



21-24 janvier 2013 – AMA 2013

Développement d'un schéma d'aquifère simplifié dans le système hydrologique continental ISBA-TRIP : évaluation sur la France et à l'échelle globale

J.-P. Vergnes

Directeurs de thèse : B. Decharme & H. Douville



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Problématique

- Pas de représentation des eaux souterraines à l'échelle globale
 - Sous-estimation des débits d'étiage
 - Impact sur l'évapotranspiration simulée

Influence sur le climat ?



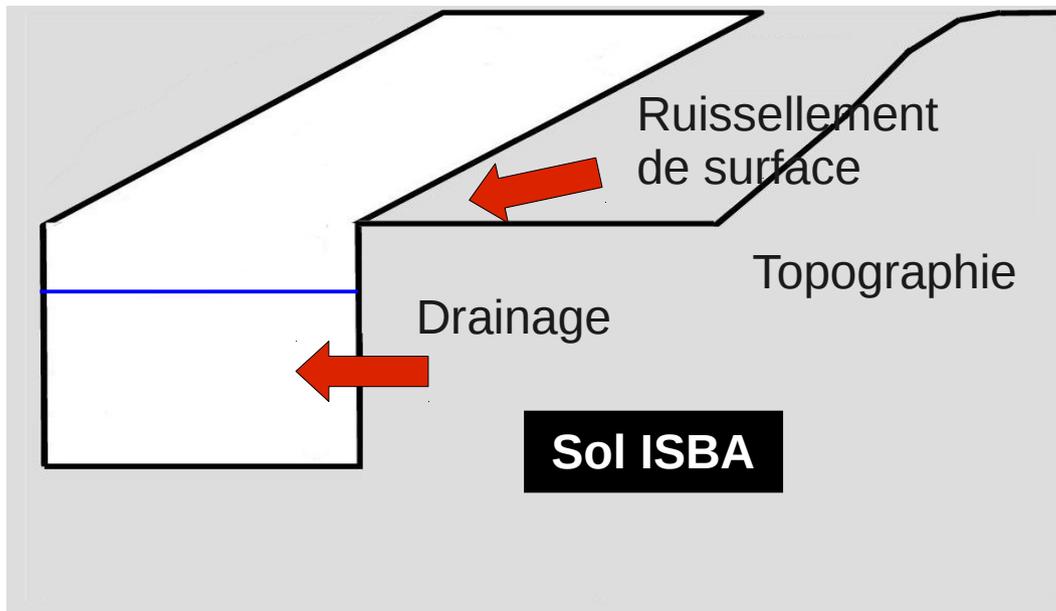
Problématique

- Pas de représentation des eaux souterraines à l'échelle globale
 - Sous-estimation des débits d'étiage
 - Impact sur l'évapotranspiration simulée

Influence sur le climat ?

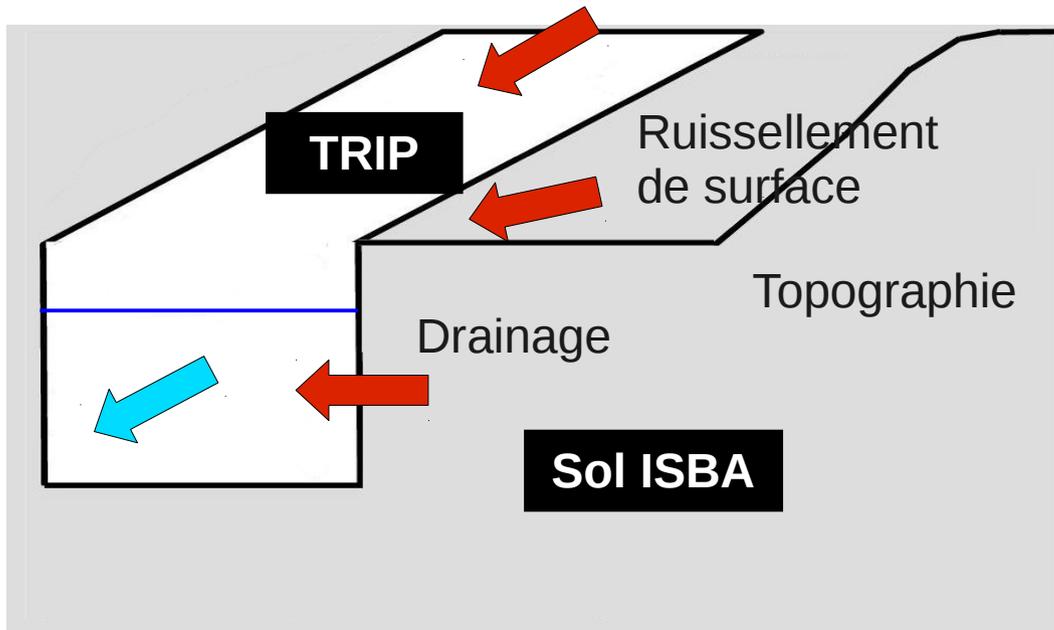
- État de l'art
 - Réservoir linéaire retardant la composante lente du débit en rivière (Arora et al. 1999)
 - Modèle 2D : échelle régionale, calibration fine (Fan et al. 2007)
 - Modèle 1D : grande échelle, prolongement de la colonne de sol des modèles de surface (Niu et al. 2007)

Le modèle ISBA-TRIP



- ISBA : modèle de surface
 - Forcé par des variables atmosphériques
 - Fourni **ruissellement de surface** et **drainage profond**

Le modèle ISBA-TRIP



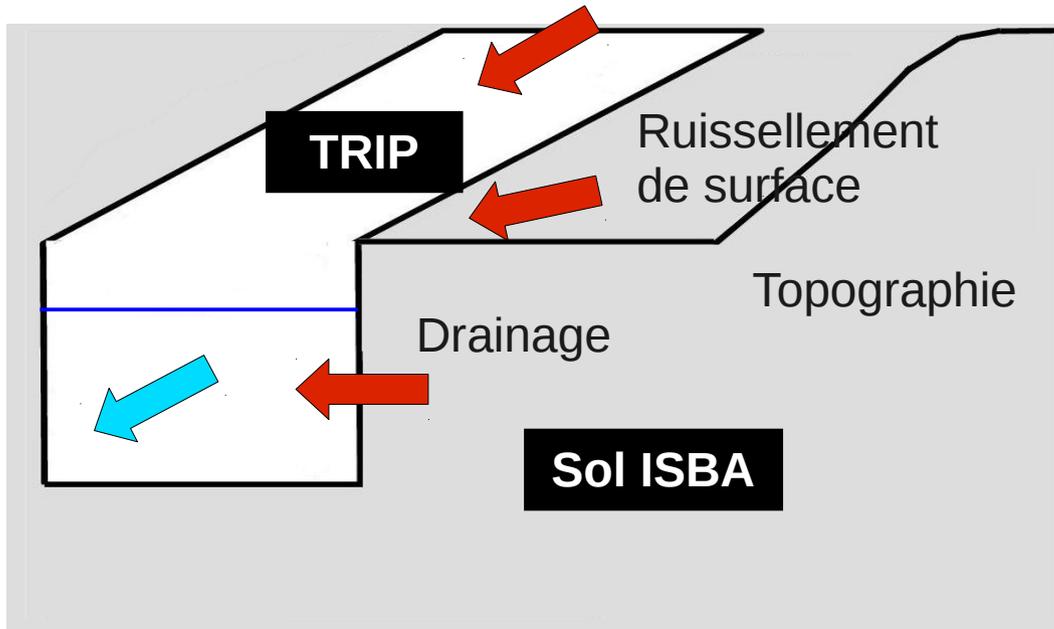
- ISBA : modèle de surface
 - Forcé par des variables atmosphériques
 - Fourni **ruissellement de surface** et **drainage profond**
- TRIP : modèle de routage
 - Bilan de masse d'eau en rivière

$$\frac{dS}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$

Masse Flux entrants Débit sortant

Pas de représentation des nappes

Le modèle ISBA-TRIP



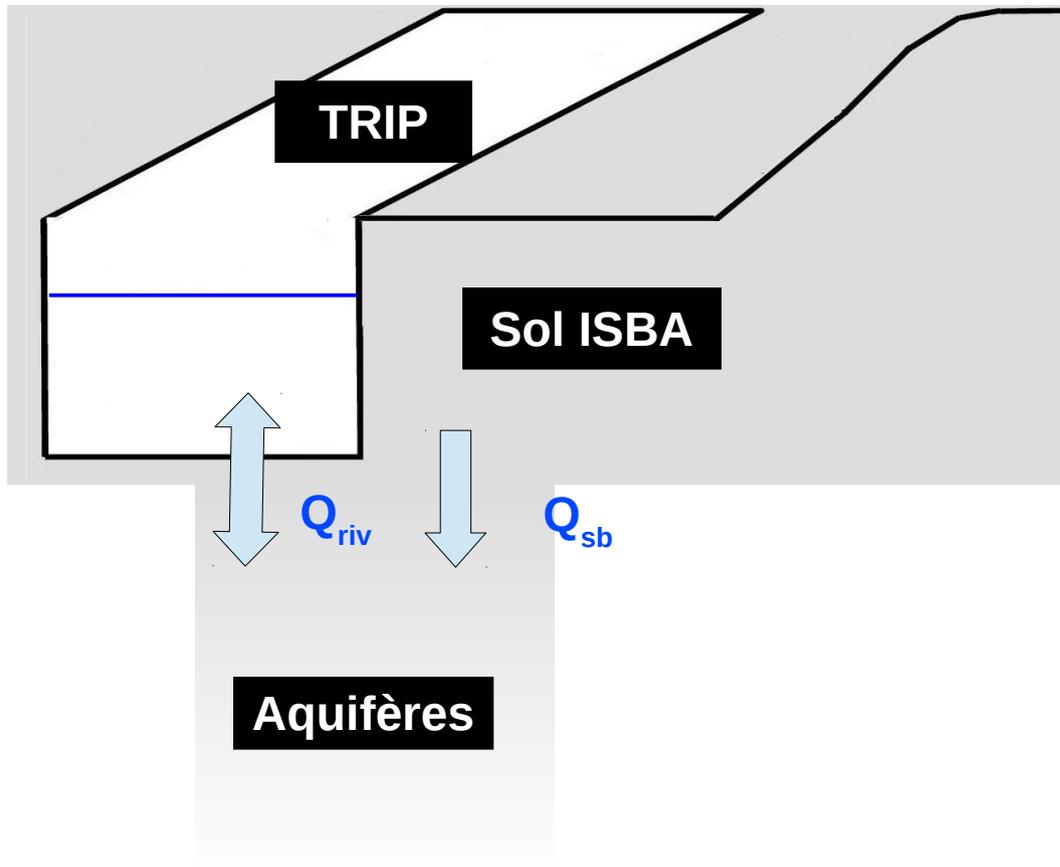
- ISBA : modèle de surface
 - Forcé par des variables atmosphériques
 - Fourni **ruissellement de surface** et **drainage profond**
- TRIP : modèle de routage
 - Bilan de masse d'eau en rivière

$$\frac{dS}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$

Masse Flux entrants Débit sortant

Pas de représentation des nappes → **Approche 2D diffuse**

Schéma d'aquifère

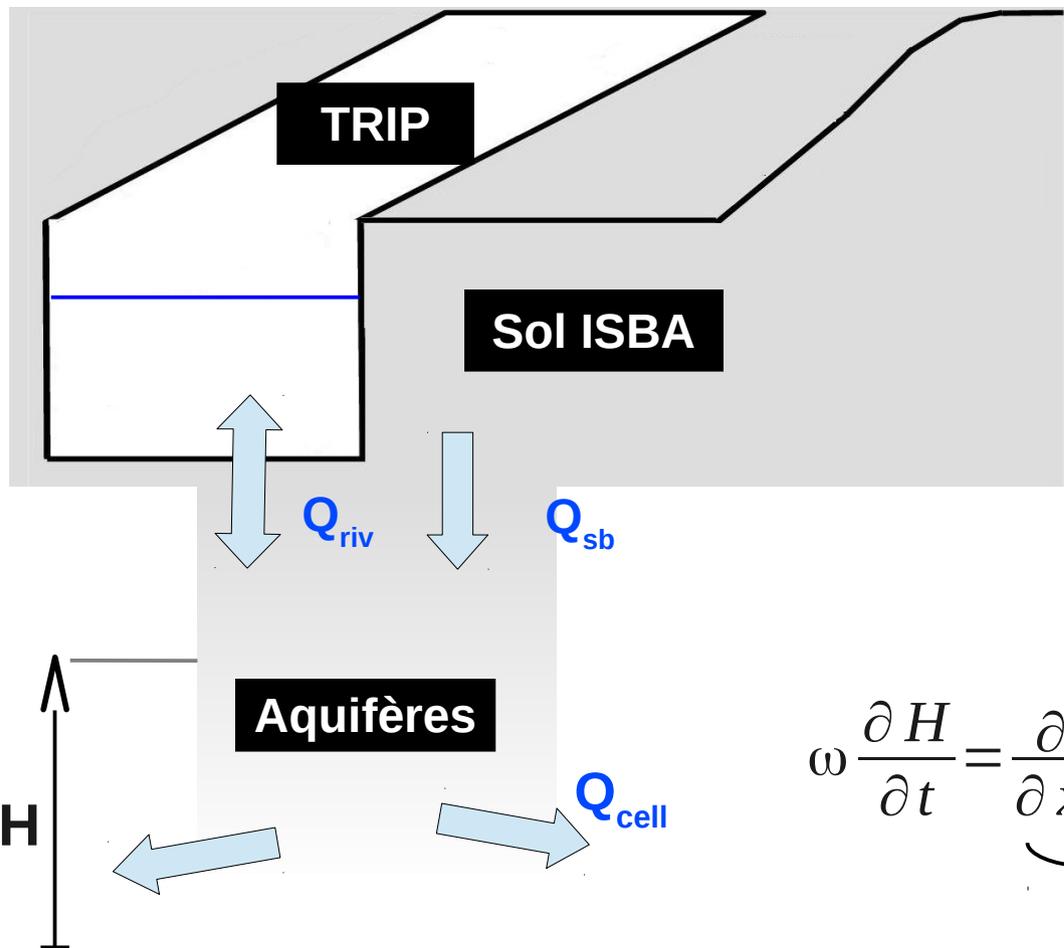


➤ Description

- Une seule couche
- Échanges nappe/rivière Q_{riv}
- Recharge Q_{sb} provient d'ISBA



