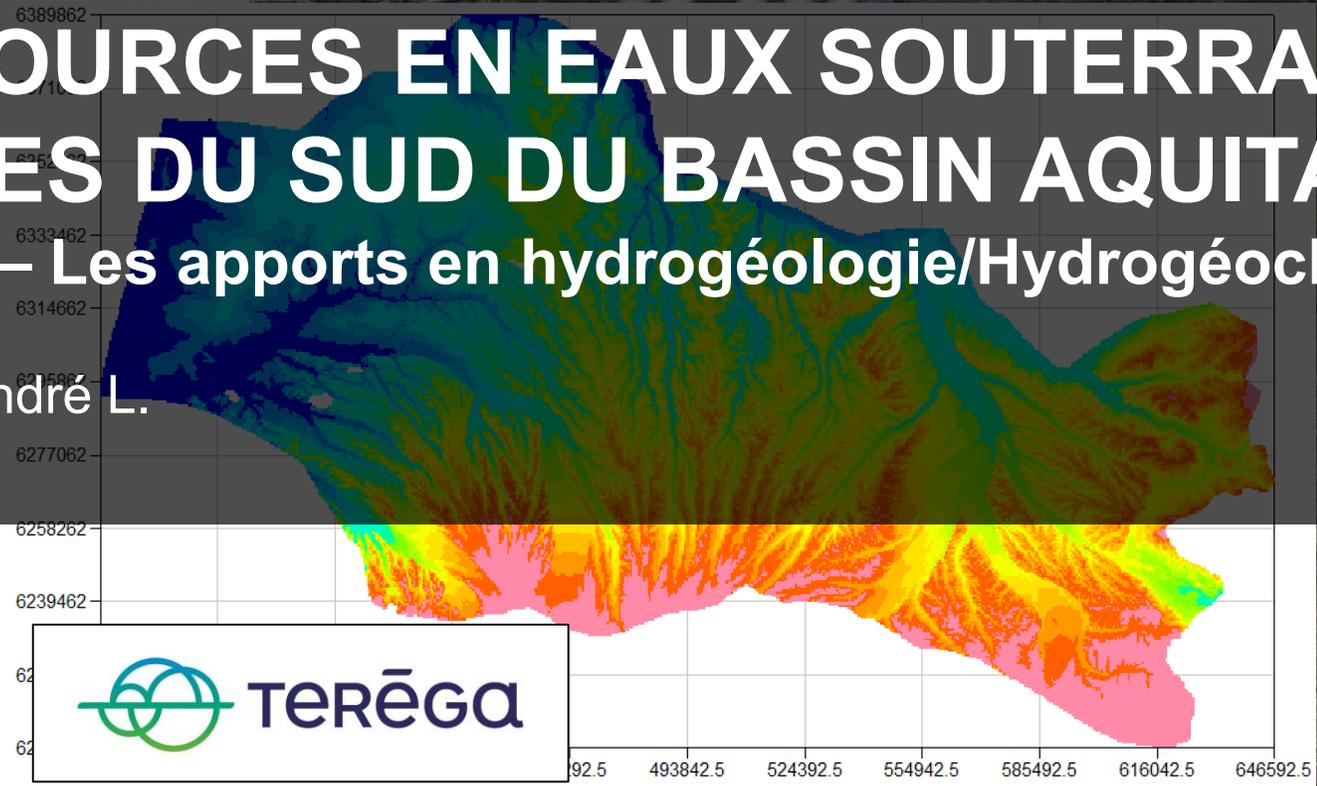
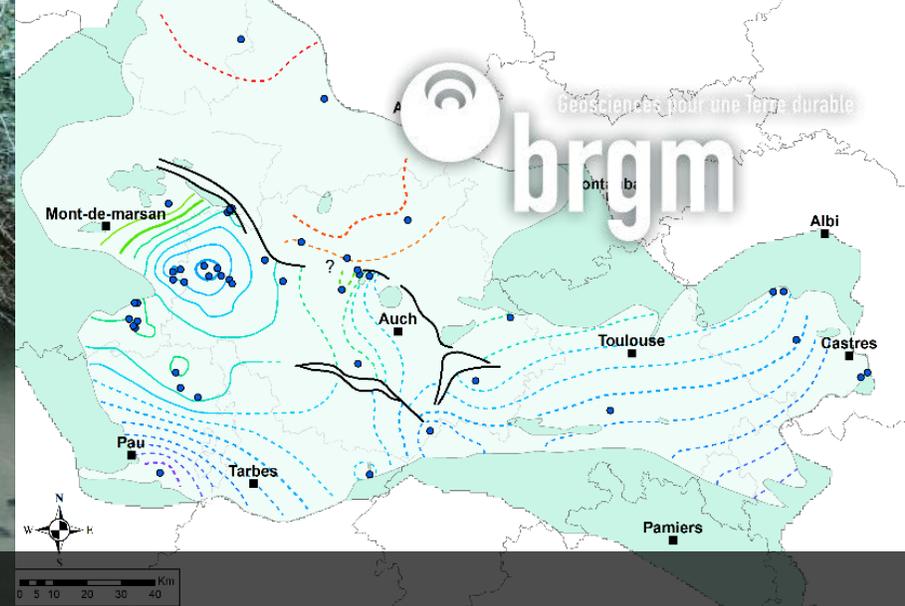
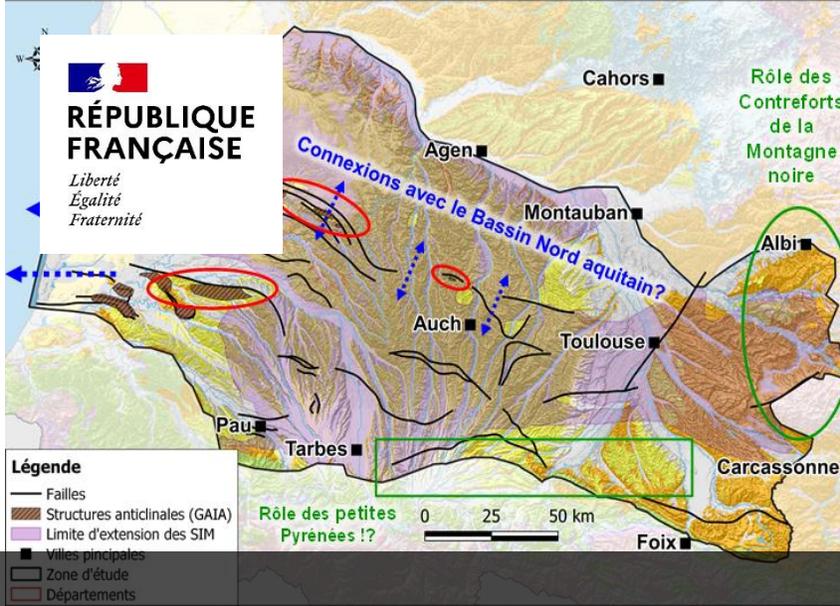


# LES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES PROFONDES DU SUD DU BASSIN AQUITAIN

## Le projet GAIA – Les apports en hydrogéologie/Hydrogéochimie

Manceau J.-C. et André L.  
26/11/2021





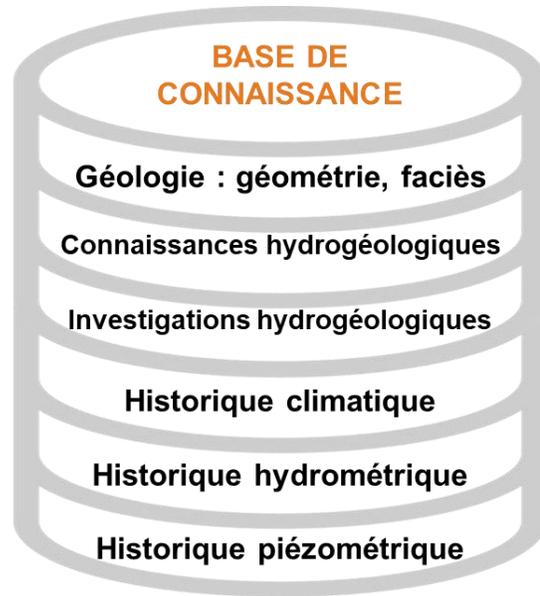
# LES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES PROFONDES DU SUD DU BASSIN AQUITAIN

## Le projet GAIA – Les apports en hydrogéologie

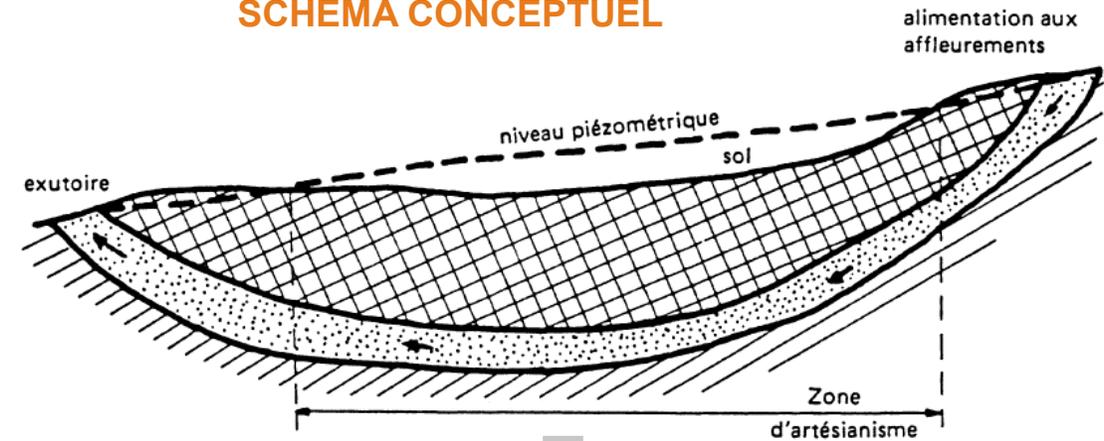
Manceau J.-C.  
26/11/2021



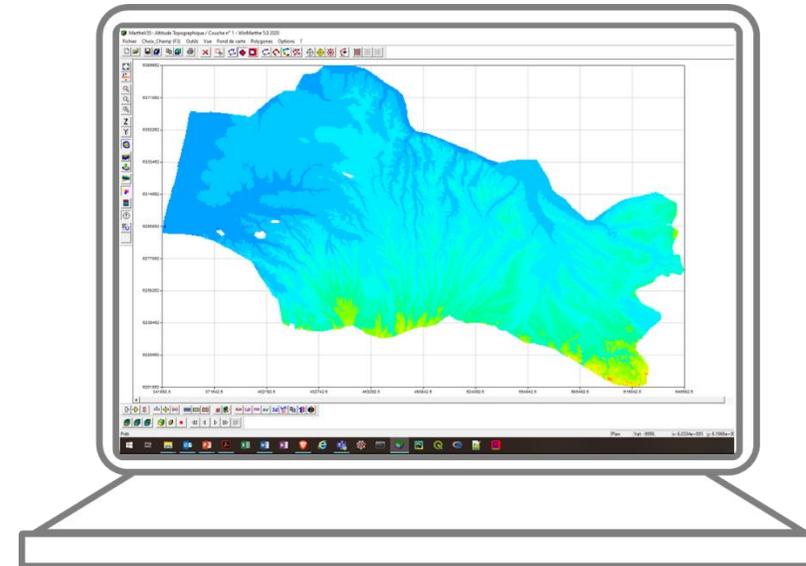
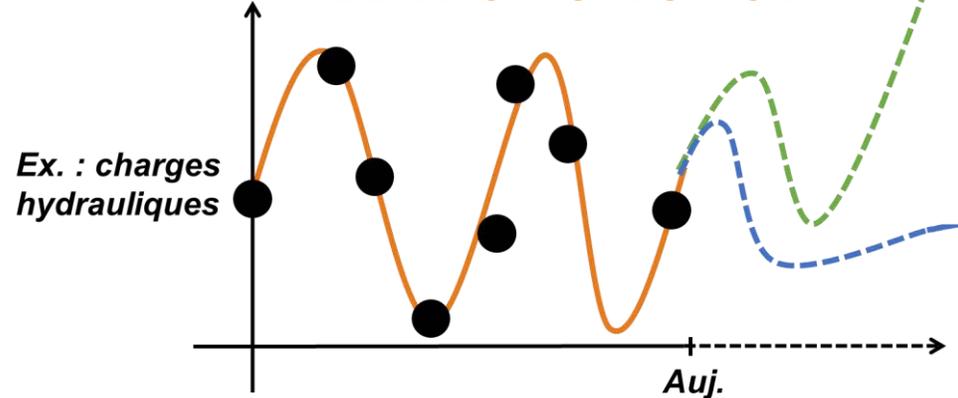
Reconstruction sous forme numérique du système aquifère pour mieux comprendre les écoulements souterrains passés et quantifier les évolutions futures : outil intégrateur des connaissances



