



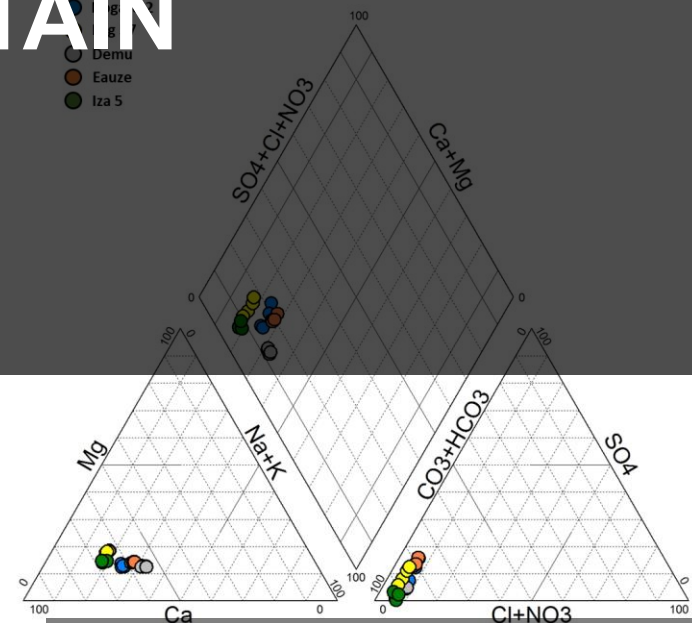
Geosciences pour une Terre durable

brgm

LES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES PROFONDES DU SUD DU BASSIN AQUITAIN

Le projet GAIA – Les apports en hydrogéochimie

André L.
26/11/2021



Utiliser l'hydrogéochimie (= composition chimique des eaux) pour mieux comprendre les écoulements et contraindre les modèles hydrodynamiques

- Analyse des données existantes et constitution d'une base de données géochimiques
- Origine de la **variabilité de teneurs en sulfates** observée au voisinage des sites de stockage de gaz
- Réalisation de **prélèvements de fond** sur des forages pétroliers transformés en piézomètres – **faisabilité** et établissement d'un **protocole**
- Mise en œuvre d'**outils isotopiques** pour évaluer l'**âge** apparent **des eaux** (^{14}C , ^{36}Cl)
 - + appui aux études conduites sur la **recharge** et les zones d'**émergences** : apport de l'hydrogéochimie à la compréhension des écoulements

Une synthèse des données existantes

Collecte et analyse critique des données hydrogéochimiques

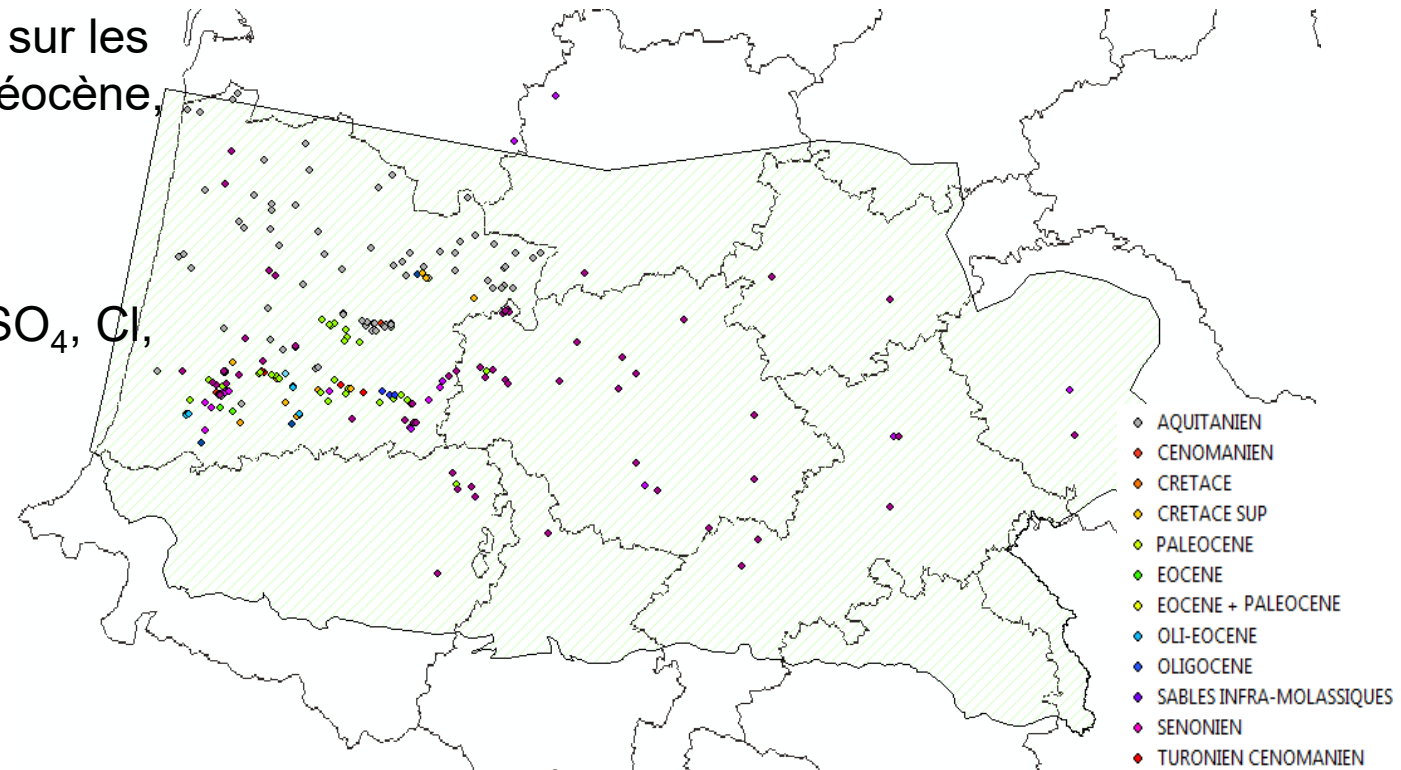
➤ **Origine des données :**

- Bases de données (ADES...)
- Différents syndicats et organismes qui exploitent ces différentes.
- Thèses et projets passés sur les SIM et sur les aquifères adjacents (Crétacé, Dano-Paléocène, Oligocène et Miocène)

➤ **Nature des données:**

- Les éléments majeurs (Na, K, Mg, Ca, SO₄, Cl, HCO₃)
- Les éléments traces (métaux, ...)
- Les isotopes stables et radioactifs,
- Les gaz rares
- Les diagraphies

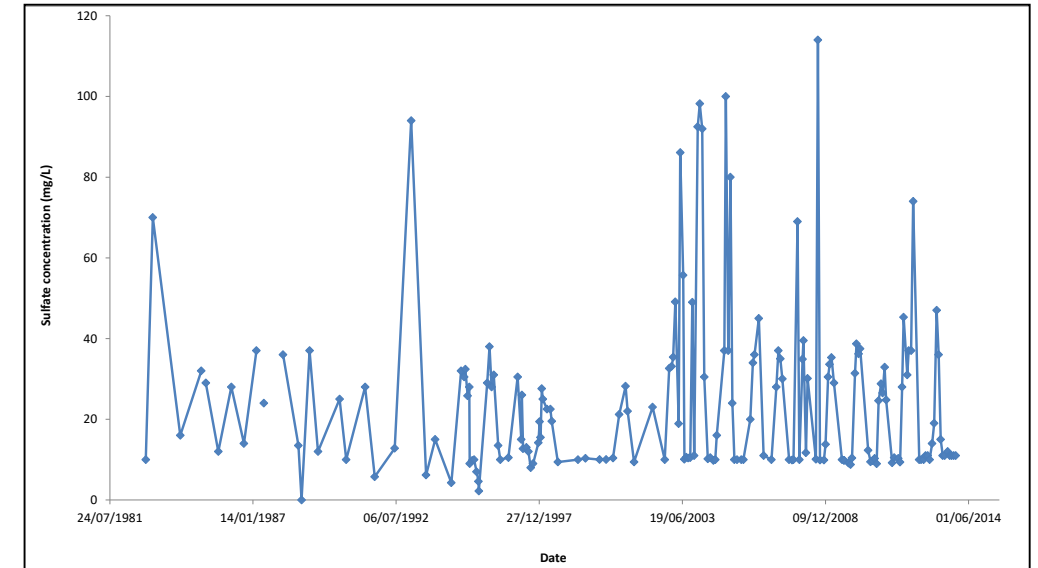
- **256 points d'eau recensés**, incluant sources et forages, répartis sur la zone d'étude du projet GAIA.
- Différents usages : AEP, piézomètres, géothermie, irrigation, thermalisme.
- Systèmes aquifères captés: Miocène (83), Oligocène (23), Eocène (77), Paléocène (40) et Crétacé (33).
- Plus de **3000 analyses** d'eau



