



Projet DEM'Eaux-Thau Rapport d'activité 2019

Rapport final

BRGM/RP-69739-FR

Mars 2020

Ouvrage réalisé dans le cadre du
projet BRGM RP16LRO005

Lamotte C., Seidel J.L., Seranne M.

Vérificateur :

Nom : Jean-Christophe
Maréchal
Date : Responsable Unité
NRE

Signature :

Approbateur :

Nom : Ariane Blum
Directrice régionale Occitanie
Date :

Signature :

**Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.**

Contact : qualite@brgm.fr



PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL



Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : Ressource en eau souterraine, Hydrogéologie, Aquifère karstique, Eau thermale, Karst du pli-ouest, Balaruc-les-Bains, Hérault.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Lamotte C., Seidel J.L., Seranne M. (2020) - Projet DEM'Eaux-Thau – Rapport d'activité 2019 - Rapport final. BRGM/RP-69739-FR, 29 p., 15 ill., 1 ann.

Synthèse

Le présent rapport d'activité concerne les travaux réalisés en 2019 dans le cadre du projet de recherche DEM'Eaux Thau. Lancé en juillet 2017 dans le cadre du CPER Languedoc-Roussillon avec le soutien de l'Etat (MESR), de la Région Occitanie, de l'AERMC, de la Métropole de Montpellier, de la Ville de Balaruc-les-Bains du SMBT, et de l'Europe, il vise à caractériser les eaux souterraines du bassin de Thau afin de développer un outil de gestion à l'échelle régionale. Cette étude scientifique pluridisciplinaire implique de caractériser à la fois la géologie, l'hydrogéologie et la géochimie de cet hydrosystème.

Les investissements de 2019 consistent à la mise en place de l'équipement de la source sous-marine de la Vise, et à l'acquisition de matériels pour la construction du concentrateur de données.

Les travaux réalisés sont présentés par atelier. Chaque atelier fait l'objet de livrables à part entière. Le présent rapport ne vise qu'à donner une vue globale et synthétique de l'avancement et du travail réalisé en 2019. On se reportera à chaque livrable, publication, séminaire pour le détail scientifique des résultats.

Les avancées majeures de DEM'Eaux Thau sont les suivantes :

- La constitution d'une base de données régionales géologiques, géochimiques et hydrogéologiques,
- La réalisation du modèle géologique qui propose une mise en cohérence 3D des résultats d'acquisition géophysique et la compilation des données existantes,
- La construction du modèle permet de réviser la géologie régionale en Languedoc : géométrie des chevauchements pyrénéens, haut de socle de Gardiole-Sète, rôle de l'héritage pré-pyrénéen dans la formation des réservoirs,
- L'acquisition des débits sortants à la source de la Vise permet de disposer de 1^{ers} ordres de grandeur, et d'une dynamique de fonctionnement,
- Première caractérisation des échanges de flux entre le compartiment amont (Issanka et amont) et le compartiment aval (Presqu'île, Vise),
- Approche multi isotopique (Li, B, Sr) mise en œuvre pour la première fois en domaine karstique (sous-projet CPER Palmes du projet PLATEAUX dont DEM'EAU fait partie),
- Multiples campagnes d'échantillonnage à l'échelle du territoire : suivi temporel de la caractérisation géochimique des différentes masses d'eau,
- Meilleure compréhension des dynamiques des inversacs, grâce aux suivis durant les inversacs de 2010 et 2014 et post-inversac de 2012 et 2018 et 2019 : mise en évidence d'un long temps de retour à l'état géochimique initial,
- Première caractérisation de la diversité bactérienne entre aquifère karstique et aquifère thermal.

Au-delà des avancées techniques en matière de connaissance, les bénéfices de concertation et de gestion pour le territoire et ses acteurs sont à souligner. En effet, depuis la mise en œuvre du projet DEM'Eaux Thau, la production et mutualisation des données se font en faveur, notamment, de la connaissance et la prévention des crises. Le développement du suivi des eaux souterraines a demandé la mise en œuvre d'outils spécifiques exceptionnels, a su mobiliser de nouveaux acteurs, avec un accompagnement actif de certains gestionnaires ; enfin, on note l'évolution d'une gestion individuelle à une gestion collective. Le rôle de la concertation en CLE et de la commission thématique Pli-Ouest/Gestion quantitative est à souligner.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Investissements réalisés en 2019	11
2.1. EQUIPEMENT DE LA SOURCE DE LA VISE.....	11
2.2. EQUIPEMENTS INFORMATIQUES	11
3. Présentation des activités par ateliers.....	13
3.1. ATELIER GEOLOGIE	13
3.1.1. Traitement des données de terrain et cartographie.....	14
3.1.2. Sismique passive : cartographie haute résolution du toit de l'aquifère karstique 14	14
3.1.3. Interprétation sismique réflexion : caractérisation des structures profondes à l'aplomb et autour du démonstrateur.....	15
3.1.4. Coupes structurales : géométrie et chronologie relative des déformations	17
3.1.5. Modélisation géologique 3D : construction du modèle géologique du démonstrateur.....	17
3.2. ATELIER GEOCHIMIE.....	18
3.2.1. Analyses des échantillons prélevés en septembre 2012 après l'inversac de Juin à Décembre 2010	18
3.2.2. Prélèvements et analyses d'eau souterraine.....	19
3.3. ATELIER HYDROGEOLOGIE	22
3.3.1. Traçages.....	22
3.3.2. Valorisation des évolutions piézométriques mesurées au cours des phénomènes d'inversacs (1993 ; 2008 ; 2010 et 2014).....	23
3.3.3. Hydrodynamique.....	23
3.3.4. Application des approches de modélisation par modèle réservoir	23
3.4. TACHE CONCENTRATEUR.....	25
3.4.1. Concentration et bancarisation des données de mesure.....	25
3.4.2. Valorisation des données à travers des outils métier et des modèles	25
3.5. COMMUNICATIONS ET VALORISATIONS.....	26
4. Mise à jour du calendrier de réalisation de projet.....	29
5. Conclusion.....	31

Liste des illustrations

Illustration 1 : Construction du modèle géologique 3D.....	13
Illustration 2 : Carte de l'altitude (à gauche) et de la pente (à droite) du toit du Jurassique Supérieur	15
Illustration 3 : Compilation des données et valorisation des données anciennes et acquises grâce au projet : 360 forages, 155 km de profil.... Intégrées au modèle 3D.....	16
Illustration 4 : Analyses chimiques série échantillons septembre 2012	18
Illustration 5 : Evolution temporelle des chlorures de 1996-2000 (fonctionnement « normal », cadre vert), oct. 2010 (inversac, cadre rouge) et en 2012 (cadre gris).	19
Illustration 6 : Localisation des points de prélèvement sur le secteur étudié avec un focus sur la presqu'île de Thau	20
Illustration 7 : Matériel de prélèvement	21
Illustration 8 : Etat d'avancement des résultats d'analyse pour les campagnes spatiales de Mars et Août 2018.....	21
Illustration 9 : Etat d'avancement des résultats d'analyse pour la campagne spatiale de Mai 2019	22
Illustration 10 : Carte de localisation des traçages réalisés entre 2018 et 2019.....	23
Illustration 11 : Premiers résultats de la modélisation globale en 2019	24
Illustration 12 : Visualisation du prototype de la plateforme de valorisation des données du projet et qui permettra de communiquer sur les résultats du projet.	25
Illustration 13 : Invitation par la mairie de Balaruc-les-Bains de la population et des curistes ...	27
Illustration 14 : Livrables du projet DEM'Eaux Thau	29
Illustration 15 : Calendrier de réalisation du projet Dem'Eaux Thau revu	30

Liste des annexes

Annexe 1 Newsletters.....	33
---------------------------	----

1. Introduction

Ce compte-rendu d'activité 2019 est réalisé à la demande de la DRRT Occitanie, dans le cadre de l'allocation des crédits CPER 2015-2020 - Volet DEM'EAUX du projet PLAT'EAUX.

Le projet de recherche Dem'Eaux Thau, lancé en juillet 2017, vise à caractériser les eaux souterraines du bassin de Thau afin de développer un outil de gestion à l'échelle régionale. Cette étude scientifique pluridisciplinaire implique de caractériser à la fois la géologie, l'hydrogéologie et la géochimie de cet hydrosystème. Ces différents aspects sont ensuite couplés pour dresser un portrait complet (modèle conceptuel) du fonctionnement et de la dynamique de la nappe aquifère. Les résultats soutiendront le développement d'un outil d'aide à la gestion de la ressource en eau souterraine sur le territoire : d'où vient l'eau souterraine ? comment alimente-t-elle l'étang de Thau ? Peut-elle être exploitée et en quelle quantité ? Comment prévenir les inversacs de la Vise ?

Les partenaires opérationnels du projet sont le BRGM, les laboratoires Géosciences Montpellier, Hydrosiences Montpellier et l'entreprise Synapse. Ce projet est cofinancé par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC), l'État et la Région), l'Europe (FEDER), Montpellier Méditerranée Métropole, la ville de Balaruc-les-Bains, le SMBT ainsi que les partenaires opérationnels.

Ce rapport reprend les grandes lignes de la présentation réalisée le 10 janvier 2020 dans le cadre du Comité de Pilotage du projet.

2. Investissements réalisés en 2019

2.1. EQUIPEMENT DE LA SOURCE DE LA VISE

La conception de l'instrumentation de la source de la Vise a dû faire face à plusieurs enjeux : griffon submergé sous une trentaine de mètres d'eau saumâtre, au point bas d'un cône de sédiments, éloignement de la côte de 160 m environ, présence d'anciens équipements (buse métallique, sacs de ciments...), zone fortement fréquentée par les pêcheurs et les plongeurs (le seul spot de plongée d'environ 30 m de profondeur proche de la cote sur un linéaire côtier d'environ 200 km), ...

Des réunions de présentation du projet d'instrumentation et de concertation avec l'ensemble des acteurs du Bassin de Thau (Prud'homie, CRCM, SMBT, ...) ont été capitales pour la réussite de la mise en place de cette instrumentation.

Les différents instruments de mesure sur la Vise (débitmètre électromagnétique, sondes de niveau, conductivité, température, dispositif de collecte des eaux) vont permettre l'acquisition des données sur les eaux de la Vise en continu et leur transmission journalière permettront de surveiller le comportement hydrodynamique et géochimique de la source dans le but d'améliorer la compréhension du fonctionnement de la masse d'eau FRDG 160 et notamment celui des écoulements souterrains au sein de la presqu'île de Balaruc-les-Bains.

