HAL
open science

Impacts du changement climatique sur les ressources en eaux à l'échelle de la France Approche multi-modèle : Plate-forme Aqui-FR

Dominique Thiéry

To cite this version:

Dominique Thiéry. Impacts du changement climatique sur les ressources en eaux à l'échelle de la France Approche multi-modèle : Plate-forme Aqui-FR. Les ressources en eau et en énergie souterraines face au changement climatique - 28e entretien Jacques Cartier, BRGM, Université Rennes 1, Université Savoie-Mont-Blanc (Chambéry), Institut National de la Recherche Scientifique (Québec), Dec 2015, Chambéry, France. hal-01389466

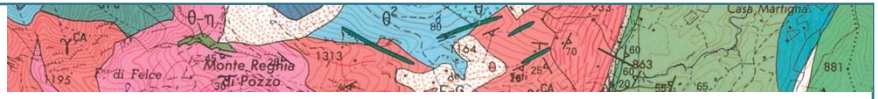
HAL Id: hal-01389466

https://brgm.hal.science/hal-01389466

Submitted on 28 Oct 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Impacts du changement climatique sur les ressources en eaux à l'échelle de la France

Approche multi-modèle : Plate-forme Aqui-FR

Dominique THIÉRY

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Direction D3E

Enjeux

- Gestion durable de la ressource en eau
- Bon état des milieux malgré les contraintes croissantes : qualité et quantité
- Prévision d'impact des conséquences des pressions climatiques et anthropiques
- Nécessité de développer des modèles prédictifs pour la gestion de la ressource en eau

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Modèle de gestion des nappes profondes du Nord Aquitain

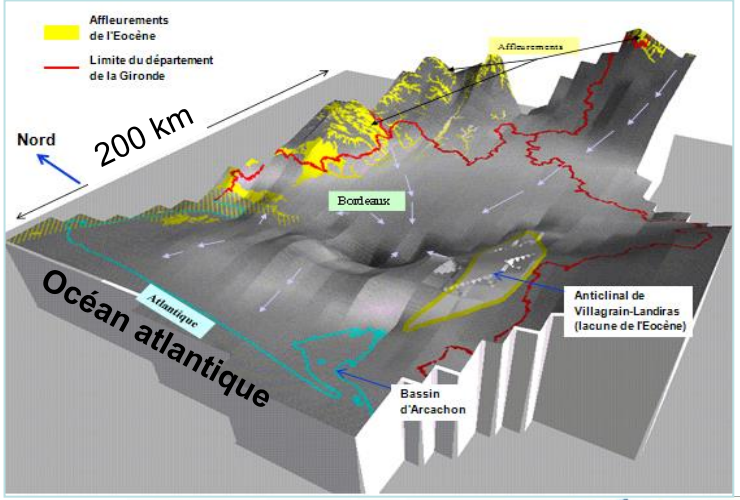
> **Modèle « patrimonial »** de gestion des nappes profondes de la Gironde

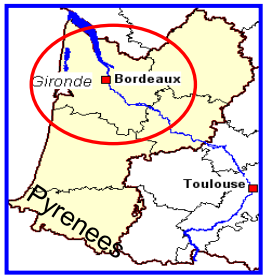
> Évolue et intègre les nouvelles connaissances géologiques et hydrogéologiques

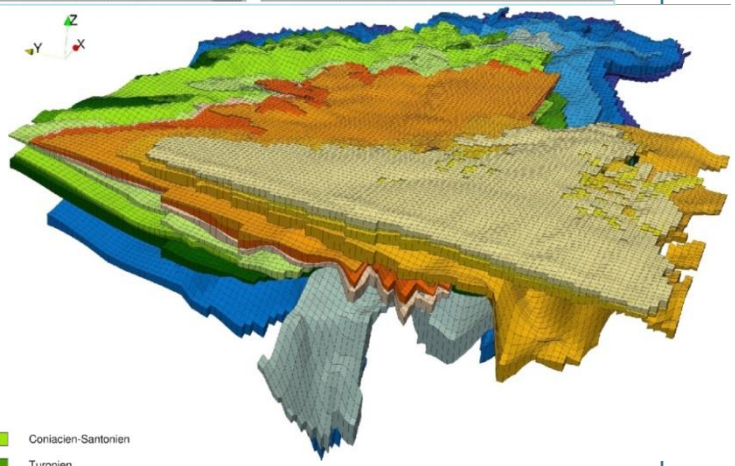
Système aquifère multicouche :

- **15 aquifères**
- **14 aquitards**
- **Code de calcul MARTHE**

Aquifère à nappe captive de l'Eocène

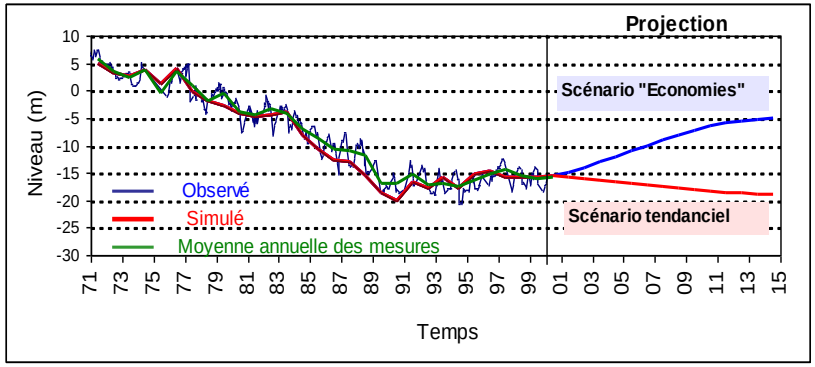






Prédiction des niveaux piézométriques

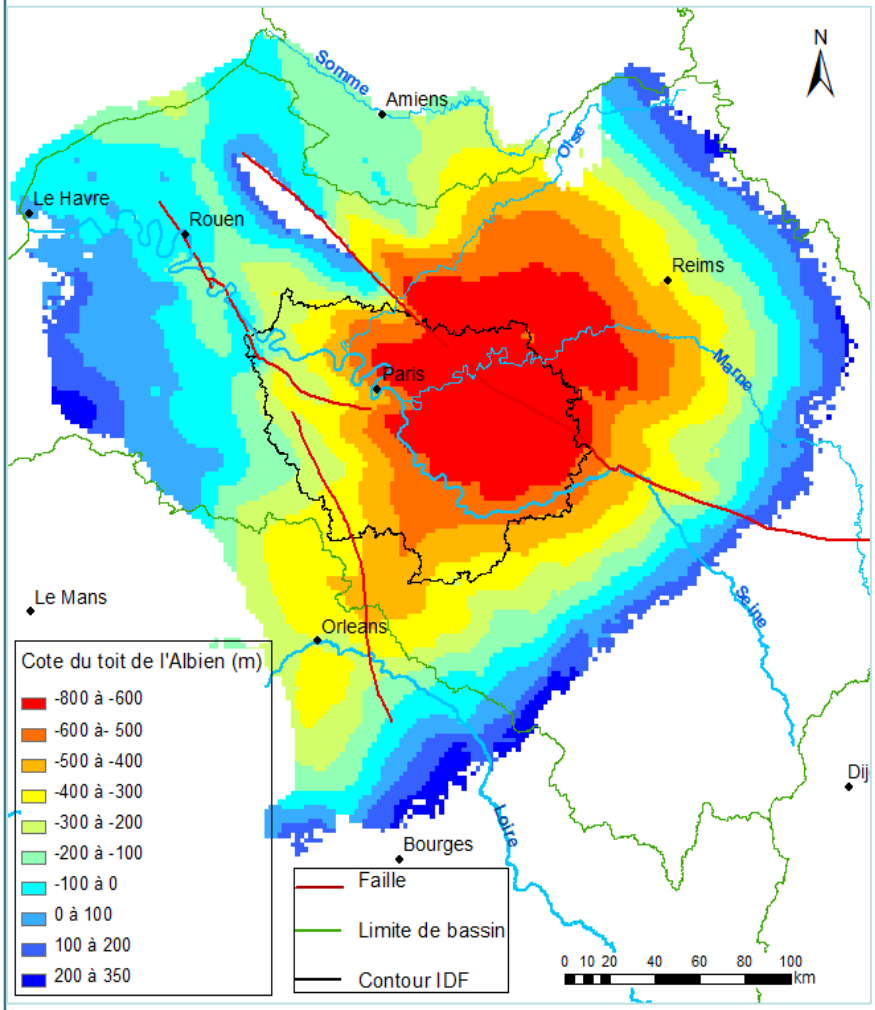
Exemple dans l'Eocène :



Géosciences pour une Terre durable
brgm

Ressource stratégique - nappe de l'Albien du Bassin Parisien

> Modélisation hydrodynamique et thermique (MARTHE)

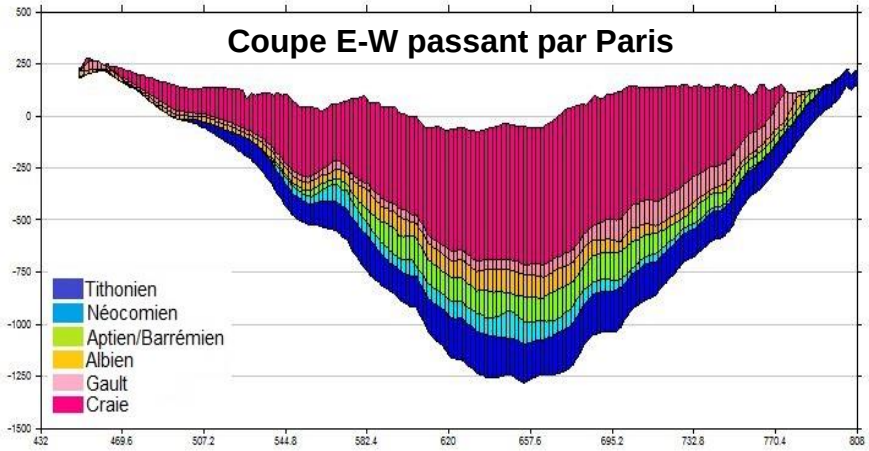


Cote du toit de l'Albien (m NGF)

Ressource ultime pour l'AEP

(SDAGE du Bassin Seine-Normandie)

- **Extension : 75 150 km²**
- **Modèle géologique (GDM, 1950 sondages)**
- **6 couches géologiques, dont 4 aquifères**
- **Mailles carrées de 2 km de côté**
- **Calibration en transitoire 1841-2012, 30 points de suivi piézométrique**
- **Débit exploité (2012) = 17 Mm³/an**

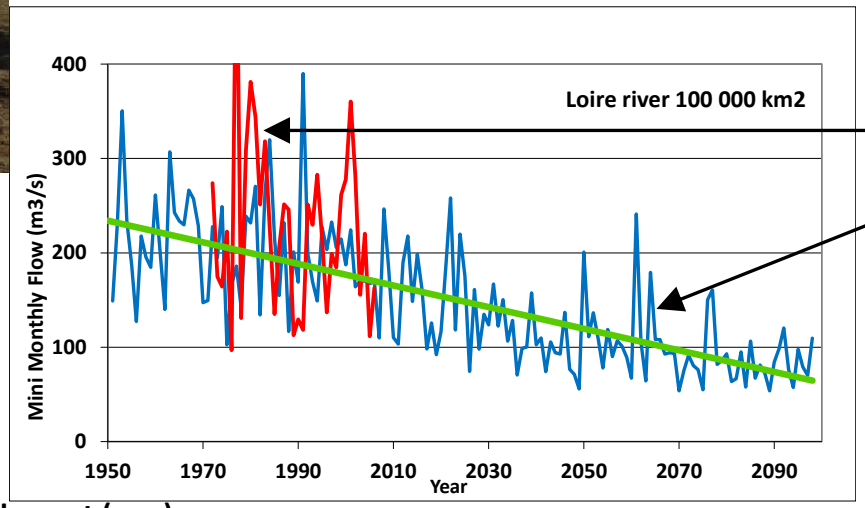


Impacts potentiels du changement climatique : LOIRE

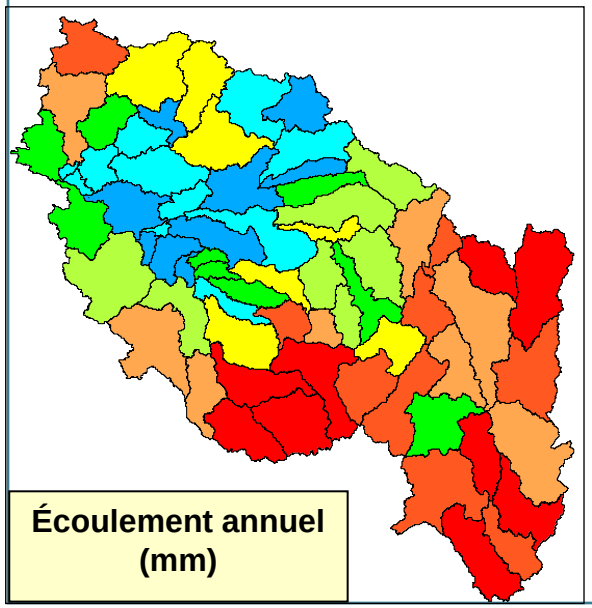
Bassin versant de la LOIRE (110 000 km²)
Code de calcul EROS : Ensemble de 68 sous-bassins versants en grappe