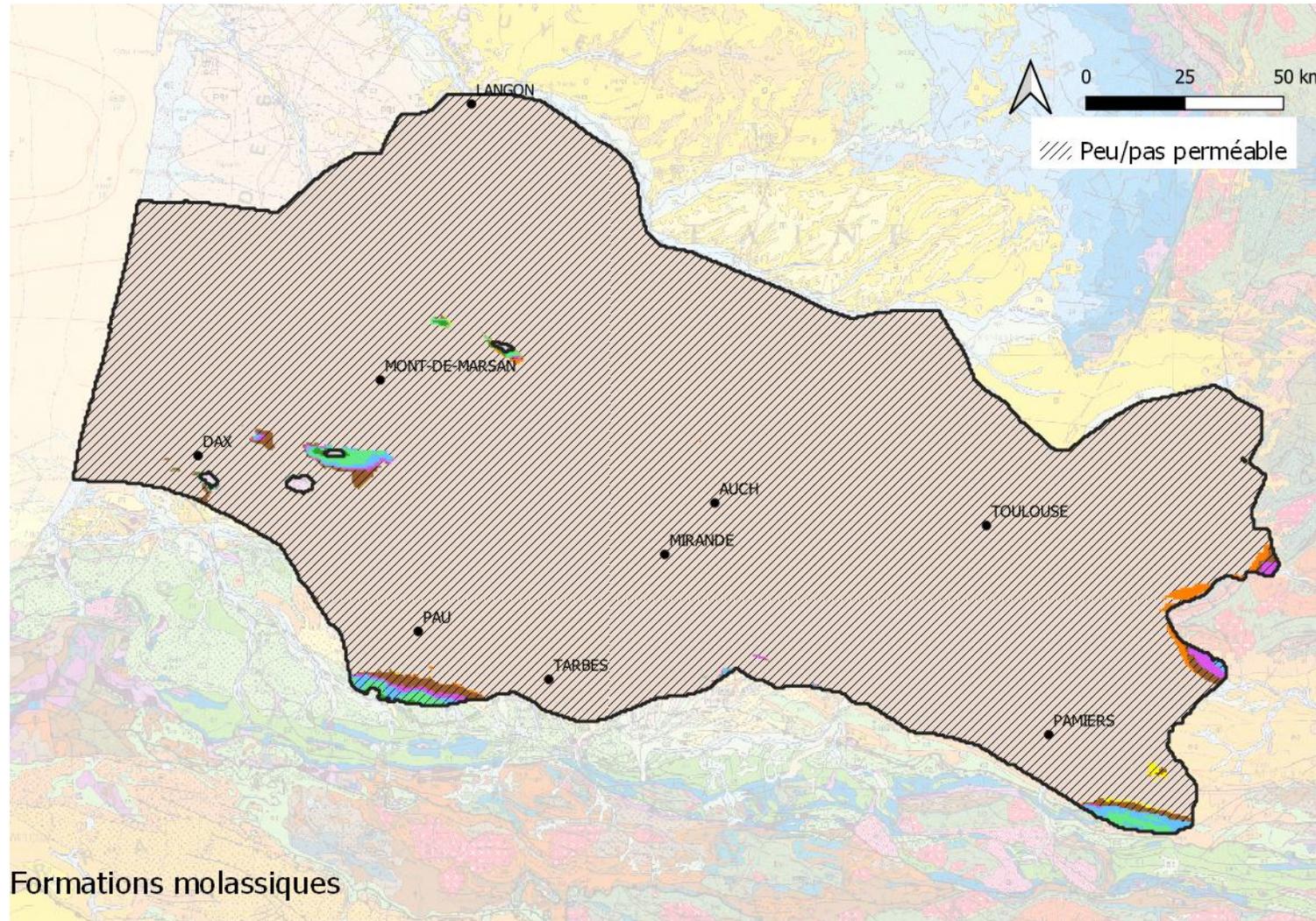
## SCHEMA CONCEPTUEL



## CALIBRATION / UTILISATION



## Passage du logiciel PETREL au logiciel MARTHE



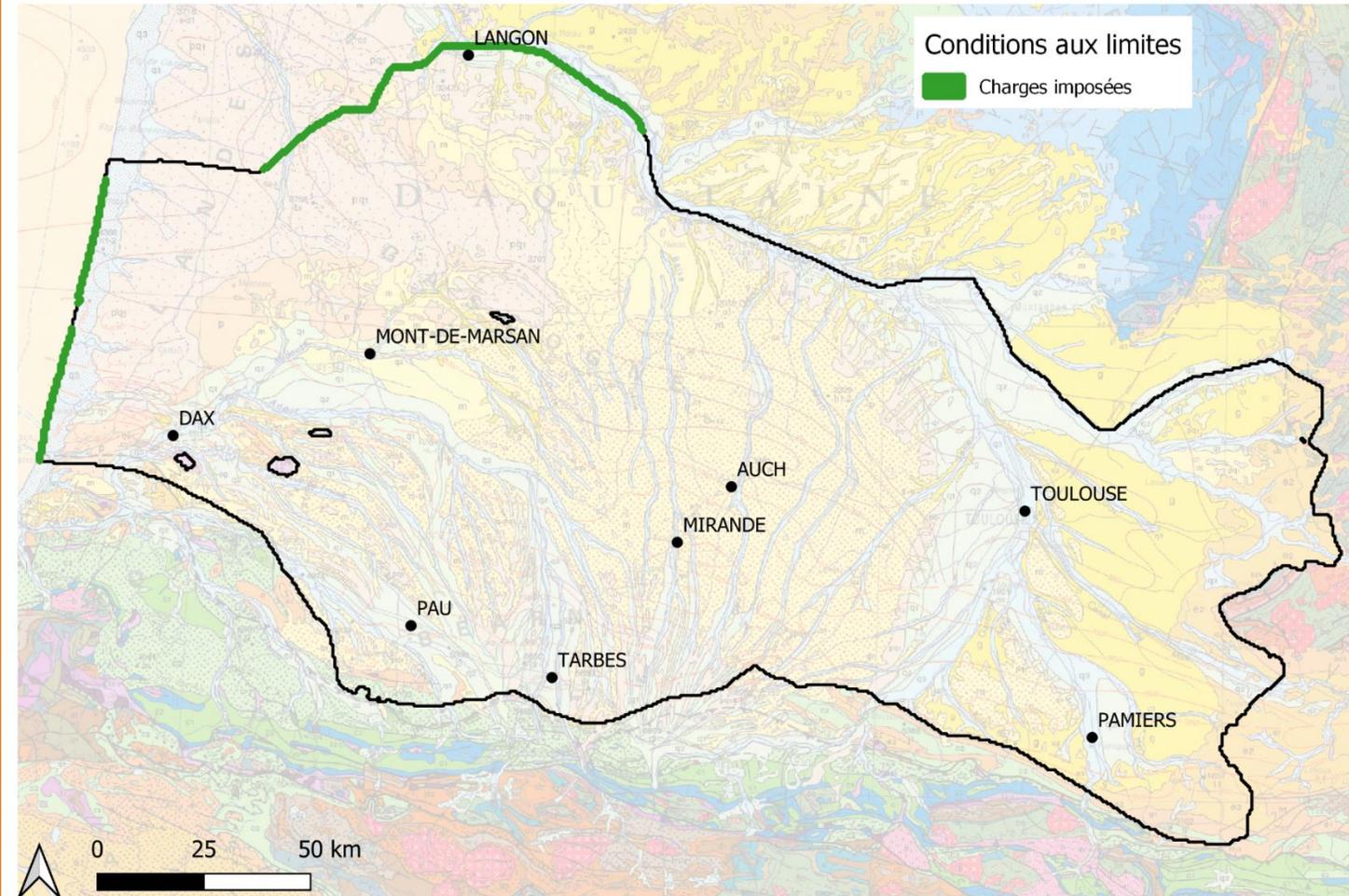
1. Import de la géométrie
2. Import des faciès aquifères (perméables) / aquitards (peu perméables)
3. Modification à la marge du modèle géologique

**675780**  
mailles

**8**  
couches actives

**>30 000**  
km<sup>2</sup> d'emprise

## Influence du « monde extérieur » : 1) Que se passe-t-il aux limites d'extension du modèle ?



- Il n'y a pas d'écoulement  
⇒ **Sud, Est, Nord-Est** : limite à flux nul
- Les écoulements :
  - Dépendent en partie des écoulements dans une zone non modélisée  
⇒ **Nord-Ouest** : limite à charge imposée **par le modèle M Odèle Nord-Aquitain**
  - Sont indépendants des écoulements dans la nappe modélisée : limite à charge imposée  
⇒ **Océan** : limite à charge imposée



**Etude GAIA** : « Réflexions sur la possibilité d'émergences off-shore des aquifères profonds » - Wuilleumier et al. (2017)

Influence du « monde extérieur » : 2 ) que se passe-t-il aux affleurements aquifères ?

## 1. Structures anticlinales

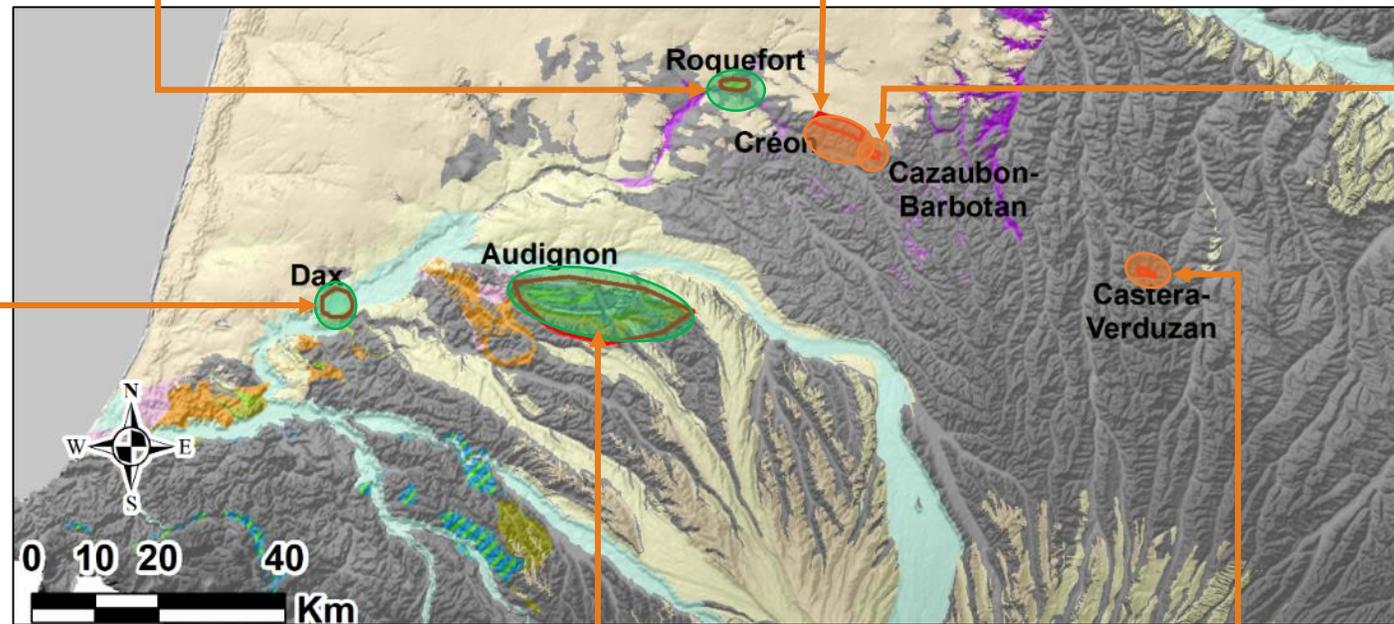


**Etude GAIA** : « Étude des exutoires des aquifères profonds du sud du Bassin aquitain » - Douez et al. (2019)

Un des principaux exutoires des nappes profondes du Sud de l'Aquitaine

Secteur topographiquement haut → zone d'alimentation

Ancien exutoire reconnu mais les forages ne sont plus artésiens



Traité dans le cadre du programme GAIA (Marsaud, 2017)

Traité dans le cadre du programme d'étude Audignon (Cabaret et al., 2020)

Depuis 1990, perte de l'artésianisme. Forte recharge de la nappe du Crétacé supérieur par la Coulègne à Lavardens en janv. 2018

Influence du « monde extérieur » : 2 ) que se passe-t-il aux affleurements aquifères ?

## 2. Autres affleurements



**Etude GAIA** : « Recharge des aquifères éocènes et paléocènes sur la bordure sud-orientale du Bassin aquitain et sur le piémont pyrénéen » - Saplaïroles et al. (2017)

- Caractérisation des deux formations géologiques ciblées : **poudingues de Palassou et argiles à graviers**
  - Jaugeages différentiels le long de certains cours d'eau, tests de perméabilité à l'affleurement
- Approche **géologique** , imposant l'identification d'un cheminement de l'eau
  - corrélations diagraphiques et coupes dans le bassin de Castres et dans le piémont pyrénéen, variabilité latérale et verticale des formations

## Choix pour le modèle

- **SIM** :
  - *Peu d'infiltrations dans le secteur des contreforts de la Montagne Noire et des Petites Pyrénées-Plantaurel (hétérogénéité de perméabilité aux affleurements + faible continuité des SIM jusqu'au centre du bassin)*
  - *Infiltrations dans le secteur de Bordes-Angais*
- **Paléocène – Crétacé supérieur** :
  - *Infiltrations à l'est du secteur des Petites Pyrénées-Plantaurel*

Comment considérer fidèlement les opérations d'injection / soutirage de gaz ?