Le détail de cette mise en place est décrit dans le rapport BRGM/RP-69163-FR (juillet 2019) (livrable L7).

2.2. EQUIPEMENTS INFORMATIQUES

Le matériel nécessaire à la mise en place du concentrateur de données, commun à DEM'Eaux Thau et DEM'Eaux Roussillon a été acheté. En effet, ces deux projets de recherche vont manipuler et produire un grand nombre de données de type et de qualité différentes (y compris des données issues des modèles 3D). La récupération, bancarisation, organisation, traitement et visualisation de ces données pour un usage à la fois professionnel et de vulgarisation de ces données vont être réalisés via une plateforme numérique.

Un système opérationnel de collecte et de concentration des données, de mise en forme et de visualisation des informations disponibles et produites par les projets va être mis en œuvre. Puis sera mise en place une couche dite « applicative » qui regroupera des outils (ou applications) répondant aux besoins des gestionnaires en terme de suivi, surveillance, mise en forme d'information, aide au support de décision dans le cadre de leurs préoccupations opérationnelles. L'ensemble des outils (ou applications) exploitera les informations dans les données bancarisées du sous-système de concentration. Les applications proposées seront le reflet des études de modélisation du comportement de surface et souterrain du réservoir, croisés avec les usages et préoccupations des gestionnaires (tests de scénarii d'évolution climatique, de prélèvement...).

3. Présentation des activités par ateliers

Une synthèse et valorisation préliminaire des données sur l'hydrosystème de Thau (BRGM RP-68483-FR, livrable L1) a été réalisée en juin 2019. Ce rapport rassemble l'ensemble :

- des données nouvelles : données géophysiques – Rapports BRGM/RP-68318-FR (livrable L3), RP-68318-FR et RP-68603-FR ; forage de Sète (rapport BRGM/RP-68549-FR, livrable L6) ; campagnes d'analyse des eaux souterraines (mars et août 2018)
- et des données historiques qui ont fait l'objet de nouvelles interprétations (notamment des données piézométriques historiques qui ont pu être bancarisées, des tests par pompage réinterprétés, analyses de la campagne de septembre 2012, ...).

Pour mémoire, l'ensemble des rapports référencés BRGM sont publics et mis en ligne sous la banque de rapports du BRGM sous infoterre :

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

3.1. ATELIER GEOLOGIE

Le Laboratoire Géosciences Montpellier est en charge du volet « Géologie » du projet DEM'EAUX Thau. L'objectif est de fournir un modèle géologique 3D du bassin de Thau, entre Montpellier et Agde, en intégrant la géométrie des niveaux aquifères (Jurassique Moyen et Supérieur) et de la couverture sédimentaire (Crétacé supérieur à actuel) en accord avec l'ensemble des données disponibles (forages, profils de sismique réflexion, gravimétrie et autres acquisitions géophysiques). Les dimensions du modèle sont 39 km de long (en Nord-Sud), 27 km (en Ouest-Est) de large et 5 km de profondeur (Illustration 1). La construction du modèle 3D permet de déchiffrer l'histoire géologique du Languedoc et les différentes générations de failles responsables de la structuration des réservoirs. Le modèle 3D servira ensuite de base pour les simulations d'écoulements des eaux souterraines.

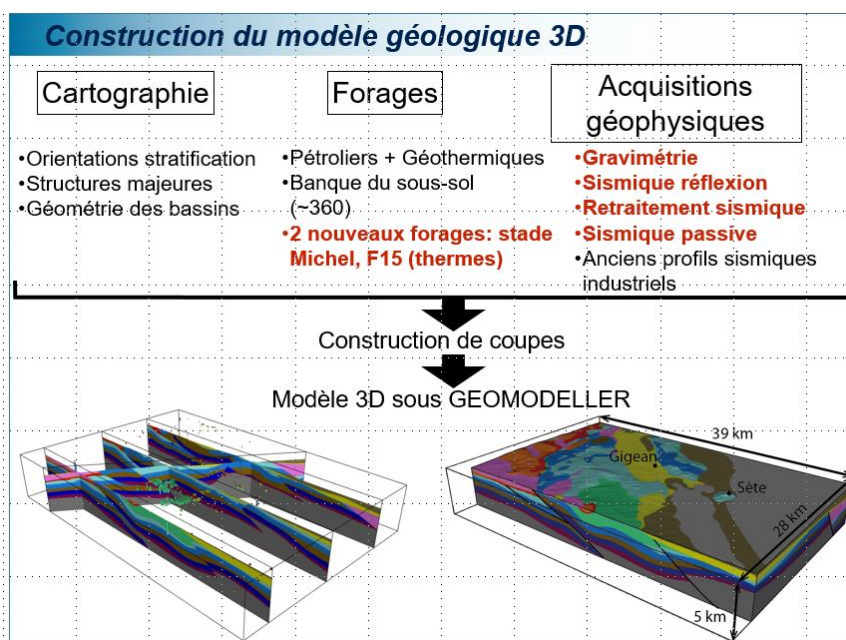


Illustration 1 : Construction du modèle géologique 3D

3.1.1. Traitement des données de terrain et cartographie

L'essentiel de la cartographie de surface est issu des cartes du BRGM à l'échelle 1/50000. Plusieurs centaines d'orientations de strates ont été mesurées sur l'ensemble de la zone d'étude afin de contraindre le modèle géologique 3D. Les orientations des failles majeures sont aussi intégrées. Les mesures de failles mineures et les mesures de fracturation ne sont pas intégrées au modèle mais peuvent être exploitées pour décrire les différentes phases de déformations, leur chronologie relative et l'orientation des paléo-contraintes tectoniques.

Il a également été réalisé (ou en cours) :

- Cartographie des failles majeures significatives pour la modélisation et révision du schéma structural de la région en préparation du modèle 3D.
- Mesures de densité en laboratoire à partir des échantillons de roches prélevées sur le terrain. Ces mesures serviront de valeurs de référence pour la calibration des simulations gravimétriques du modèle 3D.
- Prestation cartographique des formations de surface et paléosurfaces (entreprise CENOTE) est en cours. Les premiers résultats ont été intégrés au modèle 3D, les résultats finaux le seront en 2020.

Le découpage stratigraphique en vue de la modélisation dans la zone du démonstrateur est le suivant : Socle paléozoïque, Trias, Lias calcaire, Lias marneux, Jurassique Moyen, Jurassique Supérieur, Crétacé Supérieur, Infra-lutétien, Eocène, Oligocène-Aquitainien, Miocène, Plio-Quaternaire.

3.1.2. Sismique passive : cartographie haute résolution du toit de l'aquifère karstique

La mise en œuvre de cette technique a permis de réaliser une cartographie du toit du Jurassique, c'est-à-dire le sommet de l'aquifère sur la zone du démonstrateur. La méthode met en évidence le fort contraste d'impédance entre les carbonates du Jurassique et les sédiments d'âge Néogène. Néanmoins, les deux inconnues sur la vitesse sismique et sur la profondeur du réflecteur ne permettent pas de calculer la profondeur de l'interface. C'est la mesure à l'aplomb des sondages (BSS, forages hydrothermaux) où la profondeur de l'interface est connue qui permet de déterminer les vitesses sismiques. Ces vitesses sismiques sont ensuite extrapolées aux points de mesure voisins.

On caractérise les zones hautes et basses avec une résolution moyenne de quelques centaines de mètres. On met également en évidence les zones à fort gradient interprétées en faille (Illustration 2). Les variations de vitesse sismique dans certaines zones sont mises en relation avec la présence – plus ou moins forte – d'eau dans les formations (Master 2 de Théo Bourgeois : Projet DEM'EAUX Thau : caractérisation du karst sous couverture du Bassin de Montbazin-Gigean (Hérault, France) : approche géophysique (sismique passive)).

La cartographie haute résolution du toit de l'aquifère karstique Jurassique est intégrée dans la construction du modèle géologique 3D.

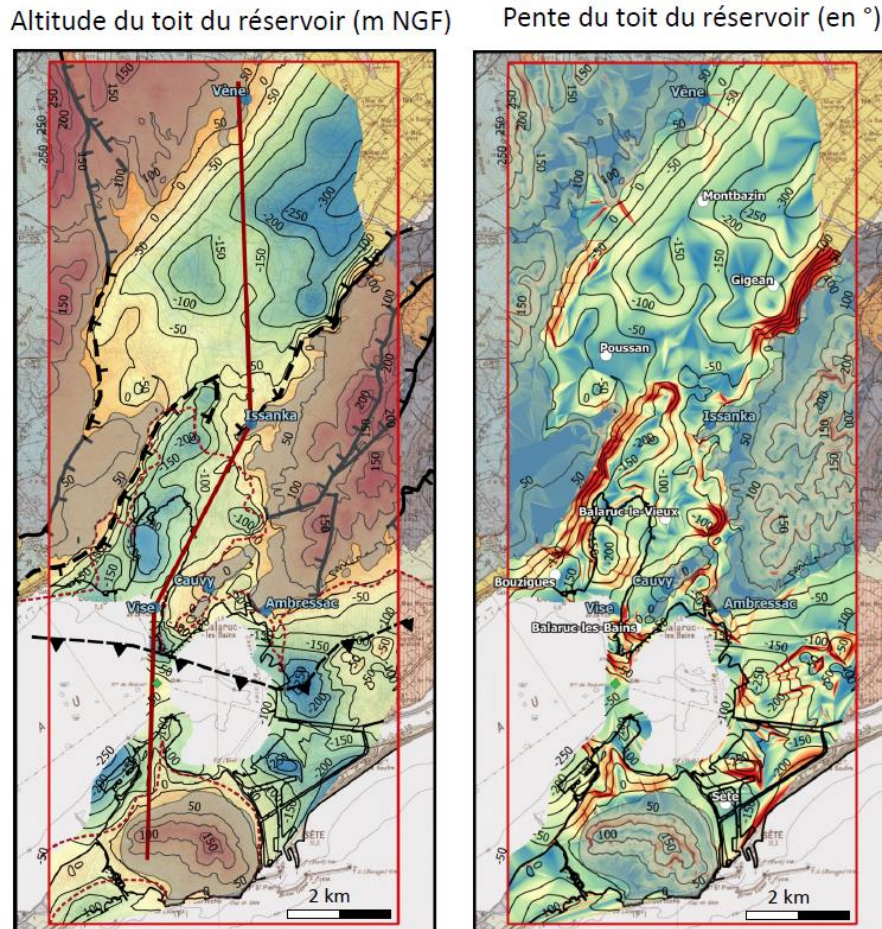


Illustration 2 : Carte de l'altitude (à gauche) et de la pente (à droite) du toit du Jurassique Supérieur

3.1.3. Interprétation sismique réflexion : caractérisation des structures profondes à l'aplomb et autour du démonstrateur

L'interprétation des profils anciens de sismique réflexion soumis à retraitement est achevée. Alors que l'ensemble de la pile sédimentaire est identifié sur certains profils (F10, F11, F12), d'autres profils ne sont que partiellement interprétables en raison de la mauvaise résolution des réflecteurs sismiques (F01, F02, F05, F06).