Projet ICC_HYDROQUAL (F. Moatar)

Loire à Montjean (100 000 km²)
Temps présent et scénario climatique Arpège_1



Débit mensuel minimum



Écoulement annuel (mm)

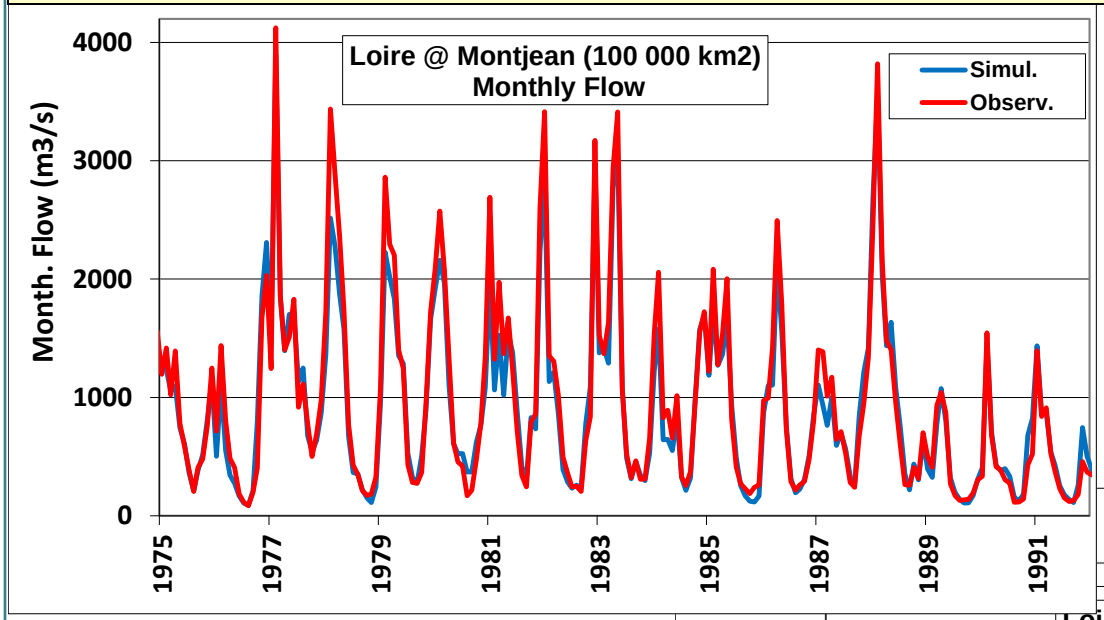
Écoulement (mm)

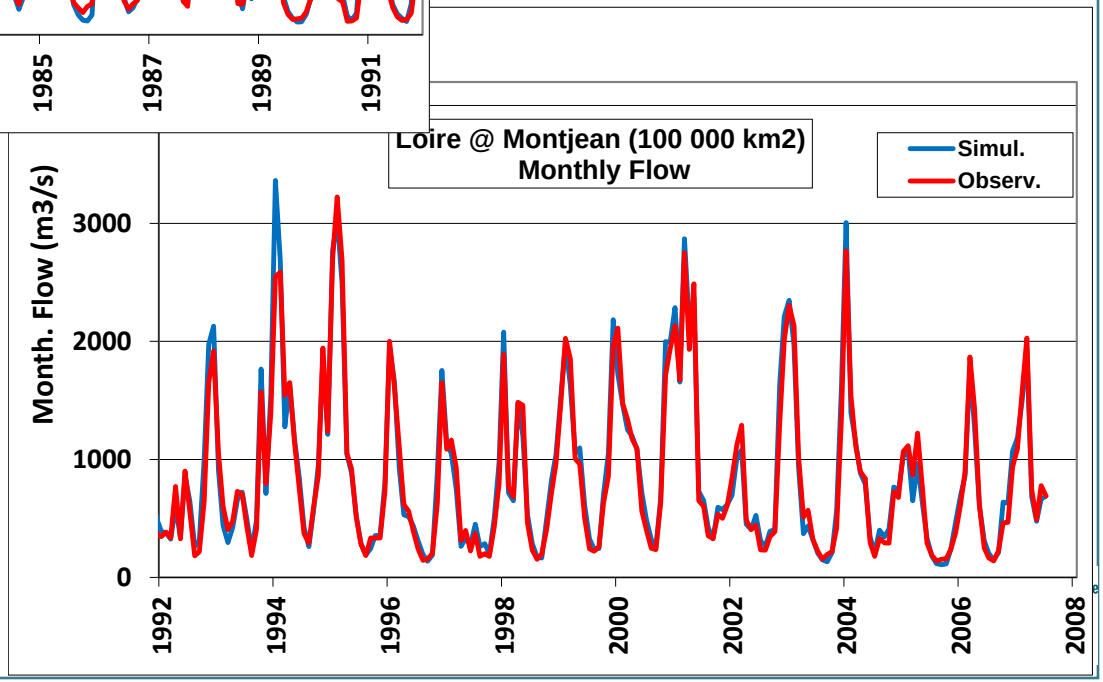
- 360 - 615
- 291 - 360
- 250 - 291
- 207 - 250
- 188 - 207
- 158 - 188
- 140 - 158
- 66 - 140