Deux constats

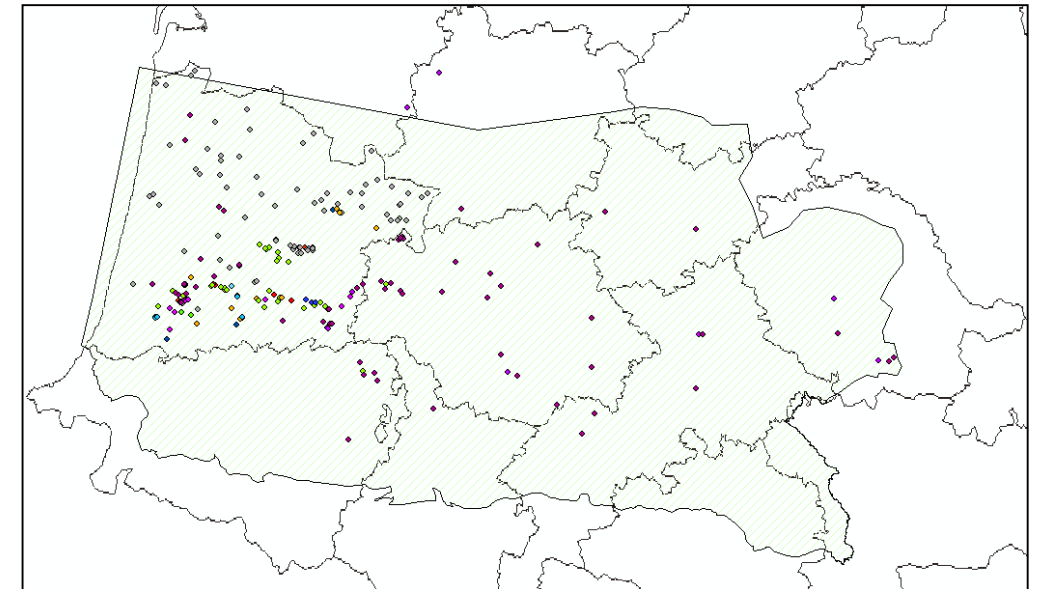
- **En grande majorité, stabilité des compositions chimiques des eaux exploitées excepté dans la Région de Nogaro (Gers)**
 - Variations cycliques de la teneur en sulfates
 - Concentrations minimales de l'ordre de 10 mg/L
 - Concentrations maximales pouvant atteindre plus de 100 mg/L

➡ **Moyens mis en œuvre dans le projet GAIA**
Suivi régulier et complet de ces variations de composition chimique pour comprendre les



- **Répartition très inégale de la connaissance de la composition chimique des eaux**
 - Existence de données géochimiques anciennes
 - Données très parcellaires (analyses incomplètes, conditions de prélèvements non optimales...)

➡ **Moyens mis en œuvre dans le projet GAIA**
Prélèvements de fonds sur des forages peu renseignés afin d'apporter de nouvelles informations dans des zones « blanches »

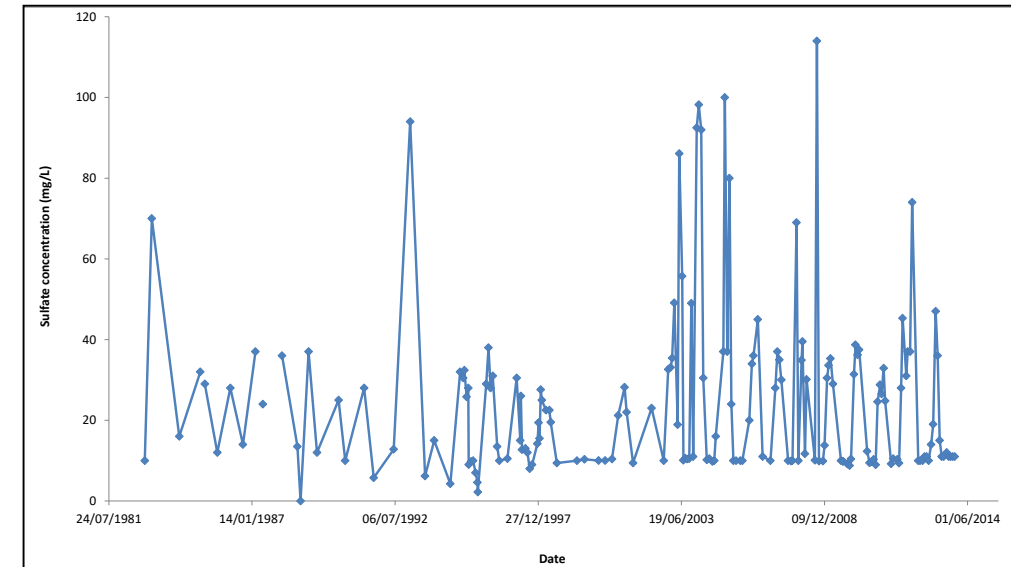


Comprendre les variations cycliques de composition chimique

Les données géochimiques disponibles sur Nogaro 2 étaient souvent parcellaires (analyses d'eau incomplètes, ...). Leur interprétation ne permettait pas de comprendre les processus susceptibles d'expliquer ces variations.

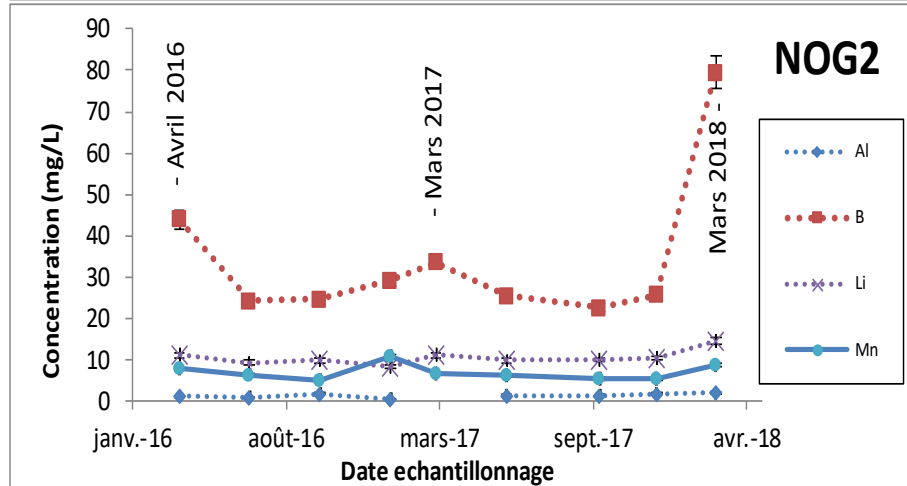
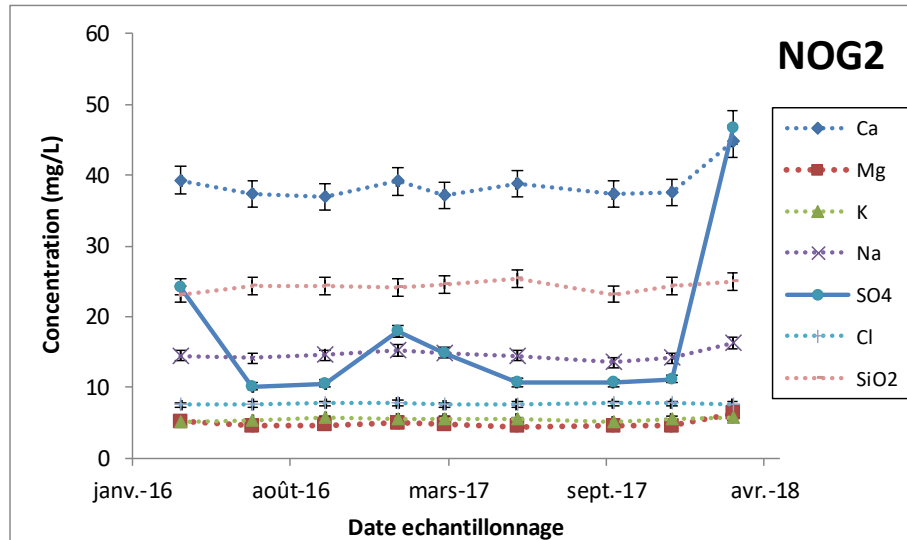
Les moyens déployés :

- 5 forages étudiés: NOG2, Dému, Eauze, LUG57 et IZA 5
- 3 à 4 campagnes par an
 - Avril, Juillet, Octobre 2016
 - Janvier, Mars, Juin, Octobre, Décembre 2017
 - Mars 2018
- Analyse des éléments majeurs et des traces (F, B, Br, Sr, Ba)
- Analyse des isotopes des sulfates ($\delta^{34}\text{S}$ et $\delta^{18}\text{O}$), du bore ($\delta^{11}\text{B}$)
- Analyse des isotopes du carbone (^{13}C et ^{14}C) des carbonates



