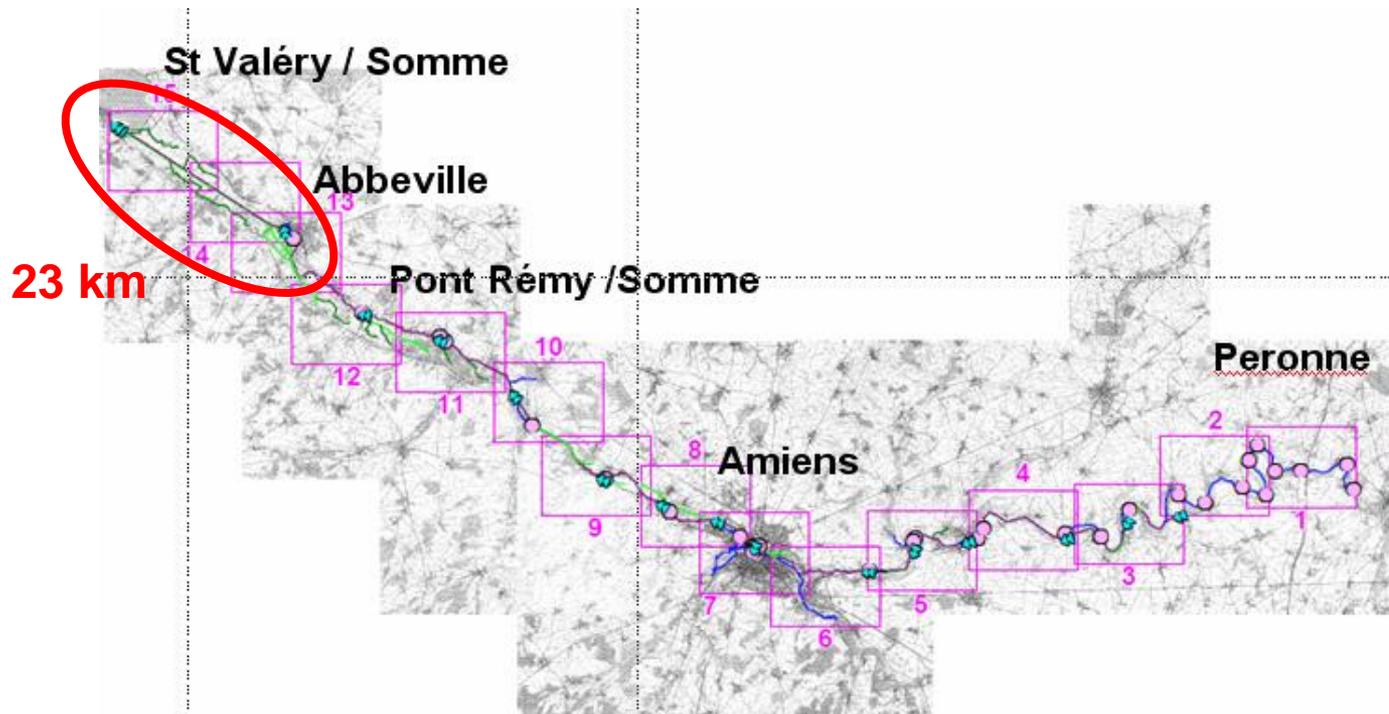
V4. Inondations de la Somme aval

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 m^3

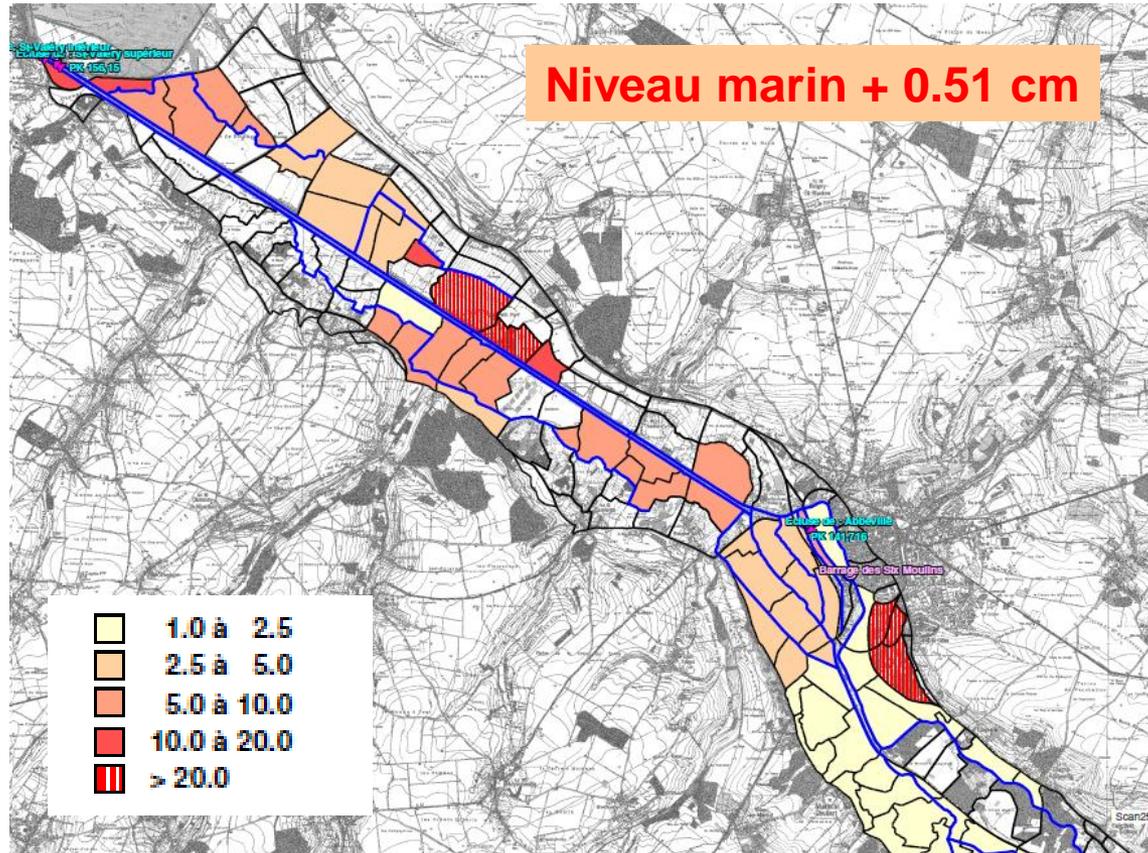
Hypothèses sur le changement climatique en fin de siècle :

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



V4. Inondations de la Somme aval

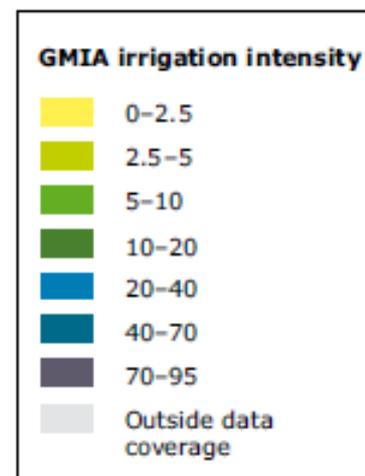
Impact sur les hauteur d'eau maximum (cm)