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Bassin de la LOIRE

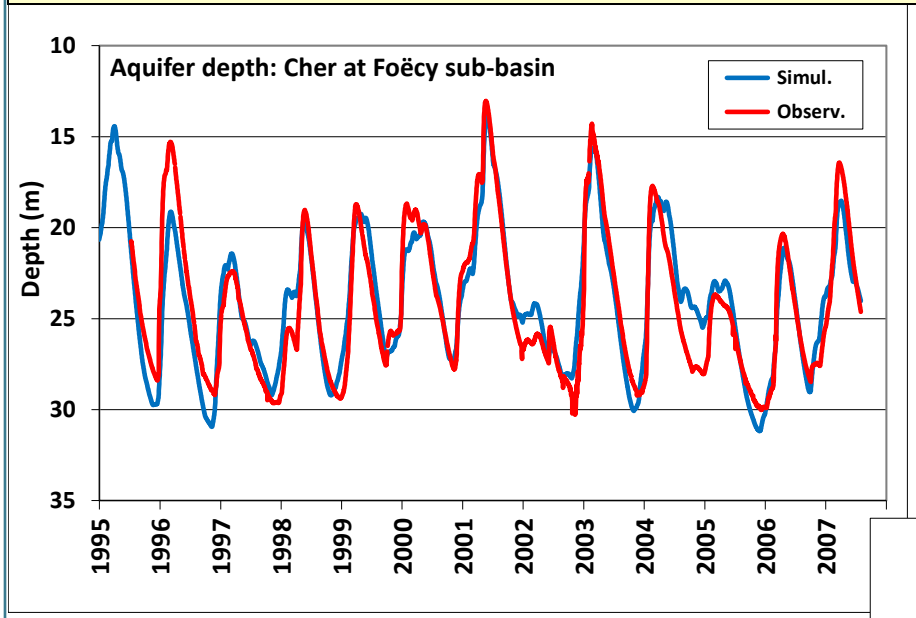
Simulations ÉROS : Loire Montjean

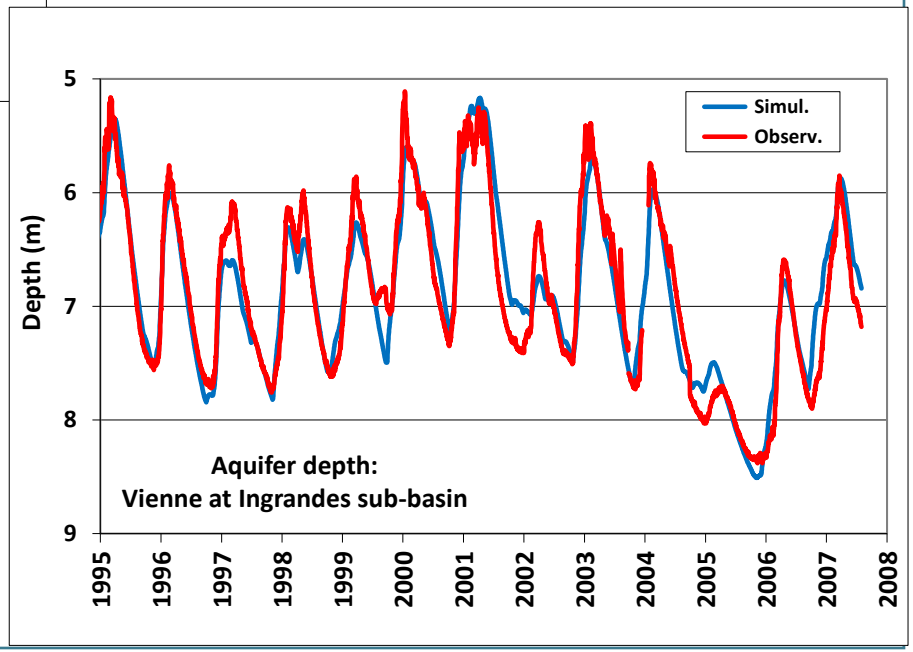




Bassin de la LOIRE

Simulations ÉROS : Niveaux de Nappe - Période historique

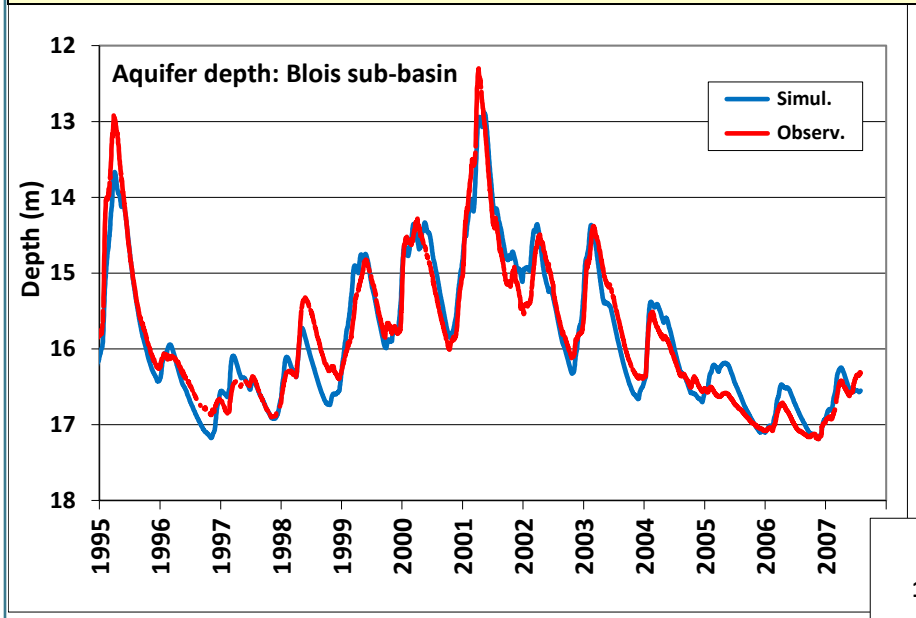


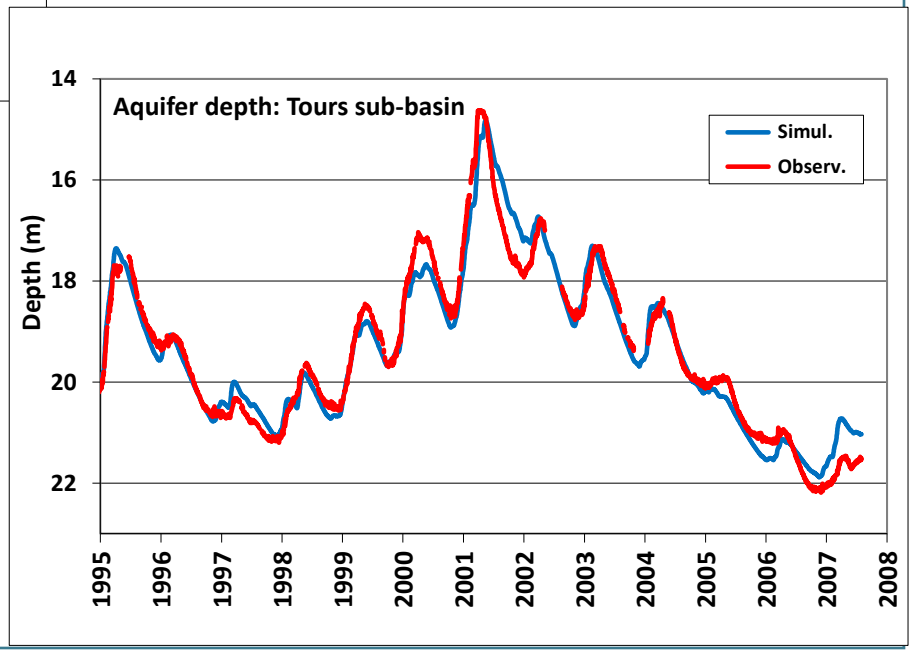


Les étiages en particulier sont bien simulés

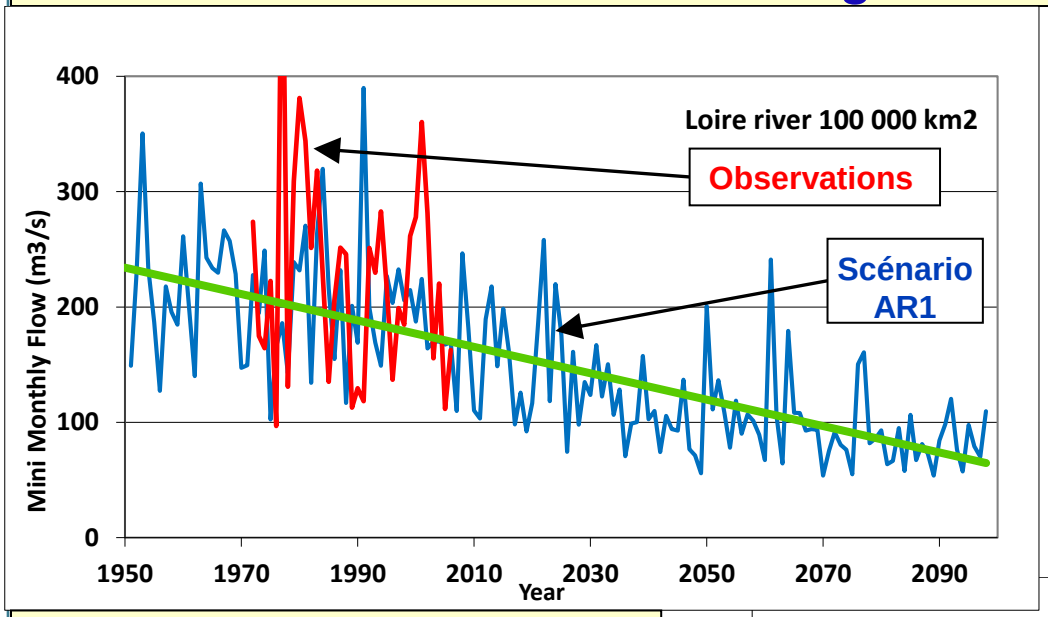
Bassin de la LOIRE

Simulations ÉROS : Niveaux de Nappe - Période historique



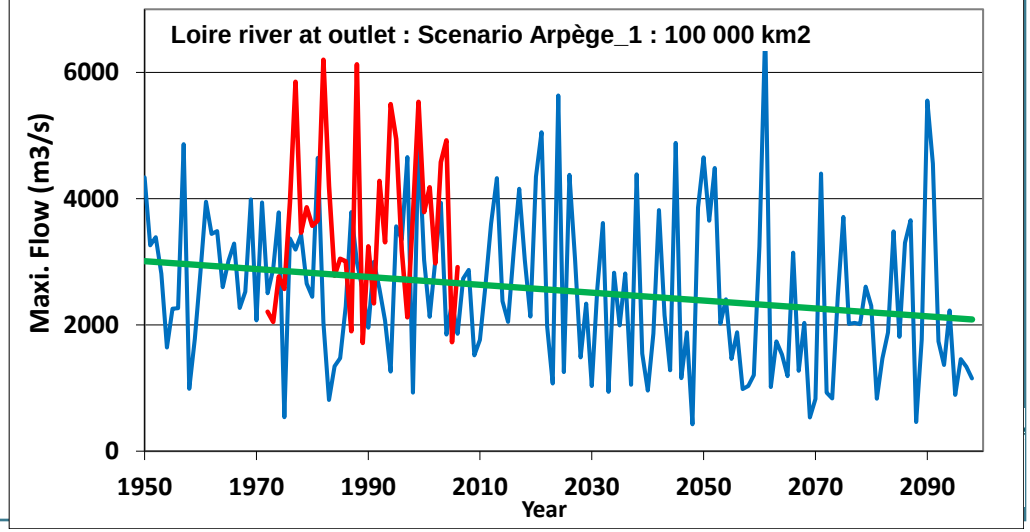


Bassin de la LOIRE: Montjean
Simulations ÉROS : Changement climatique : Arpège_1



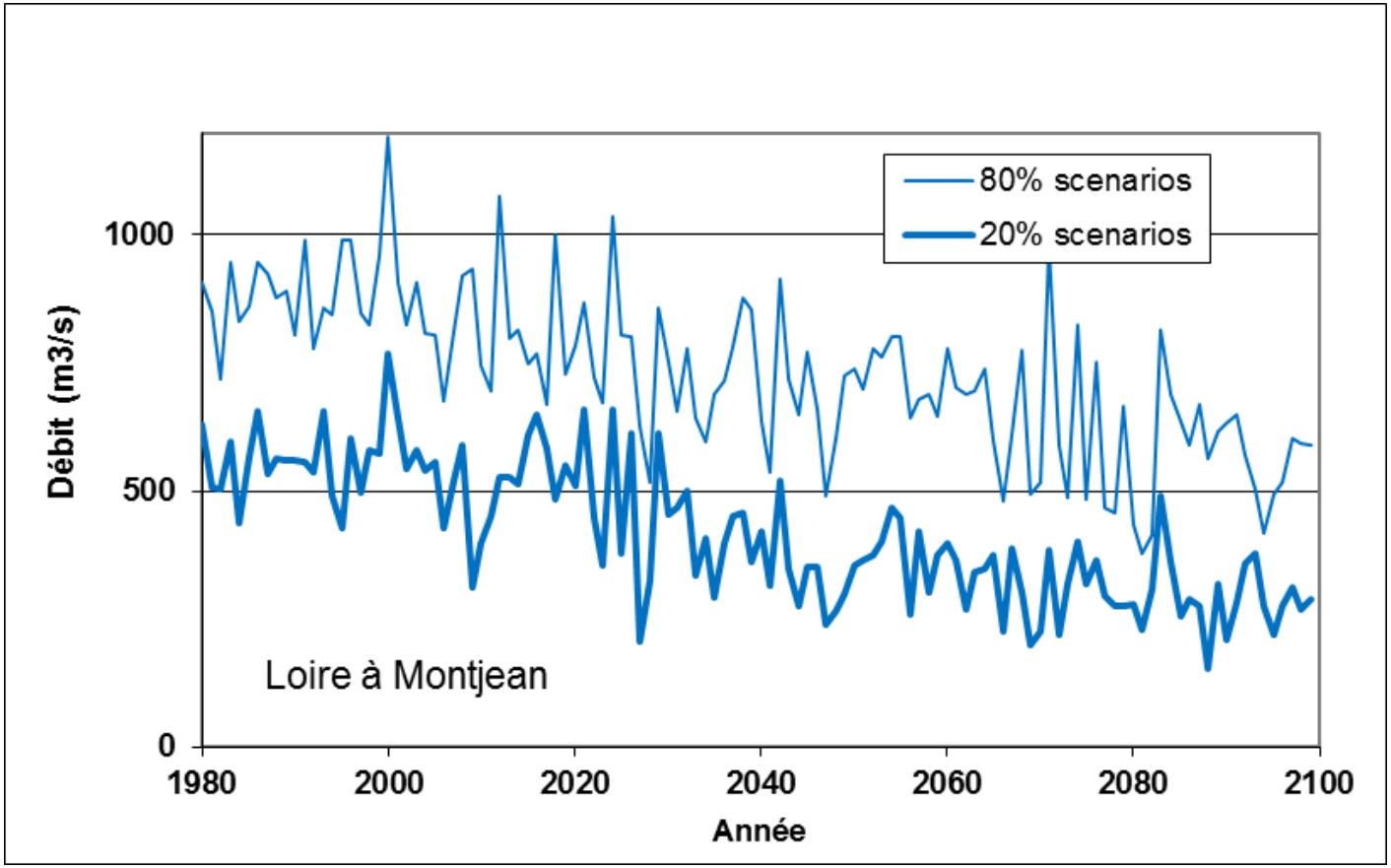
Débit mensuel mini de l'année

Débit maxi de l'année



Loire à Montjean

Simulations ÉROS : Débit moyen annuel ; 21 scénarios

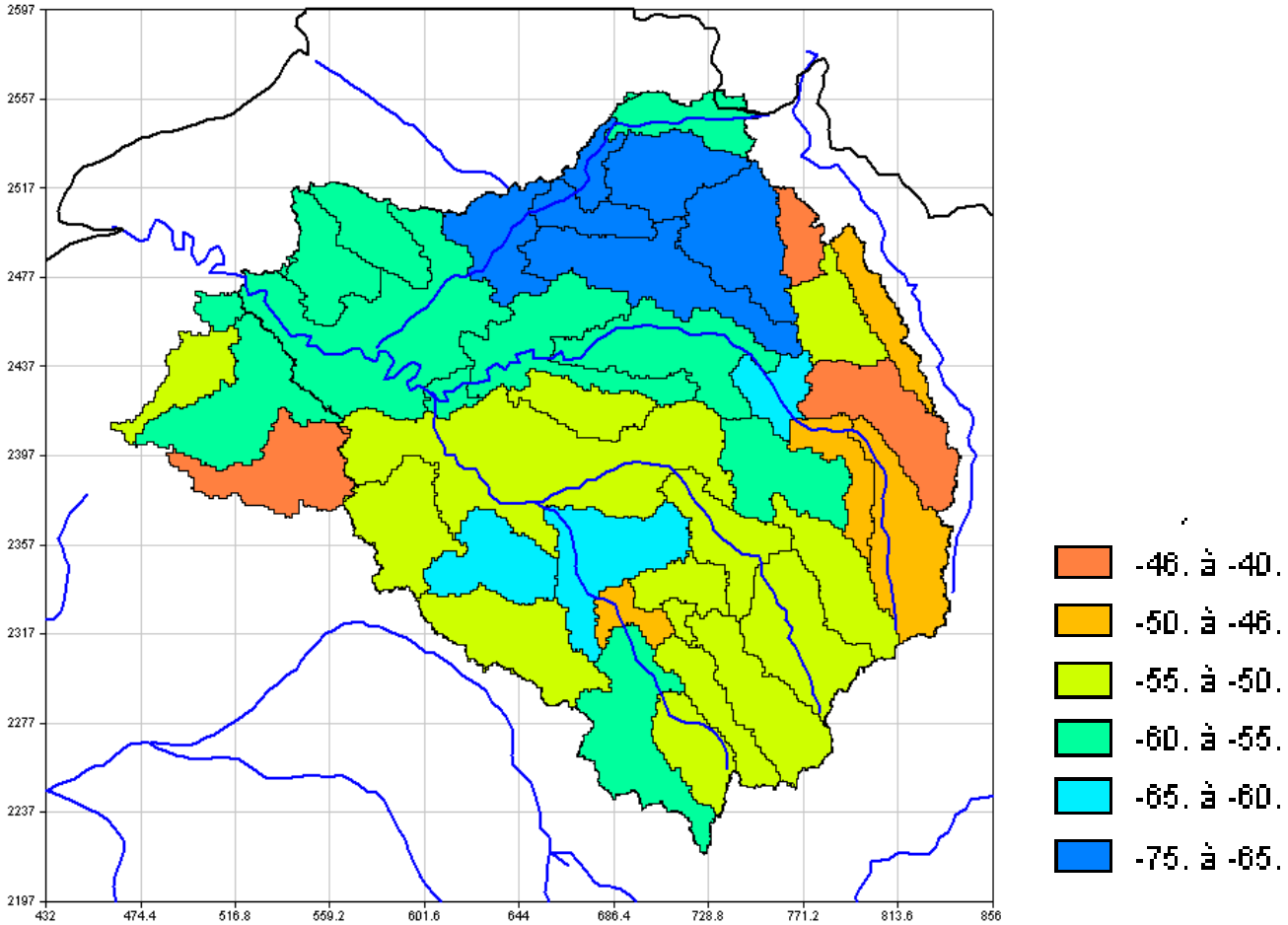


Modèle ÉROS du BRGM : Simulation de l'évolution du débit moyen annuel de la Loire à Montjean selon 21 scénarios de changement climatiques des organismes météorologiques mondiaux. Malgré la dispersion résultant des différents scénarios, une diminution du débit de l'ordre de 30 % est attendue à l'horizon 2050 et de 40 % à la fin du siècle.