Schéma d'aquifère



➤ Description

- Une seule couche
- Échanges nappe/rivière Q_{riv}
- Recharge Q_{sb} provient d'ISBA

➤ Équation de diffusion des eaux souterraines

- Échanges latéraux Q_{cell}

$$\omega \frac{\partial H}{\partial t} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right)}_{\text{Échanges latéraux}} + Q_{sb} - Q_{riv}$$

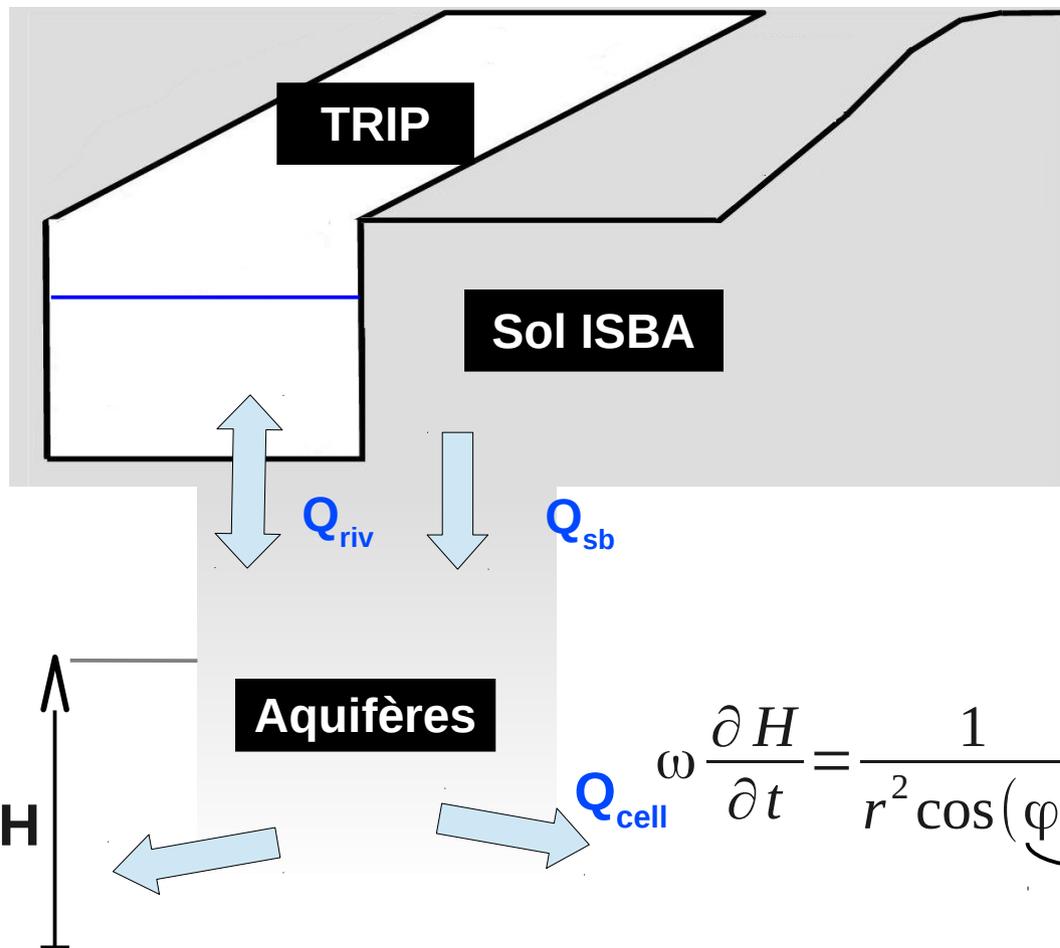
Échanges latéraux

H : hauteur de nappe (m)

ω : porosité efficace

T : transmissivité (m^2/s)

Schéma d'aquifère



➤ Description

- Une seule couche
- Échanges nappe/rivière Q_{riv}
- Recharge Q_{sb} provient d'ISBA

➤ Équation de diffusion des eaux souterraines

- Échanges latéraux Q_{cell}

$$\omega \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{r^2 \cos(\varphi)} \left[\underbrace{\frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{T_\theta}{\cos(\varphi)} \frac{\partial H}{\partial \theta} \right)}_{\text{Échanges latéraux}} + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(T_\varphi \cos(\varphi) \frac{\partial H}{\partial t} \right) \right] + Q_{sb} - Q_{riv}$$

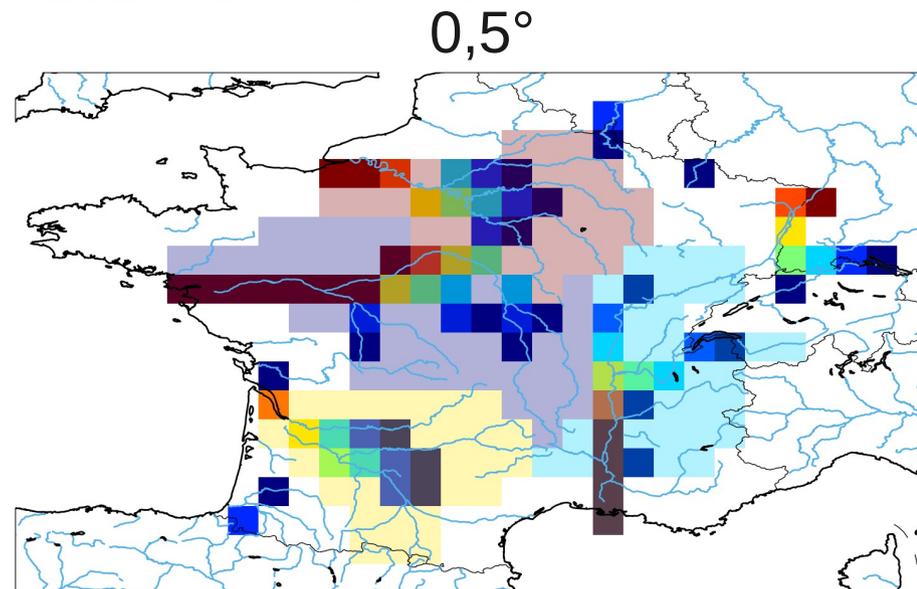
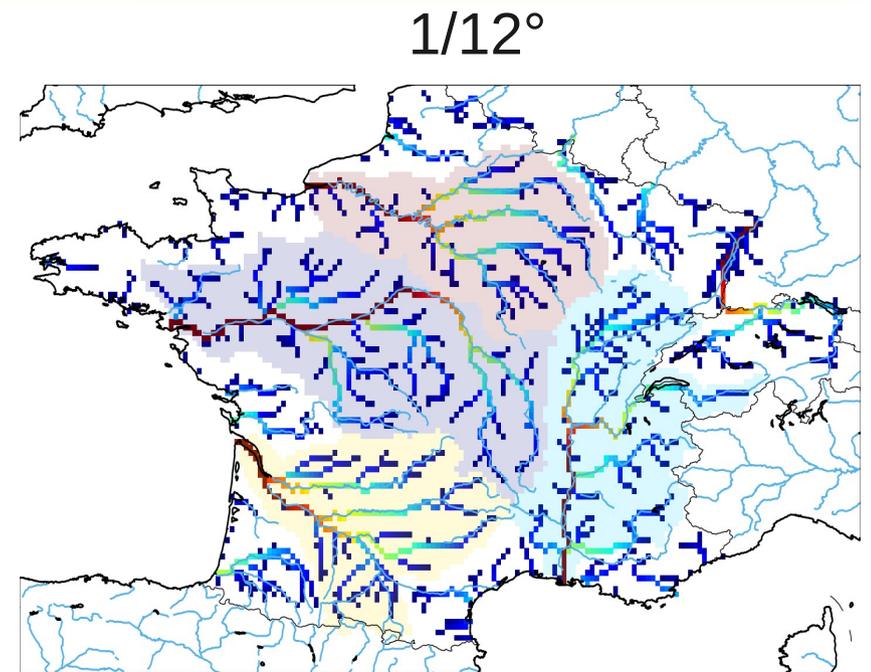
H : hauteur de nappe (m)

ω : porosité efficace

T : transmissivité (m²/s)

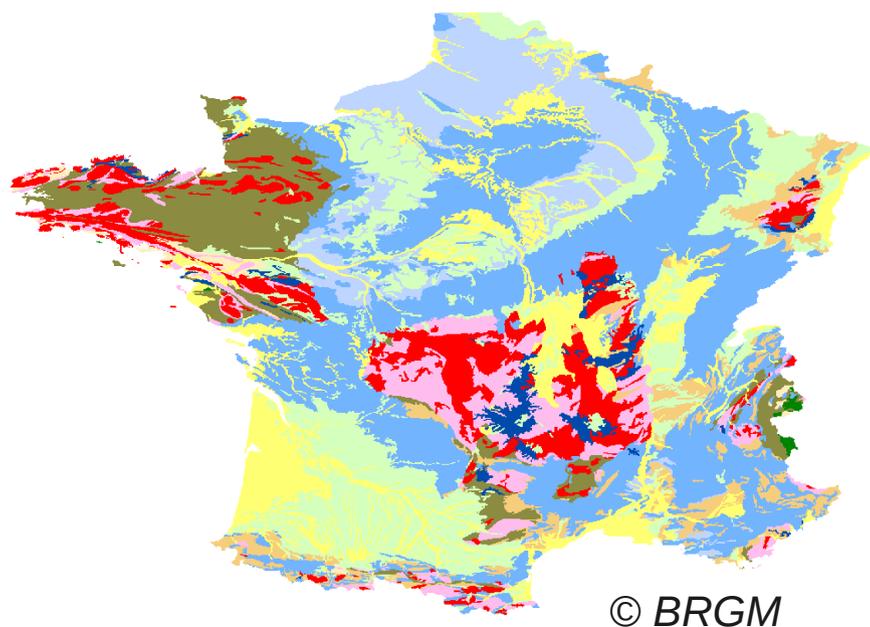
Cadre expérimental sur la France

- Mesures de débits et hauteurs de nappe
- TRIP sur la France
 - $1/12^\circ$: dérivé de la topographie GTOPO30 à 1 km.
 - $0,5^\circ$: TRIP à l'échelle globale manuellement corrigé
- Forçage ISBA de bonne qualité
 - Évaluation : 1970-2010



 toujours un temps d'avance

Caractéristiques des aquifères



Bassins
sédimentaires

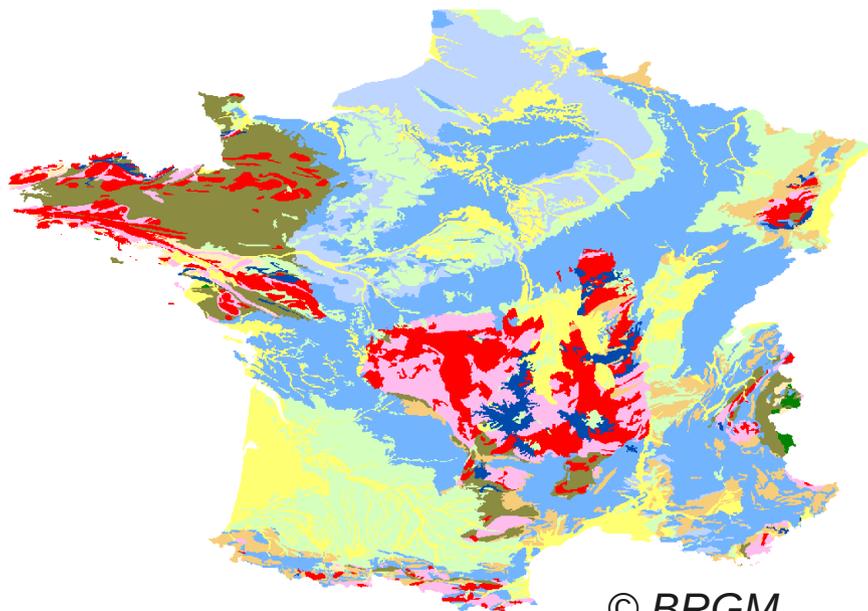
Socles
Montagnes

- Argile
- Calcaire
- Craie
- Grès
- Sable
- Basalte
- Granite
- Ophiolite
- Gneiss
- Schiste
- Schiste et grès