Comprendre les variations cycliques de composition chimique

Les résultats de ces 9 campagnes trimestrielles



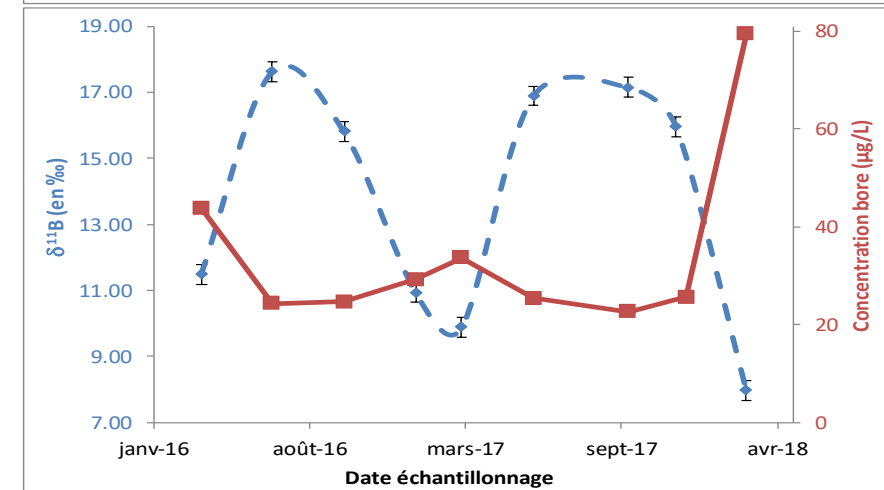
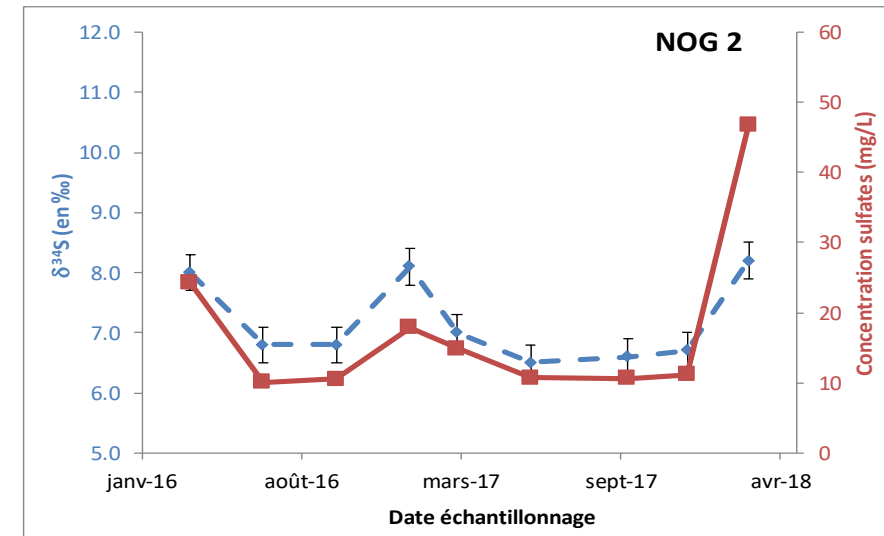
- Cyclicité observée et attendue sur les concentrations en sulfates