➤ **Stockage de gaz dans les SIM** : sites de Lussagnet (depuis 1958), et d'Izaute (depuis 1981)

▪ **Etude GAIA** : « *Prise en compte des effets diphasiques* » - Manceau et al. (2018). 2 solutions envisagées:

- 
1. Modélisation explicite des effets diphasiques
  2. **Modélisation équivalente des opérations d'injection soutirage de gaz par des injections/soustractions d'eau**

➤ **Procédure de conversion** :

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Volume d'eau} \\ \text{équivalent} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Volume normal de gaz} \\ \text{injecté/soustrait} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{c} \text{Facteur de} \\ \text{compressibilité} \end{array} \right] \times \frac{\left[ \begin{array}{c} \text{Pression du} \\ \text{réservoir} \end{array} \right]}{\left[ \begin{array}{c} \text{Pression de} \\ \text{référence} \end{array} \right]} \times \frac{\left[ \begin{array}{c} \text{Température de} \\ \text{référence} \end{array} \right]}{\left[ \begin{array}{c} \text{Température du} \\ \text{réservoir} \end{array} \right]}$$

Diagram illustrating the conversion procedure for gas storage operations. The equation relates the equivalent water volume to the normal gas volume injected/extracted, multiplied by the compressibility factor and the ratio of reservoir pressure to reference pressure, and the ratio of reference temperature to reservoir temperature. Arrows indicate the flow of information: 'données TERECA' points to the gas volume term, 'loi TERECA' points to the compressibility factor, and 'modèle TERECA' points to the pressure and temperature ratios.

 **Etude GAIA** : *Wuilleumier et al. (2017) / André et al. (2019)*

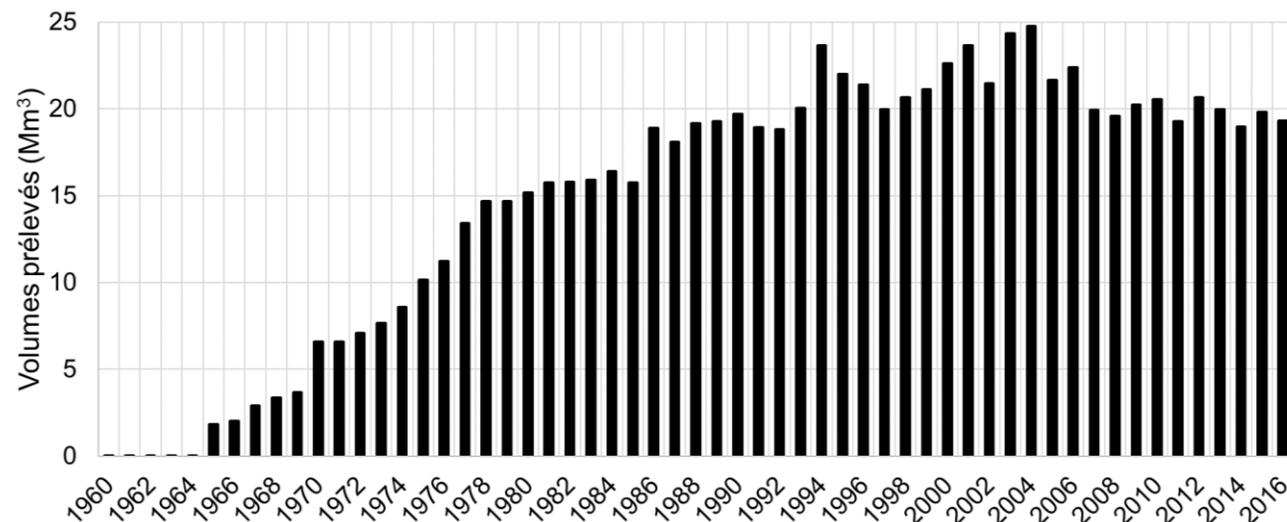
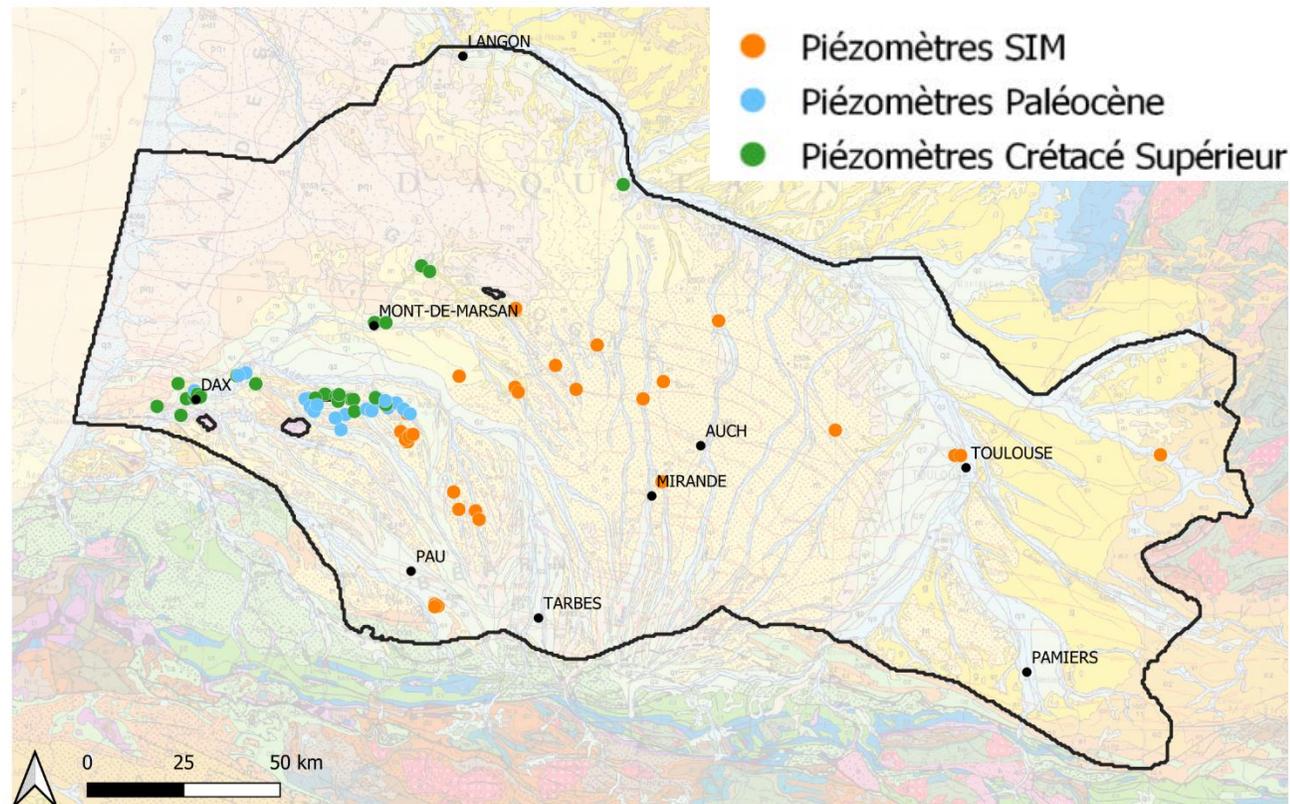
1. Construction d'une base de données des volumes prélevés annuellement
2. Ajout d'informations sur les prélèvements mensuels

➤ **Liste de 123 ouvrages intégrés au modèle**

- 46 affectés aux SIM
- 29 affectés aux calcaires du Paléocène
- 48 affectés aux calcaires du Crétacé Supérieur

 Quand les volumes mensuels sont indisponibles :

- Lissage sur 4 mois pour les forages agricoles
- Lissage sur 12 mois pour les autres



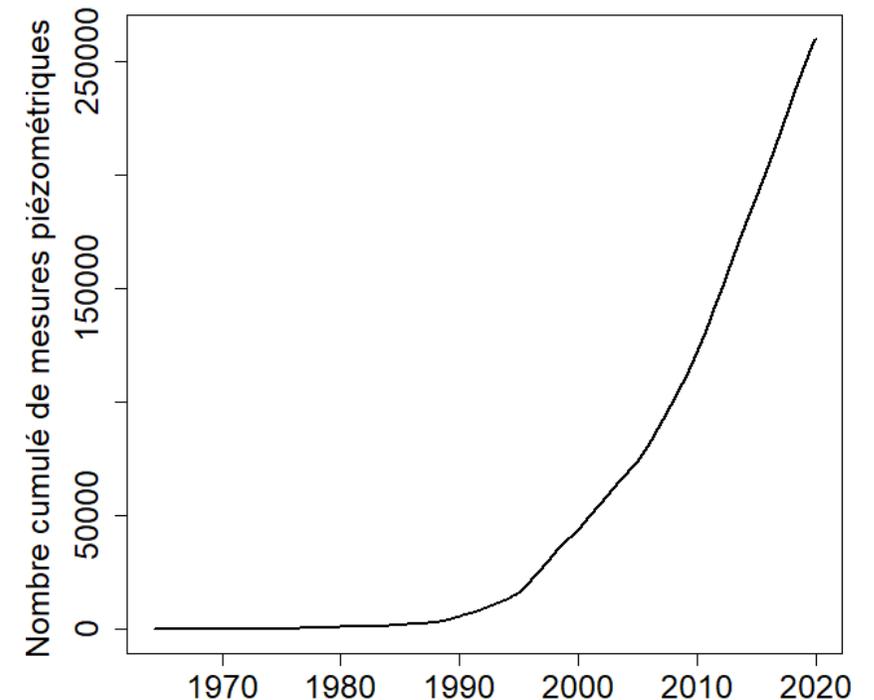
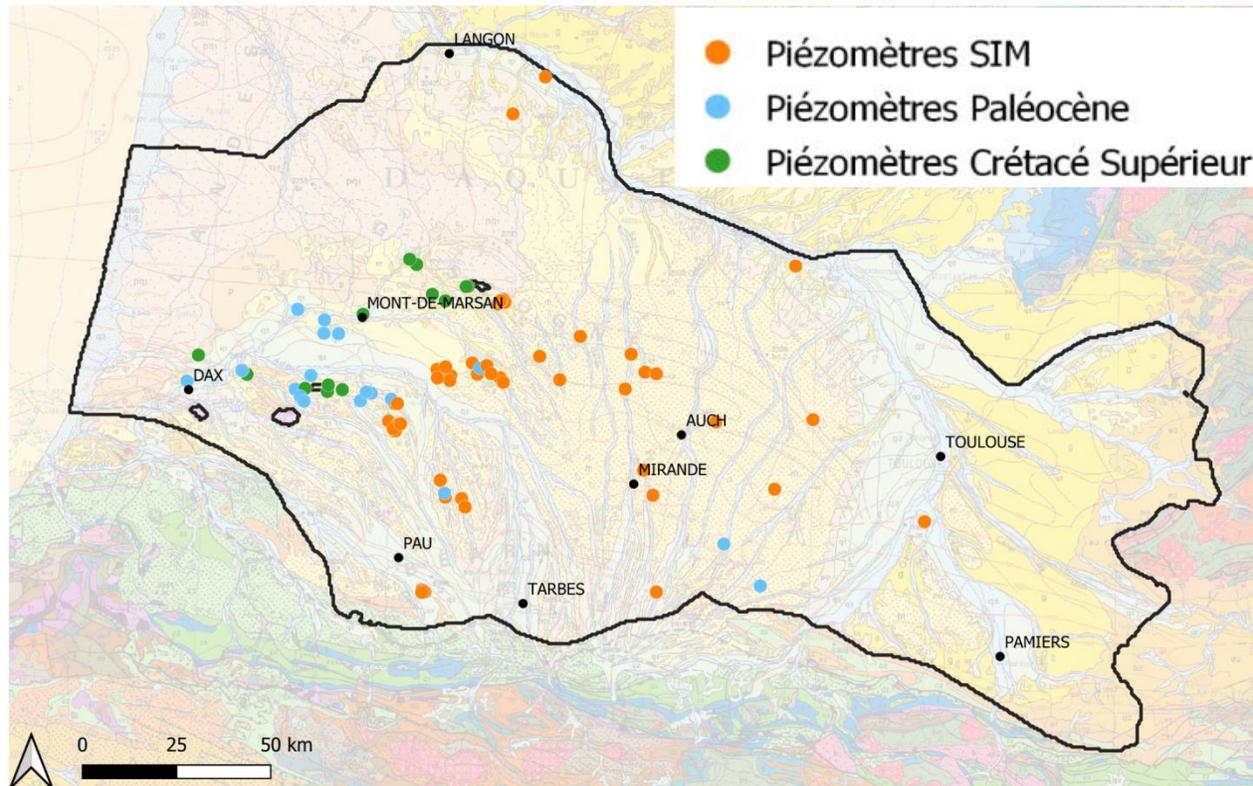


**Etude GAIA :** Construction d'une base de données recensant les données piézométriques sur le secteur d'étude  
*André et al. (2019)*

➤ **Liste de 94 ouvrages intégrés au modèle (260 000 mesures individuelles)**

- 62 affectés aux SIM
- 18 affectés aux calcaires du Paléocène
- 14 affectés aux calcaire du Crétacé Supérieur