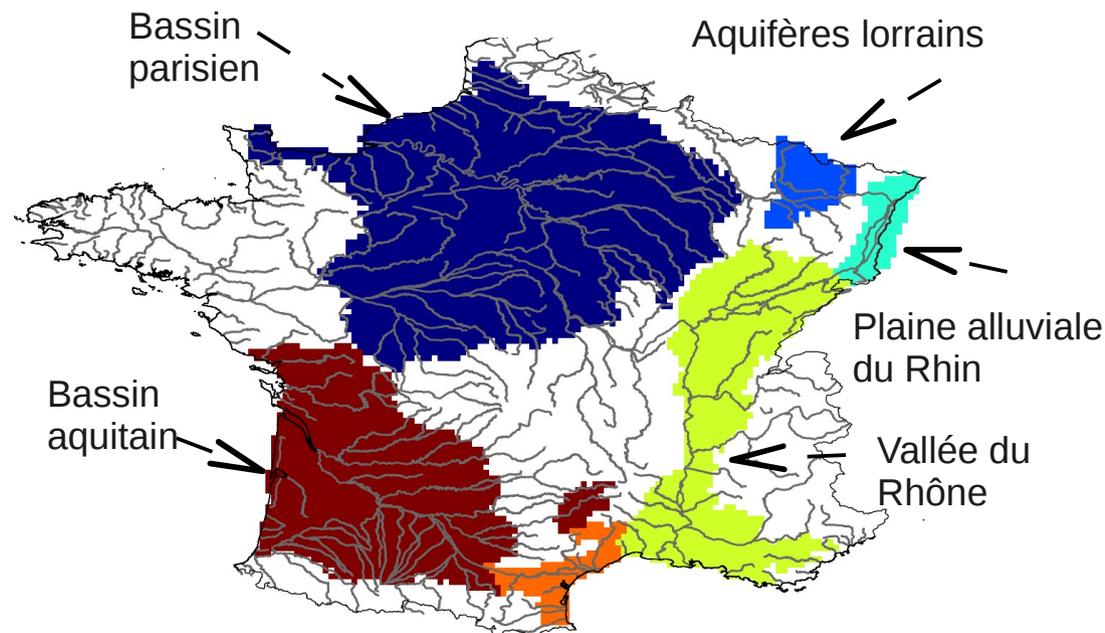
| Geologie | Transmissivité (m ² /s) | Porosité efficace |
|----------|---------------------------------------|----------------------|
| Argile | 5.10 ⁻⁴ | 0,01 |
| Calcaire | 5.10 ⁻³ | 0,03 |
| Craie | 1.10 ⁻² | 0,05 |
| Grès | 2.10 ⁻² | 0,07 |
| Sable | 5.10 ⁻² | 0,2 |



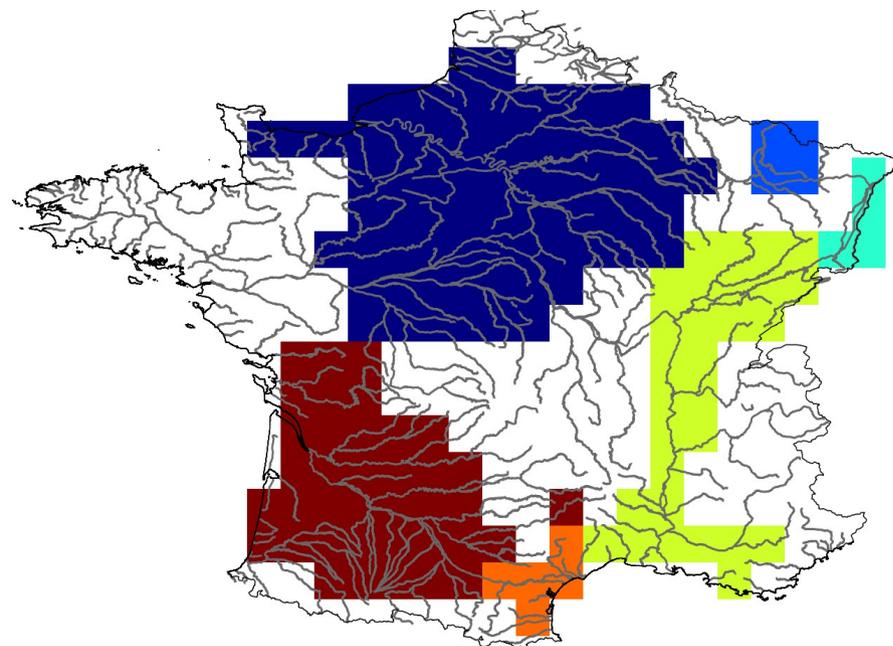
Caractéristiques des aquifères



© BRGM



| Geologie | Transmissivité (m ² /s) | Porosité efficace |
|----------|------------------------------------|-------------------|
| Argile | $5 \cdot 10^{-4}$ | 0,01 |
| Calcaire | $5 \cdot 10^{-3}$ | 0,03 |
| Craie | $1 \cdot 10^{-2}$ | 0,05 |
| Grès | $2 \cdot 10^{-2}$ | 0,07 |
| Sable | $5 \cdot 10^{-2}$ | 0,2 |



Débits simulés aux exutoires

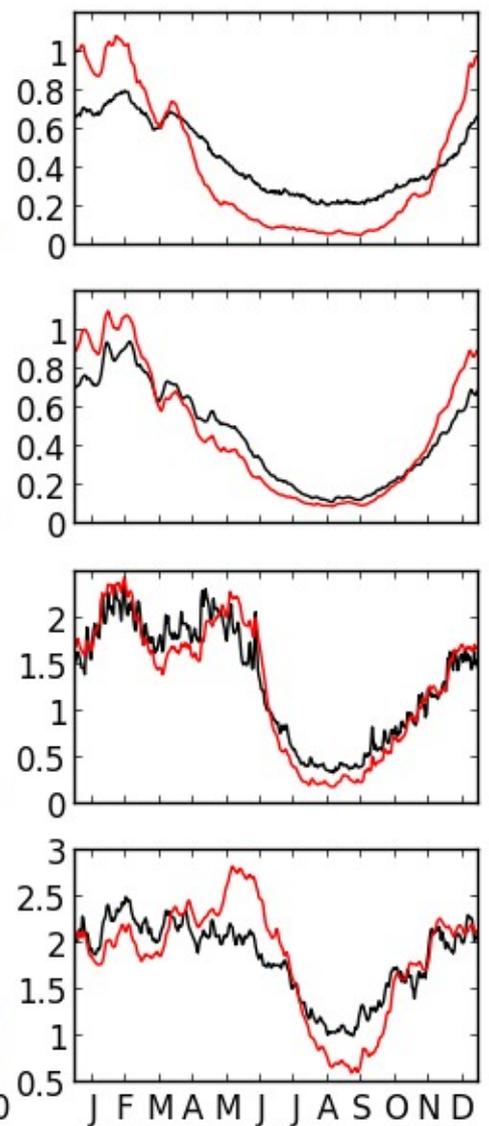
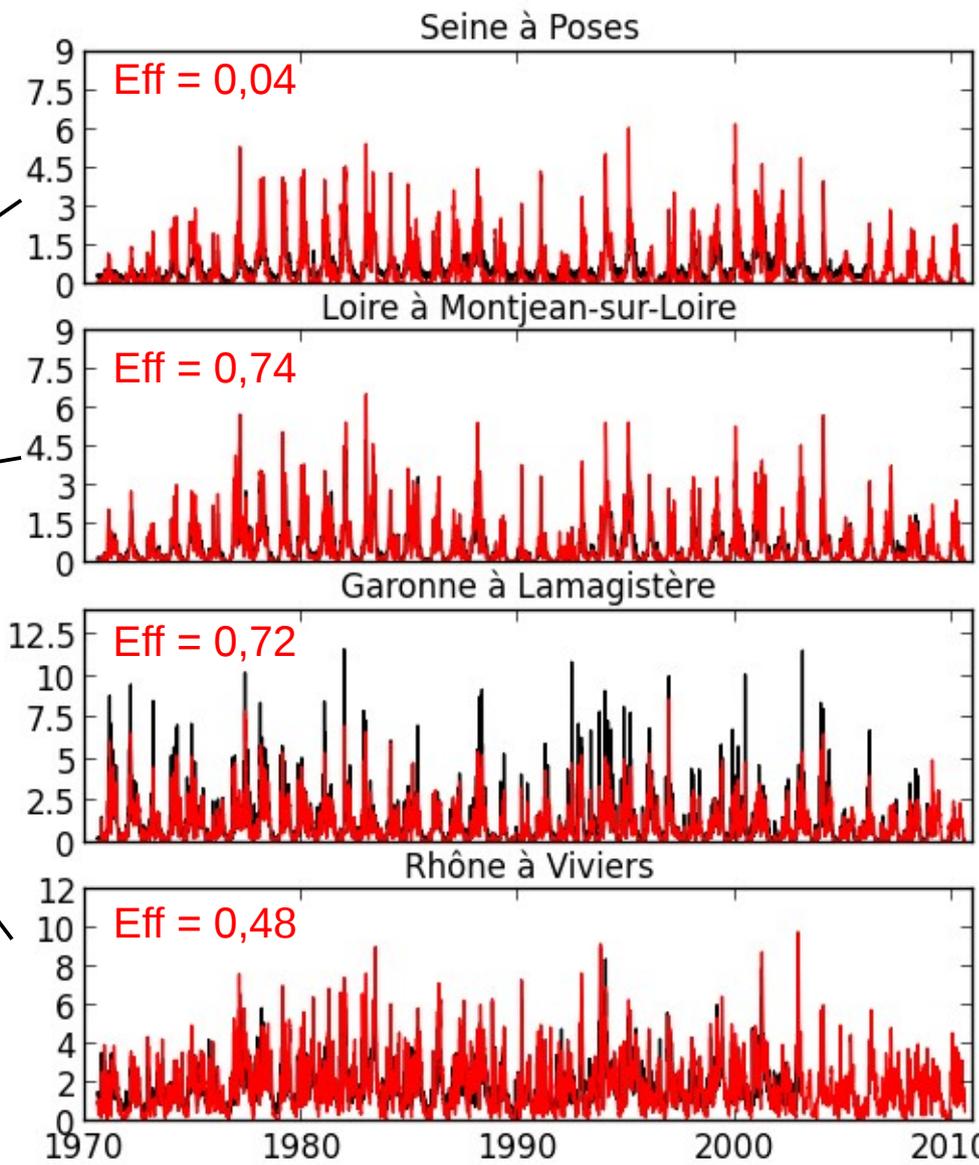
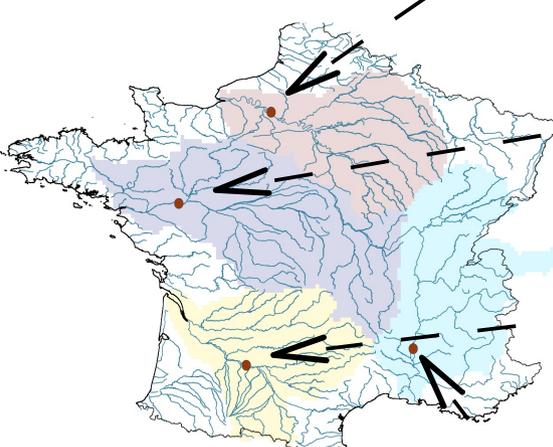
1/12°