Géosciences pour une Terre durable
brgm

ÉROS : Bassin de la SEINE en 41 sous basins

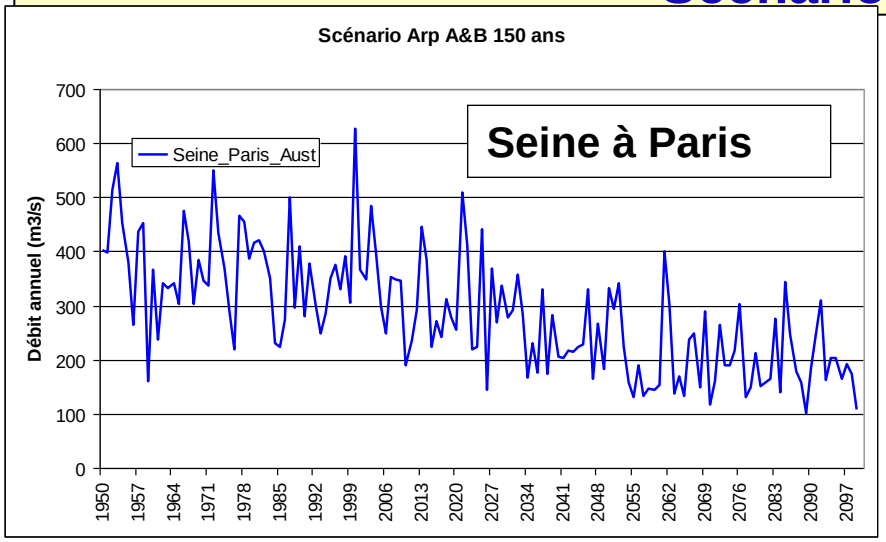
Diminution d'écoulement (%) : Scénario : Arp A2-RT

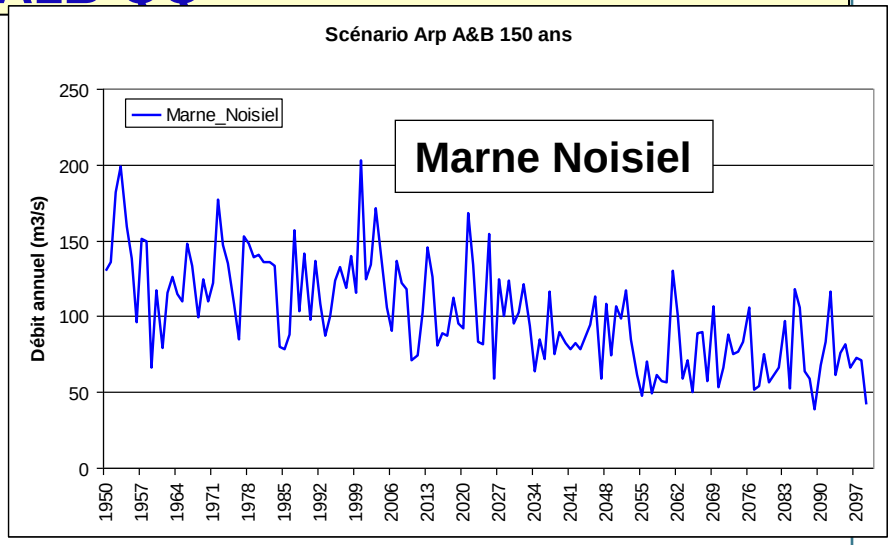


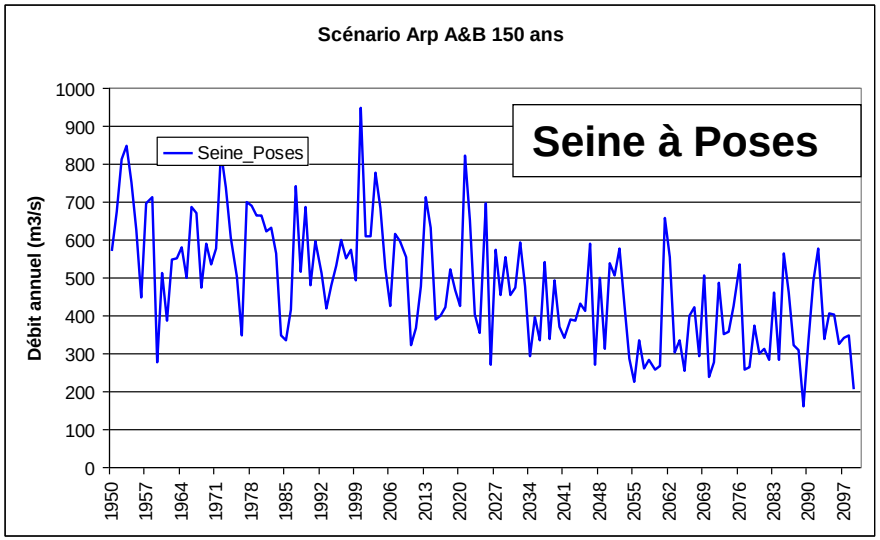
Écoulement moyen : Actuel = 191 mm/an ; Futur = 87 mm/an

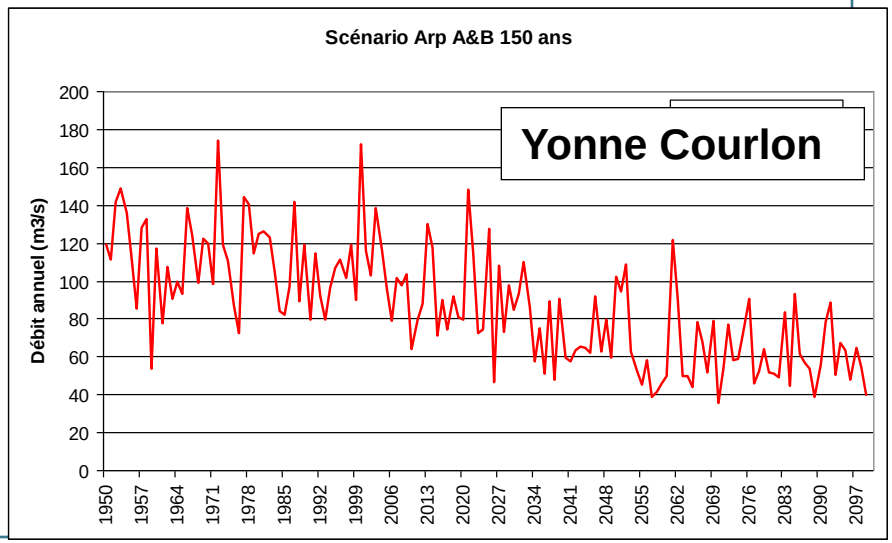
Géosciences pour une Terre durable
brgm

Gardénia - EROS: Grands bassins SEINE
Seine_Paris ; Seine_Poses ; Marne ; Yonne
Scénario A1B-QQ



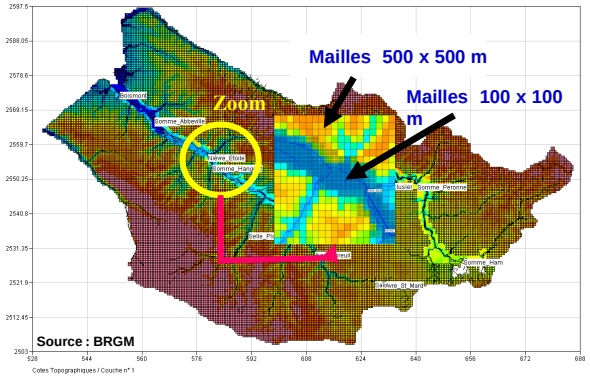


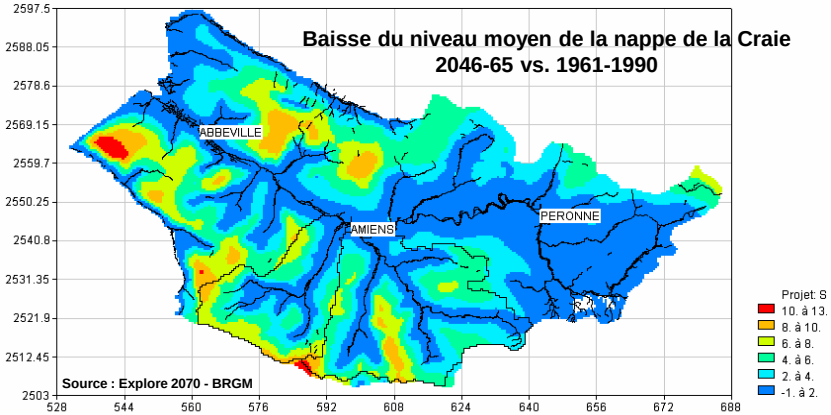




Impacts potentiels du changement climatique : SOMME

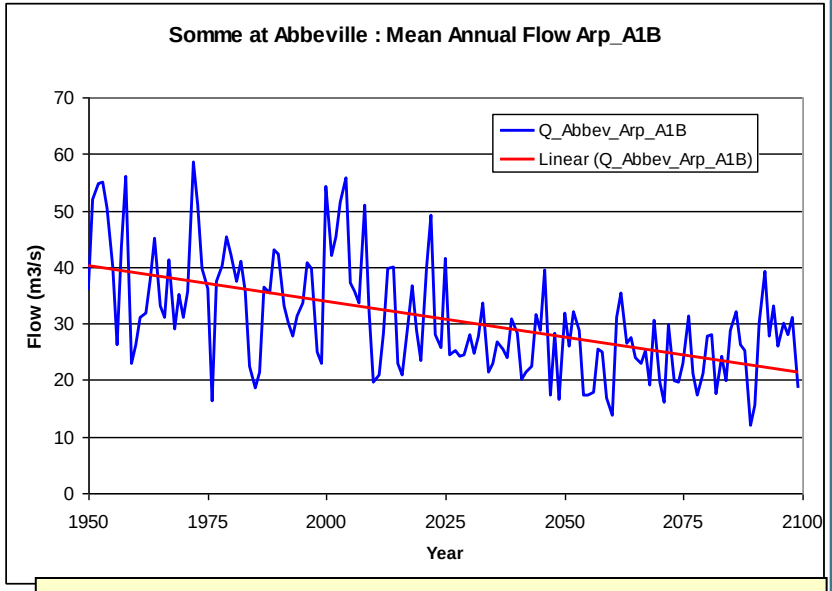
Modèle maillé du Bassin du bassin de la Somme - Nappe de la Craie





Baisse de niveau piézométrique de 2 à 12 m
Faible baisse à proximité des cours d'eau, forte baisse sous les plateaux

Projets RExHySS (2007-2009) (A. Ducharne) & Explore 2070 (2010-2012)



Baisse progressive du débit moyen : -40 % à la fin du siècle

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Inondations dans la vallée de la Somme pendant plusieurs mois en 2001

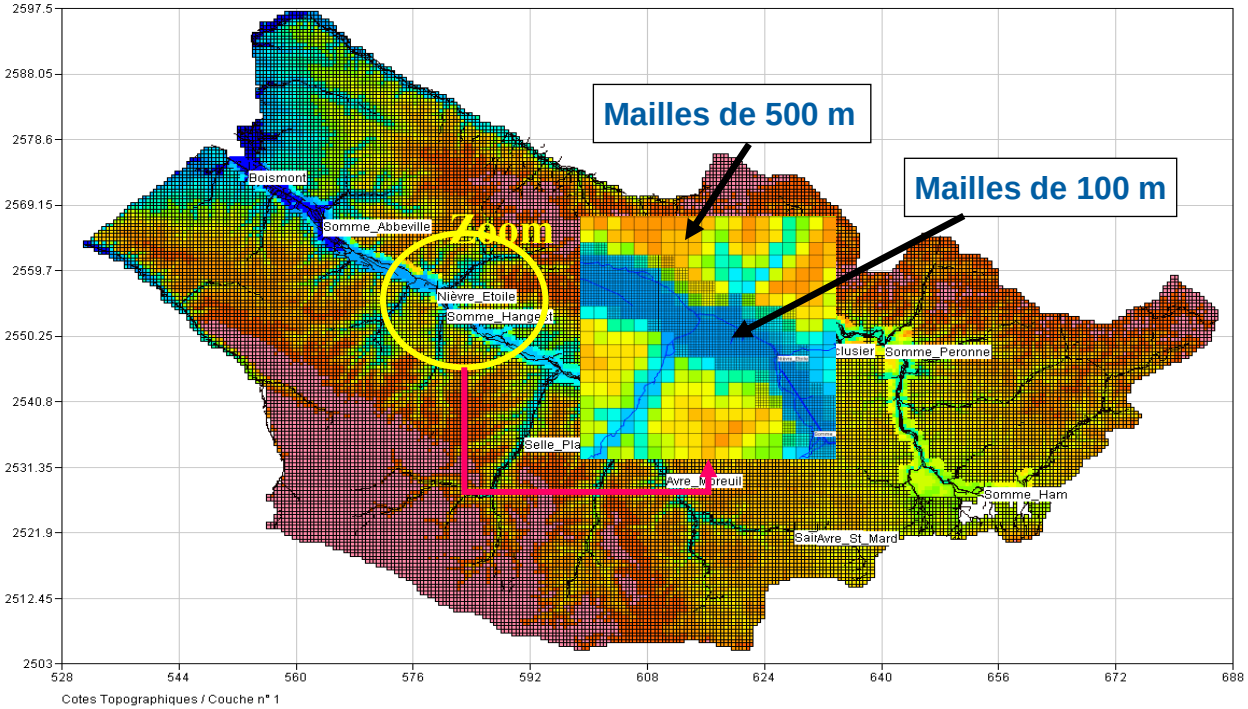
Géosciences pour une Terre durable
brgm

Source : French Ministry of Ecology and Sustainable Development

.