⚠ Certaines mesures piézométriques sont réalisées dans des puits de pompage : à comparer avec précaution aux résultats du modèle



Toutes les formations du modèle affleurent, elles atteignent aussi des profondeurs importantes

 **Etudes GAIA** : prise en compte des effets thermiques dans la modélisation hydrogéologique

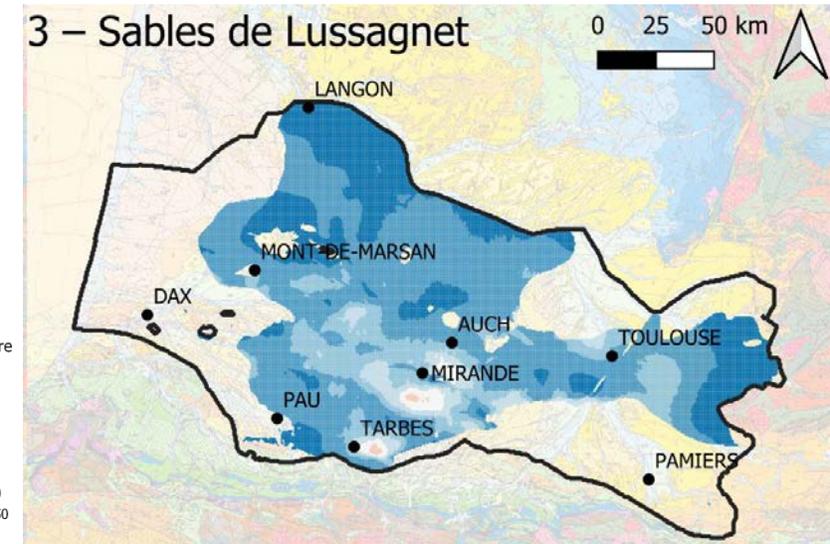
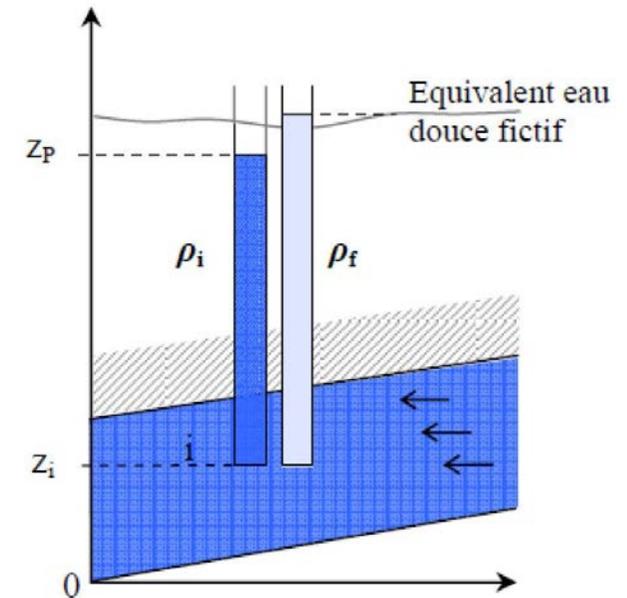
 Les propriétés de densité et de viscosité des eaux varient

## 1. Conséquences sur les charges mesurées

⇒ Les mesures sont transformées en charge équivalente eau douce et froide

## 2. Conséquences sur la modélisation hydrodynamique :

⇒ Le code de calcul est paramétré pour considérer ces effets avec construction d'un champ de température



Quel jeu de paramètres/hypothèses permet d'atteindre une bonne adéquation entre résultats de simulation et observations de terrain ?

## Procédure suivie

1. **Etat initial stabilisé (régime permanent) : < 1957** (début du stockage de Lussagnet)

 Aucune mesure piézométrique disponible avant 1964

2. **Régime transitoire**

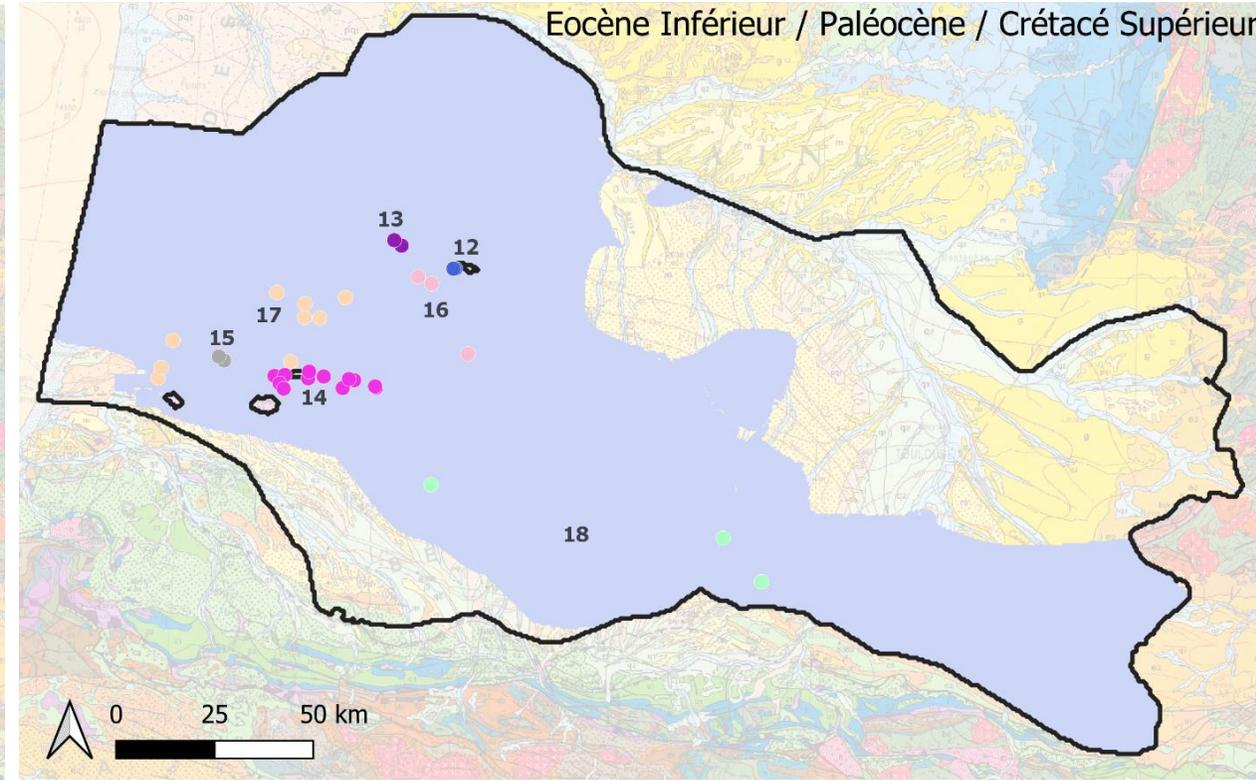
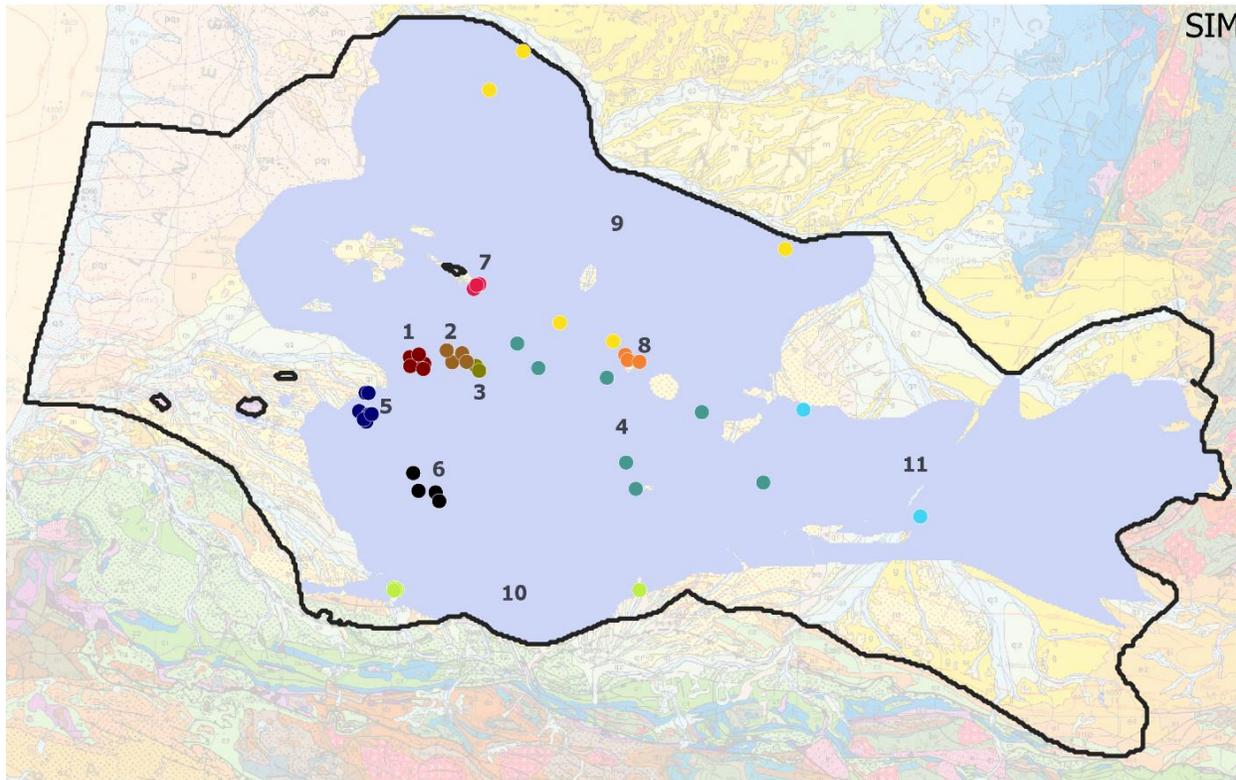
*I. Pas de temps annuel : 1/01/1957 – 1/01/1980*

*II. Pas de temps mensuel : 1/01/1980 – 1/01/2017*

- Ajustement des perméabilités
- Ajustement des coefficients d'emmagasinement (libre / captif)
- Ajustement de la recharge
- + Choix conceptuel (failles)

⇒ **Evaluation de la qualité de la calibration via le respect des charges des aquifères profonds et la cohérence des zones de recharges et exutoires connues**

## Evaluation de la qualité de la calibration à partir des charges piézométriques : 18 secteurs identifiés



Faciès a priori aquifères

### Secteurs

- 1 - Stockage de Lussagnet
- 2 - Stockage d'Izaute
- 3 - Nogaro
- 4 - Est des stockages

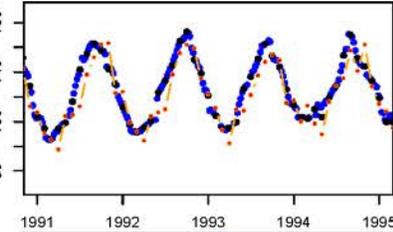
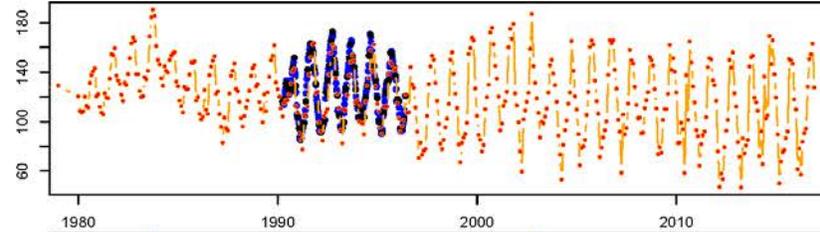
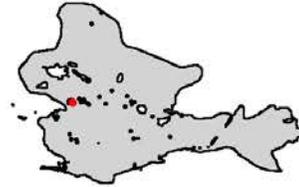
- 5 - Eugénie-les-Bains / Geaune-Pécorade
- 6 - Lespielles - Garlin
- 7 - Barbotan : Uby & Compartiment Nord
- 8 - Castera-Verduzan / Cézan-Lavardens
- 9 - Secteur SIM-Nord
- 10 - Secteur SIM-Sud
- 11 - Secteur SIM-Est

- 12 - Créon d'Armagnac
- 13 - Roquefort
- 14 - Audignon
- 15 - Préchacq - Gamarde
- 16 - Anticlinaux d'Izaute et de Lacquy
- 17 - Landes de Siugos et système Dacquois
- 18 - Paléocène - Autres ouvrages

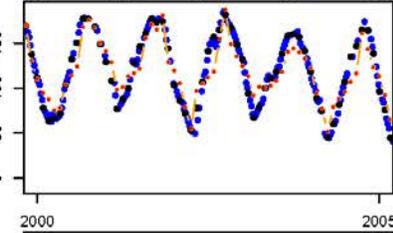
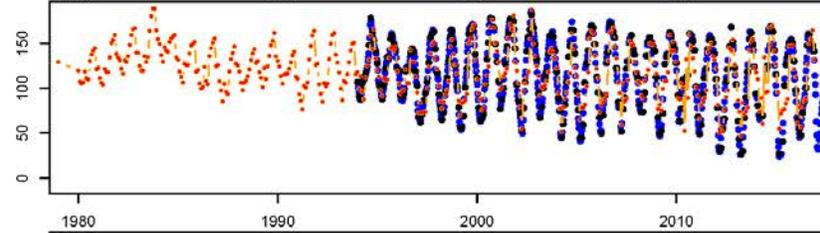
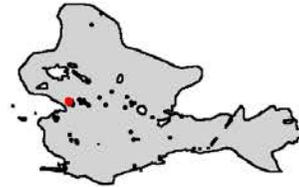
## Secteur des stockages de Lussagnet et d'Izaute