- Comportement similaire du bore total

- Cyclicité de l'isotope ^{34}S des sulfates et du ^{11}B

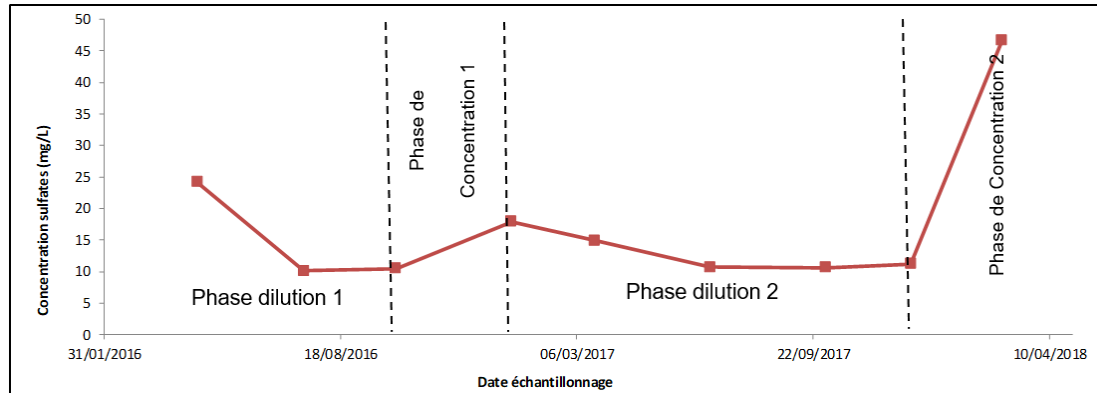


Confirmation de processus géochimiques spécifiques

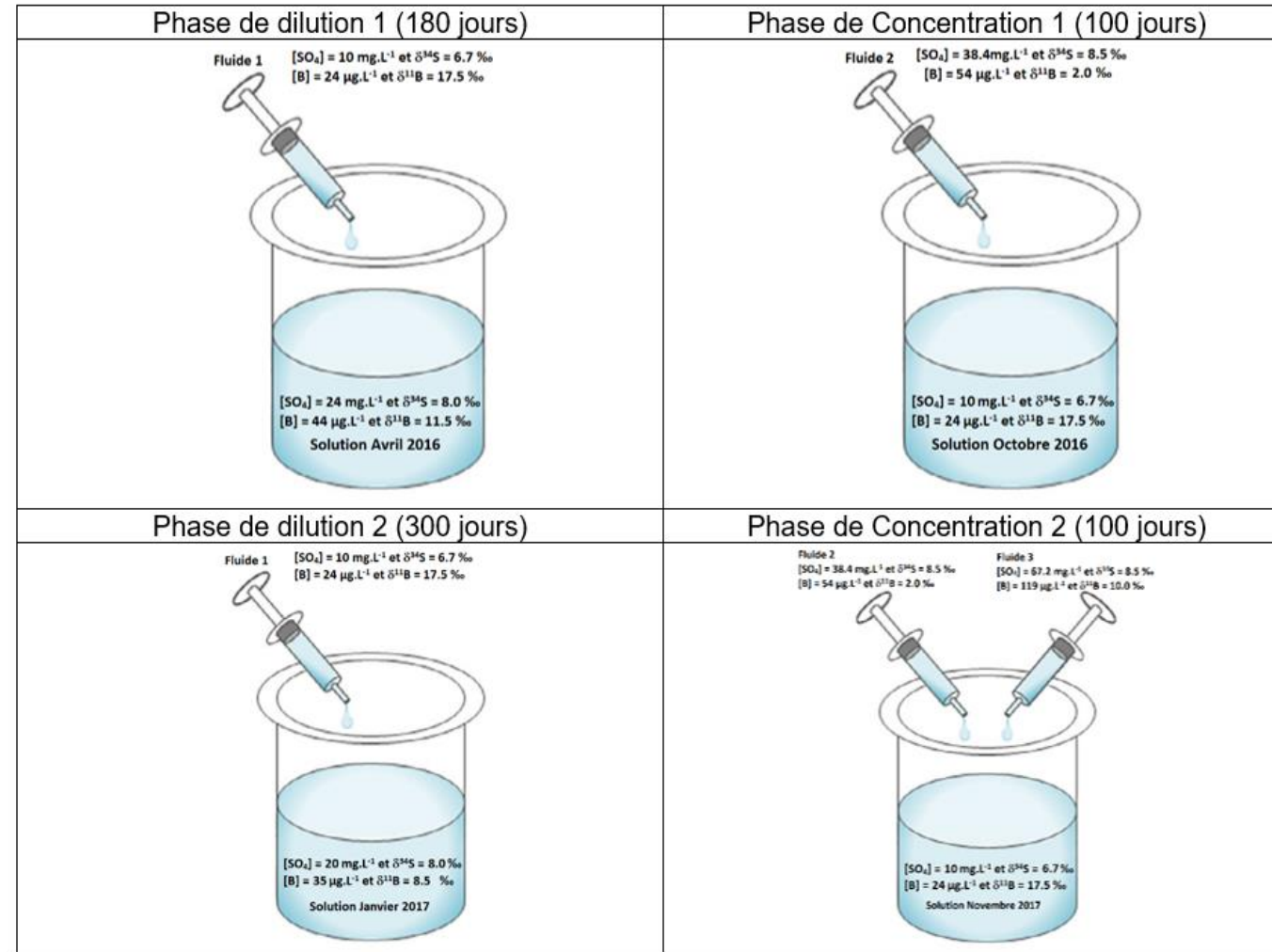


Comprendre les variations cycliques de composition chimique

Les apports de la modélisation géochimique

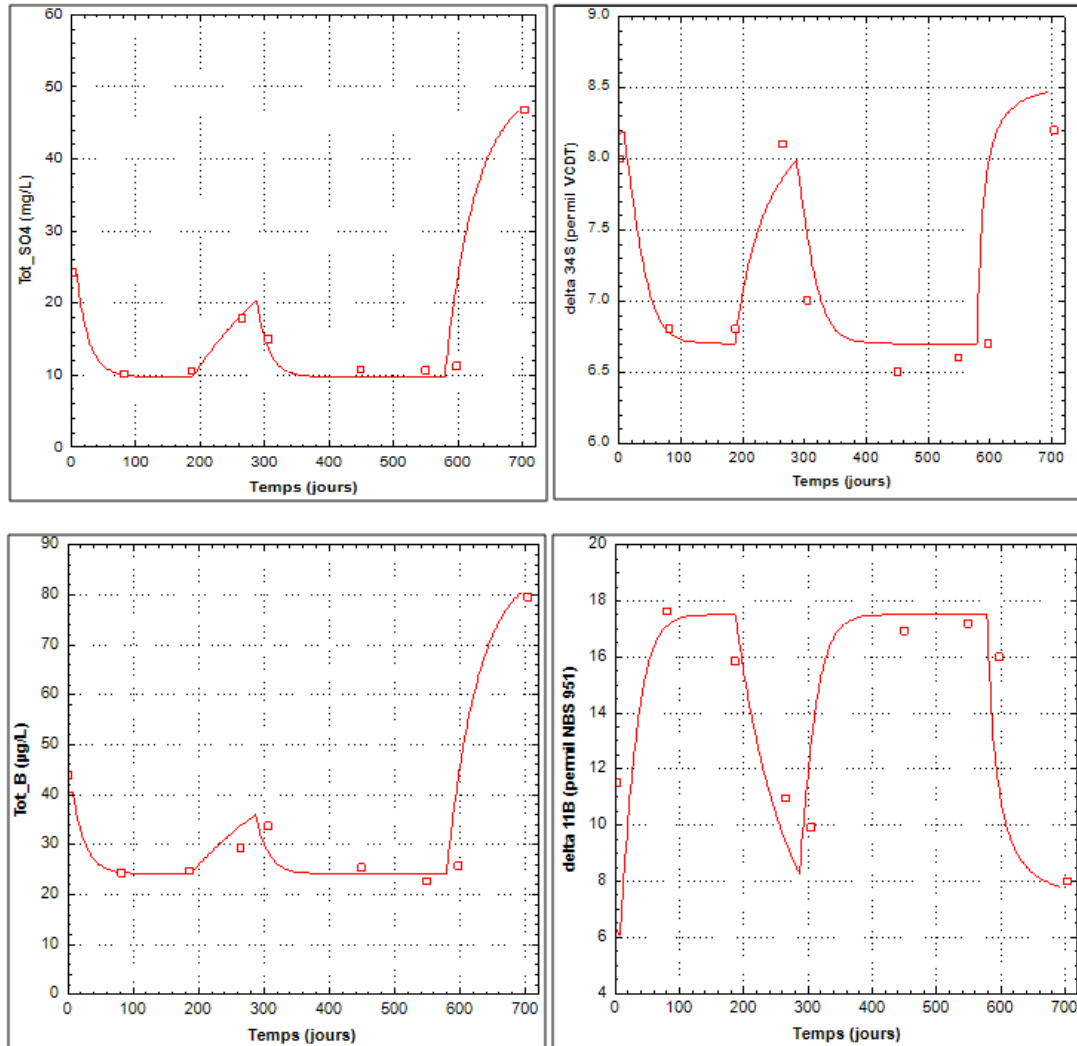


- Est-on capable de reproduire par le calcul les processus observés sur site ?
 - Quel type d'eau doit-on mélanger avec l'eau du réservoir pour retracer ces variations ?
- ➡ **Constitution de pôles géochimiques (= familles d'eau) ayant chacune une origine différente**



Comprendre les variations cycliques de composition chimique

Les apports de la modélisation géochimique



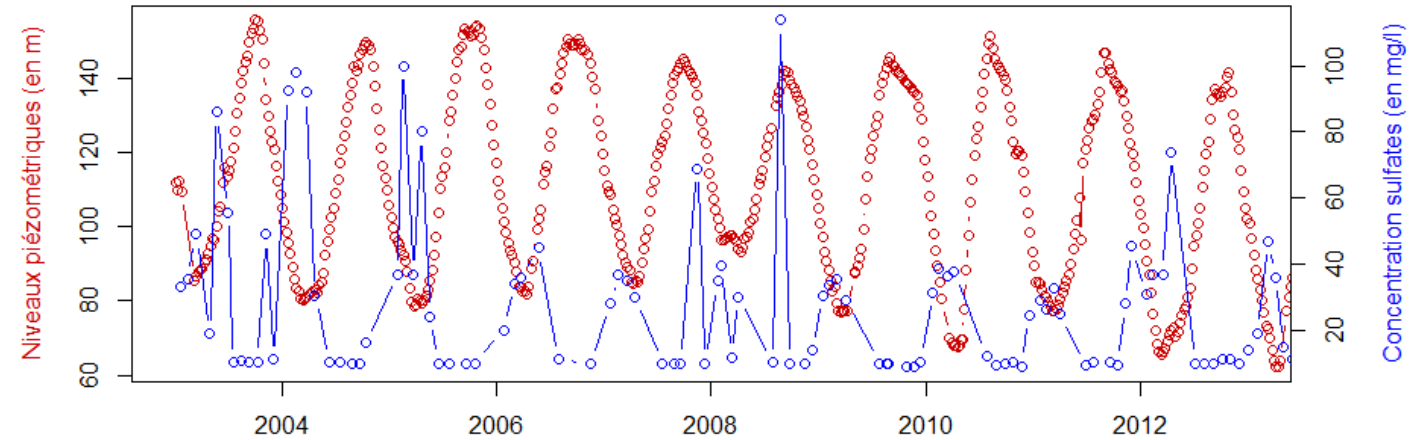
Mise en évidence par la modélisation géochimique de “pôles géochimiques” (pôle concentré et un pôle dilué) expliquant les variations de composition chimique de l’eau dans le réservoir.

Vérification que les compositions chimiques et isotopiques du pôle concentré sont “compatibles”

 Lixiviations en laboratoire d’échantillons de sables de Lussagnet, de grès à Nummulites et de molasse. Les résultats des lixiviation dans la molasse sont cohérents avec les valeurs retenues pour le modèle géochimique

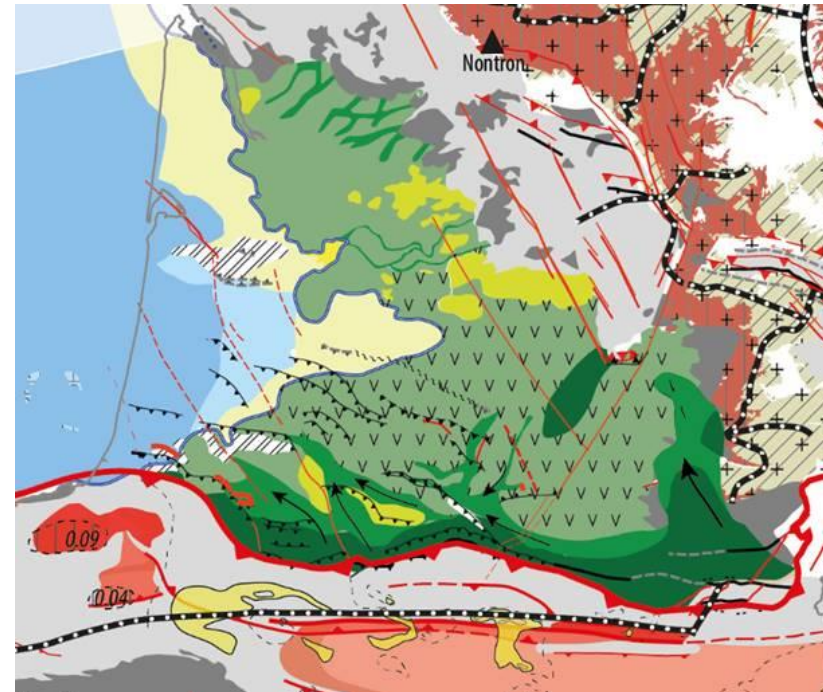
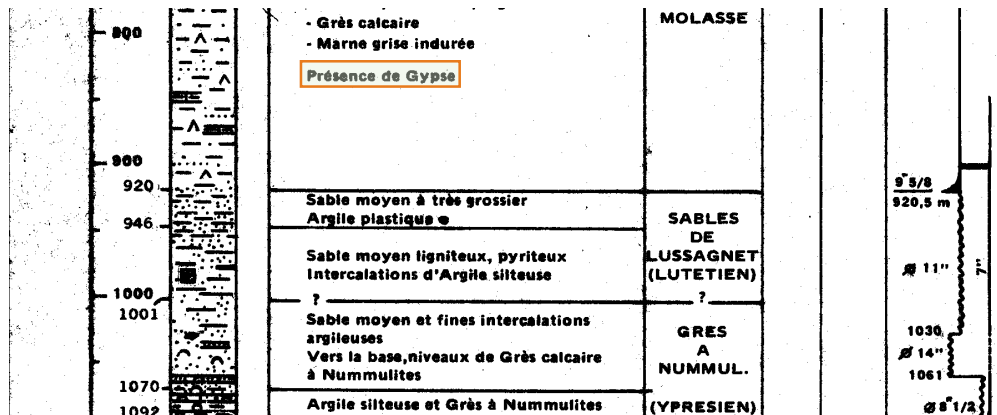
Comprendre les variations cycliques de composition chimique

Les variations de concentration en sulfates sont anti-corrélées aux variations de charges



Présence de gypse en base molasse

Log géologique du forage de NOGAR02



Carte des « Molasses inférieures » riches en gypse.