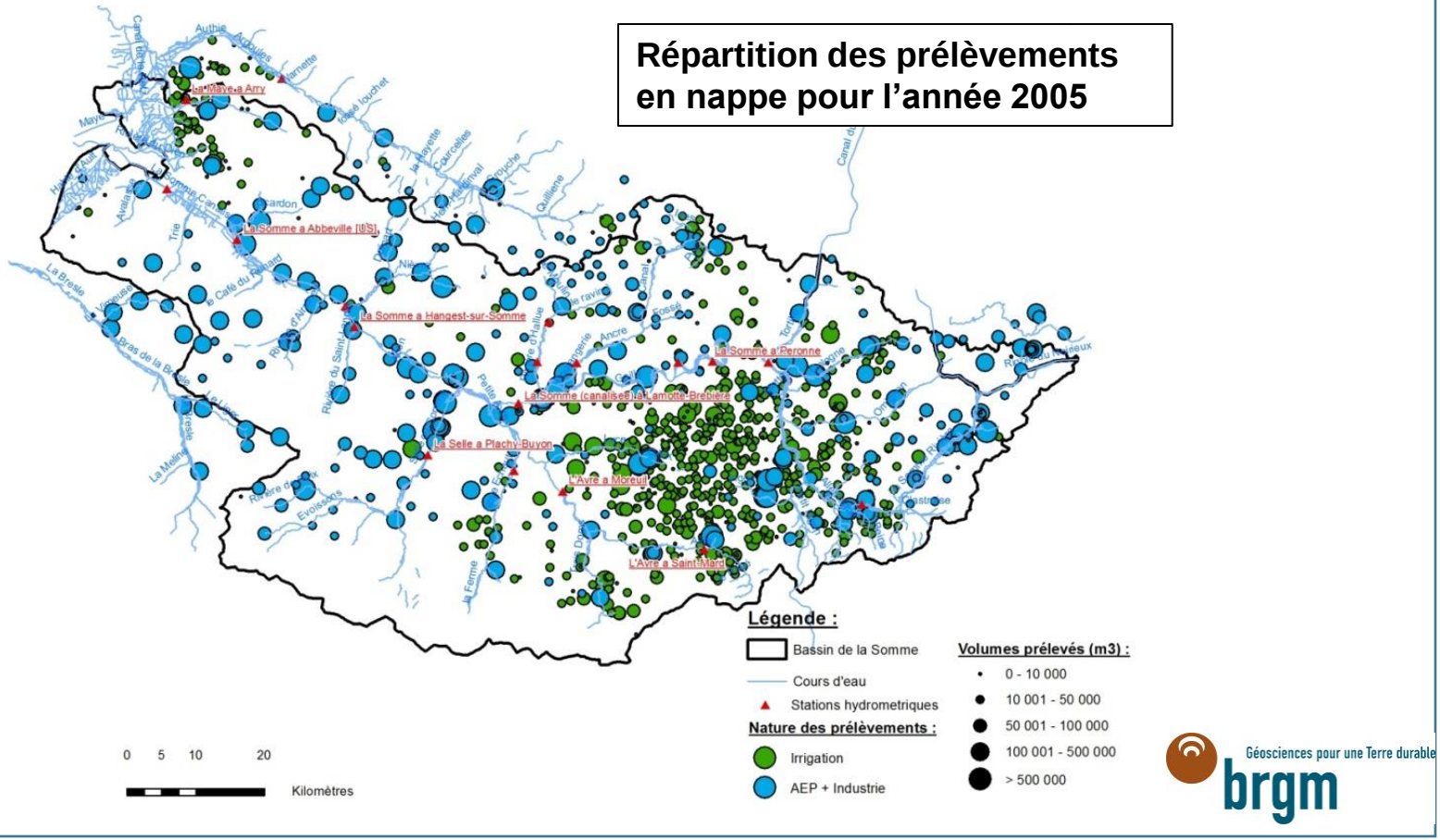
Modèle de la SOMME

- Modèle monocouche (Craie)
- Mailles : 500 m de coté + <u>3 gigognes</u> le long de la vallée humide de la Somme (mailles de 100 m)
- 66 600 mailles
- Code de calcul MARTHE
- Pas de temps de calcul : journalier (hebdomadaire pour la nappe).
- Calibration : Débits et Niveaux de la nappe :1989 - 2012

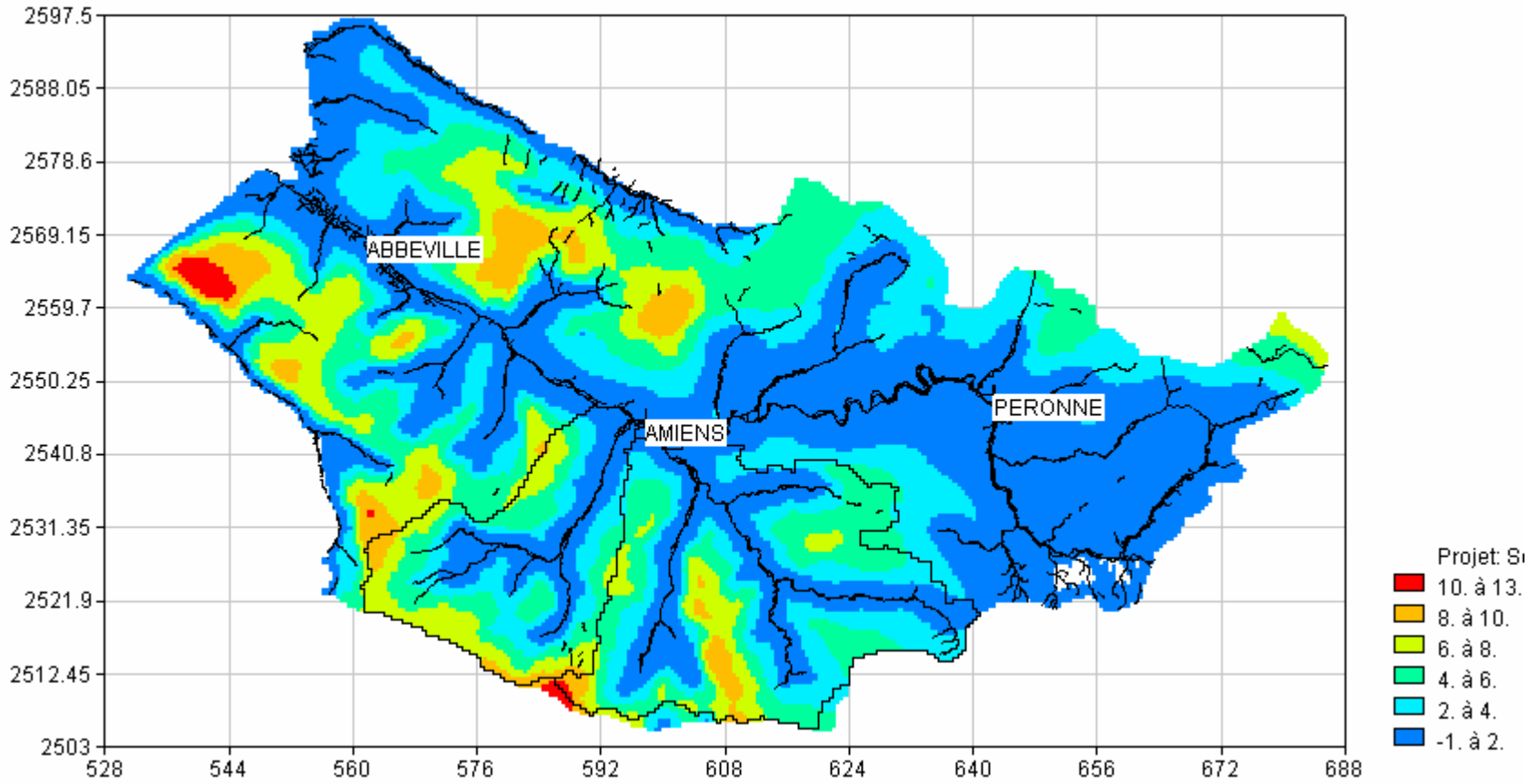


Modèle de la SOMME

- Calibration : 56 chroniques piézométriques et 14 chroniques de débit,
- Prise en compte de plus de 1000 captages,
- Recharge et ruissellement calculés par le schéma GARDENIA intégré dans le code de calcul MARTHE