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

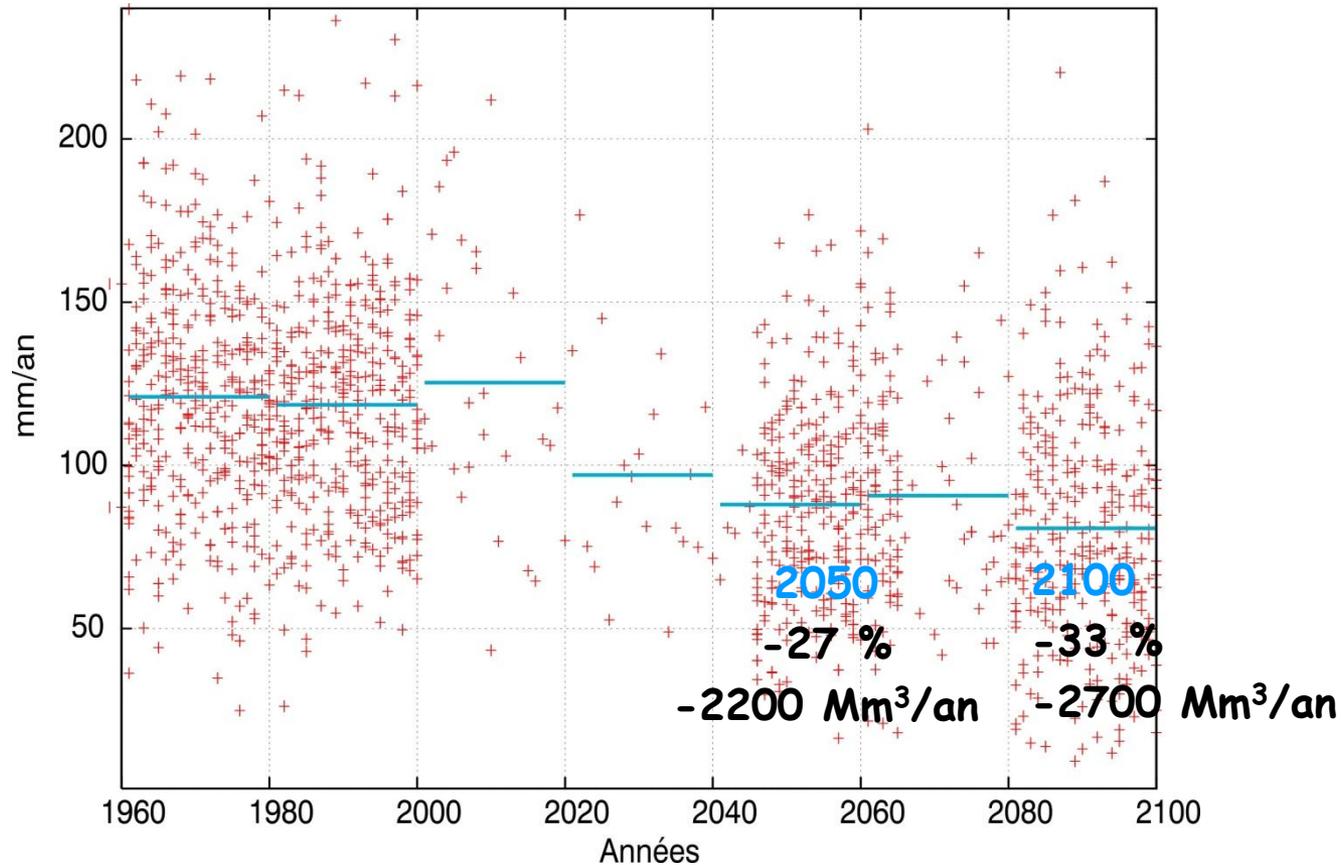
V5. Irrigation & ressources en eau souterraines

Bassin de la Seine Mm ³ en 2001	Eau de surface	Eau souterraine	Total
Prélèvements totaux	1825 59%	1270 41%	3095 100%
Dont irrigation	7	150	157 5%



V5. Evolution des ressources en eau souterraines

Recharge annuelle simulée par MODCOU dans le bassin de la Seine 19 scénarios climatiques



- ➔ Déficits proches des prélèvements totaux actuels (nappes + surface)
- ➔ Double des prélèvements actuels en nappe