### Stockage de Lussagnet

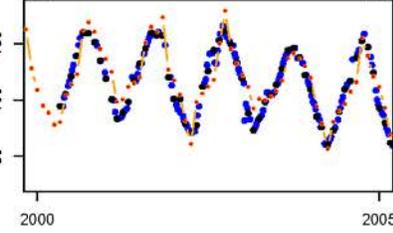
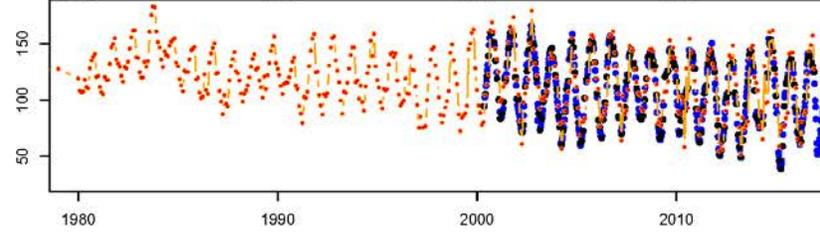
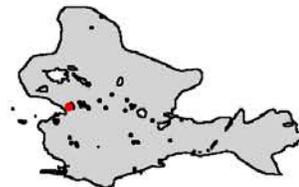
09526X0011/LUG-9  
LUG9  
Couche3



09526X0049/LUG46  
LUSSAGNET - GAZ 46 à  
LUSSAGNET  
Couche3

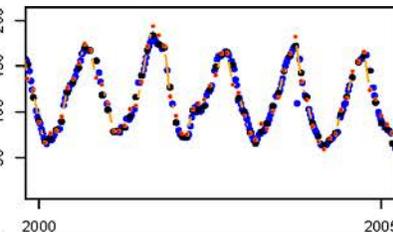
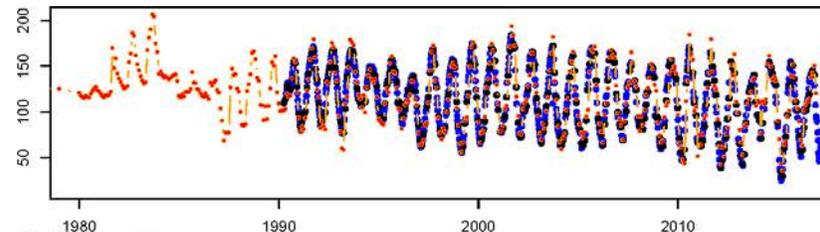
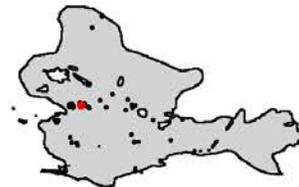


09526X0089/LUG69  
LUG69  
Couche3

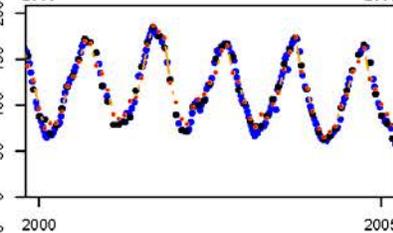
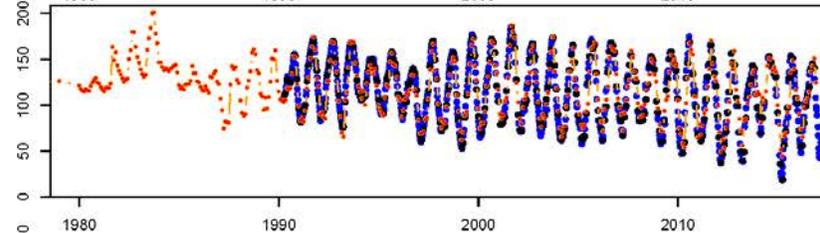
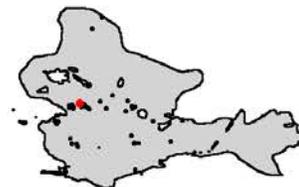


### Stockage d'Izaute

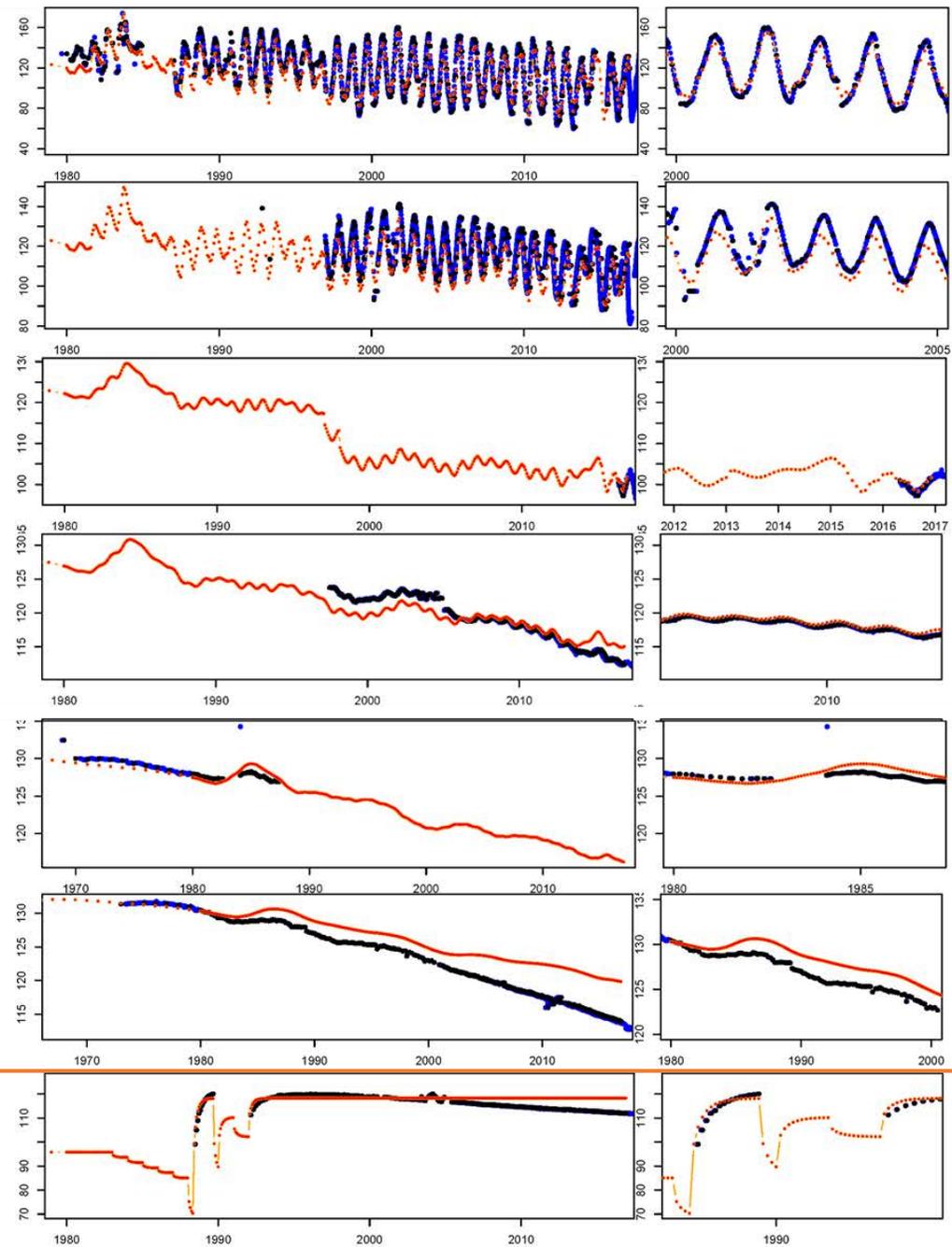
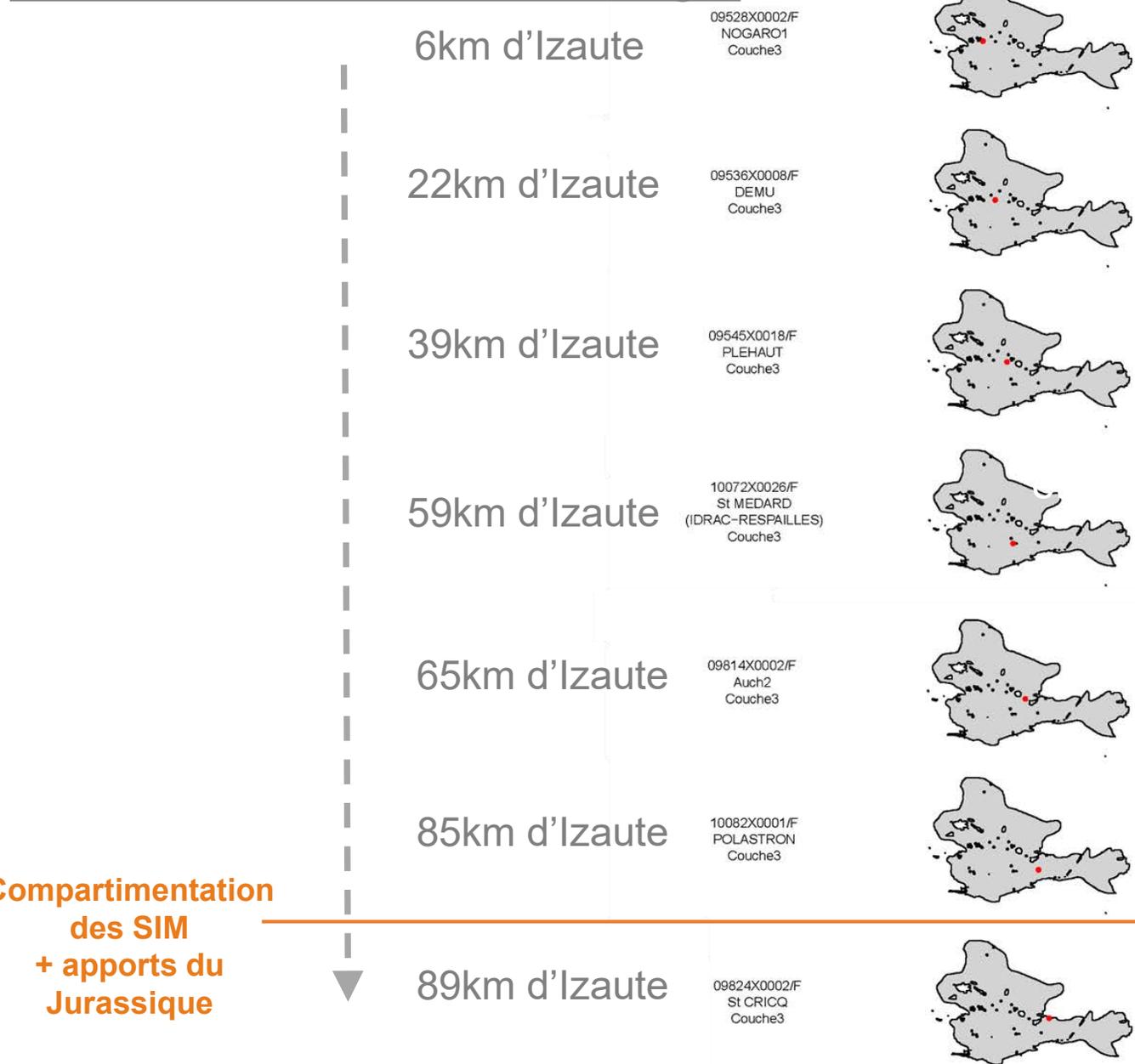
09527X0017/S  
IZA4  
Couche3