Baisse moyenne de niveau (m) : PST – A1B

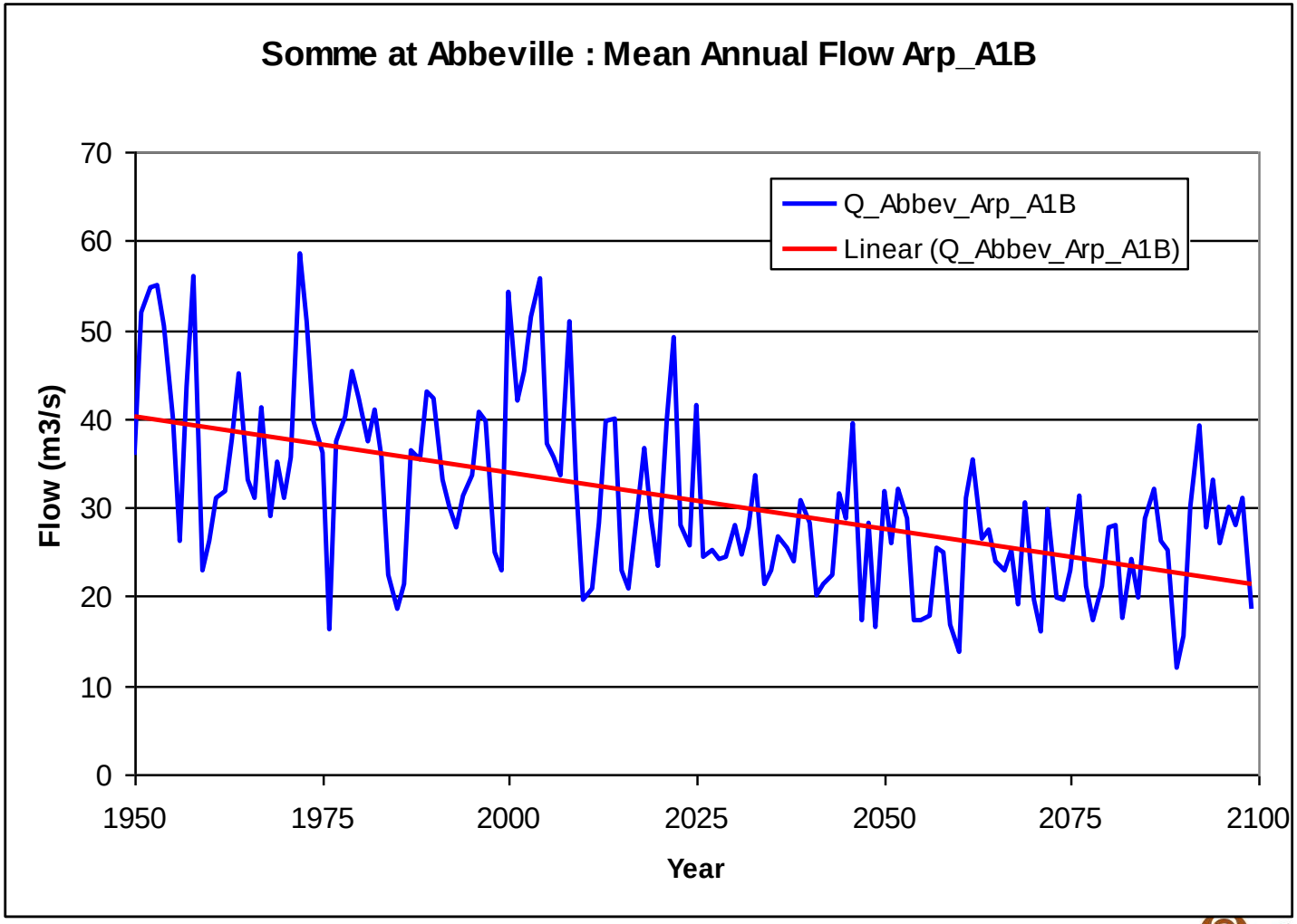


Baisse de niveau piézométrique de 2 à 12 mètres

Faible baisse à proximité des cours d'eau,
forte baisse sous les plateaux

Géosciences pour une Terre durable
brgm

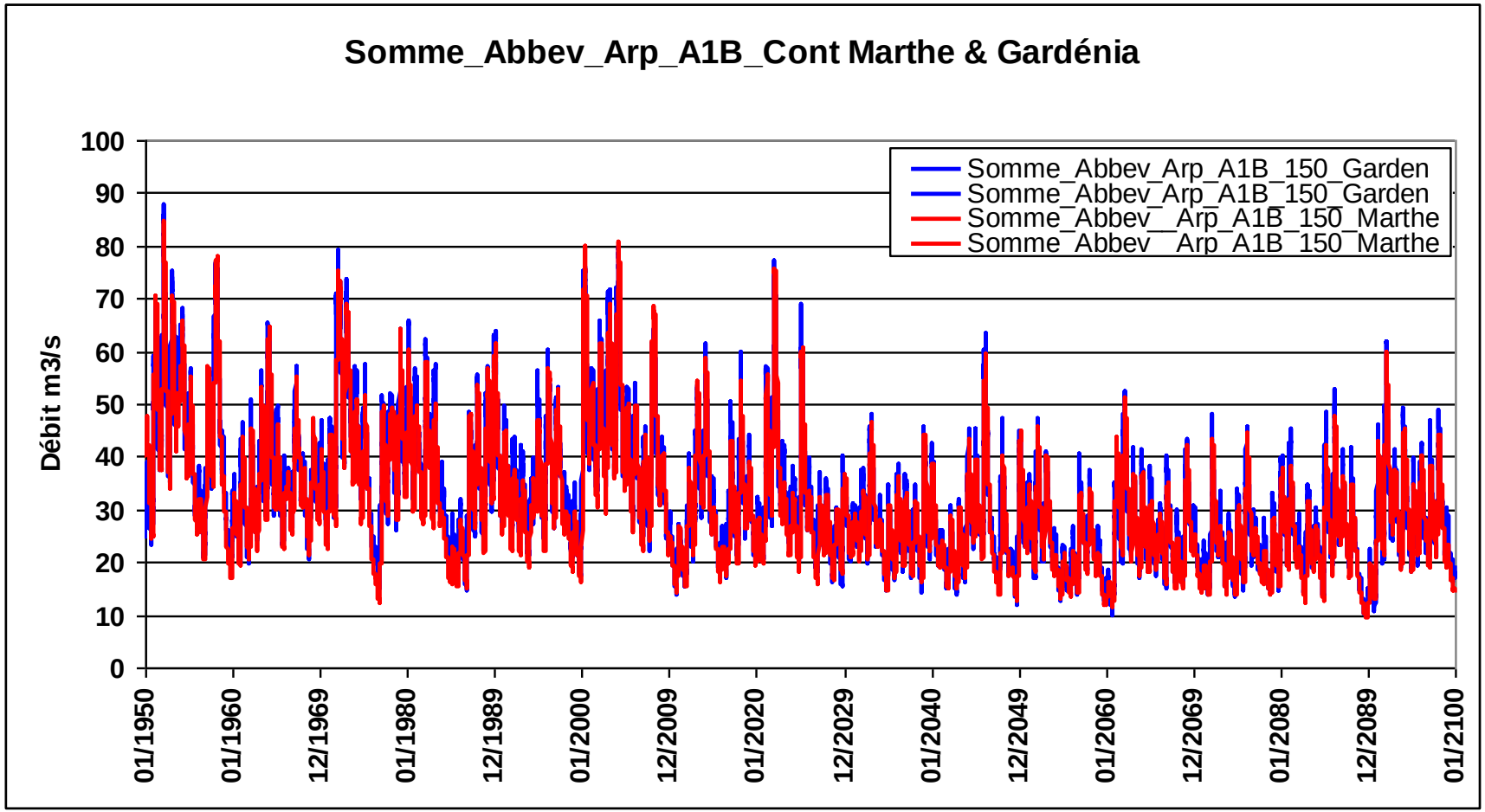
Débit moyen annuel de la Somme à Abbeville : Arp – A1B continu



Baisse « régulière » du débit moyen : -50 % en 150 ans

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Débit de la Somme à Abbeville : Arp – A1B continu



Marthe & modèle global Gardénia : Très semblables

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Scénarios disponibles sur les bassins Seine et Somme

	Nom	Acronyme	SRES	DESAG	PST	MS	FS
	SAFRAN				1970-2005	NA	NA
1	AN_ARPV4_A1B	**A1**	A1B	ANOM	NA	NA	2071-2100
2	AN_ARPV4_A2	**A2**	A2	ANOM	NA	NA	2071-2100
3	QQ_ARPV4_A1B	**RD1**	A1B	QQ	1950-2010	NA	2071-2100
4	QQ_ARPV4_A2	**RD2**	A2	QQ	1950-2010	NA	2071-2100
5	RT_ARP_CONT_A1B	**RC1**	A1B	RT	1950-2000	2000-2070	2071-2100
6	RT_ARPV4_A2	**RC2**	A2	RT	1950-2000	NA	2070-2100
7	GFDL_CM2_0	**G0**	A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
8	GFDL_CM2_1	**G1**	A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
9	MPI_ECHAM5	**EC**	A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
10	MRI_CGCM2_3_2A	**MR**	A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
11	GISS_MODEL_E_R	**GM**	A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
12	CCCMA_GCGM3_1	**CC**	A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
13	CNRM_CM_3		A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
14	CSIRO_MK3_0		A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
15	GISS_AOM		A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
16	*IAP_FGOALS1_0*		*A1B*	*RT*	*1960-2000*	*2046-2065*	*2081-2100*
17	INGV_ECHAM4		A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
18	IPSL_CMA		A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
19	MIROC_2_MEDRES		A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
20	MIUB_ECHO_G		A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100
21	NCAR_CCSM3_0		A1B	RT	1960-2000	2046-2065	2081-2100

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Modèle POitou – Charente (modèle POC)

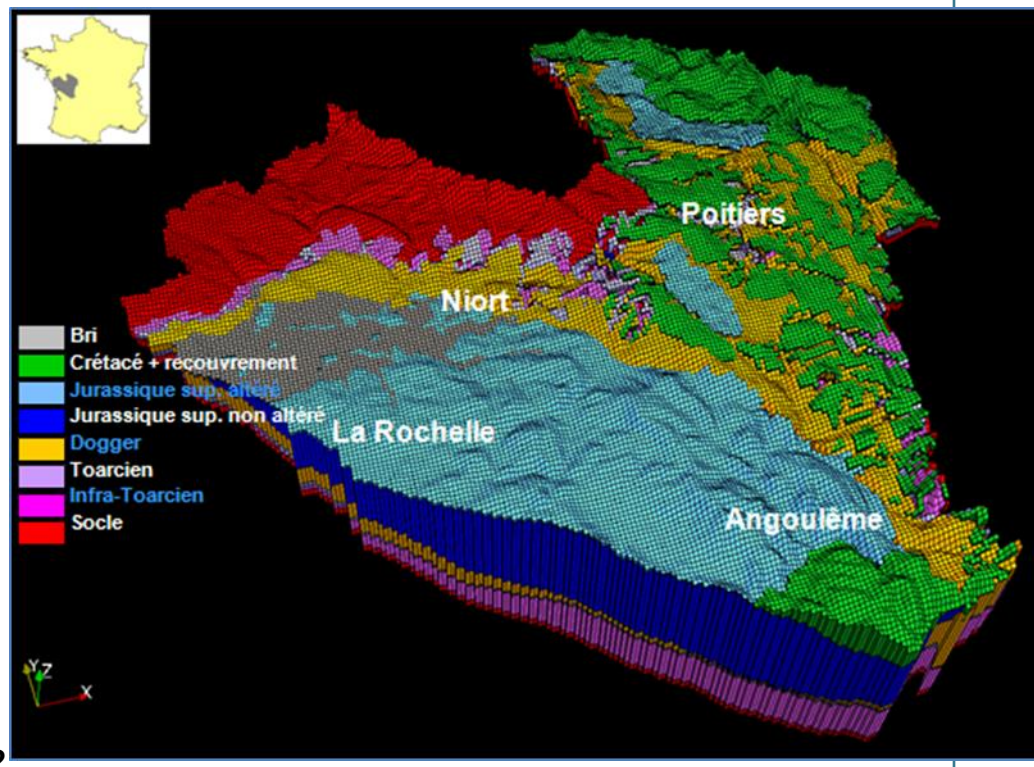
> Multicouche : 8 couches, dont 3 couches aquifères

Code de calcul MARTHE

- Formations superficielles du Bri du Marais Poitevin,
- Formations de recouvrement et du Crétacé,
- Jurassique supérieur altéré (aquif.),
- Jurassique supérieur non altéré,
- Dogger (aquifère),
- Toarcien,
- Infra-Toarcien (aquifère),
- Socle.

- **Superficie modélisée** : **19 200 km²**, dont **6 500 km² pour le Marais Poitevin**

Vue 3D du modèle POC [Douez et al. (2010)]



D3E/GDR

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Modèle POC

- Mailles carrées de 1 km de coté + gigogne à 333 m au nord du Marais Poitevin (96 211 mailles dont 10 677 raffinées)
- Couplage du modèle souterrain avec le réseau hydrographique (plus de 3000 km de cours d'eau);
- Calibration en régime transitoire sur 2000-2007
- Calibration sur les niveaux des nappes et sur les débits des cours d'eau.

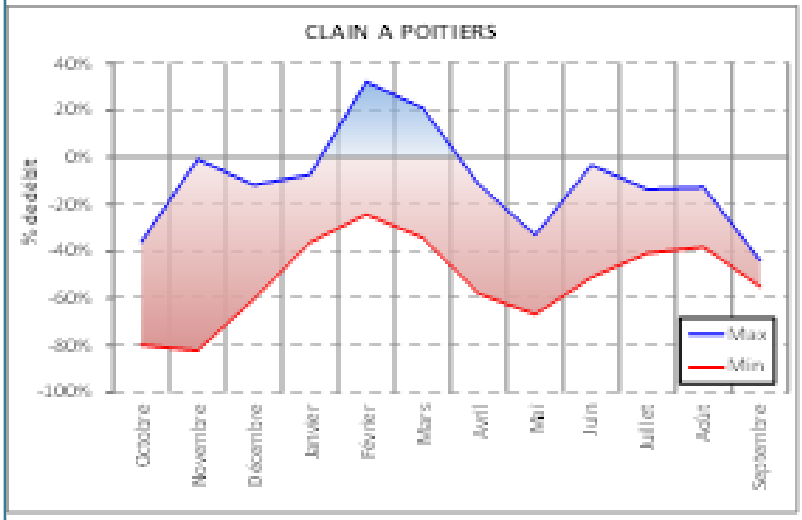
Modèle POC : résultats Explore 2070

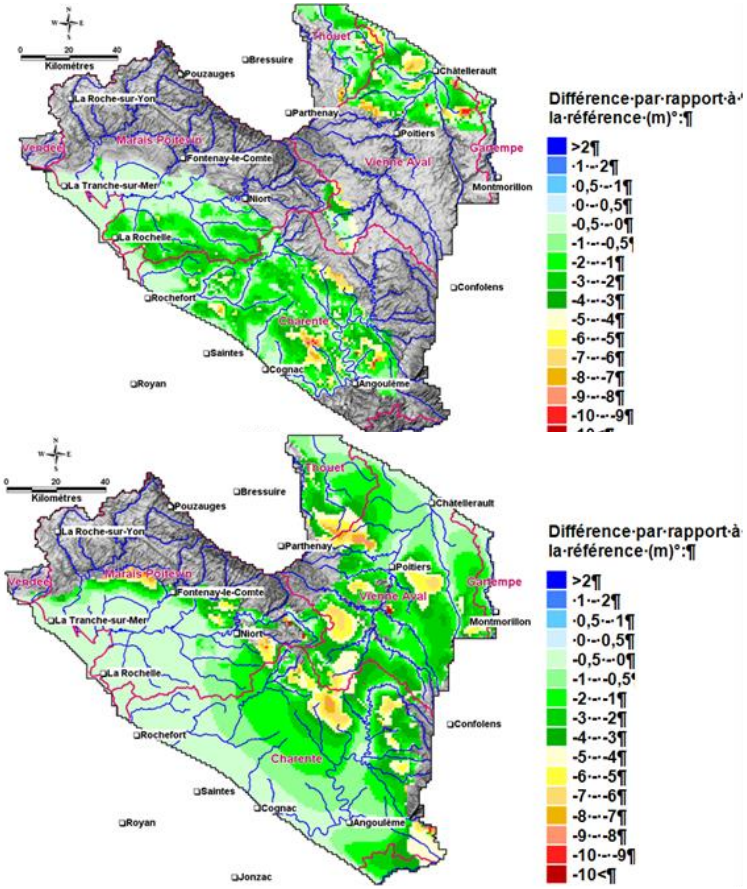
Niveau (plateaux)