V5. Interactions potentielles avec l'irrigation

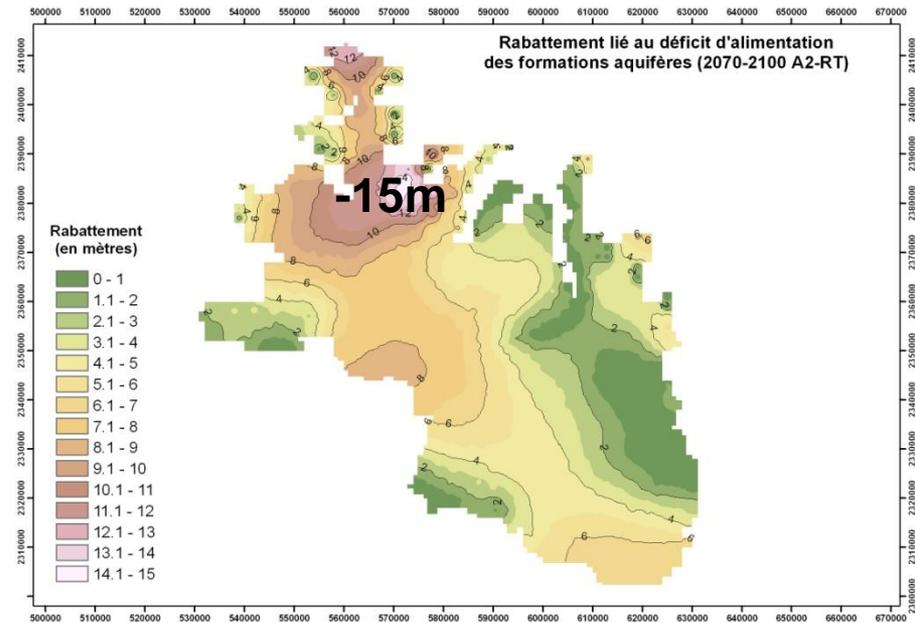
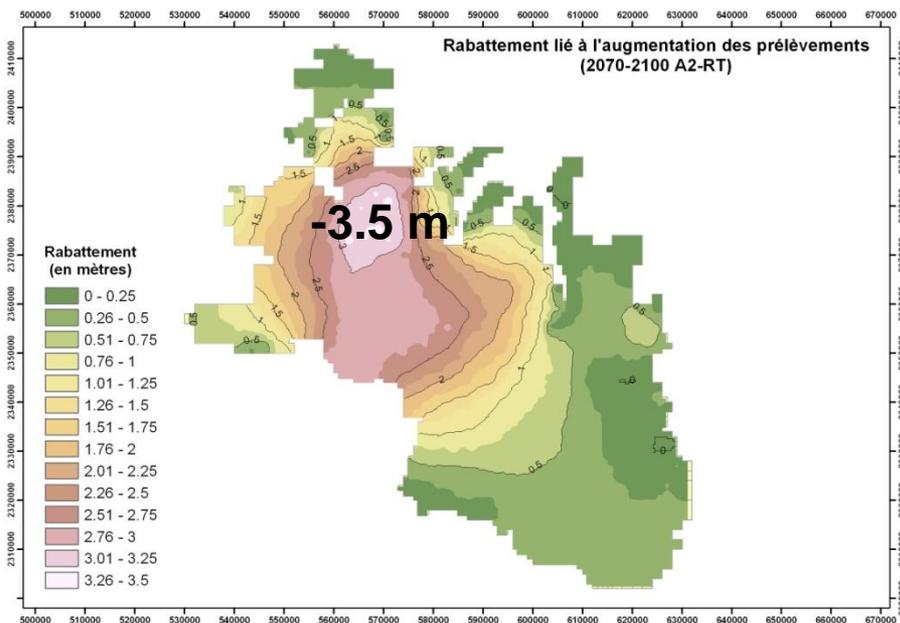
1. Doses potentielles d'irrigation simulées avec STICS dans le BV Seine :