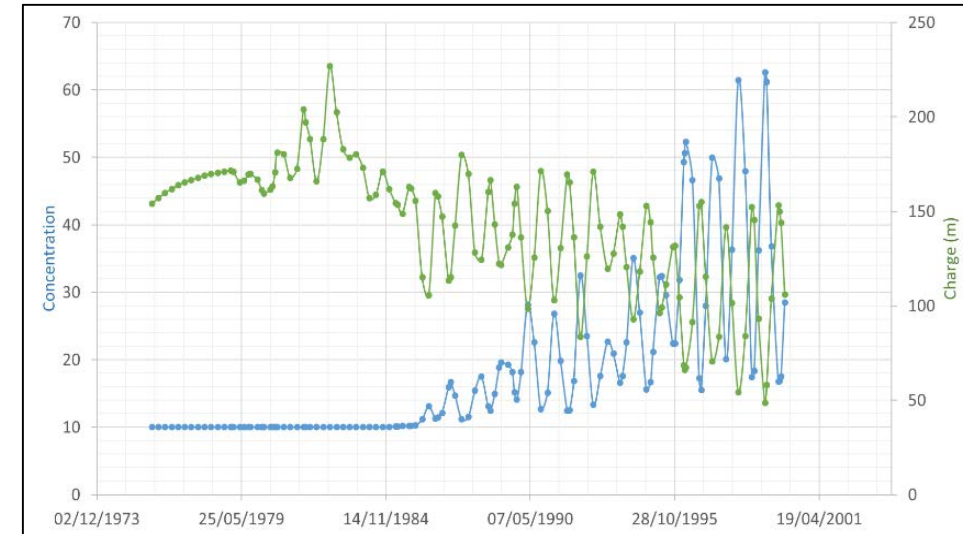
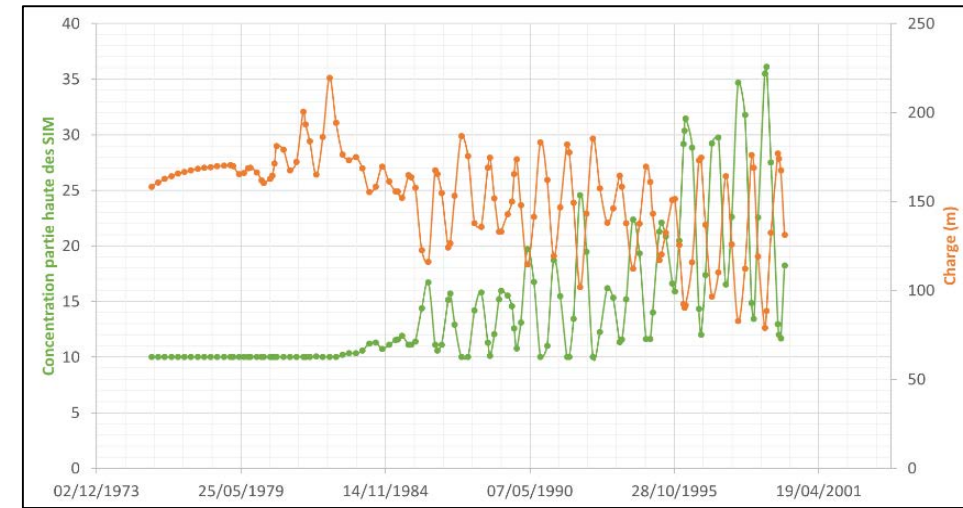
Comprendre les variations de composition chimique cyclique

Utilisation de la modélisation couplée géochimie/transport pour tester des hypothèses et vérifier si l'on peut reproduire les variations de composition chimique observées sur site

- **Modèle 1** : Source de sulfate en base molasse et échanges verticaux périodiques avec les SIM
- **Modèle 2** : Présence d'une source de sulfate au sein des SIM et déplacements « horizontaux » périodiques du panache riche en sulfate
- Tests de sensibilité des différents paramètres hydrauliques (transmissivité, coefficient d'emménagement, perméabilité des différents horizons...)

Conclusions majeures

- **Modèle 1**: les variations **des concentrations en sulfate anticorrélées aux variations de charge hydraulique**. Des questions subsistent cependant concernant les écoulements préférentiels au sein des SIM permettant des concentrations en partie basse aussi fortes que celles qui ont pu être obtenues par le modèle en partie haute.
- **Modèle 2**: **moins de paramètres hydrogéologiques sont nécessaires** pour simuler les fortes concentrations. Toutefois, la question de la constitution d'un tel panache n'a pas été traitée, et mériterait une attention particulière.

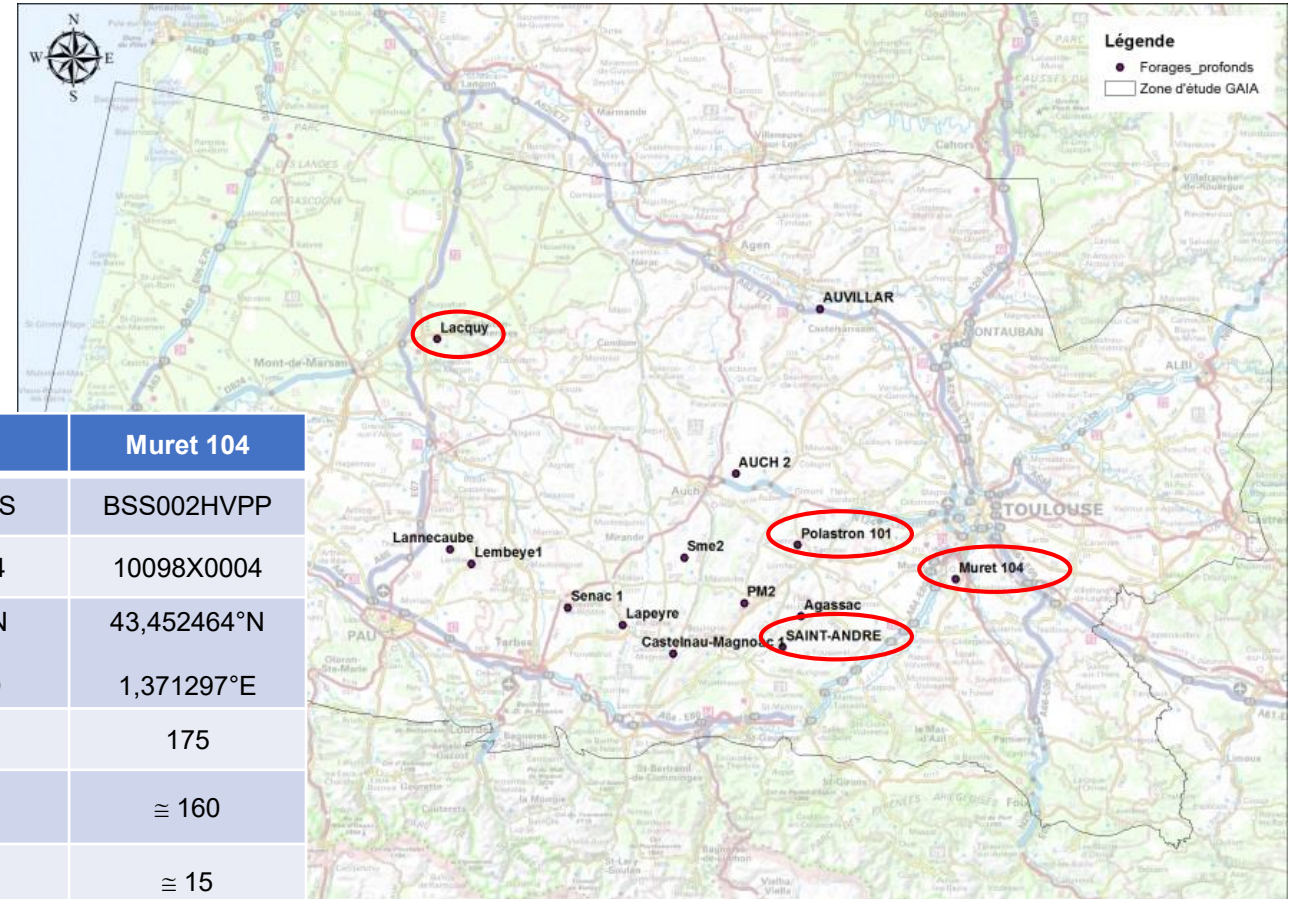


Renseigner les zones de l'aquifère peu documentées en termes de données géochimiques