Optimiste : -0.5 à +0.5 m
Pessimiste : -8 à -10 m (Jurassique)
-4 à -5 m (Dogger)

Débit (baisse variable)

Baisse générale du débit moyen :
entre -10 et -40%
Étiages : -60% voire -70% (+ pessimiste)



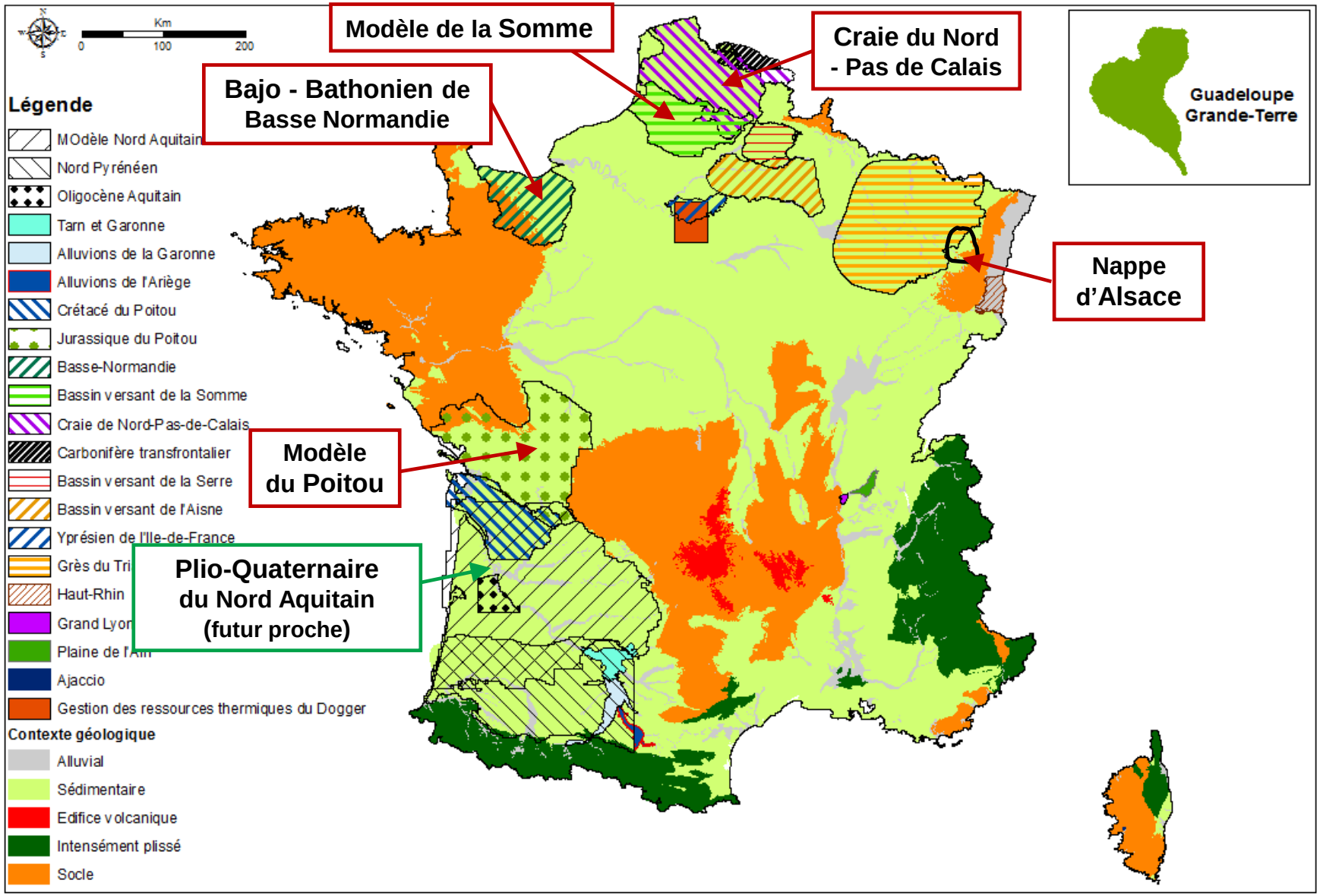


Jurassique supérieur (en haut) et **Dogger** (en bas) - **baisse du niveau moyen de la nappe 2046-2065 par rapport à référence (1961-1990)**
(Simulation la plus pessimiste MRI-CGCM 2.3.2)

D3E/GDR

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Modèles maillés du BRGM (code Marthe)



Projet Aqui-FR

(F. Habets, UMR Métis UPMC)

D3E/GDR

Aqui-FR
Système multi-modèle hydrogéologique à l'échelle nationale

> **Projet de recherche multi-partenaires :**

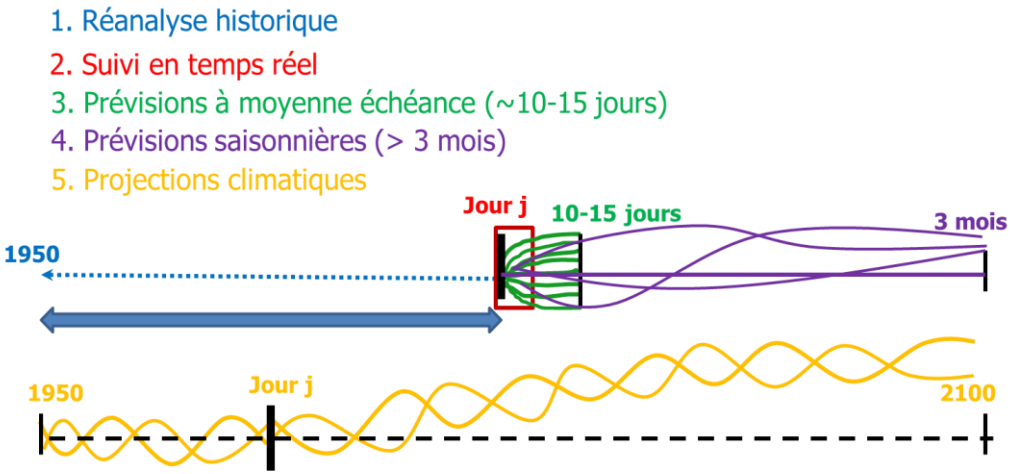
BRGM, Mines Paristech, Armines, CNRM, Météo France, LHyGeS, Géosciences Rennes, Cerfacs, UMR Métis UPMC ;

> **Projet prévu sur la durée 2014-2019**

> **Finalité : développement et mise en place d'un système <u>multi-modèle</u> permettant la simulation des aquifères nationaux**

Aqui-FR : Objectifs

- **Capitaliser les efforts de modélisations hydrogéologiques régionales dans une structure nationale pérenne mais évolutive**
- **Réaliser une veille temps réel, des prévisions et des projections** en connectant ces modélisations aux **forçages météorologiques disponibles en temps réel** et en prévision et aux projections climatiques
- **Faciliter l'accès aux résultats de ces applications hydrogéologiques pour les services de l'état (caractérisation de situation hydrologique, prévision ou impact du climat) à l'échelle nationale**
- **Comparer/Harmoniser le calcul de la recharge des nappes à l'échelle de la France pour une meilleur évaluation et gestion de la ressource en eau souterraine**

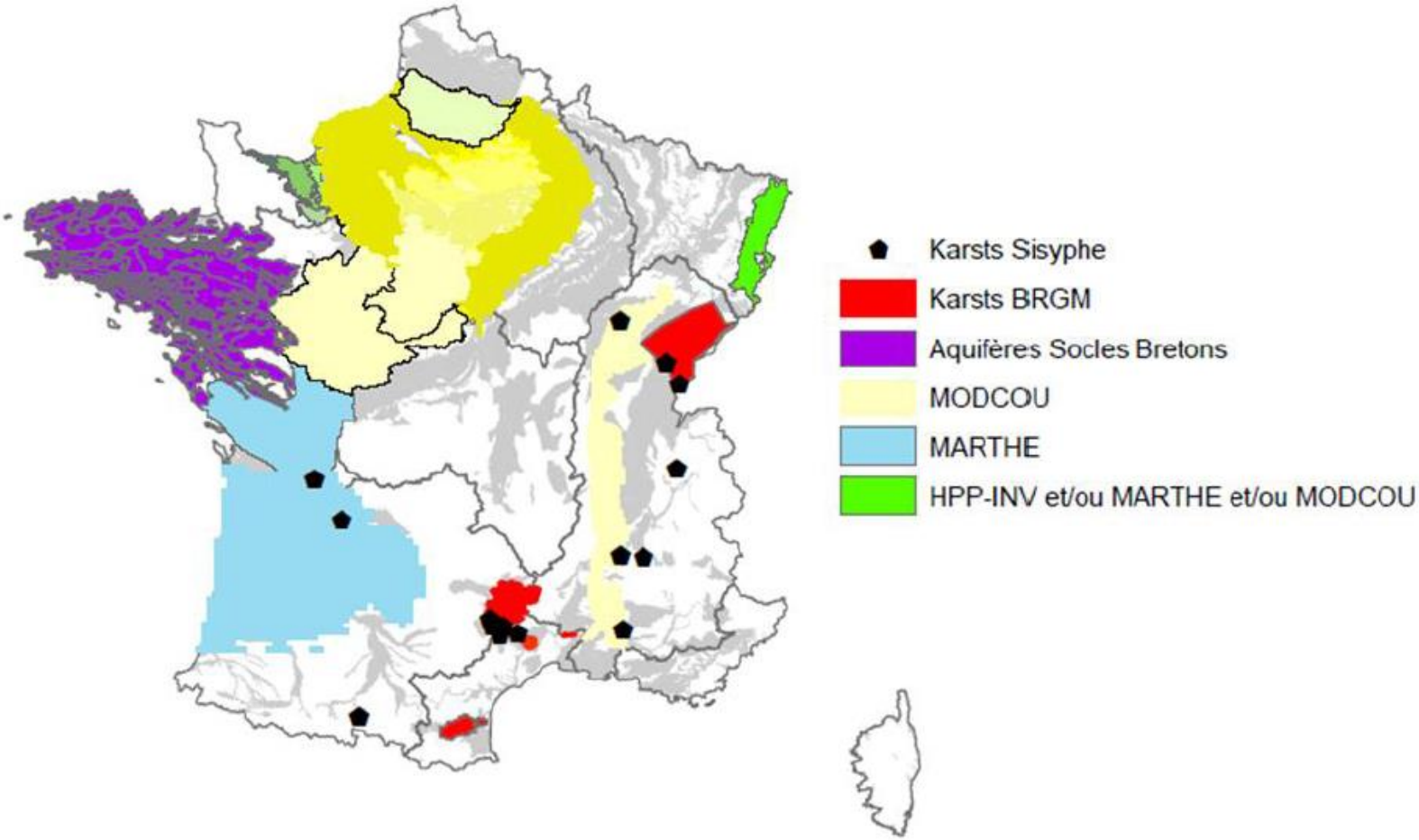


D3E/GDR

Aqui-FR
Principales actions « techniques »

- **Rassembler les différentes applications au sein d'une structure unique gérée par le <u>coupleur Open-Palm</u> (CERFACS)**
- **Mise en commun des <u>codes de calcul</u> et des <u>modèles hydrogéologiques régionaux</u> sur la plateforme Météo France**
- **Permettre à chacune des applications d'être utilisée en mode « original » et en mode « forcé » afin d'avoir une estimation du <u>bilan hydrique homogène sur la France</u> et donc permettre une analyse des impacts liés aux conditions hydroclimatiques**
- **Définir des sorties/indicateurs pour permettre l'exploitation des modèles, via la <u>caractérisation globale des situations hydrologiques</u> (exemple: indicateur de sécheresse)**
- **Mettre à disposition les résultats des simulations**