09527X0018/S  
IZA5  
Couche3



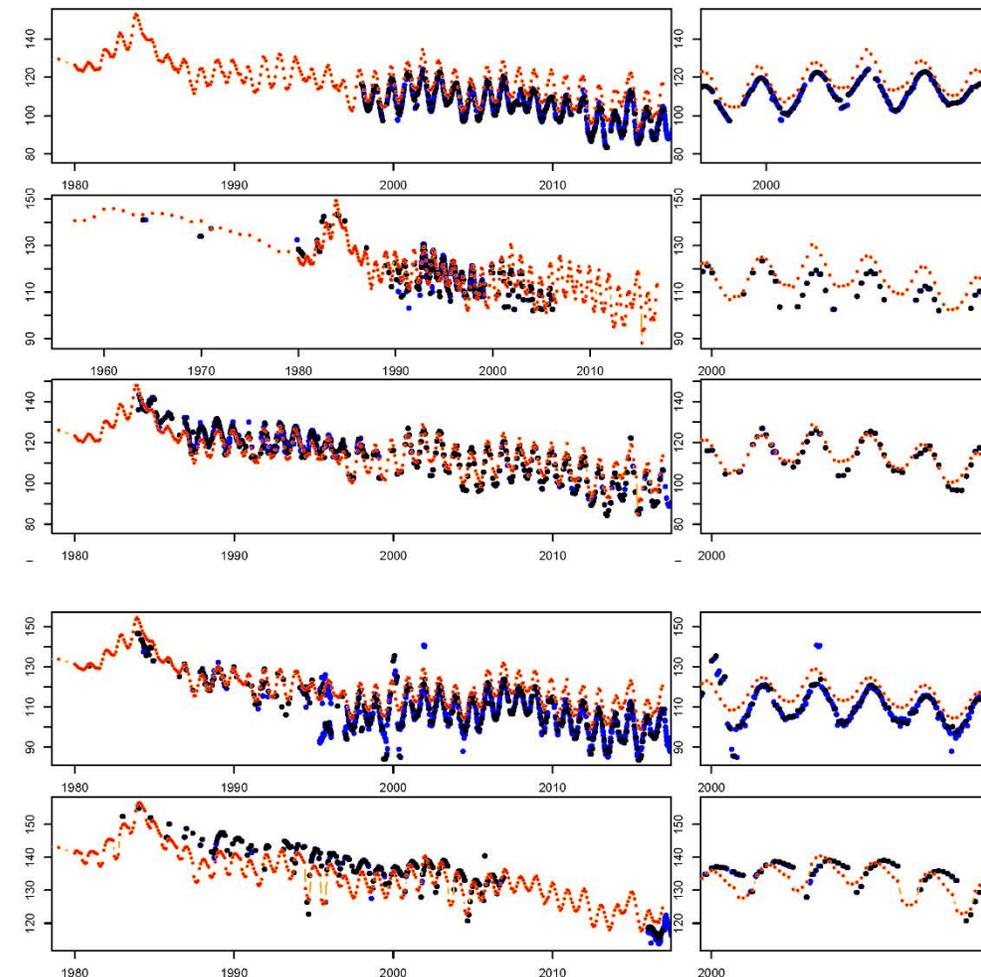
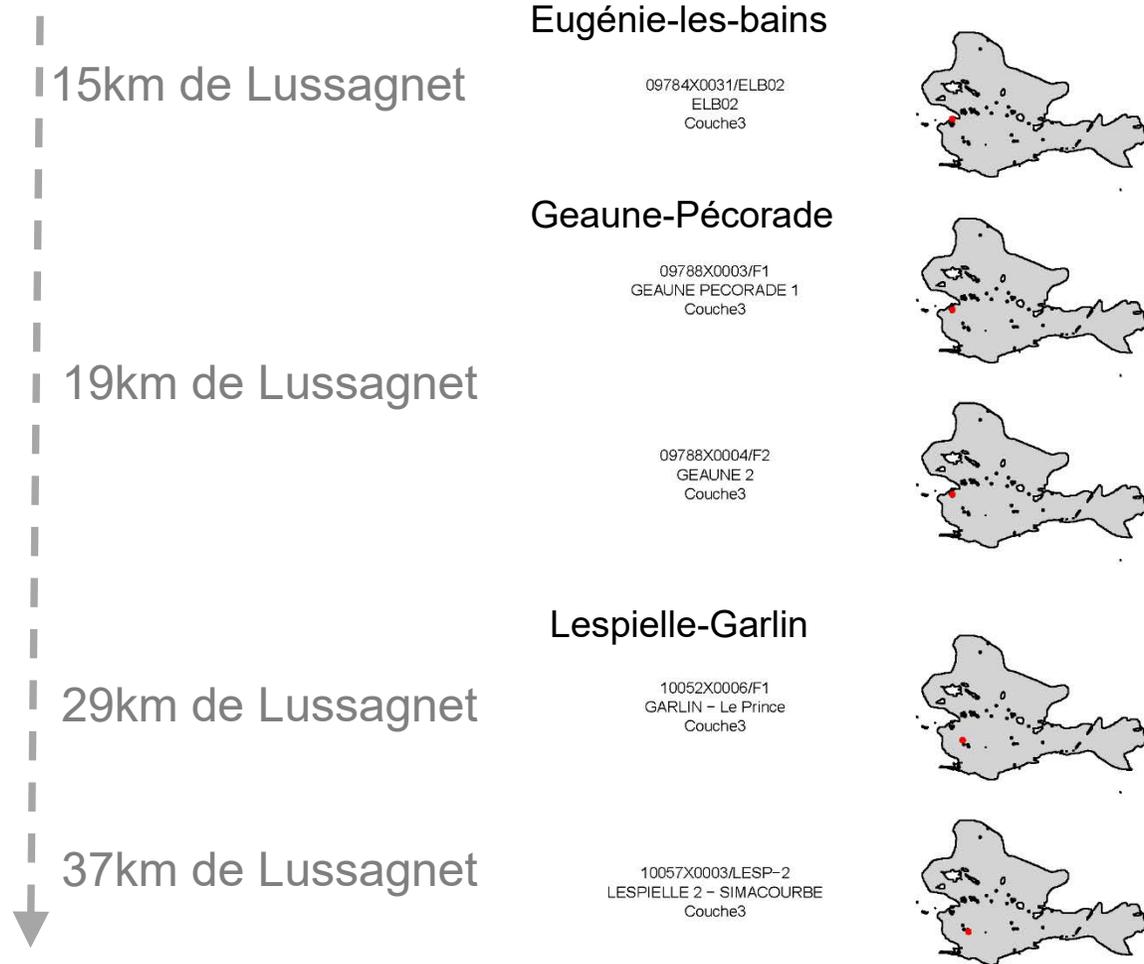
## Secteur des SIM à l'est des stockages



**Compartmentation  
des SIM  
+ apports du  
Jurassique**



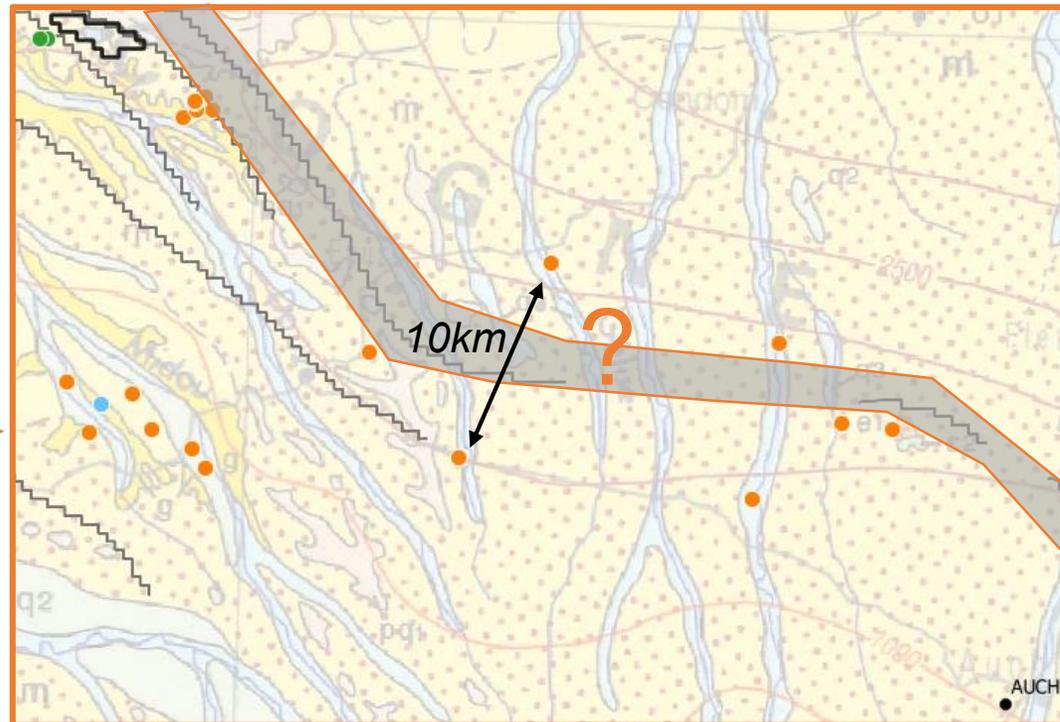
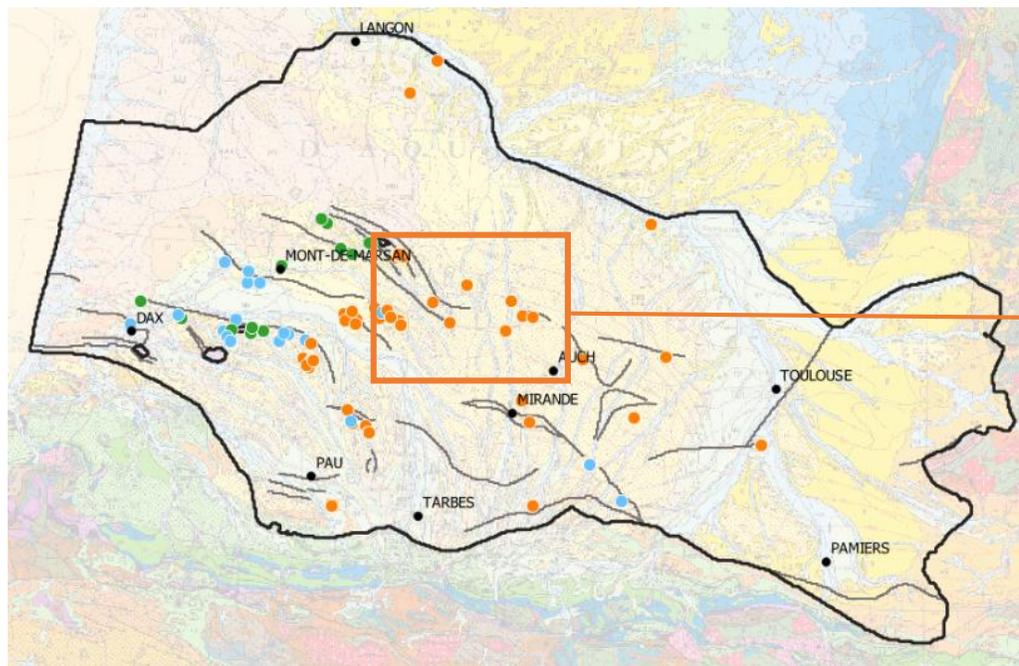
## Secteurs au Sud des stockages



**Etude GAIA** : Réinterprétation de pompages d'essai sur les ouvrages du secteur du dôme de Garlin  
 – *Wuilleumier et al. (2017)*

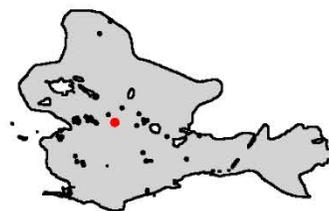
⇒ **Valeurs très proches obtenues (  $\sim 1.10^{-5}$  m/s )**

## Secteur des SIM au Nord de la Flexure Celtaquitaine



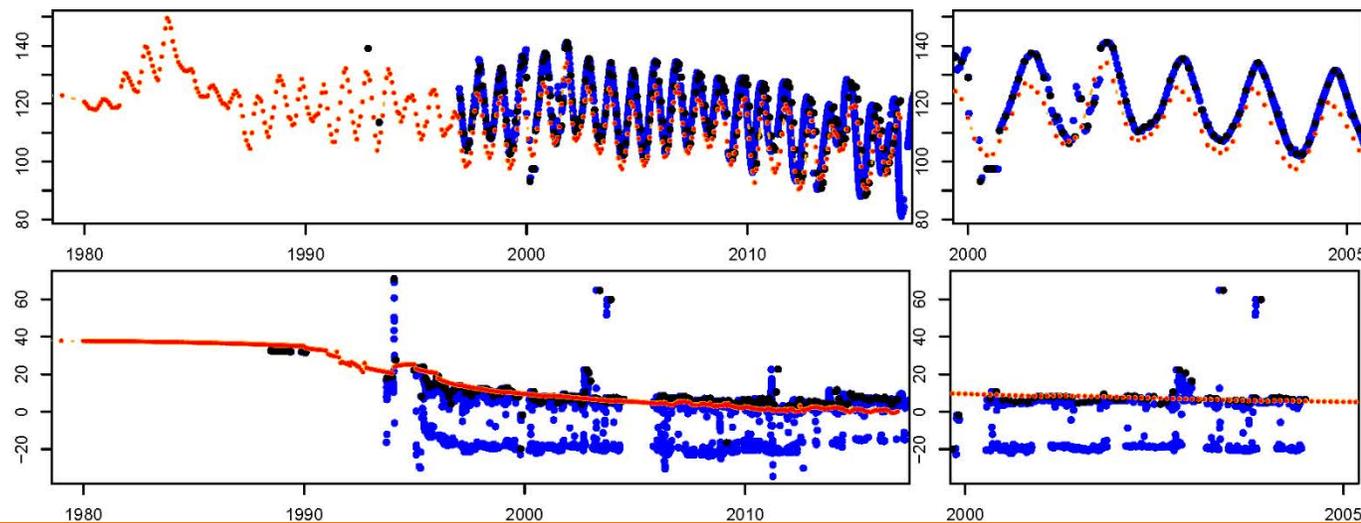
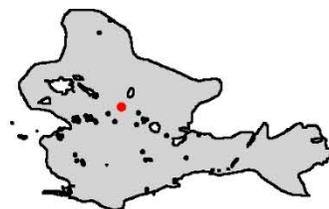
Sud Flexure