Simulation correcte : Efficience > 0,5

Séries temporelles journalières

Cycles annuels moyens journaliers

Observation
CTL12



Débits simulés aux exutoires

1/12°

Simulation correcte : Efficience > 0,5

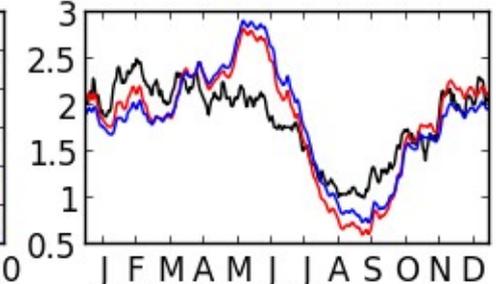
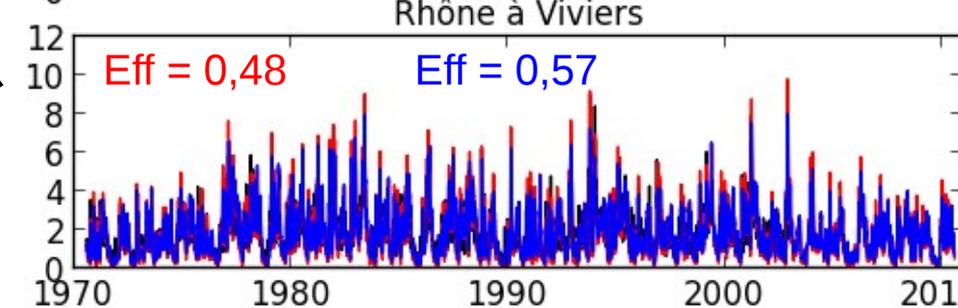
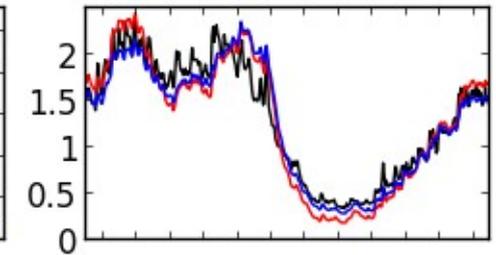
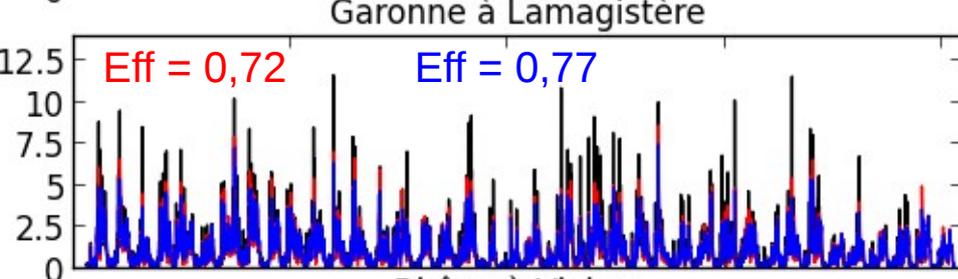
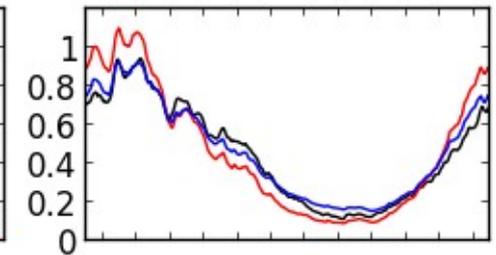
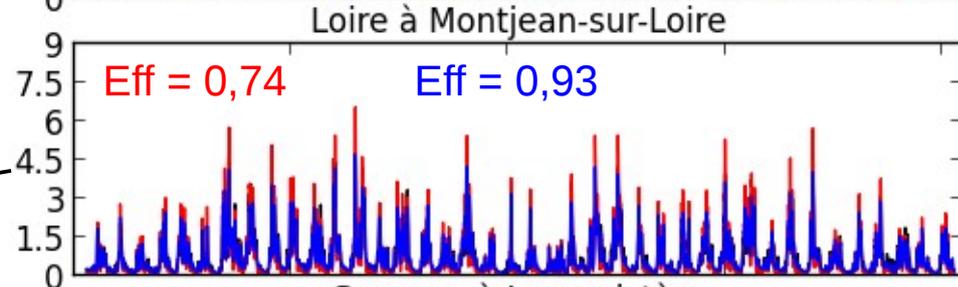
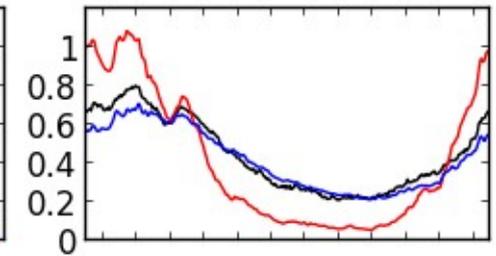
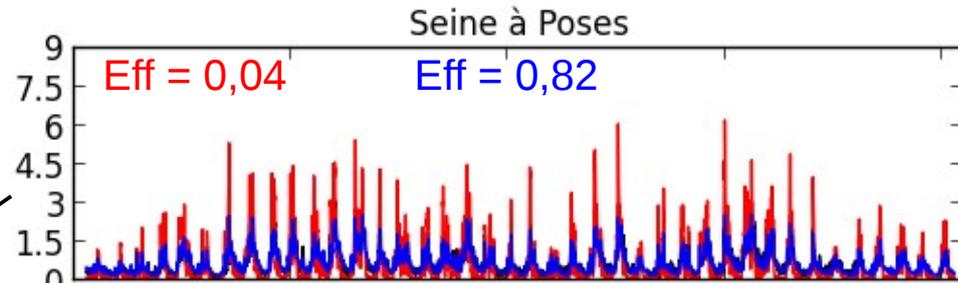
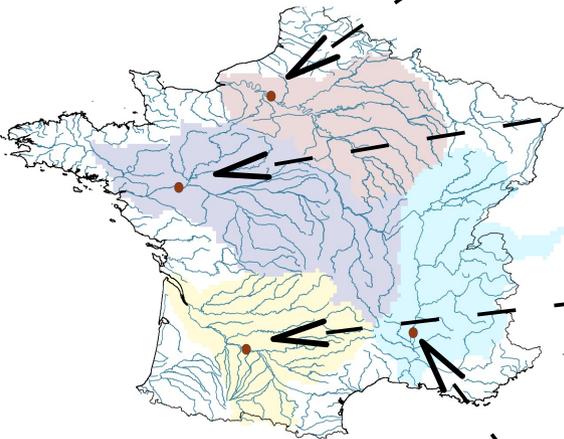
Séries temporelles journalières