Liste des forages potentiellement échantillonnables (piézomètres)

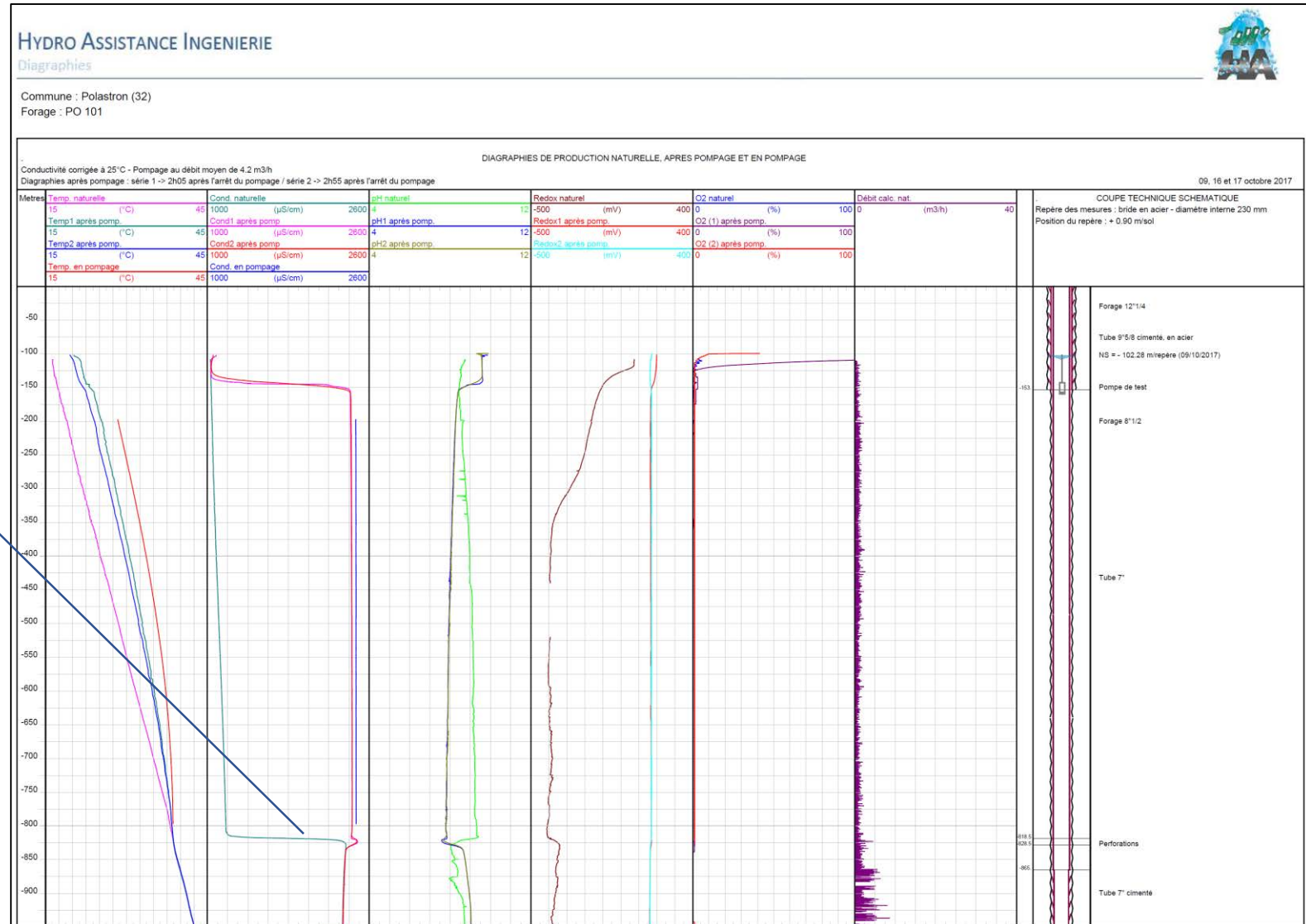
4 forages sélectionnés

Ouvrage	Polastron	Saint-André	Lacquy	Muret 104
Code BSS	BSS002HRNC	BSS002KEHH	BSS002CXHS	BSS002HVPP
Ancien indice BSS	10082X0001	10336X0002	09266X0004	10098X0004
Latitude (WGS84)	43,520339°N	43,289158°N	43,960100°N	43,452464°N
Longitude (WGS84)	0,870339°E	0,872025°E	0,272900°O	1,371297°E
Altitude (m NGF)	215	305	110	175
Niveau piézométrique (m NGF)	≅ 116	≅ 288	≅ 78	≅ 160
Niveau piézométrique (m/sol)	≅ 101	≅ 17	≅ 32	≅ 15
Profondeur théorique (m)	1 289	1 940	1 230	1 043
Zone perforée (m)	818,5 - 828,5	430 - 440	435 - 445	1 031,6 - 1 040
Formation connectée	Sables de Lussagnet	Formation de Pont-Labau	Sables de Lussagnet	Sables de Lussagnet
Diamètre tubage (cm)	17,78 (7")	24,45 (9"5/8)	33,97 (13"3/8)	23,81 (9"3/8)



Renseigner les zones de l'aquifère peu documentées en termes de données géochimiques

Caractérisations à l'aide de diagraphies physico-chimiques (avant et après pompage)



Variations de la
conductivité électrique
des eaux au droit des
crépines

=

Variation de
composition chimique
des eaux

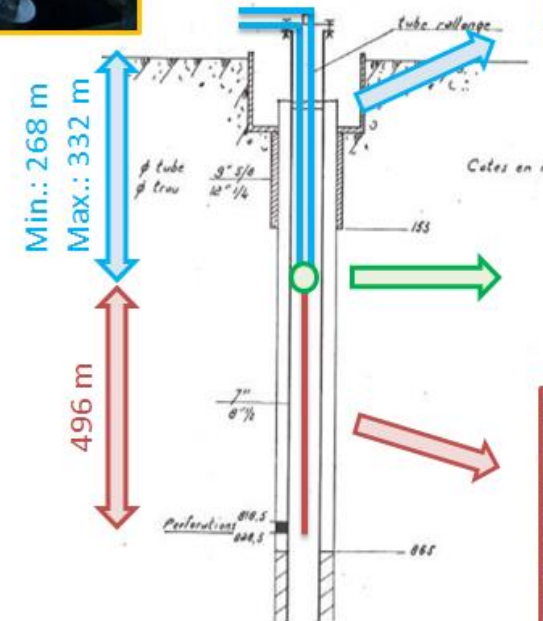
Renseigner les zones de l'aquifère peu documentées en termes de données géochimiques

Application d'un dispositif de prélèvement de fond

- en tête d'ouvrage, un tube double (= bitube) est descendu dans l'ouvrage, de manière à avoir au maximum une longueur de 250 m immergée sous le niveau statique ;
- à l'extrémité de ce bitube, un système de clapet et de filtre est mis en place ;
- sous ce système de clapet, un monotube, de longueur variable, est mis en place, muni à son extrémité inférieure d'un lest en inox.