09536X0008/F  
DEMU  
Couche3



Nord Flexure

09533X0016/F  
GONDRIN  
Couche3



## Structures affleurantes le long de la Flexure Celtaquitaine

### Roquefort

09261X0008/F1  
F1 Stade (ROQUEFORT -  
40)  
Couche9



### Créon

09267X0014/PIEZO1  
BETBEZER  
Couche9



### Barbotan : Uby & Compartiment Nord

09268X0037/F  
LE MOULEY-LAITERIE à  
CAZAUBON  
Couche3

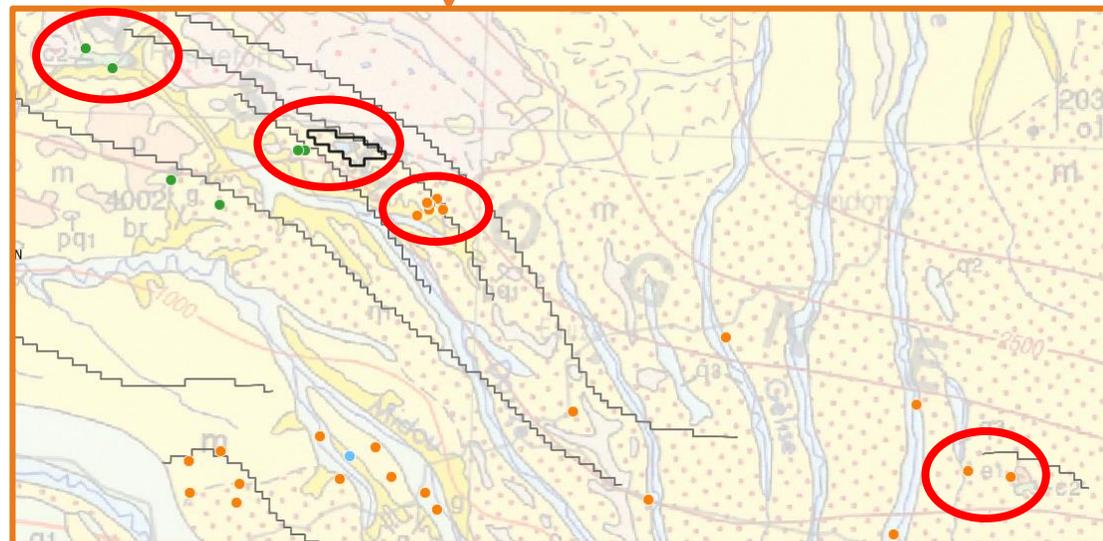
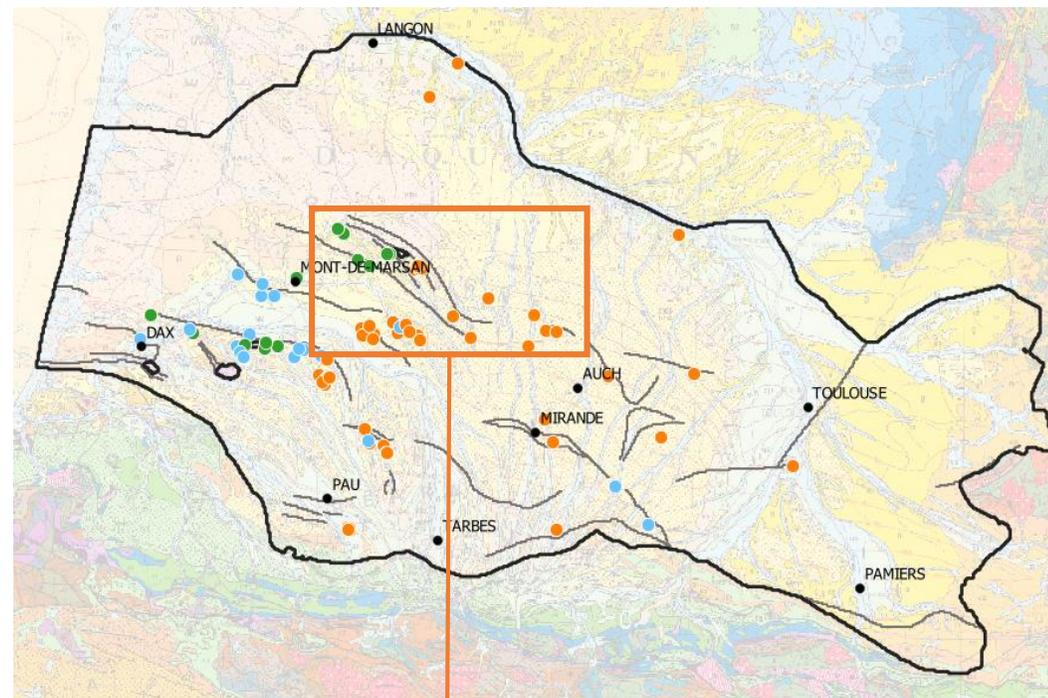
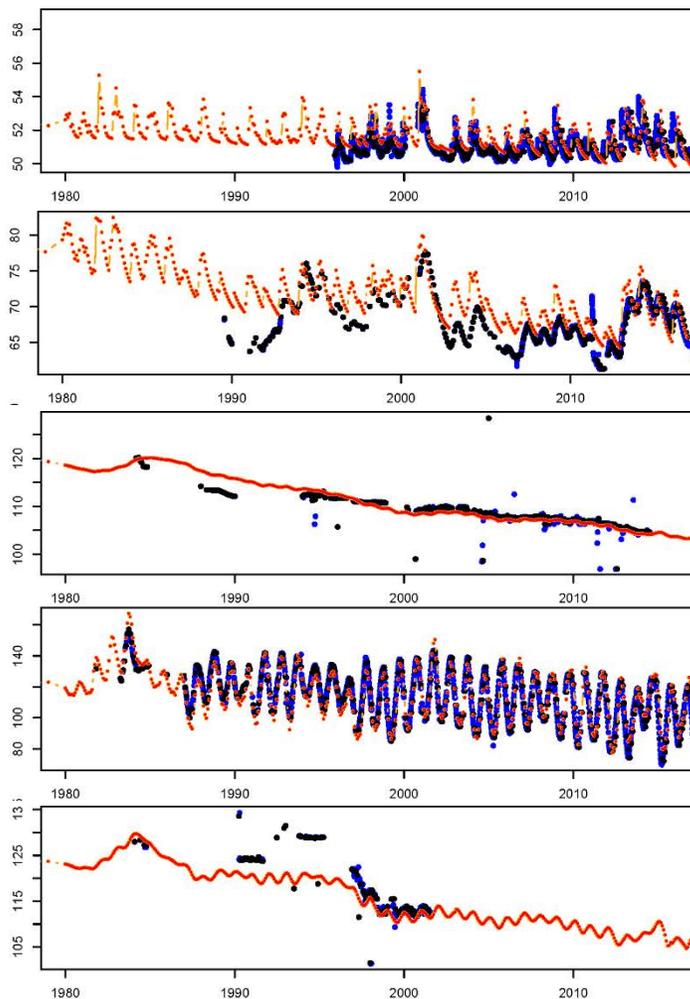
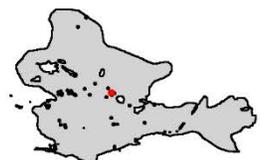


09268X0055/F  
BARBOTAN LES THERMES  
FORAGE PROFOND DE L'UBY  
à CAZAUBON  
Couche3

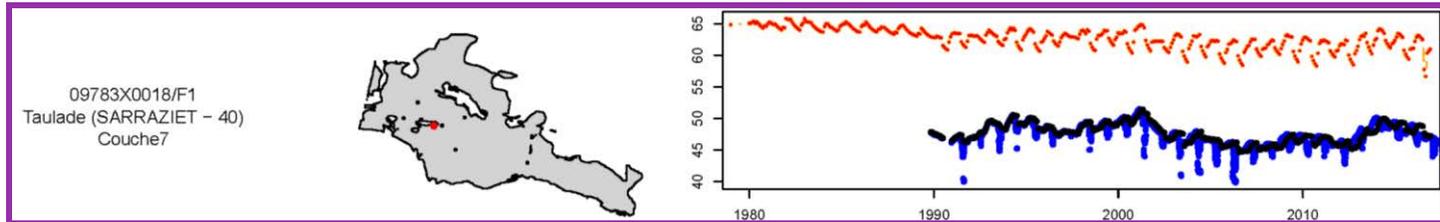


### Castéra-Verduzan / Cézan-Lavardens

09545X0007/F  
CASTERA VERDUZAN  
(COULON)  
Couche3

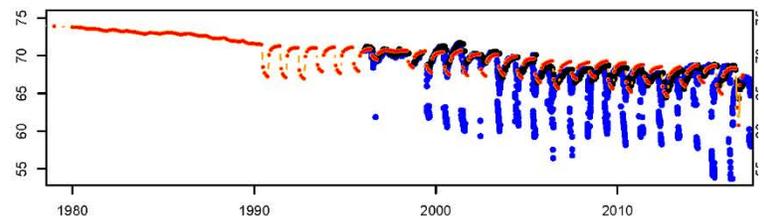


## Secteur d'Audignon



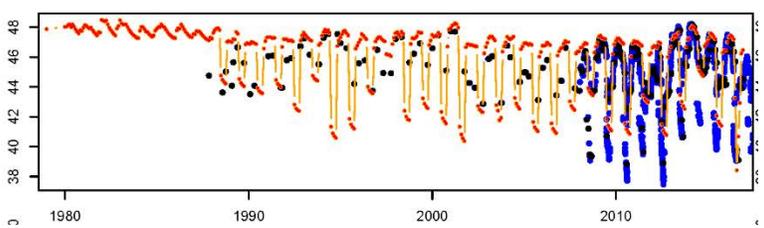
### Est

09784X0029/CHICOY  
Chicoy  
(EUGENIE-LES-BAINS - 40)  
Couche7



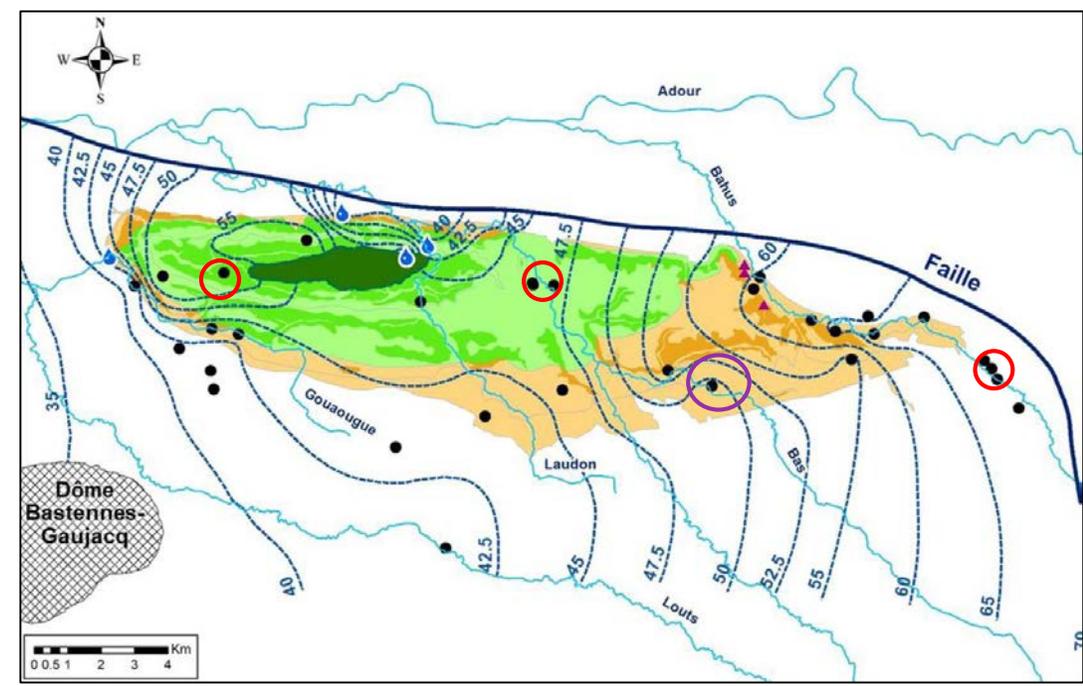
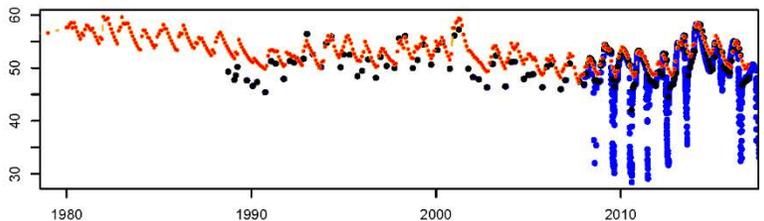
### Centre