Cycles annuels moyens journaliers

Observation

CTL12

GW12

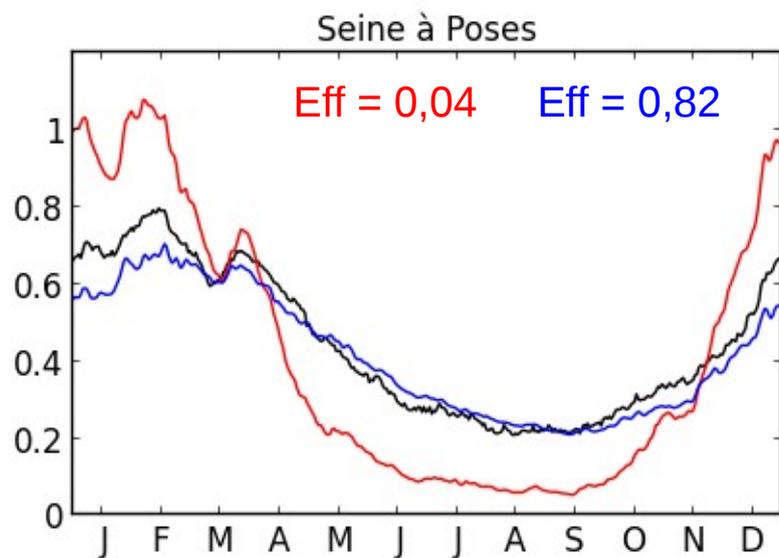


Débits simulés aux exutoires

0,5°

CTL12

GW12



Débits simulés aux exutoires

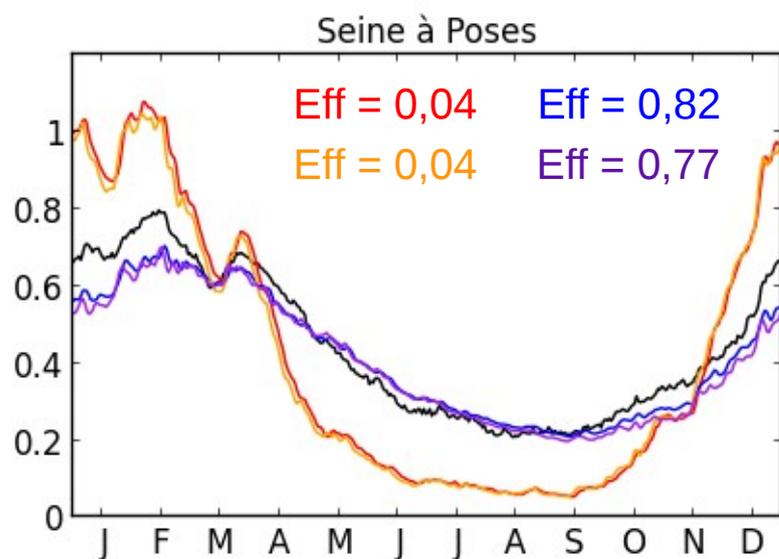
0,5°

CTL12

GW12

CTL05

GW05



Débits simulés aux exutoires

0,5°

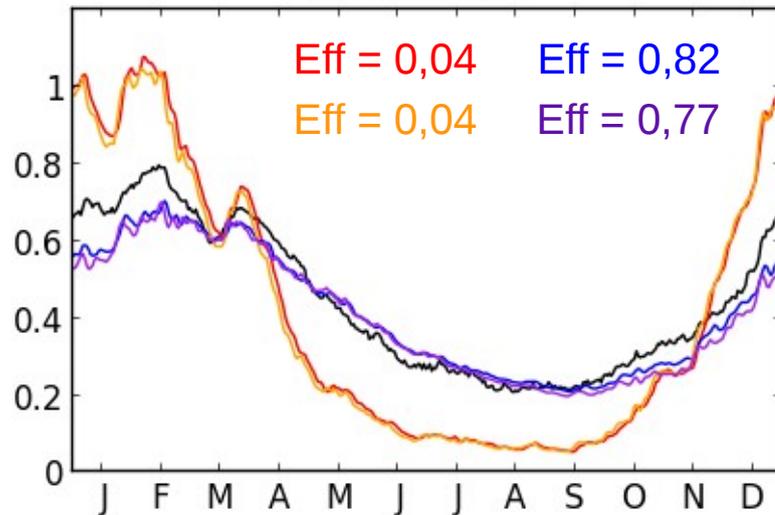
CTL12

GW12

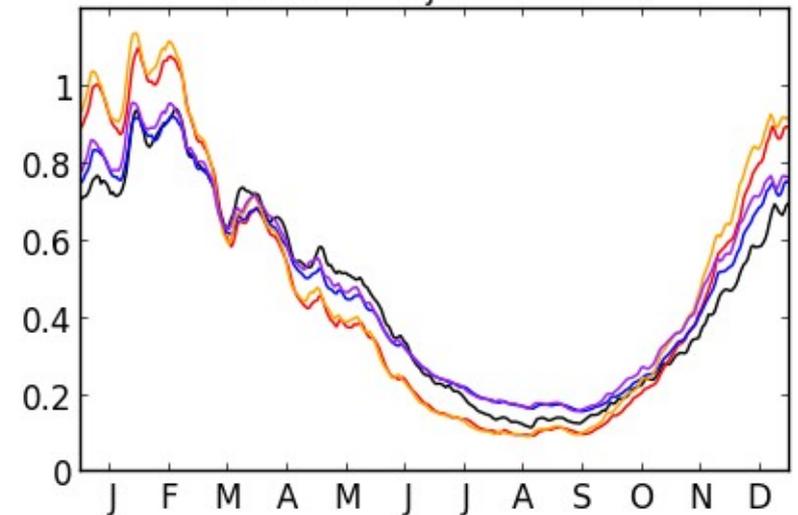
CTL05

GW05

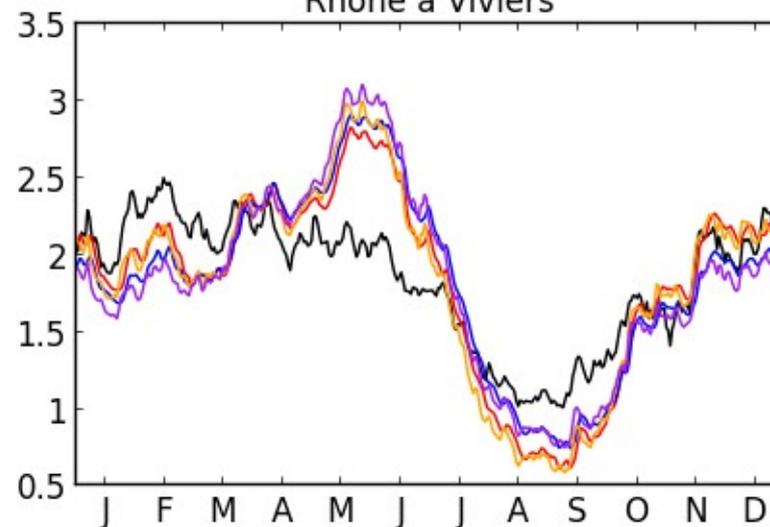
Seine à Poses



Loire à Montjean-sur-Loire

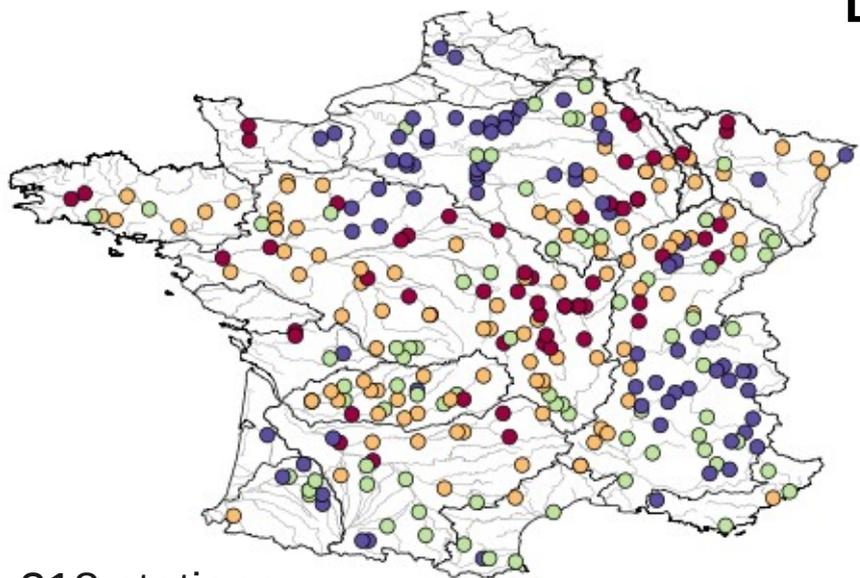


Rhône à Viviers



CTL12

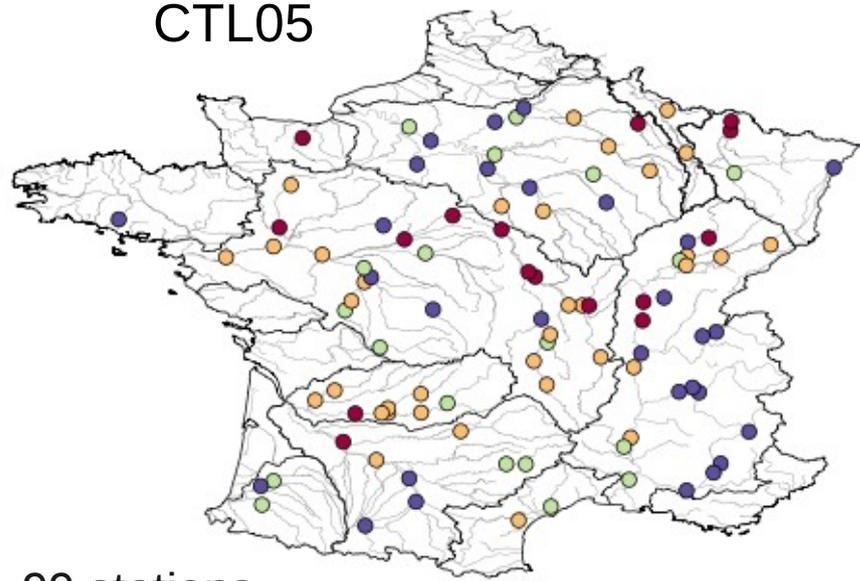
Efficiences



318 stations



CTL05

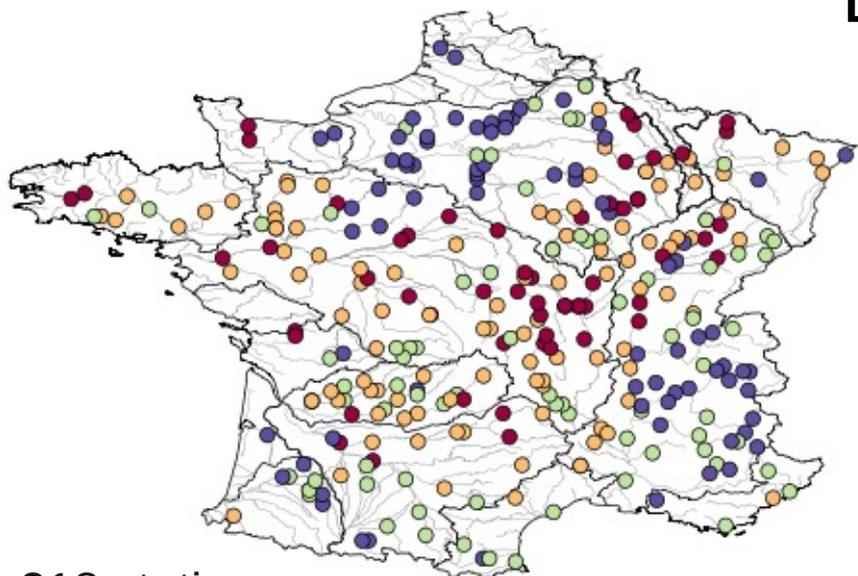


99 stations

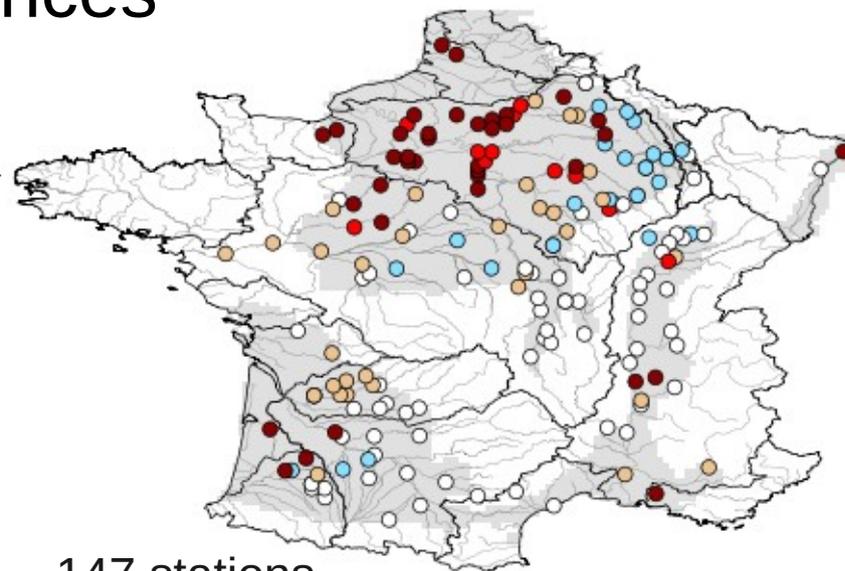
CTL12