- ➔ Correctes dans les zones actuellement irriguées (2.7% SAU)
- ➔ Augmentation de 50 à 60 % sous changement climatique

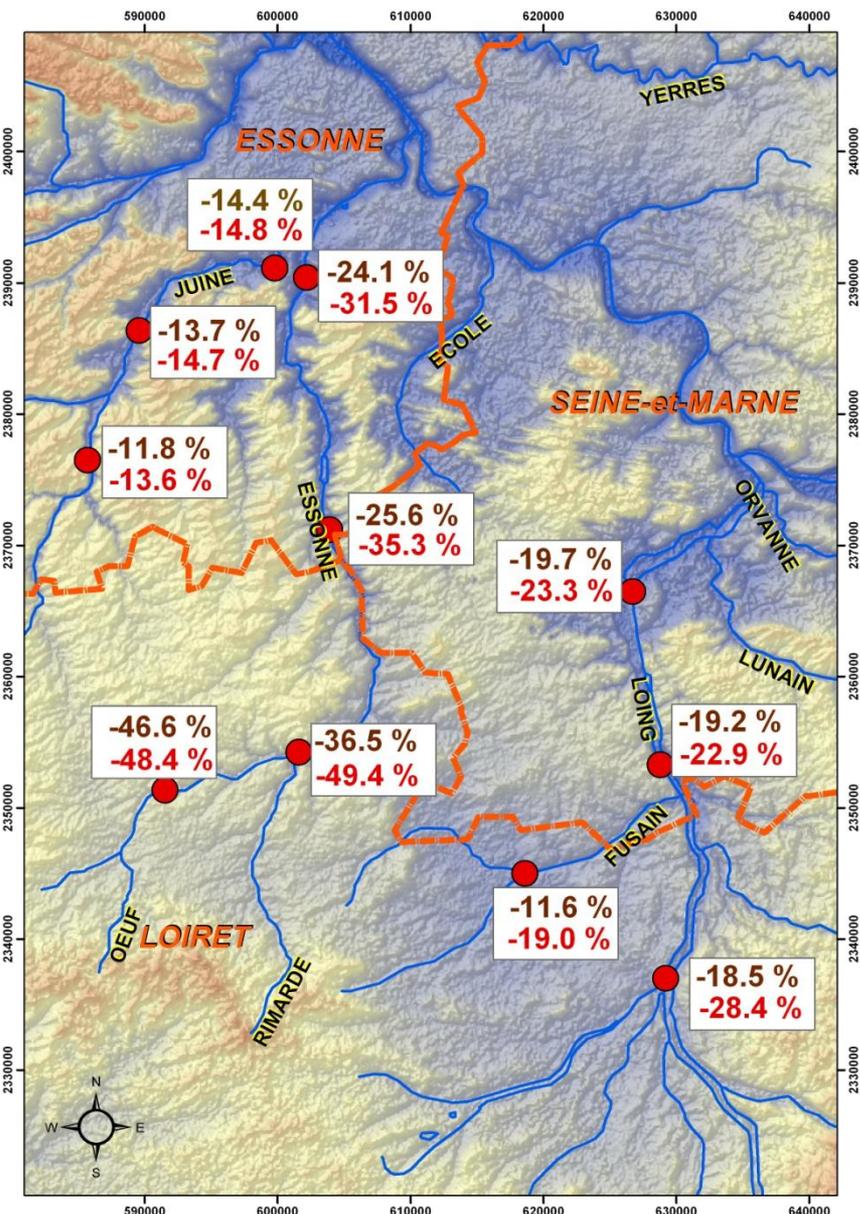
2. Baisse de la nappe simulée par MODCOU à l'horizon 2100