09782X0013/F4  
ASA 8 (EYRES-MONCUBE - 40)  
Couche9



### Ouest

09781X0011/F  
Laboucoume (MONTAUT - 40)  
Couche9

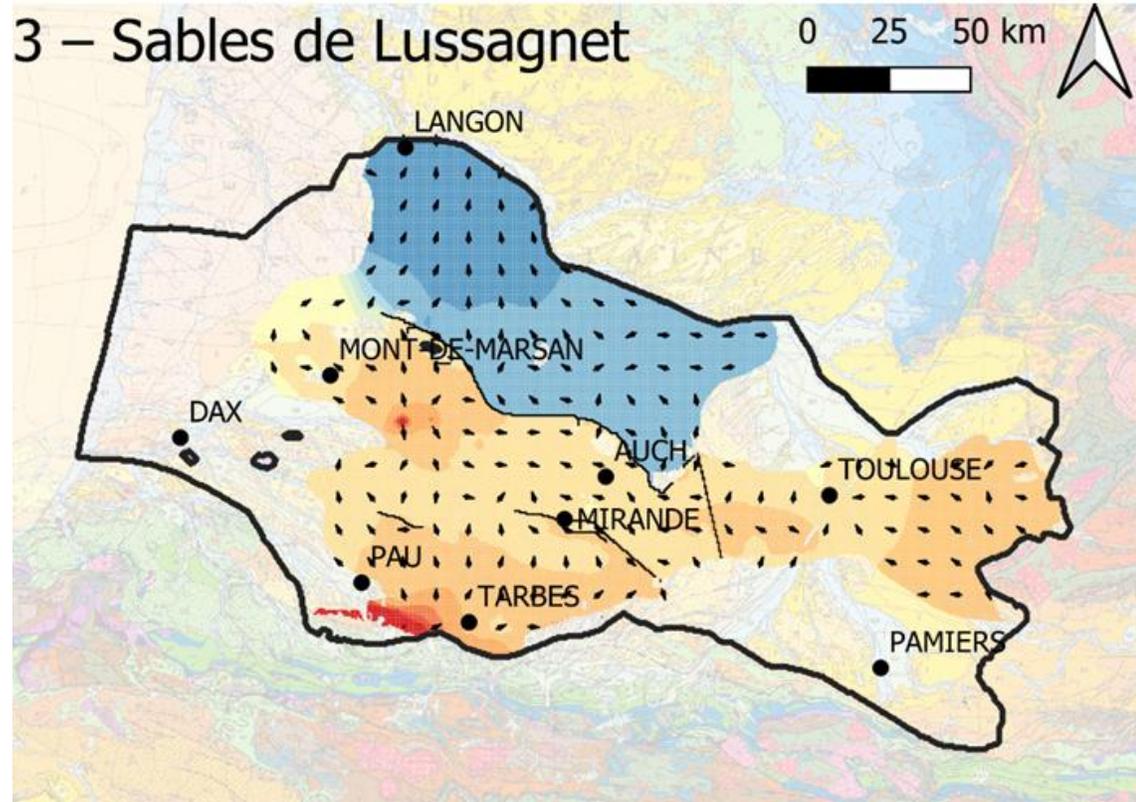


Cabaret et al. (2020)

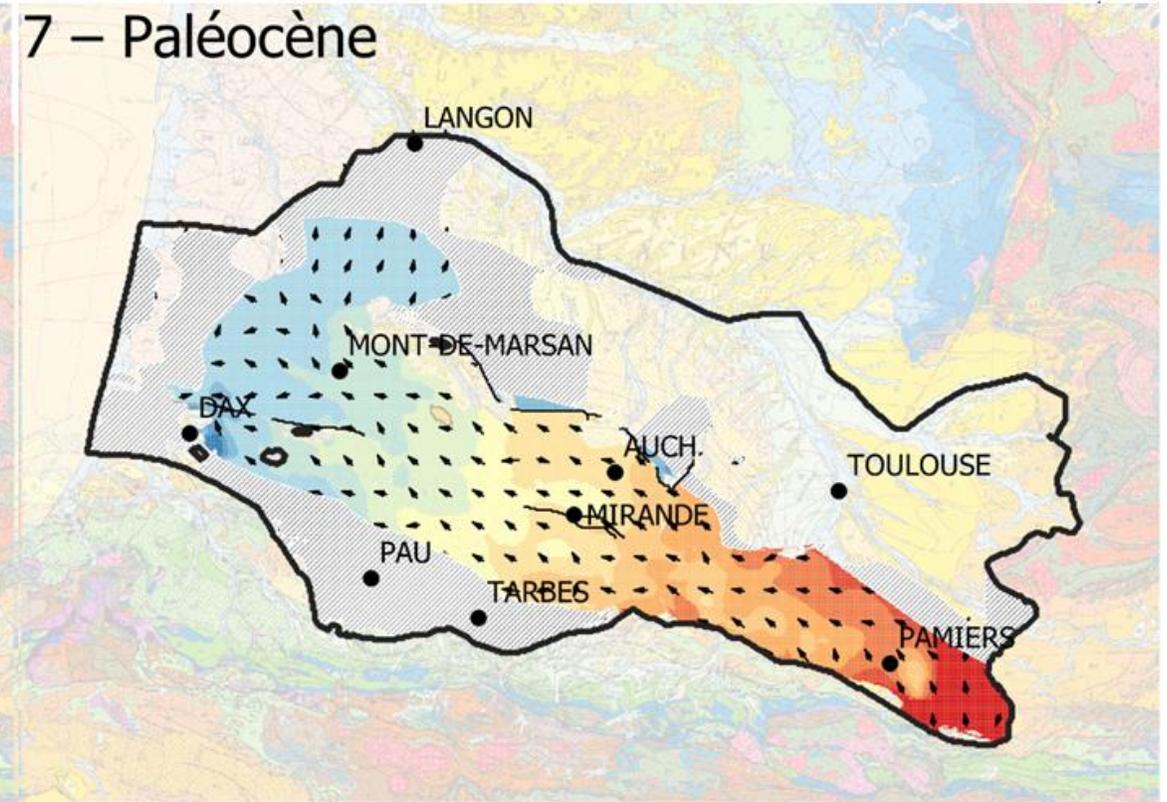
## 1 - Reproduire le fonctionnement des nappes au cours du temps :

- niveaux des nappes
- circulations des eaux

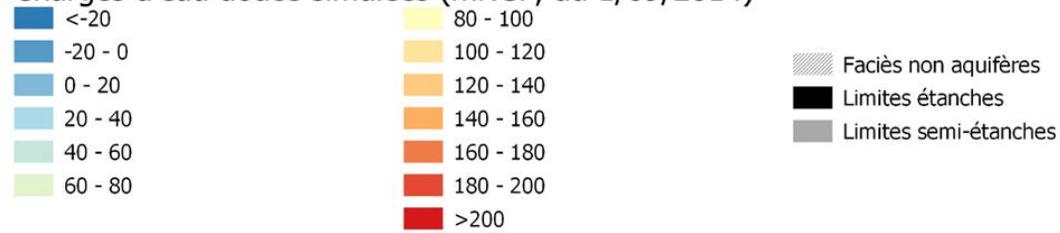
### 3 – Sables de Lussagnet



### 7 – Paléocène



Charges d'eau douce simulées (mNGF, au 1/09/2014)

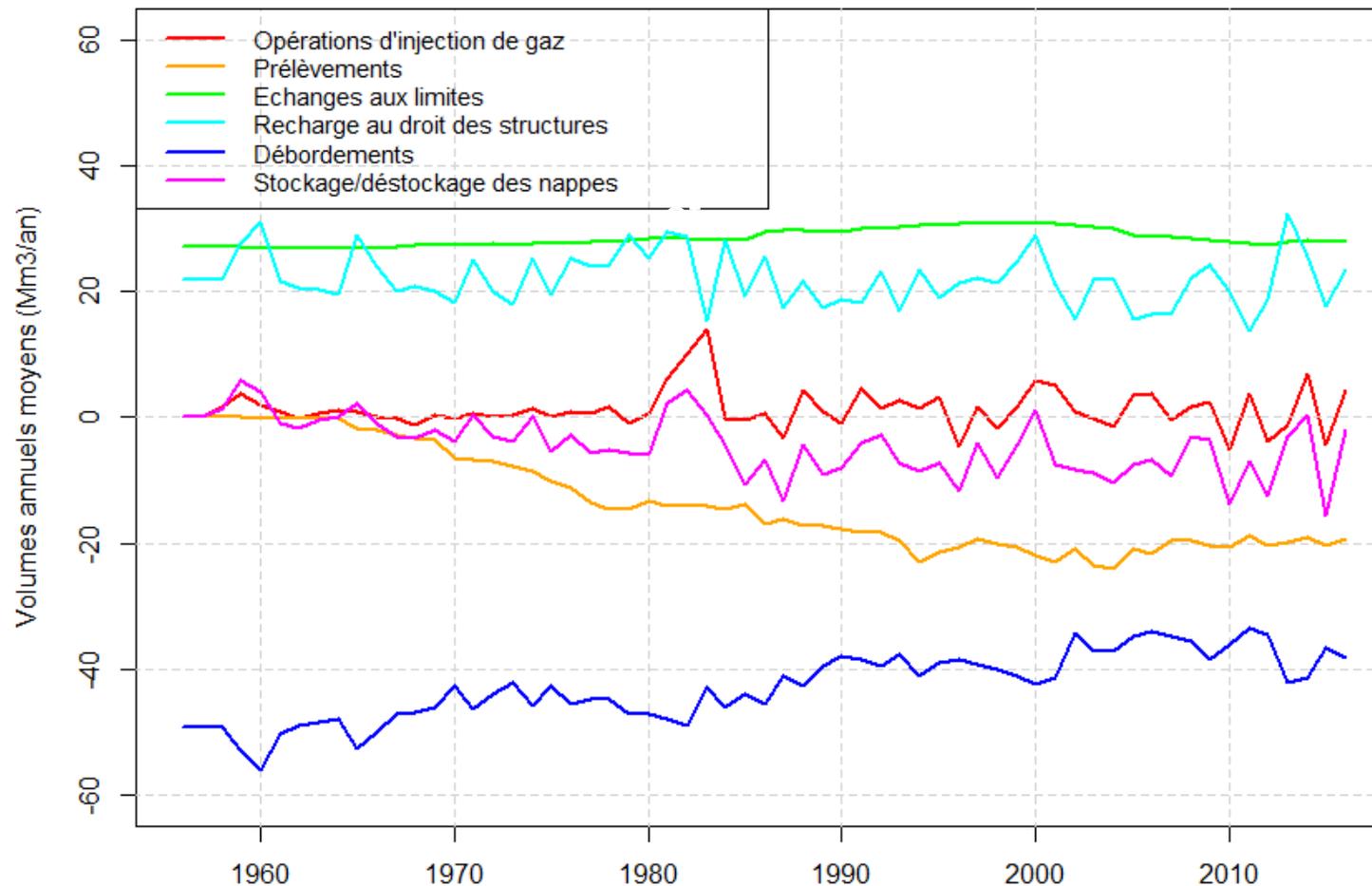


## 1 - Reproduire le fonctionnement des nappes au cours du temps :

- niveaux des nappes
- circulations des eaux

## 2 - Estimer les volumes d'eau transitant par les nappes :

- bilan hydrogéologique par secteur



## 1 - Reproduire le fonctionnement des nappes au cours du temps :

- niveaux des nappes
- circulations des eaux

## 2 - Estimer les volumes d'eau transitant par les nappes :

- bilan hydrogéologique par secteur

## 3 - Aide à la décision/gestion de la ressource et de sa préservation

- aide à la détermination des volumes disponibles (en fonction de critères définis)
- aide à la détermination d'indicateurs piézométriques
- aide à la gestion de la ressource / validation de stratégies d'exploitation

## 4 - Pour prévoir

- test des scénarios de réduction ou d'augmentation des prélèvements
- test l'impact de la mise en place d'un champ captant pour l'alimentation en eau potable
- évaluation l'impact du changement climatique (initiation de réflexions sur des stratégies d'adaptation,...)
- évaluation de l'impact de nouvelles ressources de substitution (AEP, irrigation, ...)

- **Résolution spatiale horizontale** : données moyennées à l'échelle de 500 m, approximations nécessaires par rapport à une réalité complexe de terrain
  - Tous les phénomènes locaux ne peuvent être représentés
- **Résolution spatiale verticale : découpage en grands aquifères, simplification nécessaires p/r à une variabilité de faciès par ex.**
  - Approximation acceptable à l'échelle régionale, mais difficulté de représentation de certains comportements particuliers
- **Résolution temporelle : pas de temps mensuel**
  - Difficulté de représentation des phénomènes à dynamiques plus rapides
- **Incertitudes des données d'entrées** : prélèvements (exhaustivité / ventilation) , modèle géologique, etc. ...
- **Hétérogénéité importante** de la densité spatiale et temporelle des informations disponibles + **forte complexité** structurale , géologique et hydrogéologique du secteur d'étude
  - Le degré de représentativité du modèle n'est pas le même partout

L'interprétation des résultats du modèle sera pour le **moment** limitée à une **utilisation régionale/grand secteur**, le modèle apportant des informations pertinentes à cette échelle de travail. Les résultats sont les plus fiables au niveau des points de calage (piézomètres) ; en s'éloignant de ces points, et sur les zones sans informations, la précision diminue.

 **C'est un outil évolutif** (affinement local, prise en compte de processus additionnels, ...)