Aqui-FR
Modèles distribués et modèles karst disponibles



D3E/GDR

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Aqui-FR : Méthode

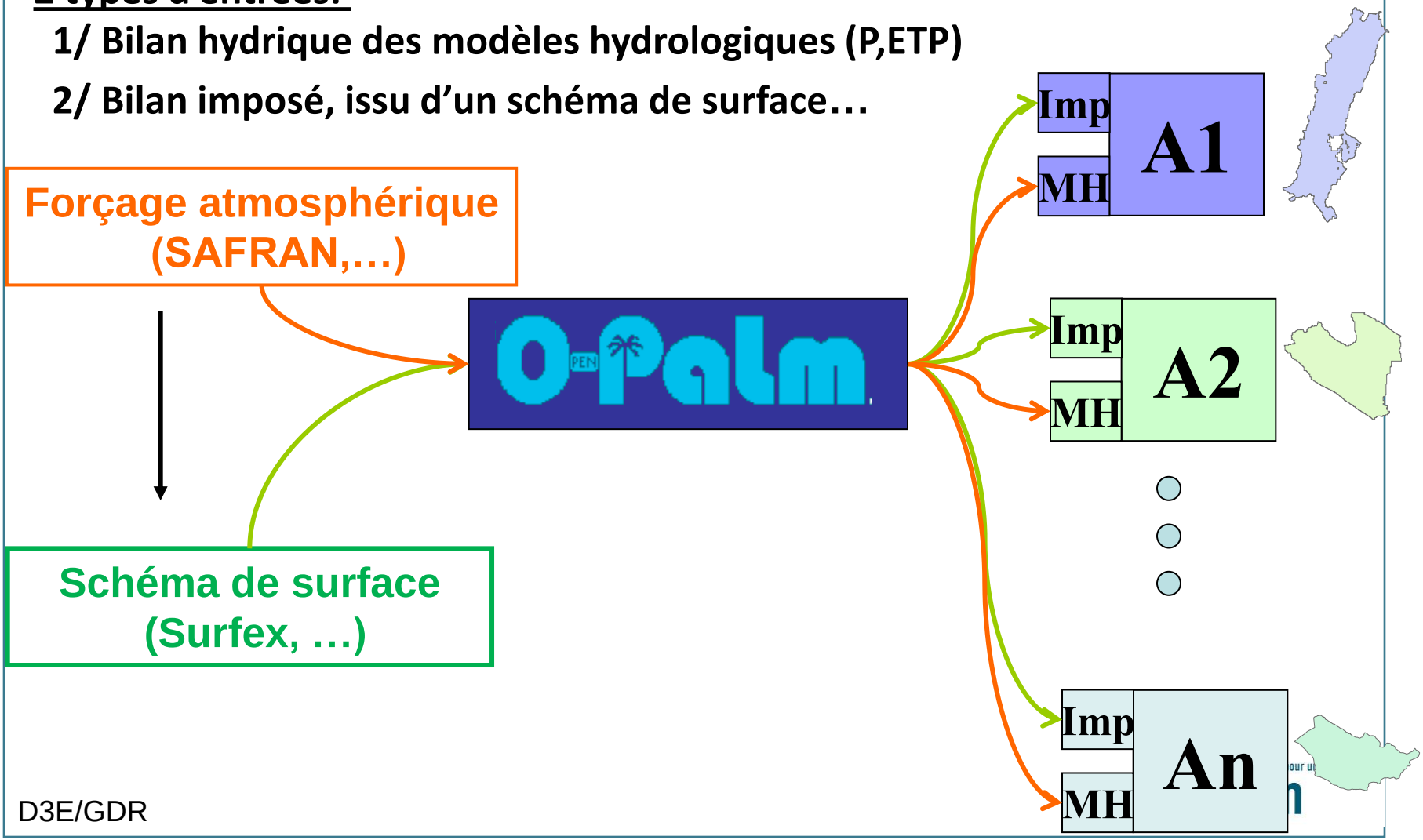
Utilisation d'un coupleur externe

Applications hydrogéologiques

2 types d'entrées:

1/ Bilan hydrique des modèles hydrologiques (P,ETP)

2/ Bilan imposé, issu d'un schéma de surface…



Aqui-FR : Méthode

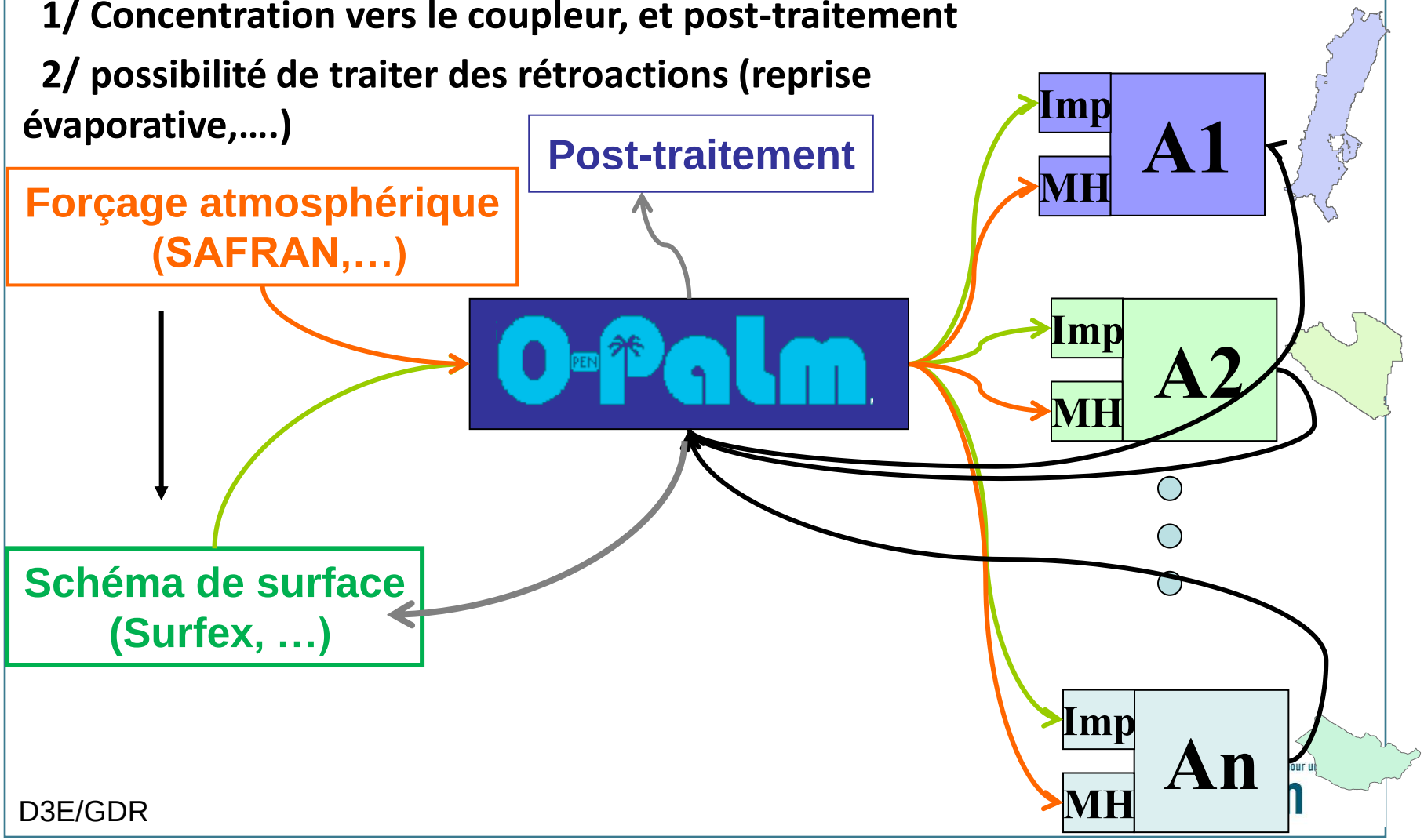
Utilisation d'un coupleur externe

Sorties:

1/ Concentration vers le coupleur, et post-traitement

2/ possibilité de traiter des rétroactions (reprise évaporative,….)

Applications hydrogéologiques



D3E/GDR

Difficultés du projet Aqui-FR

- **Capacité (technique) de mobilisation des <u>différents modèles</u> et <u>applications</u> sur une plate-forme unique**
- **Obtention des <u>droits</u> d'utilisation gratuite des sorties de ces applications pour les services de l'état.**
- **Anticipation/appropriation des types de « <u>produits</u> » issus de cette application multi-modèle**

Maquette Aqui-FR
Première version 2015

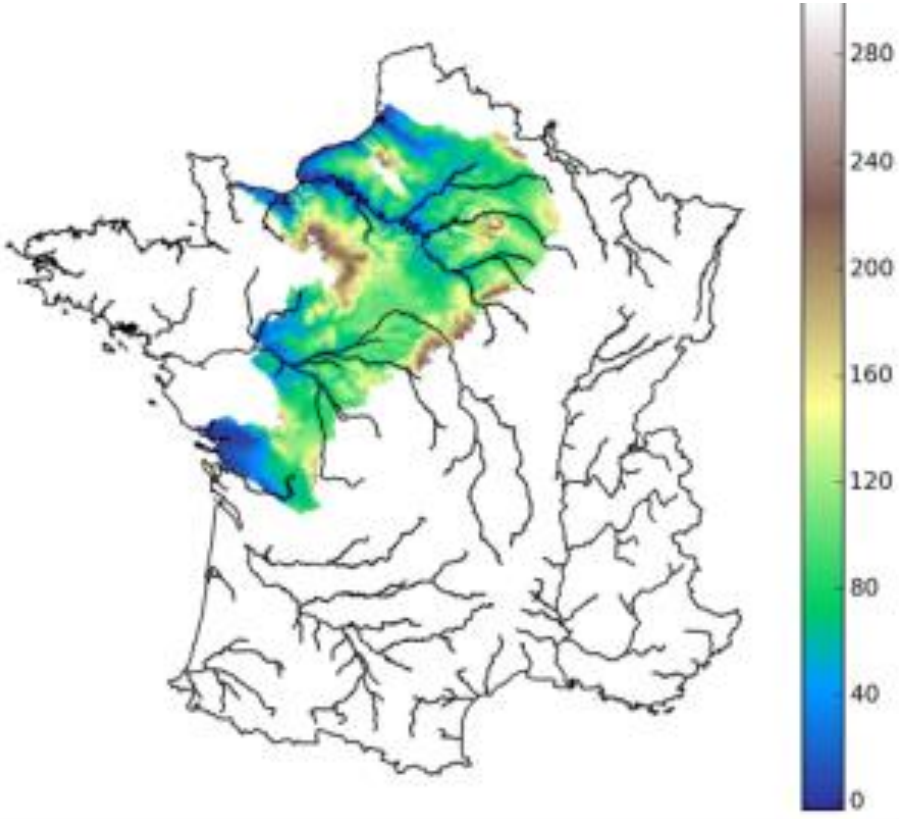
> **Cette version intègre :**

- Code de calcul **Marthe** (BRGM)
- Code de calcul **Modcou** (Mines ParisTech)
- Des applications avec Marthe : **Somme, Poitou-Charentes**, ***Craie du Nord Pas de Calais, *Bajo-Bathonien, *Alsace**)
- Des applications avec Modcou : **Seine, Loire, Basse Normandie, Rhône …**
- Post-traitement

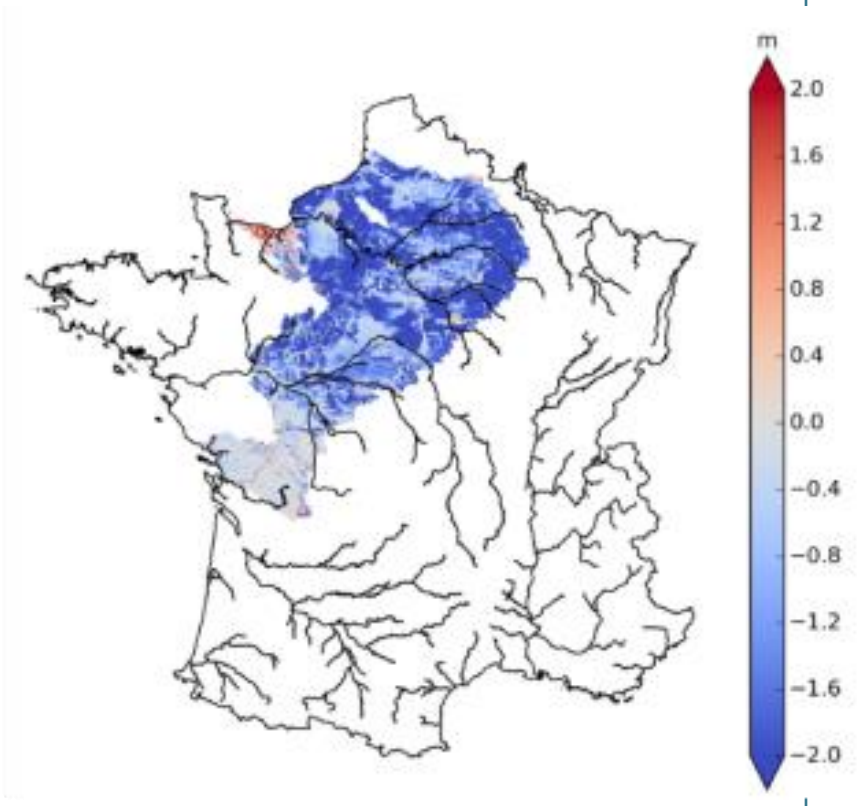
> **Version testée sur une période d'un an sur un PC et sur le super-calculateur « Beaufix » de Météo France.**

Aqui-FR : Premiers résultats

Illustrations de la charge piézométrique moyenne annuelle sur les couches aquifères affleurantes



Exemple d'évolution de la charge par rapport à la moyenne annuelle du mois d'Octobre.



D3E/GDR

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Évolutions prévues

- Intégration de nouveaux modèles régionaux
- Intégration de nouveaux sites karstiques (sources)
- Conception du couplage en mode prévision
- Définition des post-traitements
- Etc.

La LOIRE …

Géosciences pour une Terre durable
brgm