Les deux nouveaux profils acquis dans le cadre du projet ont été analysés (DEM1, DEM2). Les nombreuses diffractions et artefacts sismiques, sans doute liés à la présence des calcaires jurassiques en basse profondeur, ne permettent pas d'imager précisément le sous-sol dans le secteur de Est de l'étang de Thau.

Les efforts de compilation, retraitement et acquisition de profils sismiques réflexion permettent de disposer d'une base de données sismiques couvrant une zone large autour du démonstrateur (Illustration 3). Certains profils peuvent être mis bout à bout pour former des profils sismiques régionaux orientés NW-SE d'environ 80 km de long (H84D-F11-DEM1-DEM2-84SW25-LRM34 et H84C-F2-84GL15-LRM30). Ces profils permettent, pour la première fois, de corréler les domaines terre-mer, la transition entre les deux domaines étant la zone littorale et le centre d'intérêt du projet DEM'EAUX Thau.

Les travaux d'interprétations sont quasiment terminés. Il reste encore à affiner certaines corrélations entre les profils issus de différentes campagnes d'acquisition.

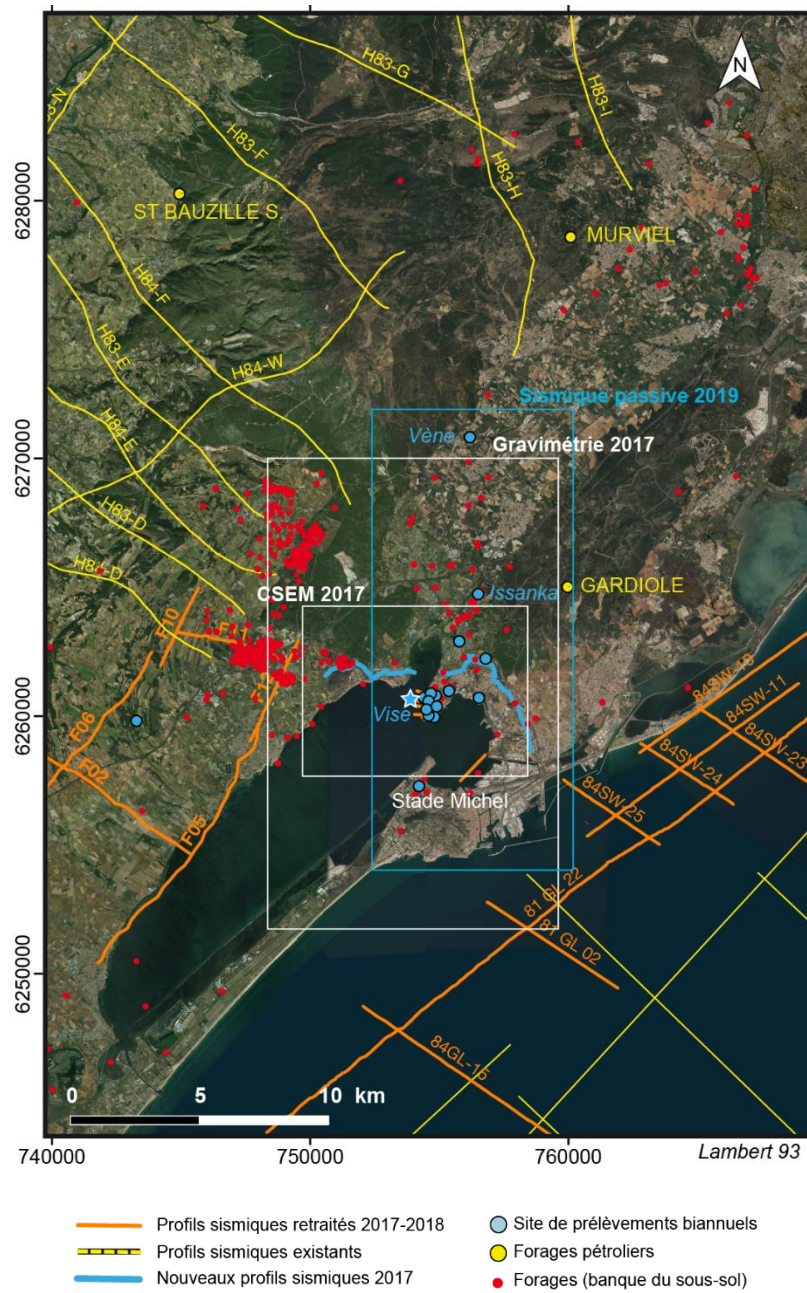


Illustration 3 : Compilation des données et valorisation des données anciennes et acquises grâce au projet : 360 forages, 155 km de profil.... Intégrées au modèle 3D

3.1.4. Coupes structurales : géométrie et chronologie relative des déformations

Les coupes structurales dessinées dans l'emprise du démonstrateur permettent de générer la version préliminaire du modèle géologique 3D. Ces coupes montrent principalement :

- la géométrie en palier/rampe du chevauchement de Montpellier orienté EW à ENE-WSW. La rampe utilise potentiellement d'anciennes failles (téthysiennes?). Ce chevauchement s'enracine dans le socle sous le Causse d'Aumelas ;
- le bassin d'avant-pays pyrénéen avec les séries du Paléocène et Eocène déformées ;
- les zones de Balaruc et de la Gardiole incluant le Mont Saint Clair (Sète) représentent un haut structural entre la faille de Nîmes et le Bassin de Gigan. Ce haut structural est marqué par une remontée significative du toit du socle en accord avec les données gravimétriques. Ce haut structural est bordé par des failles anciennes orientées NE-SW qui pré-structurent avant la phase de compression pyrénéenne ;
- la présence d'un chevauchement Pyrénéen entre Balaruc et le Mont Saint Clair est proposée ici. Cette structure correspond à la continuité vers l'Est d'un chevauchement bien documenté dans le forage profond de Valensac dans la vallée de l'Hérault. Ce chevauchement permet d'expliquer la remontée des séries jurassiques par rapport à celles présentes en bordure du Massif de la Gardiole.

Des coupes d'emprise régionale (de la Montagne Noire au Golfe du Lion, et du large d'Agde aux garrigues Gardoises) sont en cours de construction pour établir le cadre structural régional du démonstrateur. Elles incluent les nouveaux apports de ce projet et permettent de proposer de nouvelles coupes de la marge proximale du Golfe de Lion.

3.1.5. Modélisation géologique 3D : construction du modèle géologique du démonstrateur

La base des unités stratigraphiques est progressivement modélisée, depuis les unités les plus jeunes (Plio-Quaternaire) jusqu'aux unités les plus anciennes (Trias). Les failles déplaçant une certaine unité lui seront attribuées dans un tableau d'attribution Failles/Séries. Les relations entre les failles en surface et en profondeur sont gérées dans un autre tableau. La géométrie finie ou infinie des surfaces de failles est définie au cours de la modélisation.

Des propriétés physiques telles que la densité ou la résistivité sont attribuées à chacune des unités stratigraphiques. A partir des valeurs de densité, on peut tester l'effet gravimétrique du modèle dans les coupes modélisées. Le modèle est considéré comme valide quand les variations de la réponse gravimétrique théorique du modèle sont en accord avec la réponse gravimétrique mesurée.

Les corrections de modèle en fonction des simulations gravimétriques sont en cours d'exécution. La modélisation itérative se poursuivra jusqu'à la livraison du modèle final aux hydrogéologues au début 2020, qui commenceront alors la modélisation hydrogéologique 3D.

L'interprétation plus approfondie des résultats en gravimétrie et en électromagnétisme (CSEM) se poursuit avec les géophysiciens du BRGM. Une grille de résistivité a été générée à partir d'une partie du modèle 3D préliminaire (zone de Balaruc uniquement). Cette grille permettra aux géophysiciens de soustraire la réponse de résistivité théorique du modèle aux anomalies mesurées. La réponse résiduelle permettra peut-être de mettre en évidence des anomalies de résistivité liées à des objets non représentées dans le modèle comme la

circulation de fluides minéralisés ou la présence de lithologies conductrices (argiles) au sein du réservoir carbonaté.

3.2. ATELIER GEOCHIMIE

Le Laboratoire Hydrosociences Montpellier est en charge du volet « Géochimie » du projet DEM'EAUX Thau. L'objectif est de collecter de nouvelles données géochimiques dans la zone d'étude pour mieux comprendre l'origine, l'âge des différentes masses d'eau ainsi que les interactions entre les eaux thermales, les eaux karstiques et les eaux de l'étang. Ces données seront indispensables pour la réalisation du modèle hydrogéologique.

3.2.1. Analyses des échantillons prélevés en septembre 2012 après l'inversac de Juin à Décembre 2010

Les différentes analyses prévues des dix échantillons prélevés par le BRGM en septembre 2012 (CGE Tennis, P4 La Balme, F4 Hôtel, F3, F5, F6, F8, F9, F14 et S12) ont été réalisées (Illustration 4).

campagne	site	Anions	Cations	Traces	TAC	REE	² H	¹⁸ O	$\delta^{11}\text{B}$	$\delta^7\text{Li}$	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	³ H
Sept. 2012	P4 La Balme											
Sept. 2012	CGE Tennis											
Sept. 2012	F4 hôtel											
Sept. 2012	F3											
Sept. 2012	S12											
Sept. 2012	F5											
Sept. 2012	F6											
Sept. 2012	F8											
Sept. 2012	F9											
Sept. 2012	F14											

légende

analysé, rapport reçu
en attente d'analyse (ou rapport non reçu)

Illustration 4 : Analyses chimiques série échantillons septembre 2012

Les analyses des éléments majeurs et en trace ont été réalisées et les rapports d'analyse reçus. Pour cette série, datant de 2012, seuls quatre échantillons, comme test, ont été analysés pour la détermination du tritium, la relativement courte demi-vie de 3H pouvant biaiser les résultats des échantillons anciens les plus appauvris. L'ensemble des rapports isotopiques du strontium a été déterminé par le SARM (Service d'Analyse des Roches et des Minéraux du CNRS) de Nancy. L'analyse du rapport isotopique du lithium (d7Li) a été réalisée par ALS (Suède) pour les dix échantillons. La séparation du Bore sur résine a été mise au point par Hikma Kassime durant son stage de M2. Le rapport isotopique du Bore (d11B) a été déterminé pour l'ensemble des échantillons mais les résultats pour les eaux karstiques doivent être rapidement confirmés.