Efficiences

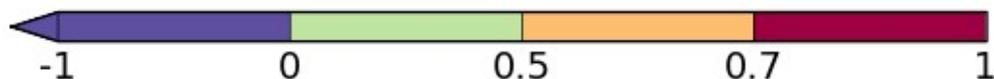
GW12-CTL12



318 stations

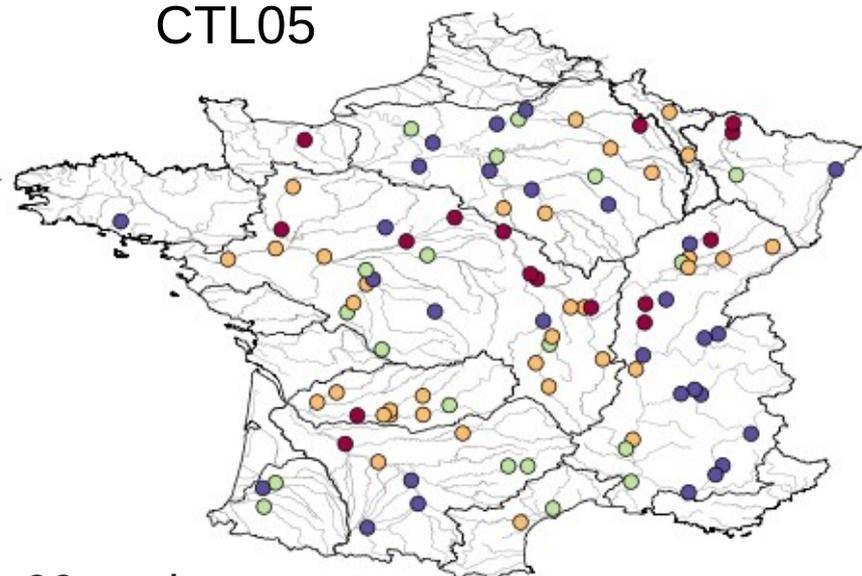


147 stations

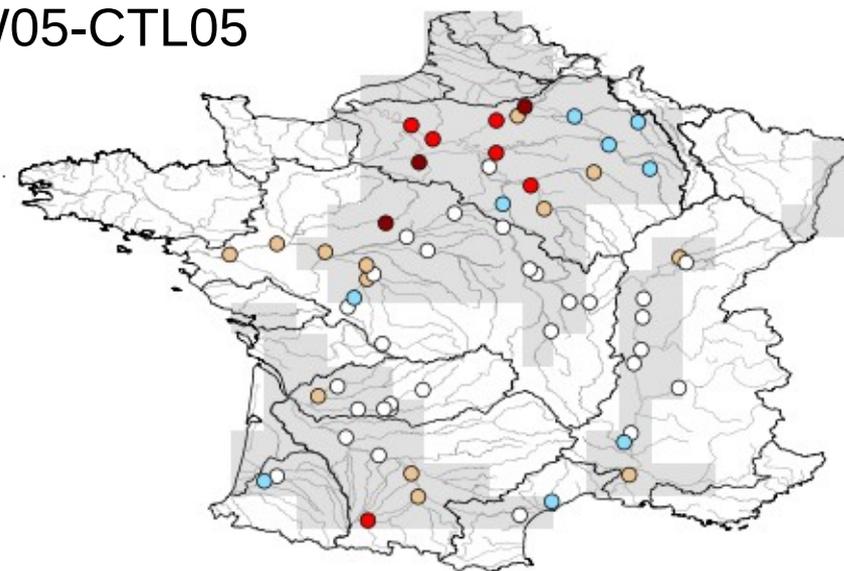


CTL05

GW05-CTL05



99 stations



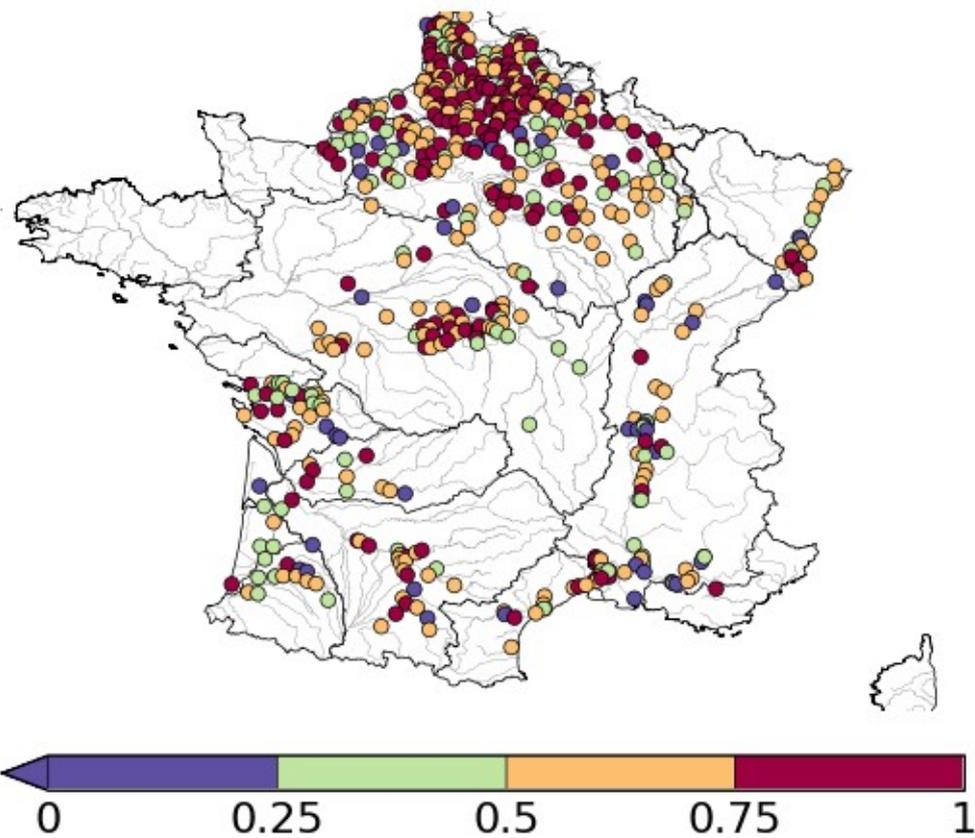
46 stations



Hauteurs de nappe

1/12°

Corrélation GW12

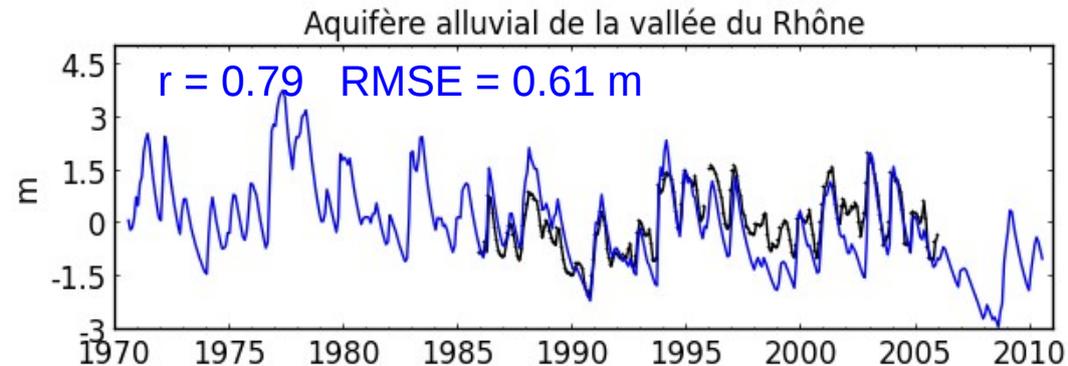
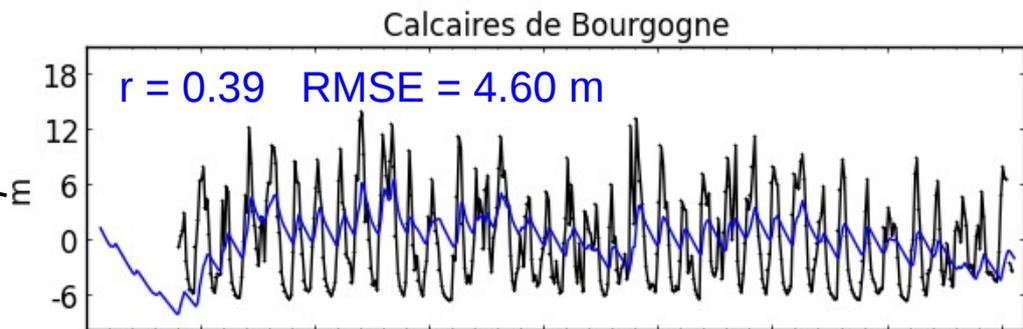
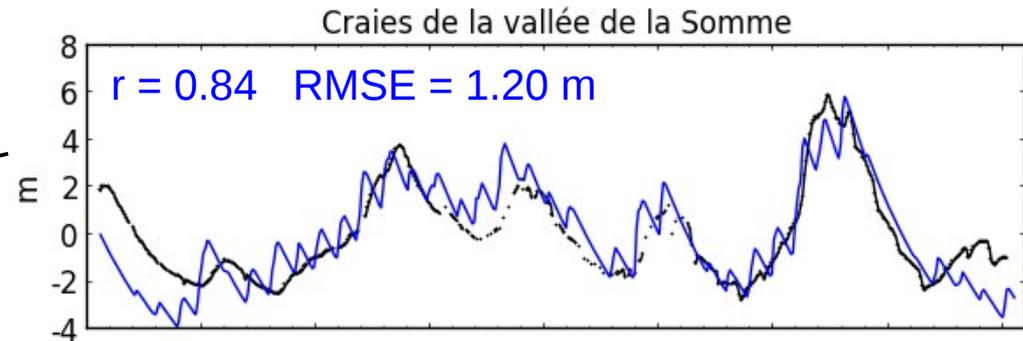
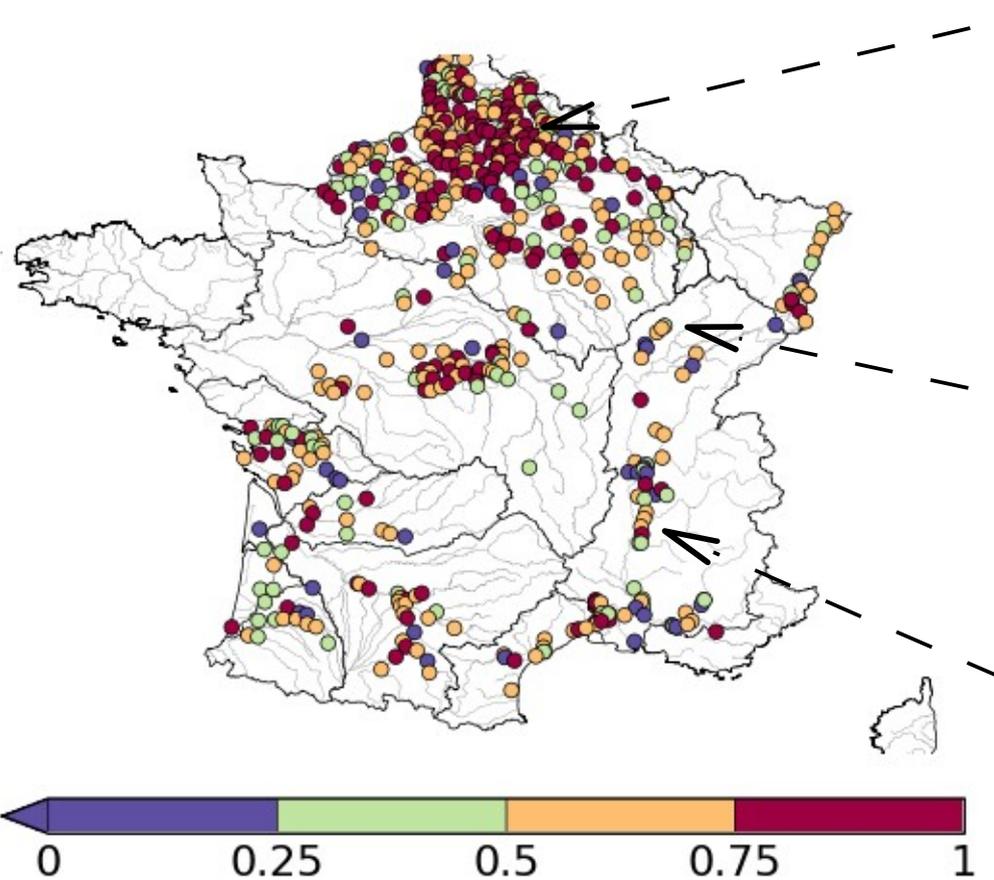


Hauteurs de nappe

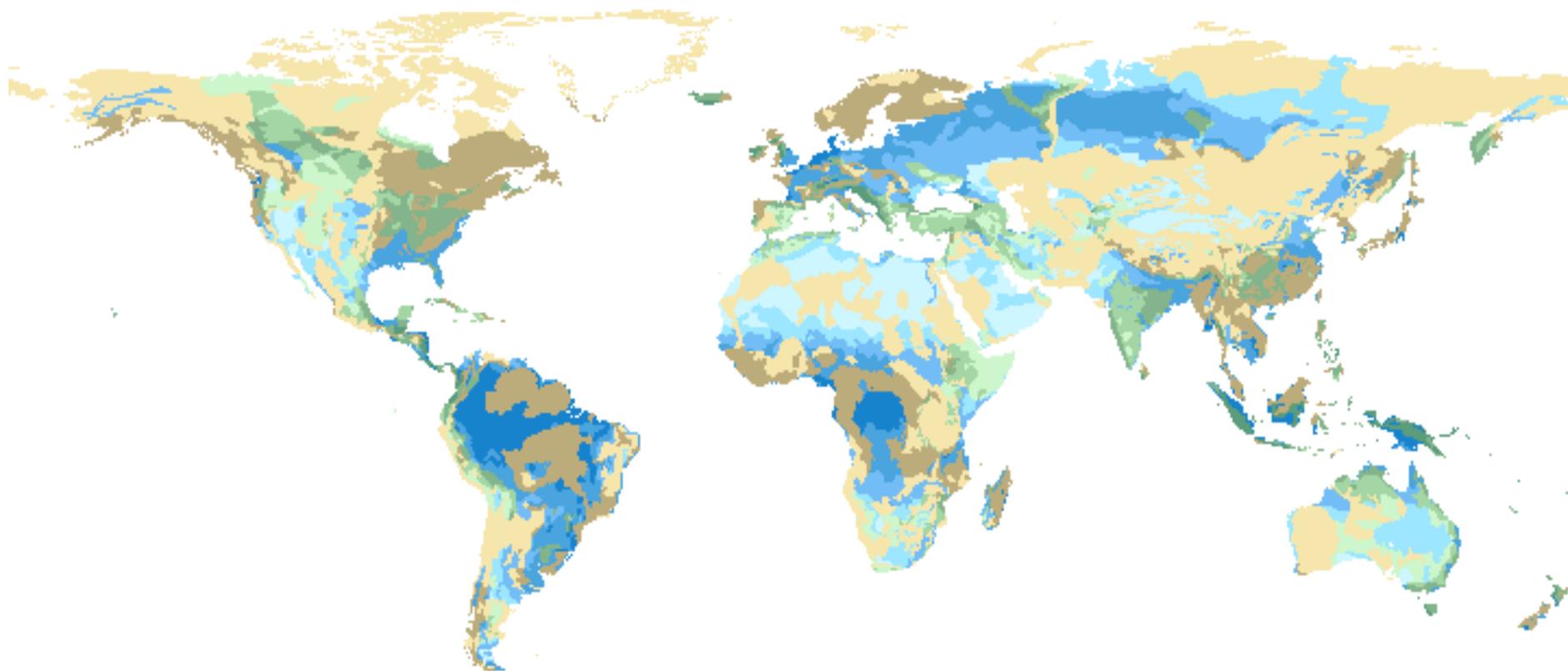
1/12°

GW12

Corrélation GW12



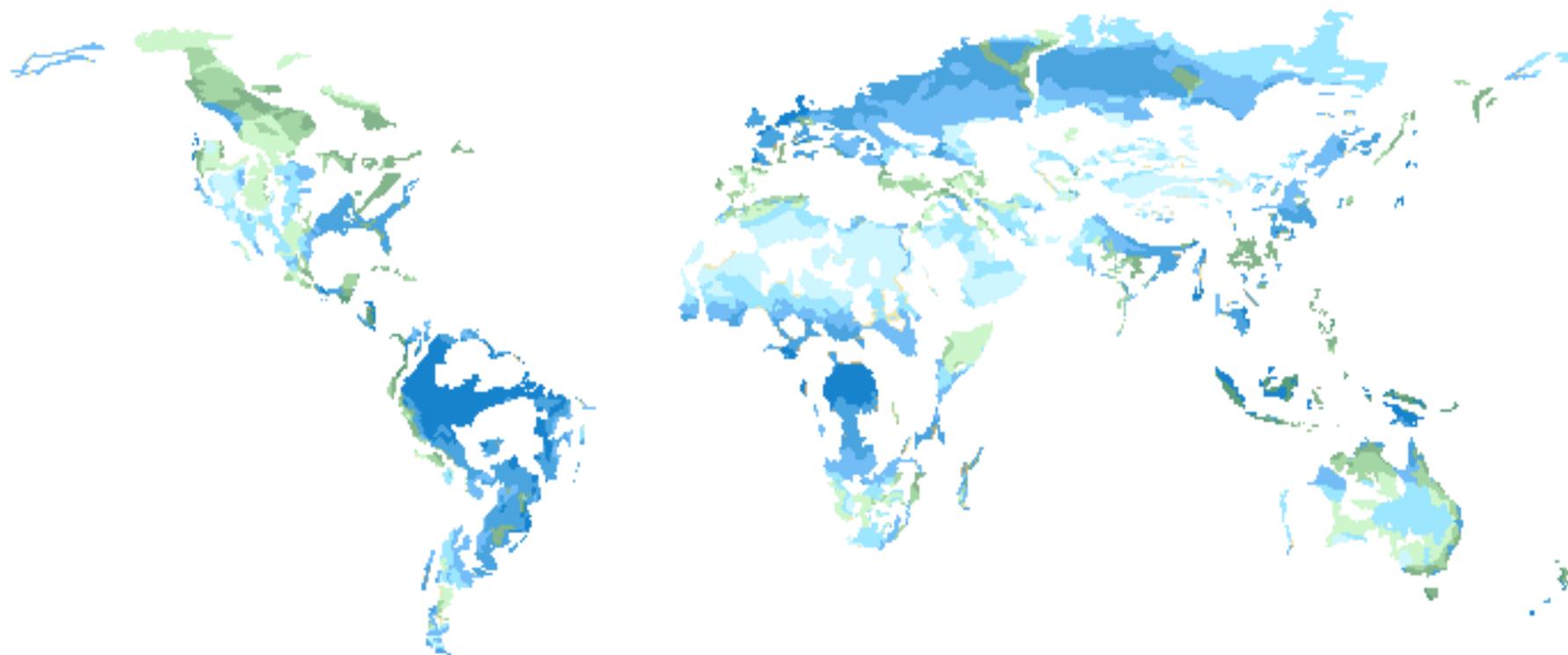
Masque des aquifères



The World-wide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme
(WHYMAP, BGR & UNESCO)