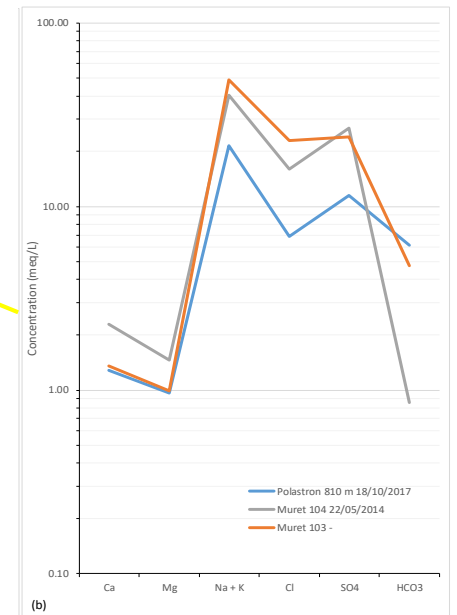
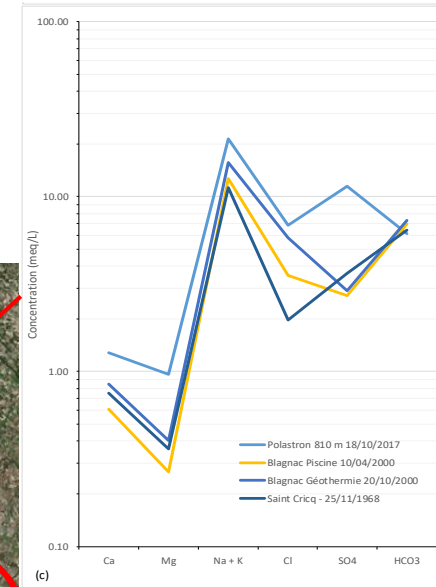
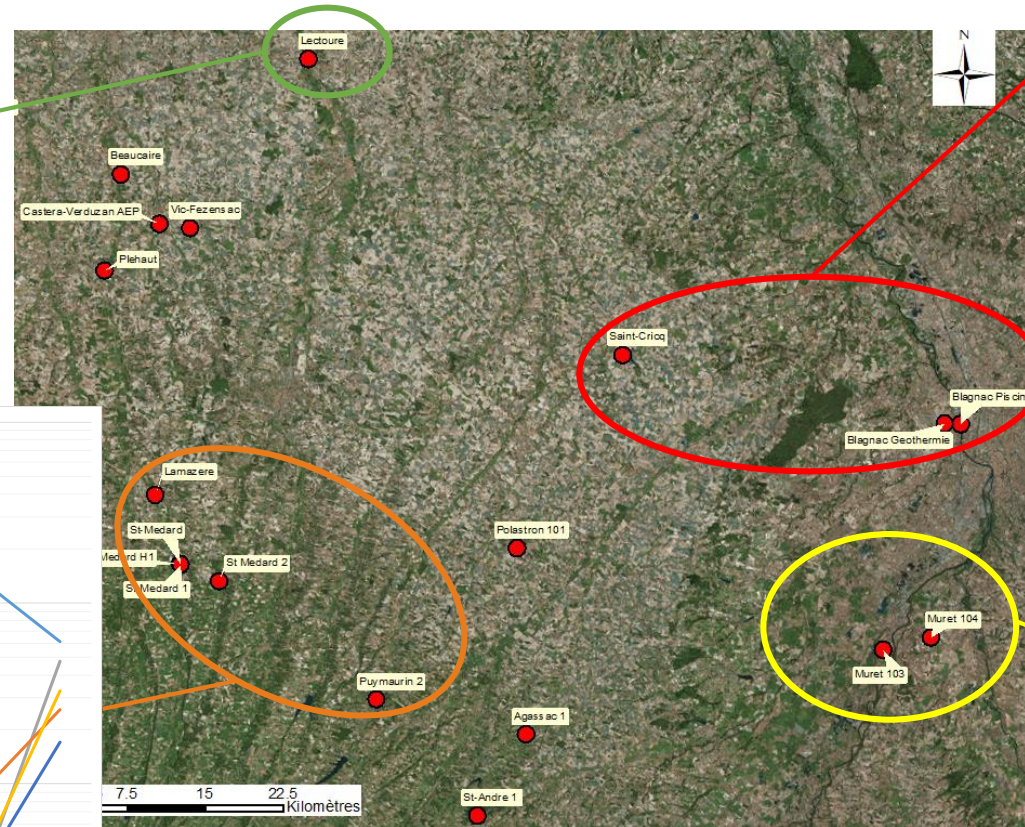
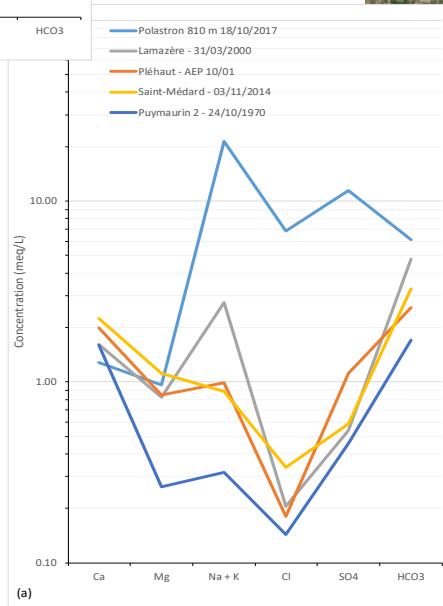
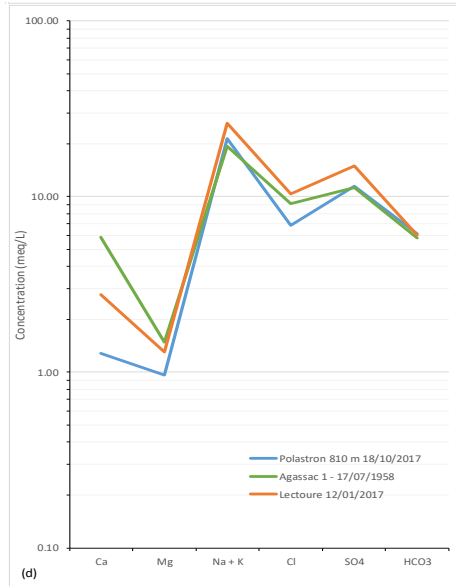


P O 101
Coupe technique



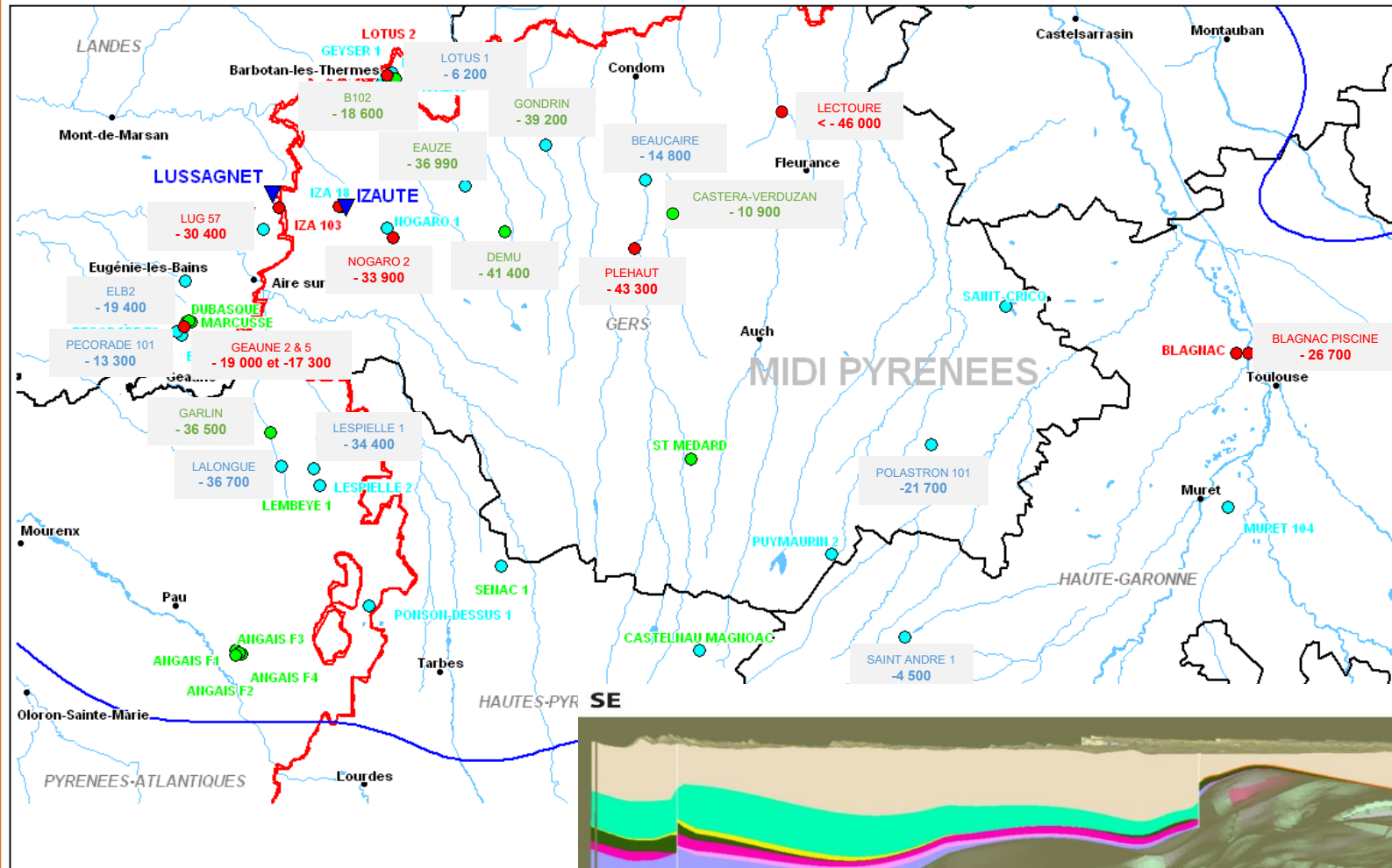
Renseigner les zones de l'aquifère peu documentées en termes de données géochimiques