Une première interprétation des résultats montre qu'en 2012, les concentrations en chlorures et sodium ont nettement diminué par rapport à la situation d'inversac de 2010 pour les forages F5, F6, F9 et la source Cauvy. Les eaux de ces ouvrages ont retrouvé des teneurs proches de celles de la situation de référence (1996-2000), comme l'indique la figure 5 pour les concentrations en chlorures.

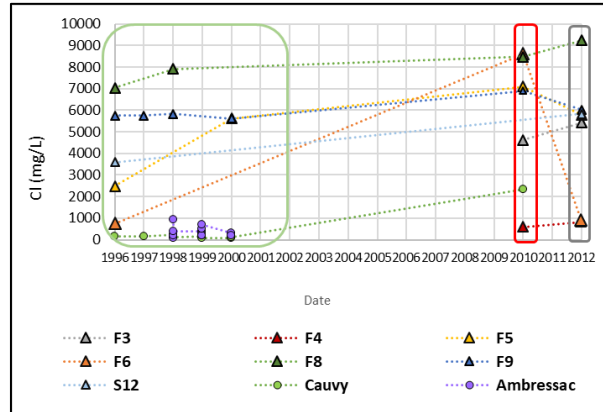


Illustration 5 : Evolution temporelle des chlorures de 1996-2000 (fonctionnement « normal », cadre vert), oct. 2010 (inversac, cadre rouge) et en 2012 (cadre gris).

En revanche, les teneurs en chlorures des forages F8 et F3 ont augmenté entre 2010 et 2012, ce qui suggère que ces forages ne sont pas influencés par l'intrusion d'eau marine par l'intermédiaire de la source de la Vise. En ce qui concerne le forage F8, cette observation est cohérente avec les précédentes observations indiquant que le forage F8 se trouve dans un compartiment aquifère hydrauliquement isolé du reste de la presqu'île de Balaruc.

Les profils des terres rares pour les forages thermaux (S12, F8, F9, F5) et karstiques (P4 La Balme, CGE Tennis) pour les années 2011-2012 (après le dernier inversac de 2010) montrent globalement que les teneurs des forages thermaux sont plus faibles en 2011-2012 qu'en 1998, année de référence (contexte « normal », hors inversac). Les profils de la situation post-inversac sont dans une position intermédiaire entre le profil de l'eau de mer et celui de 1998. Ce résultat indique que les eaux des forages thermaux sont encore influencées par l'intrusion d'eau marine près de 20 mois après la fin de l'inversac. Les profils 2011-2012 des forages thermaux sont également proches de ceux des eaux karstiques (CGE Tennis, P4 La Balme). Cependant, l'analyse des ions majeurs écarte la possibilité d'une influence karstique au profit de l'influence marine.

3.2.2. Prélèvements et analyses d'eau souterraine

Dans le cadre du projet DEM'EAUX Thau, des investigations géochimiques et isotopiques systématiques ont été menées régulièrement à l'échelle régionale en contexte de hautes eaux et de basses eaux durant 2 ans (2018-2019). Les forages et les sources échantillonnés sont considérés comme les points les plus représentatifs de l'hydrosystème (Illustration 6). Une convention de collaboration a été signée avec la ville de Balaruc-les-Bains pour l'accès régulier aux forages thermaux et une convention de collaboration avec la société Président Electronics pour un accès régulier à la source d'Ambressac.

Ainsi, quatre campagnes de terrain (sur 17 points environ) ont été organisées en Mars et Août 2018, puis en Mai et Décembre 2019.

De plus, depuis Décembre 2019, et pendant un an, des prélèvements mensuels sur 6 points (à partir de pendant 1 an) : forages F5, F6 et S12 école, sources Ambressac, Cauvy et Vise, sont réalisés.

Des prélèvements supplémentaires en cas de crues ou d'inversac sont également prévus en cours de projet si nécessaire.

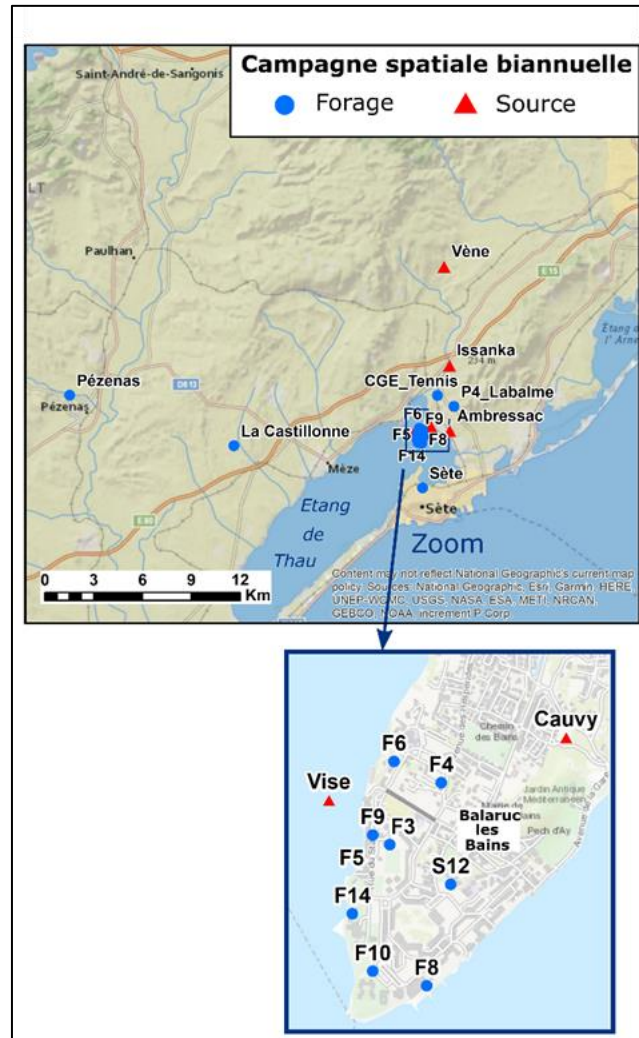


Illustration 6 : Localisation des points de prélèvement sur le secteur étudié avec un focus sur la presqu'île de Thau

Réalisation de la première campagne d'échantillonnage (Mars 2018, HE)

Après le suivi géochimique de l'essai par pompage sur le forage du stade Michel à Sète, du 26 au 28 février 2018, la première campagne régionale d'échantillonnage a été réalisée du 26 au 30 mars 2018 par HSM. Des prélèvements d'eau souterraine ont été réalisés sur 17 points (13 forages et 4 sources) dans toute la région d'étude (Illustration 6). Les échantillons d'eau ont été collectés dans un contexte hydrologique de « hautes eaux ».

Les analyses chimiques et isotopiques réalisées sont présentées dans le tableau 3. Les résultats disponibles ont été intégrés à la base de données géochimiques du projet.

Réalisation de la seconde campagne d'échantillonnage (Août 2018, BE)

Une campagne régionale d'échantillonnage a été réalisée du 28 août au 4 septembre 2018. Des échantillons d'eau ont été prélevés dans toute la zone d'étude sur les forages thermaux, les forages et les sources karstiques pérennes, soit un total de 17 points de prélèvement (Illustration 7).



Illustration 7 : Matériel de prélèvement

Cette campagne estivale s'inscrit dans un contexte de basses eaux (les niveaux d'eau dans l'aquifère karstique sont bas) qui contraste avec le contexte de la première campagne du mois de mars 2018 (hautes eaux). Les différentes analyses des prélèvements ont été effectuées ou sont encore en cours, comme indiqué dans l'illustration 8. Les résultats ont été ou seront intégrés à la base de données géochimiques générale.

campagne	site de prélèvement	Anions	Catons	Traces	TAC	Bactério	REE	² H	¹⁸ O	COT	MON-fluo3D	δ ¹¹ B	δ ⁷ Li	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Radon	CFC/SF6	Gaz nobles	³ H	³⁶ Cl	C14	microbio	
HE fev 18	Fstade_Michel_LD1h																					
HE fev 18	Fstade_Michel_LD4h																					
HE fev 18	Fstade_Michel_LD24h																					
HE fev 18	Fstade_Michel_LD48h																					
HE mars 18	Pézenas																					
HE mars 18	F8																					
HE mars 18	F9																					
HE mars 18	F5																					
HE mars 18	F14																					
HE mars 18	F6																					
HE mars 18	F10																					
HE mars 18	F3																					
HE mars 18	P4 la Balme																					
HE mars 18	Issanka deversoir																					
HE mars 18	Vène																					
HE mars 18	CGE Tennis																					
HE mars 18	Ambressac																					
HE mars 18	S12 Ecole																					
HE mars 18	Cauvy																					
HE mars 18	Rouvierette																					
HE mars 18	F4 hotel																					
campagne	site de prélèvement	Anions	Catons	Traces	TAC	Bactério	REE	² H	¹⁸ O	COT	MON-fluo3D	δ ¹¹ B	δ ⁷ Li	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Radon	CFC/SF6	Gaz nobles	³ H	³⁶ Cl	C14	microbio	
BE aout 18	Pézenas																					
BE aout 18	F5																					
BE aout 18	F6																					
BE aout 18	F3																					
BE aout 18	F10																					
BE aout 18	F8																					
BE aout 18	F9																					
BE aout 18	F14																					
BE aout 18	CGE Tennis																					
BE aout 18	P4 La Balme																					
BE aout 18	F4 hotel																					
BE aout 18	Issanka deversoir																					
BE aout 18	Ambressac																					
BE aout 18	S12 ecole																					
BE aout 18	Cauvy																					
BE aout 18	Stade Michel 29 aout																					
BE aout 18	Stade Michel 4 sept																					

légende

- analysé, rapport reçu
- en attente d'analyse (ou rapport non reçu)
- pas de prélèvement fait