**Augmentation de 60% de l'irrigation
sans changement climatique**

**Sous scénario A2-RT
sans changer l'irrigation**



V5. Influences croisées sur les débits en Beauce



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

Modèle MODCOU sous scénario climatique A2-RT

- ➔ Effet du changement climatique seul
- ➔ Effet cumulé avec l'augmentation de l'irrigation induite par ce changement climatique
- ➔ L'effet direct du changement climatique suffit à remettre en cause la viabilité de l'irrigation des grandes cultures telle que pratiquée actuellement.

Conclusions principales

Baisse robustes des débits d'étiages et des niveaux piézométriques

- ➔ Augmentation des risques de défaillance et de conflits d'usages
- ➔ Implications pratiques pour les secteurs suivants :
 - agricole, via l'irrigation
 - industries dépendantes de la ressource en eau (navigation, AEP, énergie, industries polluantes)
 - zones humides
 - bâtiment et infrastructures

Changements modérés des crues décennales

- ➔ Avec incertitudes importantes !

Limites de l'exercice

Impact potentiel, toutes choses égales par ailleurs

- ➔ Les interactions avec les activités humaines sont une perspective importante pour adaptation et mitigation

Quelle confiance accorder à ces résultats ?

- ➔ Cette question dépasse l'analyse des incertitudes, qu'on ne peut couvrir de manière exhaustive
- ➔ Comparaison avec plusieurs études similaires :
 - la baisse des bas débits est systématique, d'où confiance élevée, car l'augmentation de demande évaporative atténue la dispersion liée aux précipitations
 - la réponse des hautes eaux est très incertaine car liée à celle des précipitations, une des variables climatiques les plus difficiles à simuler
 - dans ce cadre, nos résultats sont l'état de l'art
- ➔ La réduction des incertitudes (climatiques & hydrologiques) est une perspective essentielle, au niveau national et international

Recommandations en vue de l'adaptation

Mises en avant par l'atelier de dialogue avec les gestionnaires (V6)

1. Diffusion indispensable de l'information scientifique aux gestionnaires

- y compris sur la question difficile des incertitudes
- besoin de formation sur le sujet

2. Actions pouvant être engagées sans attendre

- évaluation hiérarchisée des besoins pour les différents usages
- révision des règles de dimensionnement et de gestions (seuils d'alerte)

Merci !

Au programme GICC

Aux nombreux participants du projet :

Habets F, Déqué M, Evaux L, Hachour A, Lepaillier A, Lepelletier T, Martin E, Oudin L, Pagé C, Ribstein P, Sauquet E, Thiéry D, Terray L, Viennot P, Boé J, Bourqui M, Crespi O, Gascoin S, Rieu J, Leblois E, Moulin L, Perrier A.