Données de composition géochimique des eaux originales

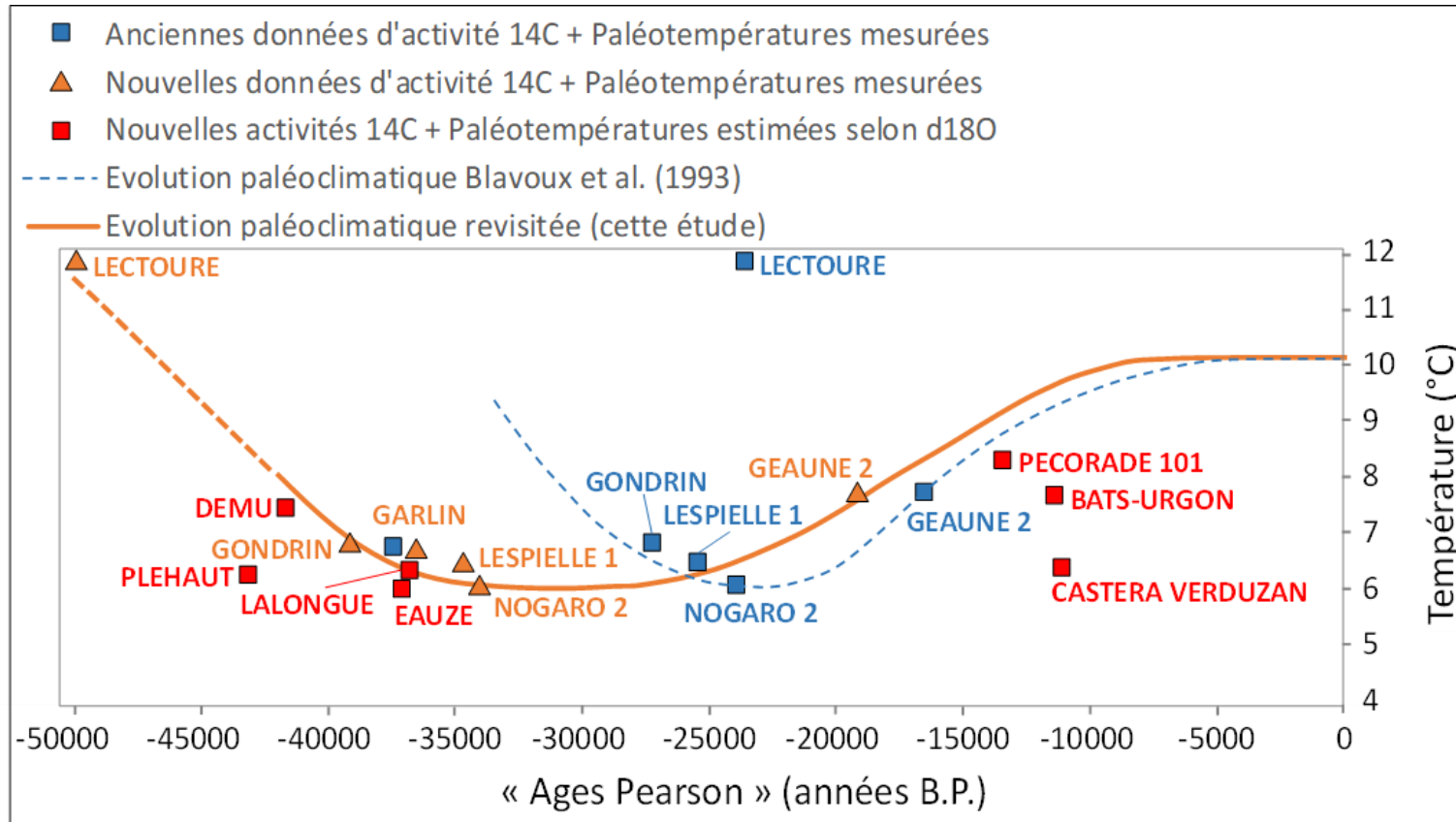


Renseigner les zones de l'aquifère peu documentées en termes de données géochimiques

Données de composition géochimique des eaux originales



Âges apparents des eaux vs. paléo-température



- Des eaux qui semblent plus anciennes que les âges estimés jusqu'à présent
- Âges apparents compris entre 20 000 et 50 000 ans
- Ré-estimation de la courbe de paléo-température

- **Prélèvements de fond** : Dans le cas de forages peu productifs, le pompage peut ne pas permettre de pomper l'eau du niveau productif vers la pompe. L'échantillonnage en profondeur est une bonne alternative :
 - des informations fiables (éléments dissous) peuvent être obtenues sans aucune purge ;
 - importance de connaître quelques informations sur la colonne d'eau (diagraphie de la colonne d'eau).
- ⇒ L'application n'est pas limitée aux forages de 100 à 200 m de profondeur, et des forages beaucoup plus profonds peuvent être étudiés !

- **Variations locales de composition chimique des eaux** :
 - mise en place d'un modèle géochimique ;
 - caractérisation de pôles géochimiques ;
 - premières interprétations en couplant hydrogéochimie et hydrogéologie.
- ⇒ Difficulté pour connaître l'origine de ces fluides (sus ou sous-jacent, interne à l'aquifère) et ainsi contraindre les modèles

- **Isotopie / datations** : réévaluation des données de datation sur plusieurs forages du bassin mais aussi obtention de données originales dans des zones peu renseignées
 - proposition d'une nouvelle relation entre âges apparent des eaux et paléo-températures ;
 - zones géochimiques dans l'aquifère cohérentes avec les contextes géologiques ;
 - difficulté d'identifier la contribution des horizons inférieurs (danien) compte tenu du manque d'informations sur ces réservoirs dans les secteurs d'intérêt.
- ⇒ De nouvelles caractérisations pourraient être envisagées sur d'autres piézomètres mais, leurs propriétés hydrauliques semblent fortement altérées.

17
Rapports
publics
téléchargeable
sur Infoterre*

12
Publications
scientifiques

➤ Des informations sur :
<https://sigesaqi.brgm.fr/-Projet-de-recherche-GAIA-.html>

- Projet GAIA. **Définition du lexique géologique** des formations paléogènes de l'Aquitaine orientale. BRGM/RP-64630-FR
- Projet GAIA – année 1. **Collecte des données hydrogéologiques et hydrogéochimiques**. BRGM/RP-64850-FR
- Projet GAIA. **Inter-comparaison des modèles** hydrodynamiques existants. BRGM/RP-65498-FR
- **Investigations sur les forages de Labruguière et de Valdurenque** – Diagraphies, Pompages et Prélèvements de fond. BRGM/RP-65934-FR
- **Synthèse hydrogéologique et recharge des aquifères éocènes et paléocènes** sur la bordure sud-orientale du Bassin aquitain et sur le piémont pyrénéen. BRGM/RP-65024-FR
- Projet GAIA. Année 3. **Avancement du volet hydrogéologique**. BRGM/RP-66849-FR
- Projet GAIA – **Travaux préliminaires à la modélisation hydrogéologique** : prise en compte des effets diphasiques et thermiques. BRGM/RP-67307-FR
- Projet GAIA - Année 3. **Exploitation des cycles d'injections et de soutirages de gaz** aux sites de Lussagnet et Izaute pour déterminer les **paramètres hydrodynamiques** de l'aquifère des Sables infra-molassiques. BRGM/RP-67369-FR
- Projet GAIA. Année 4. **Avancement des volets hydrogéologique et hydrogéochimique**. Rapport d'étape. BRGM/RP-69126-FR
- Projet GAIA. **Origines des variations cycliques des teneurs en sulfates** observées au voisinage du forage de Nogaro 2 : investigations de terrain, validation des hypothèses envisagées par modélisation hydrodynamique et transport de masse. BRGM/RP-69552-FR
- Projet GAIA. **Investigations sur les forages profonds** de Polastron, Saint-André et Lacquy : caractérisation, diagraphies de production, prélèvements sélectifs et analyses. Rapport d'étape. BRGM/RP-69170-FR
- Projet GAIA – **Etude des exutoires** des aquifères profonds du sud du Bassin aquitain. BRGM/RP-69131-FR
- Projet GAIA. Année 5. **Avancement des volets hydrogéologique et hydrogéochimique**. BRGM/RP-70381-FR
- Projet GAIA. **Construction et calage du modèle hydrodynamique**. BRGM/RP-70475-FR
- Projet GAIA. **Synthèse géologique et modélisation 3D des aquifères** infra-molassiques aquitains. BRGM/RP-70569-FR

* <http://infoterre.brgm.fr/rechercher/default.htm>