Illustration 8 : Etat d'avancement des résultats d'analyse pour les campagnes spatiales de Mars et Août 2018

Réalisation de la troisième campagne d'échantillonnage (Mai 2019, BE)

Une campagne régionale de prélèvements a été réalisée du 21 au 23 Mai 2019, en contexte de très basses eaux. Quinze points (forages thermaux, forages et sources karstiques pérennes) ont été échantillonnés (Illustration 9). Les prélèvements au niveau des forages Frescaly et F5 autoroute, initialement prévus, n'ont pu être effectués, faute d'accès possible (F5 Autoroute) ou défaillance de la pompe (Frescaly).

campagne	site	Anions	Cations	Traces	TAC	Bactério	REE	² H	¹⁸ O	COT	MON-fluo3D	δ ¹¹ B	δ ⁷ Li	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Radon	CFC/SF6	Gaz nobles	³ H	³⁶ Cl	C14	microbio
BE mai 2019	Pézenas																				
BE mai 2019	F5																				
BE mai 2019	F6																				
BE mai 2019	F3																				
BE mai 2019	F10																				
BE mai 2019	F8																				
BE mai 2019	F9																				
BE mai 2019	F14																				
BE mai 2019	CGE Tennis																				
BE mai 2019	P4 La Balme																				
BE mai 2019	F4 hotel																				
BE mai 2019	Issanka deversoir																				
BE mai 2019	Ambressac																				
BE mai 2019	S12 ecole																				
BE mai 2019	Cauvy																				

légende	 analysé, rapport reçu
	 en attente d'analyse (ou rapport non reçu)
	 pas de prélèvement fait

Illustration 9 : Etat d'avancement des résultats d'analyse pour la campagne spatiale de Mai 2019

Les analyses des éléments majeurs et en trace, microbiologiques et du radon ont été réalisées et les rapports d'analyse reçus. Concernant les isotopes, la détermination du tritium (Lab. d'Hydrogéologie de l'UAPV), du Chlore 36 (ASTER, CEREGE) et de d⁷Li (ALS, Suède) ainsi que celle des isotopes stables de la molécule d'eau (LAMA) a été réalisée pour la campagne de Mars 2018 (rapports d'analyse reçus). La préparation des cibles pour la mesure du Chlore-36 a été réalisée à HSM. Les isotopes stables ont été aussi analysés pour la campagne d'Août 2018. La détermination de d¹¹B pour l'ensemble des trois campagnes sera réalisée d'ici la fin du mois de Juillet. Par contre, les rapports isotopiques du strontium pour les trois campagnes restent à déterminer, le délai de 6 mois proposé par le SARM étant prohibitif, une solution de remplacement est à l'étude après vérification des reliquats du budget « Analyses ».

3.3. ATELIER HYDROGEOLOGIE

Le BRGM est en charge du volet « Hydrogéologie » du projet DEM'EAUX Thau. Le Laboratoire Hydrosociences Montpellier apporte son appui sur le volet traçages.

3.3.1. Traçages

Des traçages successifs sont réalisés depuis 2018 depuis le fond du puits de la source de la Vène (Illustration 10) afin de :

- renouveler l'expérience pour différentes conditions hydrologiques pour tenter de mettre en évidence la variabilité de cette contribution ;
- rechercher si une partie des eaux tracées s'écoule en aval d'Issanka en analysant la masse de traceur restituée.

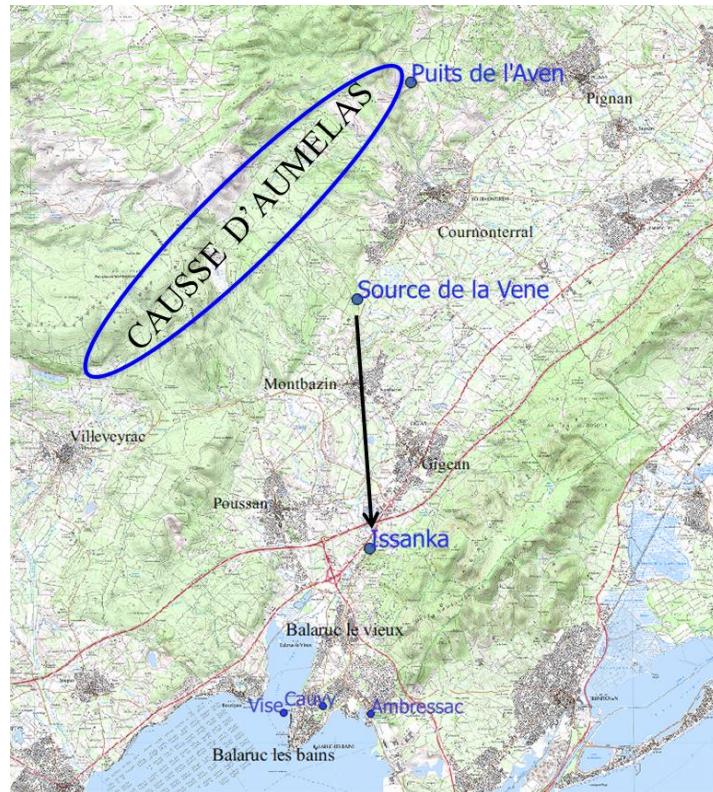


Illustration 10 : Carte de localisation des traçages réalisés entre 2018 et 2019

Les résultats de ces traçages sont en cours d'interprétation. On peut déjà constater une grande disparité dans les taux de restitution (35 à 62 %) pour les différents traçages, taux qui restent assez faibles, et actuellement difficilement corrélables avec les conditions hydrologiques.

La forme des DTS montre une asymétrie plus importante en hautes eaux, alors que les courbes de basses eaux se rapprochent d'un modèle simple d'advection-dispersion 1D. Cela pourrait démontrer une influence de l'organisation ou de la dynamique du drainage (infiltration retardée ?) en hautes eaux.

Des traçages complémentaires sont planifiés en 2020.

3.3.2. Valorisation des évolutions piézométriques mesurées au cours des phénomènes d'inversacs (1993 ; 2008 ; 2010 et 2014)

Ces résultats ont été explicités dans le rapport BRGM RP-68483-FR, livrable L1.

3.3.3. Hydrodynamique

Ces résultats ont été explicités dans le rapport BRGM RP-68483-FR, livrable L1.

3.3.4. Application des approches de modélisation par modèle réservoir

L'acquisition de nouvelles données (niveau, conductivité, température) en continu grâce au réseau du SMBT, à l'équipement de la source de la Vise et aux acteurs locaux, permet de

conduire des premiers tests de modélisation globale à l'aide du logiciel GARDENIA¹ (©BRGM). Il a été mis en œuvre notamment pour décrire le fonctionnement de l'entité karstique Vène-Issanka-Vise afin d'estimer les flux profonds qui alimentent la presqu'île de Balaruc-les-Bains.

Ces approches de modélisation globale permettront de réaliser des premiers bilans hydrologiques.

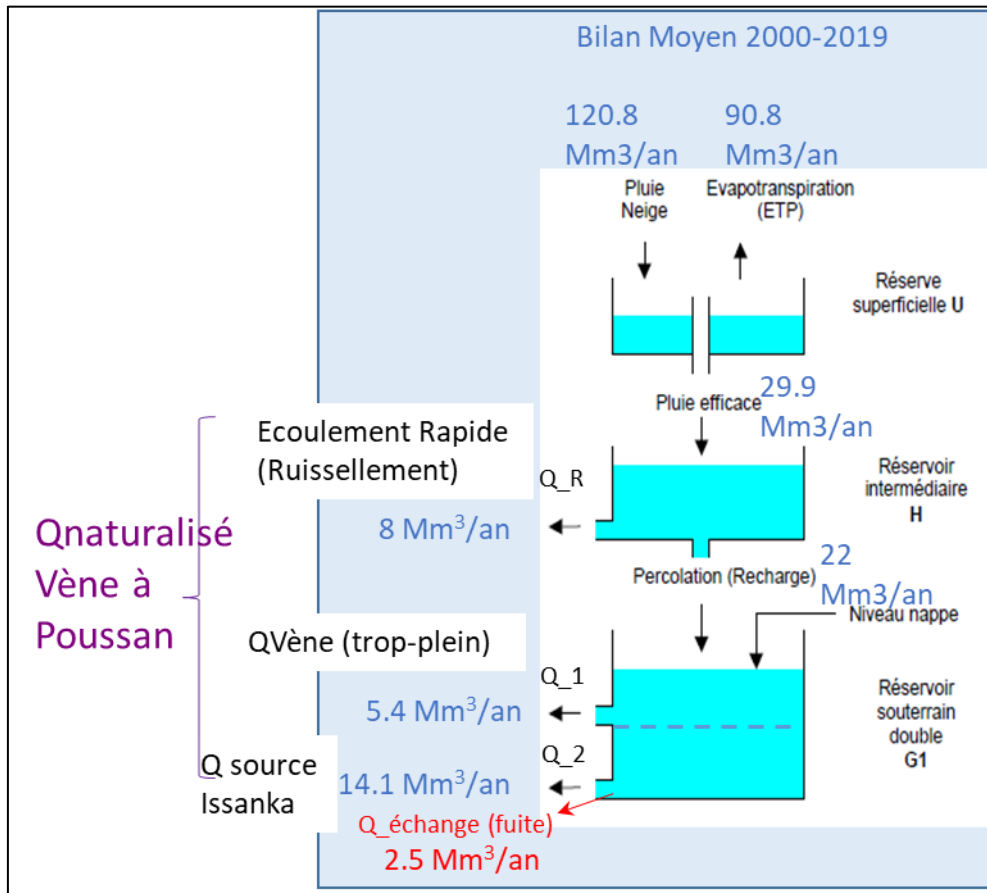
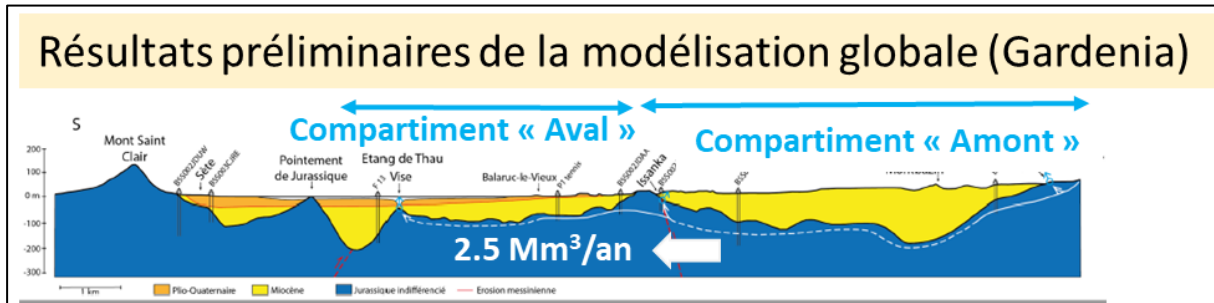


Illustration 11 : Premiers résultats de la modélisation globale en 2019

¹ Dans sa mise en œuvre la plus simple, GARDENIA simule le cycle de l'eau par un système de 3 réservoirs en cascade qui représentent successivement : les premières dizaines de centimètres du sol (siège des phénomènes d'évapotranspiration) ; une zone intermédiaire générant de l'écoulement rapide ; et une zone aquifère générant de l'écoulement souterrain lent et retardé.