-  Bassins aquifères majeurs
-  Structures hydrogéologiques complexes
-  Aquifères de socle

Masque des aquifères

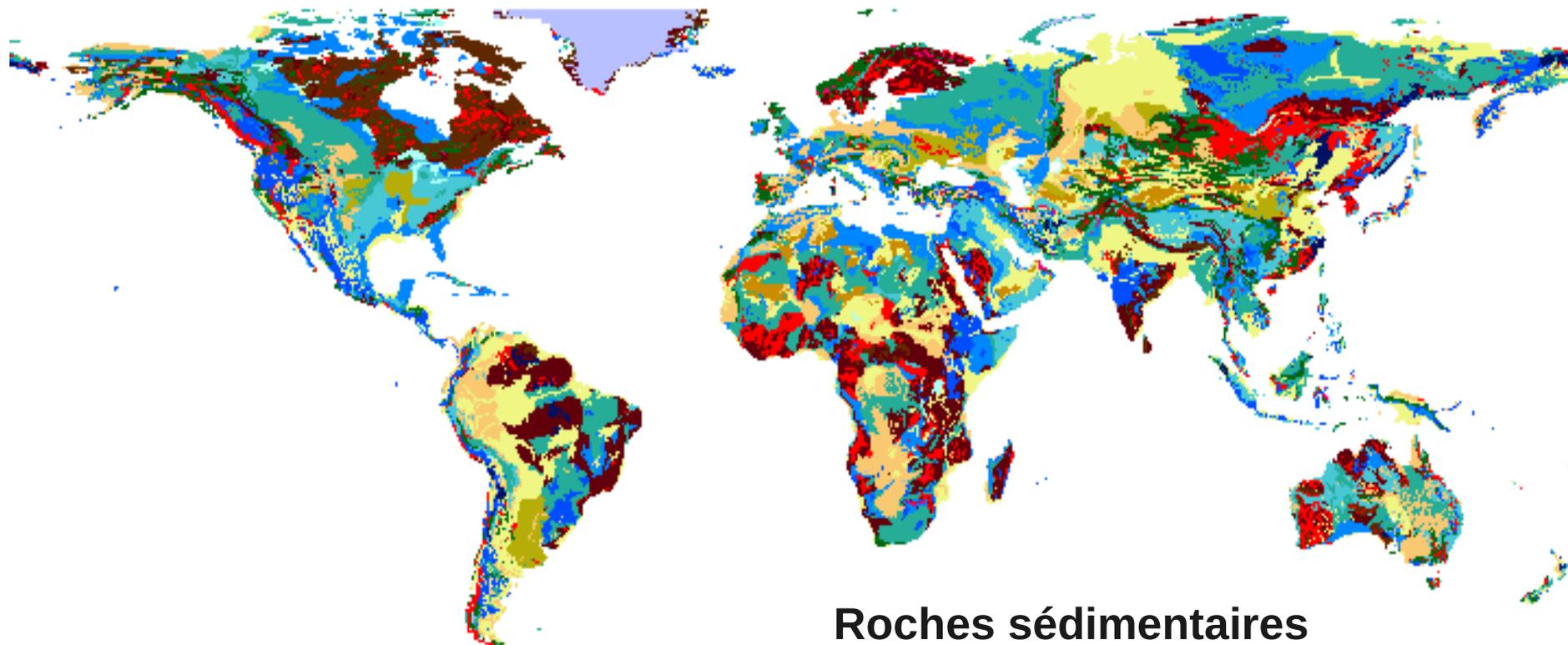


- Pas simulé à 0,5 °
 - Régions de socle
 - Régions montagneuses
- Forçage Princeton (1960-2008)

-  Bassins aquifères majeurs
-  Structures hydrogéologiques complexes
-  Aquifères de socle



Carte lithologique de Dürr et al. (2005)



Roches sédimentaires

Roches cristallines

-     } Roches ignées
-  Socles précambrien
-  Roches métamorphiques

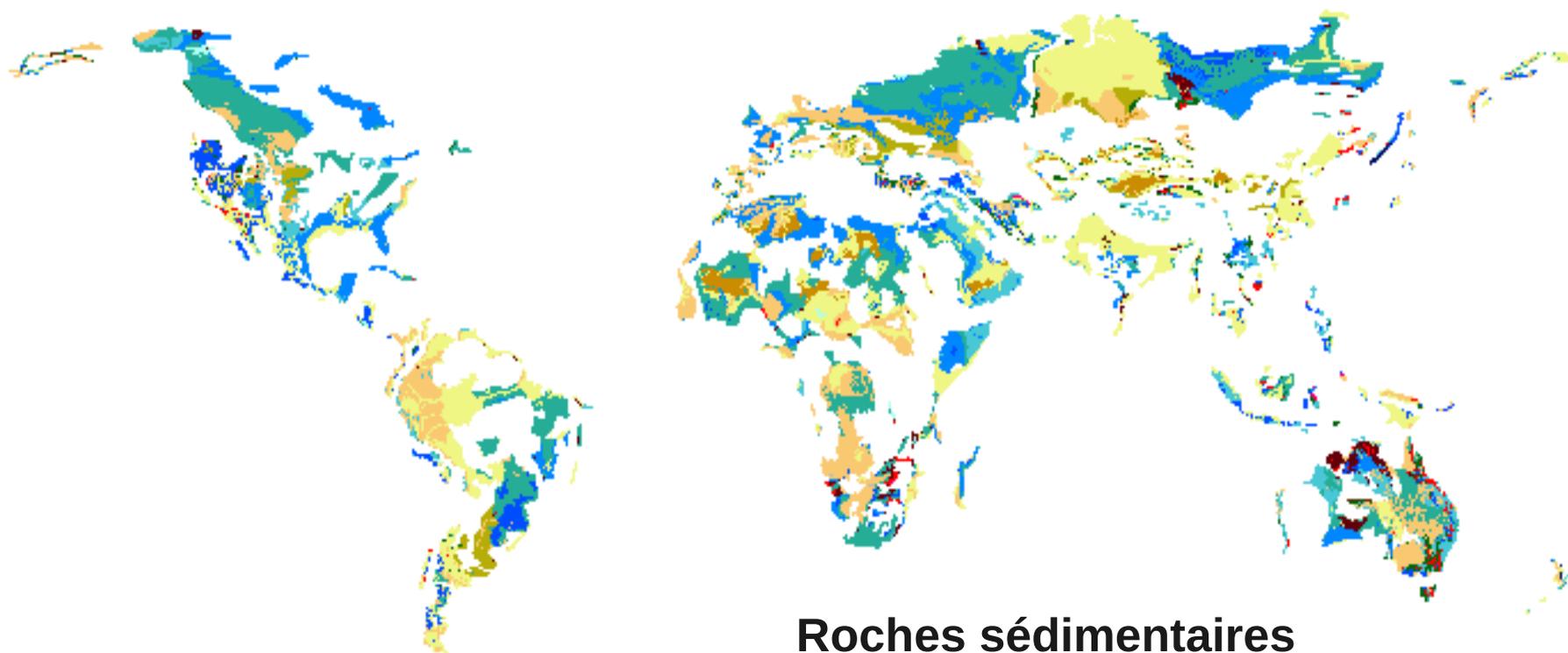
Consolidées

-  Siliciclastic
(Grès, argiles...)
-  Carbonates
(Calcaires, craies...)
-  Mixtes

Non-consolidées

-  Sédiments non-consolidés
-  Dépôts alluviaux
-  Loess
-  Sables éoliens

Carte lithologique de Dürr et al. (2005)



Roches sédimentaires

~~Roches cristallines~~

- ~~■~~ Roches ignées
- ~~■~~ Socles précambrien
- ~~■~~ Roches métamorphiques

Consolidées

- Siliciclastic (Grès, argiles...)
- Carbonates (Calcaires, craies...)
- Mixtes

Non-consolidées

- Sédiments non-consolidés
- Dépôts alluviaux
- Loess
- Sables éoliens

Carte lithologique de Dürr et al. (2005)

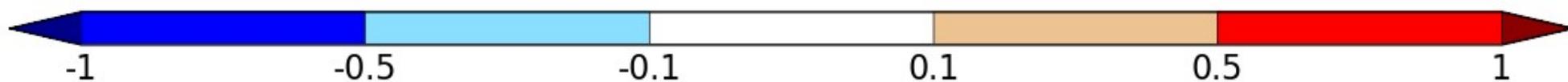
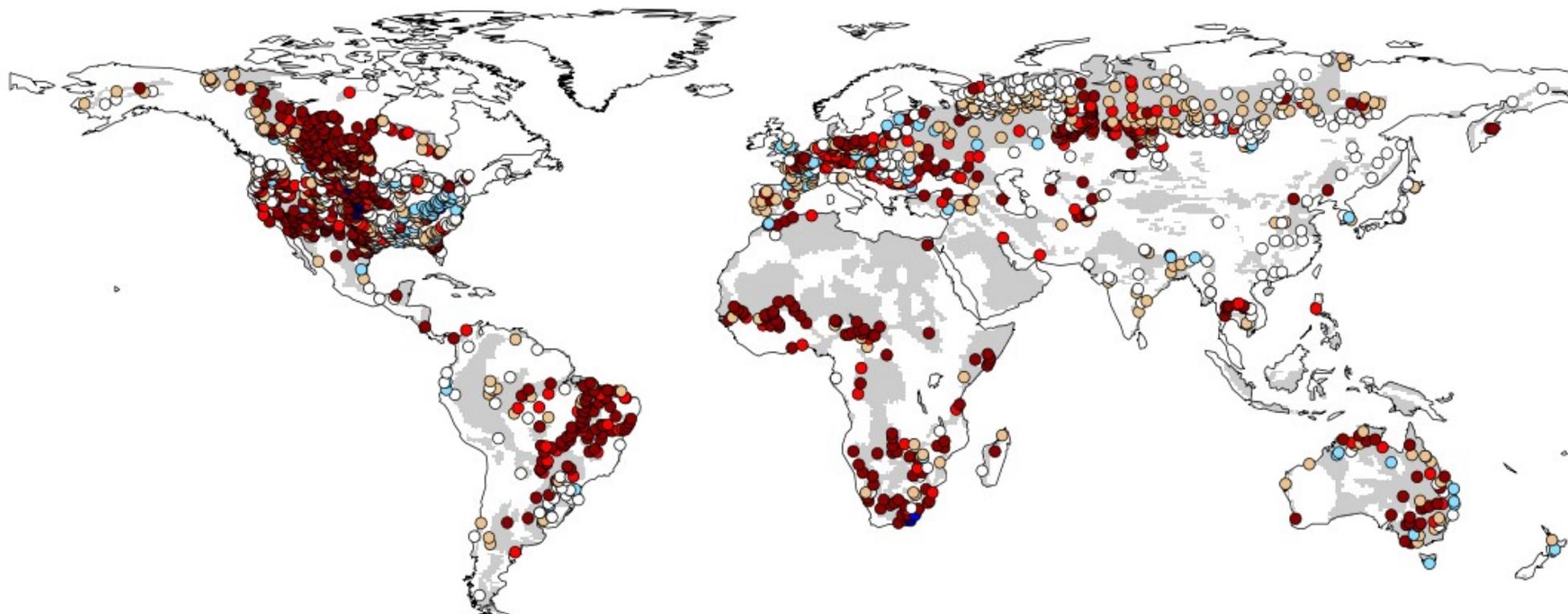
Estimation des paramètres

| | | Lithologie | Transmissivité | Porosité |
|-----------------|---|--------------------------|----------------|----------|
| Consolidées |  | Siliciclastic | 0.02 | 0.07 |
| |  | Carbonate | 0.001 | 0.02 |
| |  | Mixte | 0.005 | 0.03 |
| |  | Sédiments non-consolidés | 0.01 | 0.05 |
| Non-consolidées |  | Dépôts alluviaux | 0.05 | 0.1 |
| |  | Loess | 0.1 | 0.2 |
| |  | Sables éoliens | 0.1 | 0.2 |

| | | | | | | |
|--|--------------------------|---|---|---|---|--------------------------|
|  | Roches ignées |  |  | (Grès, argiles...) |  | Sédiments non-consolidés |
|  | |  | Carbonates (Calcaires, craies...) |  | Dépôts alluviaux | |
|  | |  | Mixtes |  | Loess | |
|  | | Socles précambrien |  | Sables éoliens | | |
|  | | Roches métamorphiques | | | | |