3.4. TACHE CONCENTRATEUR

3.4.1. Concentration et bancarisation des données de mesure

Cette tâche nécessitant que chaque partenaire définisse précisément le type de données qu'il compte ou est en train d'acquérir et l'usage qu'il compte en faire, la mise en place de l'architecture de concentration et bancarisation par SYNAPSE est toujours en cours. Un certain nombre de données sont d'ores et déjà bancarisées et commencent à être mises à disposition sur des plateformes provisoires de valorisation. L'acquisition de tout le matériel informatique (serveurs et équipements de stockage, formule d'hébergement) est achevée et des échanges bilatéraux avec les producteurs de données d'une part et les utilisateurs potentiels au sein du projet (syndicat mixte compris) sont en cours. Une réunion de présentation dédiée à cette tâche sera proposée en 2020.

3.4.2. Valorisation des données à travers des outils métier et des modèles

Une première version de la plateforme de valorisation a été partagée avec le Syndicat Mixte du Bassin de Thau et fait l'objet d'aller-retours visant à en améliorer les performances et l'intérêt (Illustration 12). Une fois le prototype validé par les partenaires du projet, celui-ci sera proposé à un auditoire plus large (courant 2020) pour permettre de recueillir les avis et tenter d'assurer la pérennité de son utilisation.

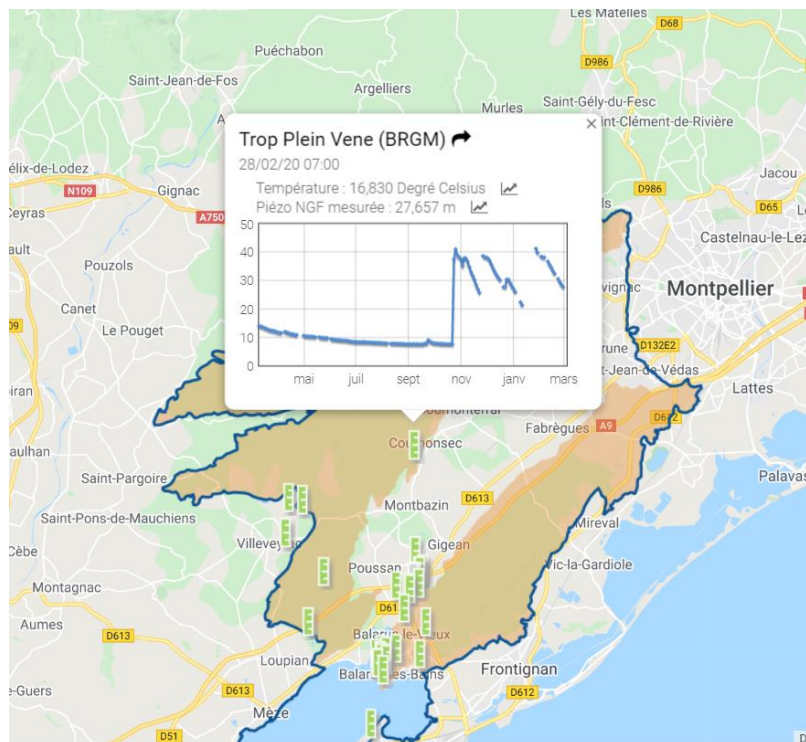


Illustration 12 : Visualisation du prototype de la plateforme de valorisation des données du projet et qui permettra de communiquer sur les résultats du projet.

3.5. COMMUNICATIONS ET VALORISATIONS

Présentations à congrès/ colloques :

Hemelsdaël, R., M. Séranne, C. Lamotte, A. Bitri, F. Bretaudeau, S. Caritg-Monnot, N. Coppo, G. Courrioux, M. Darnet, E. Husson, T. Jacob, B. Ladouche and E. L. Goff (2018). Construction d'un modèle géologique des réservoirs karstiques profonds du Bassin de Thau (sud de la France) : un outil innovant pour la gestion de la ressource en eau. . RST 2018, Lille, SGF.

Pétre, M-A., Lefebvre, R., Rivera, A., Ladouche, B., Lamotte, C., Batiot-Guilhe, C., de Montety V., Seidel, J.L., Hemelsdael, R., Séranne, M. (2018). Multidisciplinary approach for the characterisation of regional aquifers and the sustainable management of groundwater resources: case studies of the Milk River Aquifer (Canada-USA) and the Thau karstic aquifer (France). EuroKarst Conference, 2-6 Juillet 2018, Besançon, France

Pétre, M.A., De Montety V., Guilhe-Batiot, C., Ladouche, B., Seidel, J.L. (2018). Hydrochemical characterization of a complex Mediterranean karstic system (Thau lagoon area, Montpellier, France) for the regional management of the groundwater resources. EuroKarst Conference, 2-6 Juillet 2018, Besançon, France.

Pétre, M.A., Ladouche B., de Montety V., Batiot-Guilhe C., Lamotte C., Seidel J.L. (2019). Hydraulic and geochemical impact of occasional saltwater intrusions through a submarine spring in a karstic and thermal aquifer (Thau lagoon area, Montpellier). AIH congress, 22-27 Sept. 2019, Malaga, Spain.

Publications :

Pétre M.A., Ladouche B., Seidel J.L., Hemelsdaël R., de Montety V., Batiot-Guilhe C., Lamotte C. Hydraulic and geochemical impact of occasional saltwater intrusions through a submarine spring in a karstic and thermal aquifer (Thau lagoon area, Montpellier, France), Hydrology and Earth System Sciences, soumission fin Janvier 2020.

Structural style of the Languedoc Pyrenean thrust belt in relation with the polyphased history of the western Gulf of Lion margin, SE France. Liste provisoire des auteurs: Hemelsdaël Romain; Séranne Michel; Jacob Thomas; Husson Eglantine; Courrioux Gabriel; Ballas Grégory, Earth Sciences Bulletin (anciennement Bulletin de la Société géologique de France), Soumission prévue pour le mois de mars 2020.

Communications grand public :

« DEM'EAUX Thau, qu'es aco », Geo-Info newsletter bi-mestriel de Géosciences Montpellier <http://www.gm.univ-montp2.fr/spip.php?article2870>

Réunion de présentation de l'étude DEM'Eaux Thau à Balaruc-les-Bains (Illustration 13)

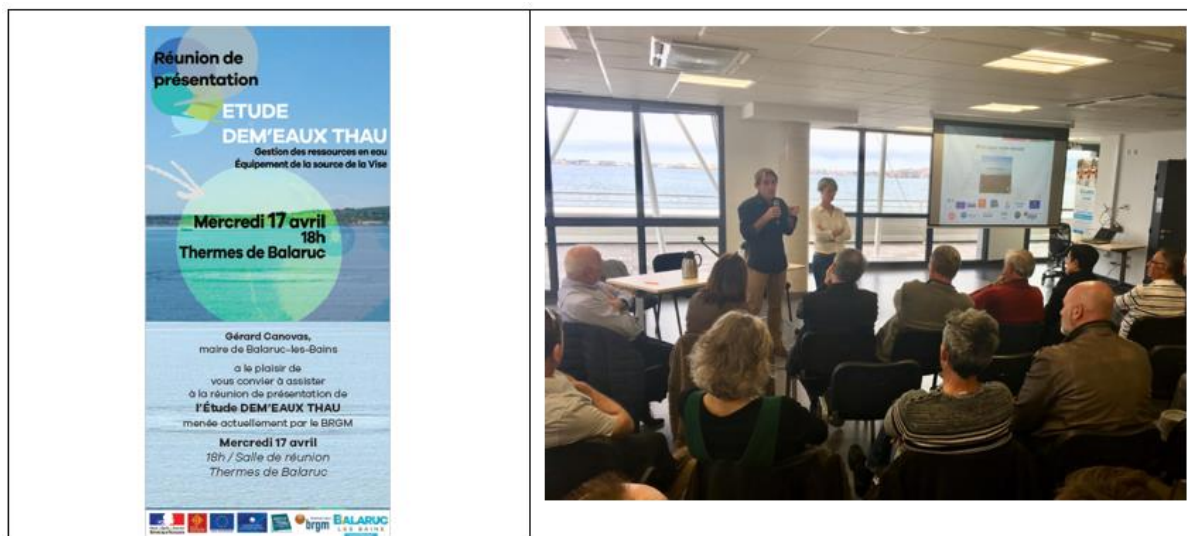


Illustration 13 : Invitation par la mairie de Balaruc-les-Bains de la population et des curistes

Newsletter n°1, Juin 2018 (annexe 1)

Newsletter n°2, Décembre 2018 (annexe 1)

Newsletter n°3, Novembre 2019 (annexe 1)

4. Mise à jour du calendrier de réalisation de projet

Le calendrier du projet DEM'Eaux Thau revu a été présenté au Comité de pilotage du 10 Janvier 2020 (Illustration 15). Les livrables correspondants sont résumés dans le tableau suivant (Illustration 14) :

Tâche	Livrables	Date de réalisation	Responsable	Réalisé
L.1.	Rapport de synthèse des données existantes	janv-19	BRGM	RP-68483-FR
L.2.	Rapport géomorphologie	janv-20	GM	
L.3.	Rapport des missions géophysiques	janv-19	BRGM	RP-68318-FR
L.4.	Modélisation géologique 3D	mars-20	GM	
L.5.	Rapport analyses géochimiques	déc-20	HSM	
L.6.	Rapport de suivi de forage de Sète	janv-19	BRGM	RP-68549-FR
L.7.	Rapport équipement de la Vise	mai-19	BRGM	RP-69163-FR
L.8.	Rapport d'interprétation des traçages	déc-20	HSM	
L.9. = L1	Rapport sur le modèle conceptuel et choix du site d'implantation du forage profond	déc-19	BRGM	
L.10.	Rapport sur les premières acquisitions géologiques, hydrogéologiques et géochimiques sur le forage profond	juin-21	BRGM	
L.11.	Rapport modèle hydrodynamique	juin-21	BRGM	
L.12a, b	Rapport d'avancement puis rapport définitif sur architecture concentrateur de données	Jan2020/2021	SYNAPSE	
L.13.	Rapport outil d'observation et de gestion DEMEAUX Thau	Dec-2021	SYNAPSE	
L.14.	Rapport de synthèse projet	Dec 2021	BRGM	
	Valorisation des données du réseau REAGIRE du SMT	Dec 2020	BRGM	

Illustration 14 : Livrables du projet DEM'Eaux Thau

La mise à jour principale réalisée sur ce calendrier par rapport à celui de l'an dernier consiste à prolonger la durée du projet jusqu'en juin 2022, à budget constant, pour intégrer les avancements relatifs de chaque tâche, et pour pouvoir exploiter les données du forage profond qui ne peut être réalisé pour diverses raisons qu'à partir d'octobre 2020 (illustration 15). Toutes les productions du projet (voir liste détaillée dans le Tableau 1) ont globalement été décalées d'un an, pour répercuter le retard pris dans la phase initiale du projet. Cette situation a été communiquée aux financeurs et partenaires du projet lors du dernier comité de suivi du projet. L'ensemble des financeurs seront donc contactés en 2020 pour solliciter l'établissement d'un avenant de délai aux différentes conventions encadrant le financement du projet.

Version du 10/01/2020		2019				2020				2021				2022	
postdoc GM															
post-doc HSM															
		Semestre 5		Semestre 6		Semestre 7		Semestre 8		Semestre 9		Semestre 10		Semestre 11	
GEOLOGIE	Reconnaissance et cartographie de paléosurfaces et des Fsup - Caractérisation des karsts	GM +prestataire			L2										
	Construction du modèle géologique 3D						L4								
HYDROGEOLOGIE	Mise en place du réseau de suivi des eaux souterraines														
	Interprétation des données du réseau REAGIRE à l'aide des techniques de traitement du signal (analyse corrélatoire/spectrale/ ondelettes, modèle de transfert)								BRGM						
	Traçages								L8						
GEOCHIMIE	Acquisition de nouvelles données (analyses)								L5 provisoire					L5	
Démonstrateur : FORAGE PROFOND	Réalisation du forage profond			BRGM + prestataire											
	Caractérisations, tests, monitoring, interprétation						HSM/GM/BRGM					L10			
Développement d'un outil d'aide à la gestion des ressources en souterraines sur le territoire	Construction modèle 3D des écoulements souterrains, du transport et des transferts thermiques et hydraulique						BRGM								L11
	Définition des scenarii de gestion						SMBT/BRGM								
	Révision du modèle conceptuel						HSM/GM/BRGM								L14
	Concentration, Bancarisation, Valorisation des données								L12			L13			

Illustration 15 : Calendrier de réalisation du projet Dem'Eaux Thou revu

5. Conclusion

Le présent rapport synthétise le travail réalisé dans le cadre du projet Dem'Eaux Thau en 2019.

En 2019, un travail important a été réalisé par l'atelier Géologie avec la réalisation du modèle 3D, qui sera pris en main dès 2020 par les hydrogéologues du BRGM pour la conception du modèle hydrogéologique 3D. L'installation sur mesure de la Vise a été réussie et des données en continu sont maintenant disponibles sur ce site.

Après une longue période d'installation d'équipement et d'acquisition de données (2018-2019), l'année 2020 sera consacrée à la poursuite de la réalisation de la plateforme d'observation (constituée par l'équipement de la source de la Vise, et les forages qui seront exécutés en 2020 sur le site des Hespérides à Balaruc-les-Bains). Pour compenser les retards de démarrage de certains partenaires, le calendrier de réalisation du projet a été mis à jour. Ce retard se traduira, comme annoncé dès le début du projet, par une demande de report de la date de fin du projet d'au moins un an, pour permettre la bonne réalisation de toutes les tâches prévues et surtout, l'intégration des résultats des différentes tâches pour proposer des solutions sur l'ensemble de la problématique du projet. Des demandes de prolongation officielles sont actuellement transmises aux financeurs dont le conventionnement le requiert, pour disposer du temps nécessaire à la finalisation des travaux. La présentation de l'avancement des travaux lors du 2^{ème} comité de suivi en février 2019 a été bien accueillie et apparaît répondre aux attentes des financeurs et des personnes suivant le projet

Annexe 1 Newsletters

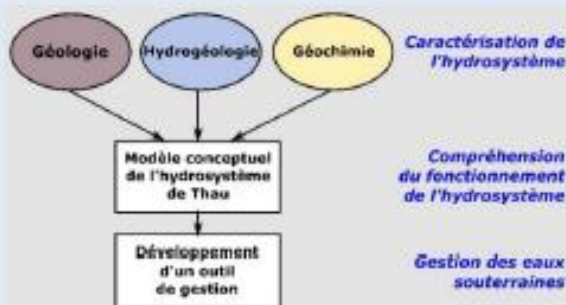


Un projet de recherche pluridisciplinaire dédié à l'eau souterraine

Les eaux souterraines dans la région de l'étang de Thau ont un intérêt majeur pour l'alimentation en eau potable et le développement économique du territoire (activité thermique, conchyliculture). Cette région est le lieu de convergence d'eaux souterraines de plusieurs réservoirs (karstique, thermal, origine marine) qui interagissent selon des processus encore mal connus. A plusieurs reprises (2008, 2010 et 2014 pour les phénomènes les plus récents), l'aquifère karstique de la presqu'île de Balaruc-les-Bains a subi un phénomène d'intrusion d'eau saumâtre ou marine au niveau de la source sous-marine de la Vise située dans l'étang de Thau.

Le projet de recherche Dem'Eaux Thau, lancé en juillet 2017, vise à caractériser les eaux souterraines du bassin de Thau afin de développer un outil de gestion à l'échelle régionale. Cette étude scientifique pluridisciplinaire implique de caractériser à la fois la géologie, l'hydrogéologie et la géochimie de cette nappe. Ces différents aspects sont ensuite couplés pour dresser un portrait complet (modèle conceptuel) du fonctionnement et de la dynamique de la nappe. Les résultats soutiendront le développement d'un outil d'aide à la gestion de la ressource en eau souterraine sur le territoire : d'où vient l'eau souterraine ? comment alimente-elle l'étang de Thau ? Peut-elle être exploitée et en quelle quantité ? Comment prévenir les inversacs de la Vise ?

Le BRGM est le pilote de ce projet de recherche qui se déroulera jusqu'en 2021. Les trois autres partenaires opérationnels du projet sont les laboratoires Géosciences Montpellier et Hydrosciences Montpellier et l'entreprise Synapse. Ce projet est financé par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, l'Etat et la Région (CPER), l'Europe (FEDER), Montpellier Méditerranée Métropole, la ville de Balaruc-les-Bains, le SMBT ainsi que les partenaires opérationnels.



Rappel des principales étapes du projet de recherche

Réalisation du forage d'observation du Stade Michel (Ville de Sète)

Un forage de reconnaissance (piézomètre) a été réalisé cet hiver (janvier 2018) par le BRGM.

Ce forage de 134 mètres de profondeur atteint les calcaires du Jurassique Supérieur où des eaux chaudes et minéralisées ont été rencontrées. Des essais de pompages ont été réalisés en février 2018. Les données issues de ces tests sont en cours de traitement afin de déterminer les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère sur ce secteur. Ce piézomètre sera équipé pour suivre en continu les variations du niveau, de la température et de la conductivité électrique de l'aquifère.



Réalisation du forage d'observation (Janvier 2018)

Prélèvements d'eau au forage du Stade Michel (Sète)

Suite à la réalisation du forage de reconnaissance de Sète, des échantillons d'eau ont été prélevés sur ce forage du 20 au 22 février 2018 au cours des essais de pompage.

Les analyses chimiques de cette eau devraient apporter de précieuses informations sur l'origine de l'eau thermale.



Prélèvement d'eau au forage de Sète

Pourquoi analyser les eaux souterraines ?

Les analyses chimiques permettent notamment de déterminer l'origine et l'âge des eaux souterraines ainsi que l'importance des mélanges d'eau entre les différents réservoirs.

Les prélèvements lors de périodes contrastées (hiver/été) permettront d'identifier les différents réservoirs de l'hydrosystème (karst, pôle thermal, eau marine) et leurs interactions.

Cette tâche est réalisée par les géochimistes des eaux du laboratoire HydroSciences Montpellier (HSM).

Réalisation de la première campagne d'échantillonnage

La première campagne régionale d'échantillonnage a été réalisée du 26 au 30 mars 2018 par HSM. Des prélèvements d'eau souterraine ont été réalisés sur 17 points (13 forages et 4 sources) dans toute la région d'étude.

Ces échantillons d'eau ont été collectés dans un contexte hydrologique de « hautes eaux » c'est-à-dire quand le niveau des nappes est haut.

Les prélèvements sont actuellement en cours d'analyse au laboratoire HydroSciences Montpellier ainsi que dans les laboratoires partenaires.

Nous remercions tous les propriétaires de forage et de source de nous avoir donné accès aux sites de prélèvements ainsi que nos partenaires sur le terrain pour leur disponibilité lors de la campagne. Merci à tous de votre collaboration !



Pompage au forage P4 La Balme



Matériel de terrain pour les prélèvements d'eau

Acquisition de données géophysiques

Plusieurs techniques géophysiques ont été mise en œuvre à l'automne 2017 par les géophysiciens du BRGM afin d'imager le sous-sol, les différentes couches géologiques et les failles jusqu'à plus de 1000 mètres de profondeur. Cette étape est indispensable pour caractériser la géométrie du réservoir karstique qui renferme les eaux souterraines et permettre la réalisation d'un modèle géologique 3D.