Différence d'efficacité à l'échelle globale

GW-NOGW

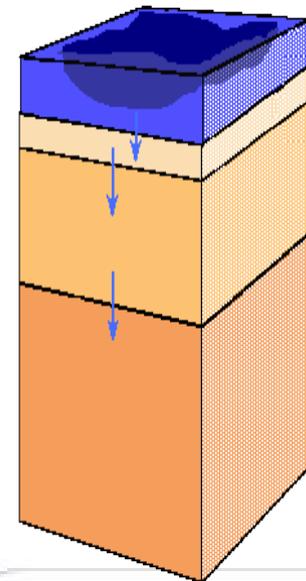


Mission satellite GRACE

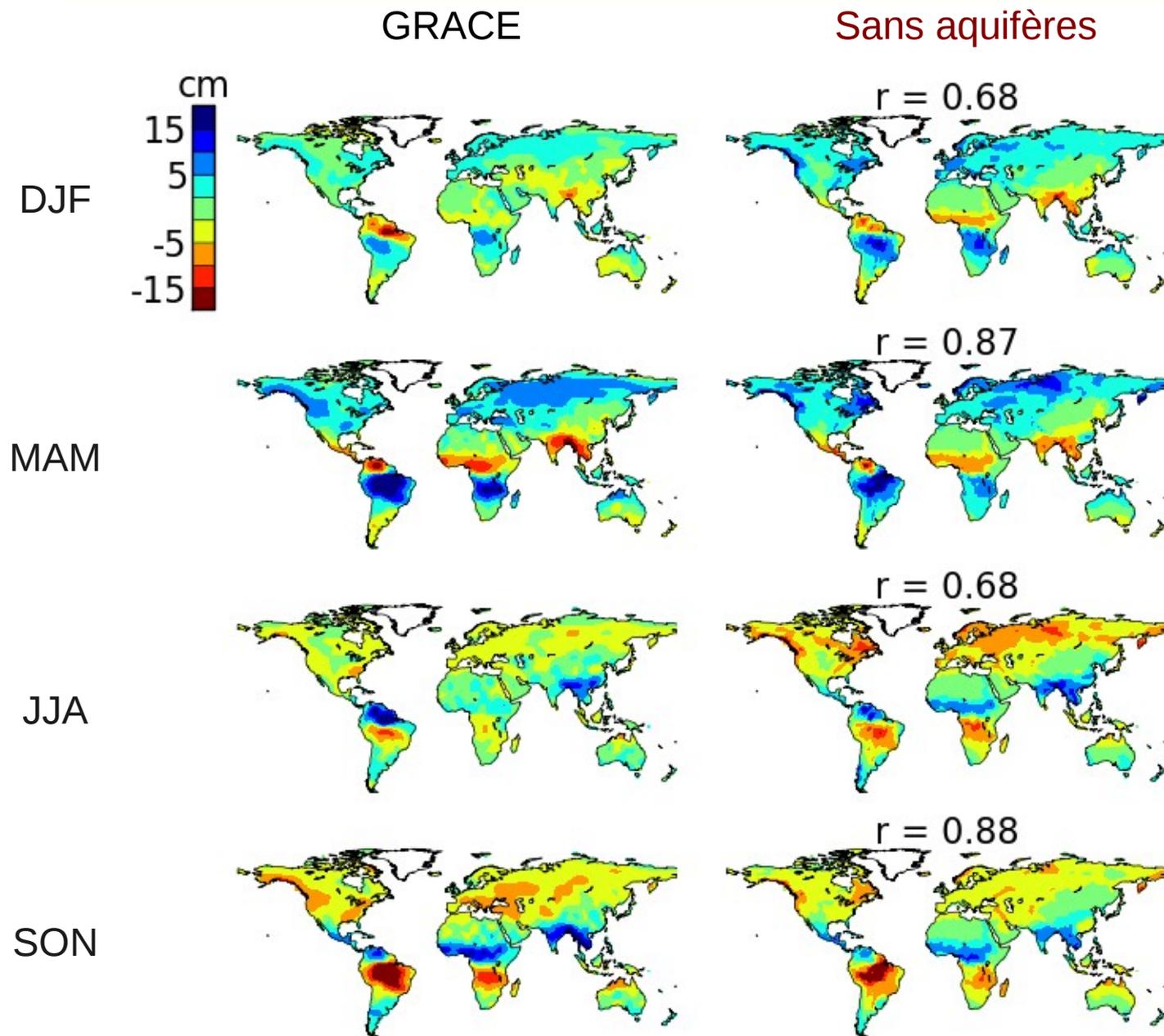
- Cartes mensuelles du champ de gravité terrestre (résolution ~300 km)
- 3 produits sur la période 2002 – 2008
 - GeoForschungZentrum (**GFZ**)
 - Center for Space Research (**CSR**)
 - Jet Propulsory Laboratory (**JPL**)
- **Stocks d'eau simulés** comparés avec **stocks d'eau estimés** par GRACE *en terme d'anomalies*

Stock d'eau continentale

Eaux de surface + neige +
végétation
+
Humidité du sol
+
Eaux souterraines

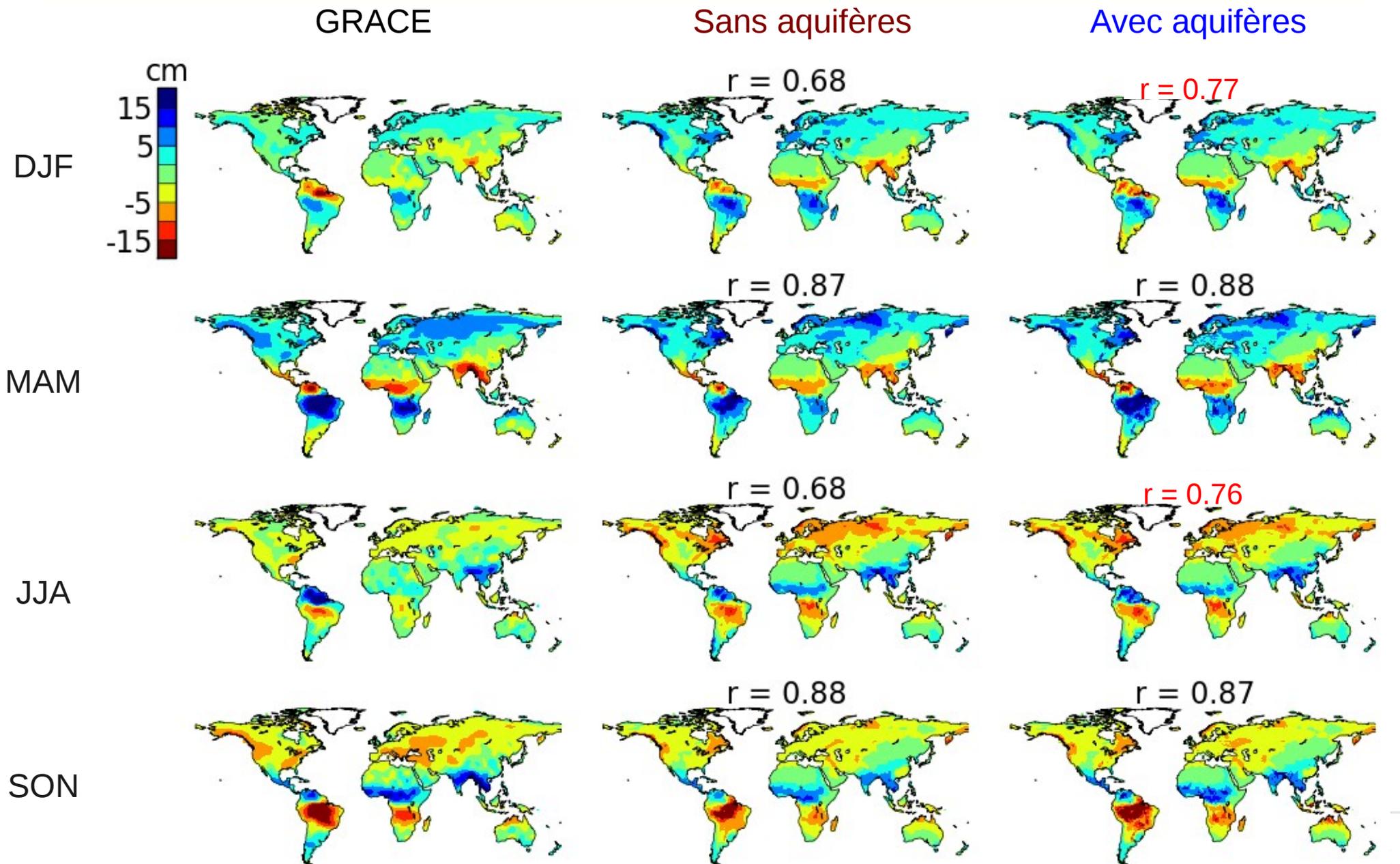


Évaluation des stocks d'eau continentale



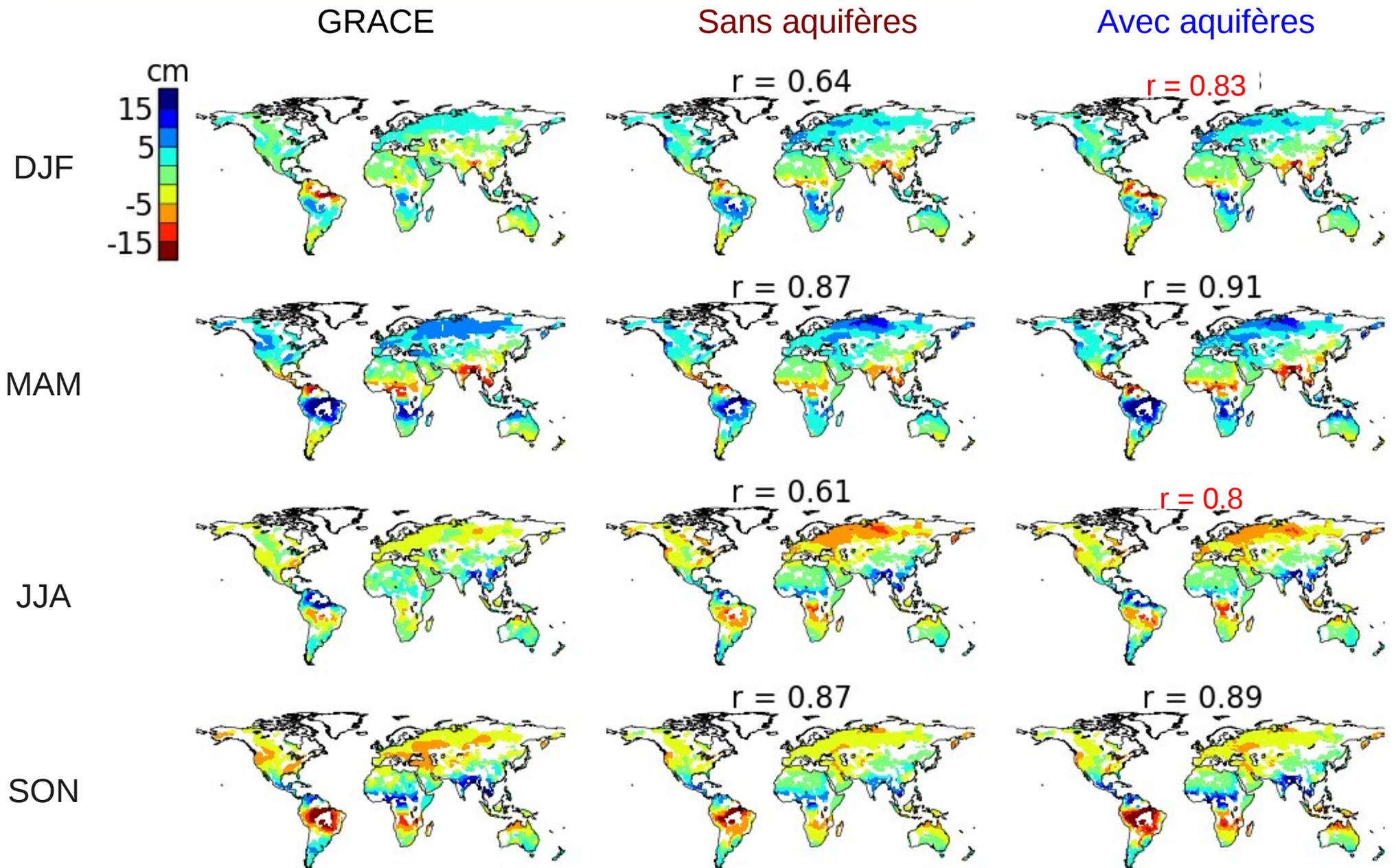
(Alkama et al., 2010)

Évaluation des stocks d'eau continentale



(Alkama et al., 2010)

Évaluation des stocks d'eau continentale



Conclusions et perspectives

- Apports du schéma d'aquifère
 - Meilleure représentation des débits d'étiage à l'échelle globale
 - Amélioration de la comparaison avec GRACE
 - Utilisable dans la version actuelle d'ISBA-TRIP
- Limites
 - Incertitudes sur les limites d'aquifère
 - Prise en compte des remontées capillaires de la nappe vers le sol
 - En cours de test (version prototype)
- Introduction du système complet ISBA-TRIP dans le modèle de climat CNRM-CM
 - Rétro-actions entre aquifère et climat
 - Impact sur la simulation des climats récent et futur