Camion vibreur qui génère des ondes dans le sous-sol

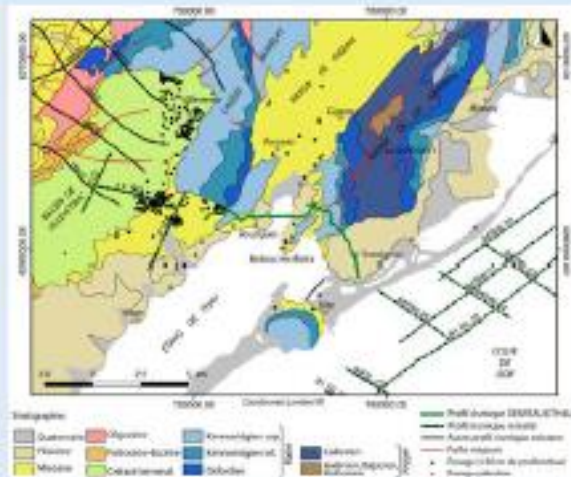
Ces nouvelles données géophysiques incluent : (1) une carte gravimétrique élaborée donnant une image des structures profondes, (2) une acquisition électromagnétique (CSEM) afin d'obtenir une image de la distribution des résistivités et du magnétisme des formations géologiques, (3) deux profils de sismique réflexion (longueur totale de 11 km), ainsi que (4) le retraitement d'anciennes lignes sismiques acquises dans les années 60 (plus d'une centaine de km). Les résultats issus de ces acquisitions sont en cours de traitement et seront intégrés dans le modèle géologique.

Modélisation géologique 3D

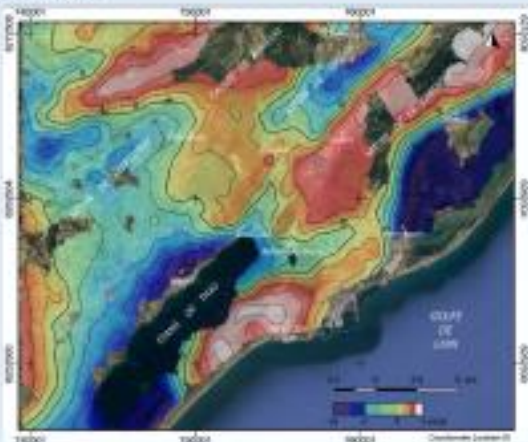
Le modèle géologique tridimensionnel de la presqu'île de Balaruc permettra de caractériser la géométrie des réservoirs karstiques profonds. Cette tâche est réalisée par le laboratoire Géosciences Montpellier. Les enjeux scientifiques sont multiples, notamment la détermination du rôle des failles en terme de circulation des eaux souterraines. Ce modèle couvrant une superficie de 900 km² sera construit avec le logiciel « GeoModeller » développé par le BRGM.

Afin de construire le modèle géologique 3D, il est nécessaire d'intégrer des coupes géologiques qui seront réalisées grâce à la compilation des données existantes : forages, profils sismiques et autres acquisitions géophysiques (voir carte ci-contre).

La carte gravimétrique préliminaire (voir ci-contre) donne une image des structures profondes. Ces nouvelles données aideront à la construction du modèle géologique 3D. Ce dernier sera ensuite testé par la réalisation d'un forage profond de 1000 m de profondeur (prévu en 2019) qui sera équipé d'outils de mesure et de suivi des différents réservoirs superposés, constituant ainsi une remarquable plateforme expérimentale de la ressource en eau.



Carte géologique simplifiée du secteur de Balaruc-les-Bains. La trace du profil sismique au nord de Bouzigues, Balaruc-les-Bains, et passant par Frontignan a été acquise à l'automne 2017.



Carte gravimétrique de la région d'étude. Les résultats sont issus de la campagne gravimétrique mise en œuvre par le BRGM (automne 2017) et inclut 398 nouvelles stations dans un rayon de 2 km autour de Balaruc-les-Bains.

Mise en place du réseau d'observation des eaux souterraines du Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT)

Le Syndicat Mixte du Bassin de Thau, conformément à ses statuts et ses missions d'Etablissement Public Territorial de Bassin (EPTB) a engagé l'installation d'un **réseau de suivi des eaux souterraines du pli-ouest de Montpellier**. L'objet de ces équipements installés de manière pérenne, sous maîtrise d'ouvrage SMBT, sur des forages principalement non exploités, est de contribuer à la connaissance globale du karst jurassique. Ces points de suivi en continu de la piézométrie, de la température et de la conductivité, peuvent, dans certains cas, également comporter des mesures de débits (sources, forages artésiens). Les équipements sont installés en synergie avec ceux déjà existants et gérés par le BRGM, les exploitants ou les propriétaires publics ou privés, ... L'objectif de ce réseau est d'obtenir une couverture satisfaisante de l'ensemble du territoire afin de :

- Contribuer à la connaissance globale du karst dans la cadre du programme DEM'EAUX Thau
 - Constituer un réseau d'indicateur permettant une gestion patrimoniale de la ressource souterraine
- Chaque site fait l'objet d'une convention entre le propriétaire des installations et le SMBT. Ces conventions sont adaptées à chacun des cas : le propriétaire assure lui-même l'enregistrement des informations nécessaires et il partage cette information avec le SMBT dans le cadre du programme DEM'EAUX, ou le propriétaire du site (forage, source) n'assure pas le suivi et le SMBT installe ses équipements. A court terme, toutes les données produites par ce réseau multi-partenarial seront concentrées au sein d'un même serveur consultable par toutes les parties impliquées dans la connaissance et la gestion de la ressource.

La vocation du SMBT n'est pas de substituer aux obligations d'autocontrôle des exploitants présents sur le secteur mais bien d'assurer un **déploiement le plus satisfaisant de stations d'enregistrement en continu permettant une connaissance la plus précise des eaux souterraines**. A cet effet et si nécessaire, le SMBT pourra étendre ce réseau sur des zones peu ou pas suivies dans les prochaines années. **Quatre sites ont été équipés cette année et devraient être complétés par cinq autres dans les prochains mois amenant, à terme, le nombre total de site observés à une trentaine.**

L'acquisition et les installations du matériel réalisées par le SMBT font l'objet de subventions attribuées par le Conseil Régional Occitanie et l'Agence de l'Eau.



Équipement au forage S12 (école de Balaruc)

Opérations de traçages hydrogéologiques

L'objectif des opérations de traçages est de **définir l'origine et les modalités de transfert des écoulements souterrains** qui atteignent rapidement les exutoires froids et hydrothermaux du système de Thau. Un traçage consiste à introduire dans le milieu un traceur artificiel et à quantifier sa restitution en fonction du temps. Les traceurs utilisés sont l'uranine et la sulforhodamine, traceurs fluorescents dont l'innocuité pour les organismes vivants est reconnue. Le suivi de la restitution utilise des fluorimètres ou des préleveurs automatiques d'échantillons d'eau placés aux exutoires durant plusieurs semaines. **Des traçages seront réalisés dès ce 3^{ème} trimestre depuis des forages, soit au Nord Est de Balaruc-le-Vieux avec un suivi au niveau des sources de la presqu'île de Balaruc, soit depuis le secteur Aumelas (puits de l'Aven et source de la Vène par exemple) en direction des sources d'Issanka, voire de points plus à l'aval comme la source de la Vise.** Les manipulations seront réalisées par des chercheurs du laboratoire HSM et du BRGM.



Fluorimètre de terrain

Projet DEM'EAUX THAU

Newsletter n°2

Le Projet de recherche DEM'Eaux Thau entame sa 2ème année. De nombreuses acquisitions de données ont été réalisées sur 2017/2018. En cours d'exploitation, elles vont permettre de construire un modèle géologique 3D en 2019.

Équipement de la source de la Vise début 2019

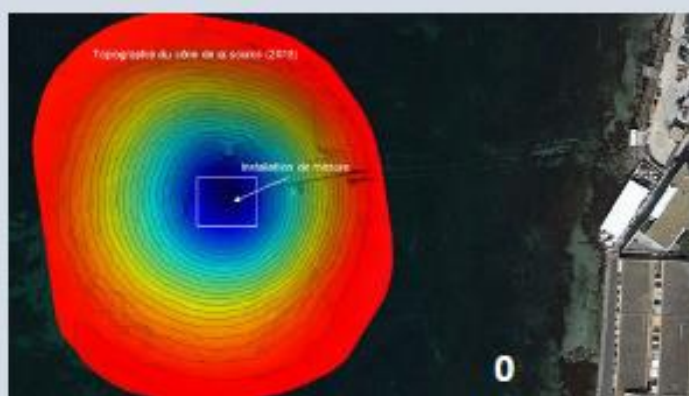
La source sous-marine de la Vise située dans l'étang de Thau va être équipée d'instruments de mesure. L'objectif est de mesurer le débit de la source, sa température, ainsi que d'autres paramètres décrivant la qualité de l'eau.

Cet équipement, comme celui de nombreux forages et sources du secteur de Thau (notamment source Cauvy et Ambressac à Balaruc-les-Bains), est essentiel pour répondre aux enjeux du projet de recherche Dem'Eaux Thau. En effet, l'élaboration du modèle hydrogéologique doit s'appuyer sur des données fiables concernant les eaux souterraines (pression, température, conductivité électrique...). L'objectif est notamment de répondre aux questions suivantes : d'où vient l'eau souterraine ? comment à quel débit alimente-elle l'étang de Thau ? Peut-elle être exploitée et en quelle quantité ? Comment prévenir les inversacs de la Vise ?

Une topographie du cône de la Vise (0) a été réalisée en 2018 pour pouvoir concevoir l'installation.

Un dispositif a été conçu sur mesure. Son installation va se dérouler de la manière suivante :

- 1) Installation du chantier, mobilisation de scaphandriers professionnels, d'une barge de travail équipée d'une grue auxiliaire;
- 2) Nettoyage des sédiments au fond du cône de la Vise, enlèvement de l'ancienne buse;
- 3) Descente du dispositif conçu pour le projet;
- 4) Mise en place des différents instruments (sondes, débitmètre, système pour échantillonner de l'eau de la source) par des plongeurs professionnels. Les câbles de liaison seront ensouillés et ramenés à terre.



Le chantier d'équipement de la source de la Vise est prévu entre Février et Mars 2019 et devrait durer environ 3 semaines. L'instrumentation au fond du gouffre restera en place pendant plusieurs années, le temps d'acquérir des données essentielles pour le projet. Les différents instruments de mesure seront vérifiés et entretenus tous les 6 mois par des plongeurs professionnels sur la durée du projet (2021).

Il est demandé à tous de respecter cet équipement qui n'entravera pas l'écoulement naturel de la source.

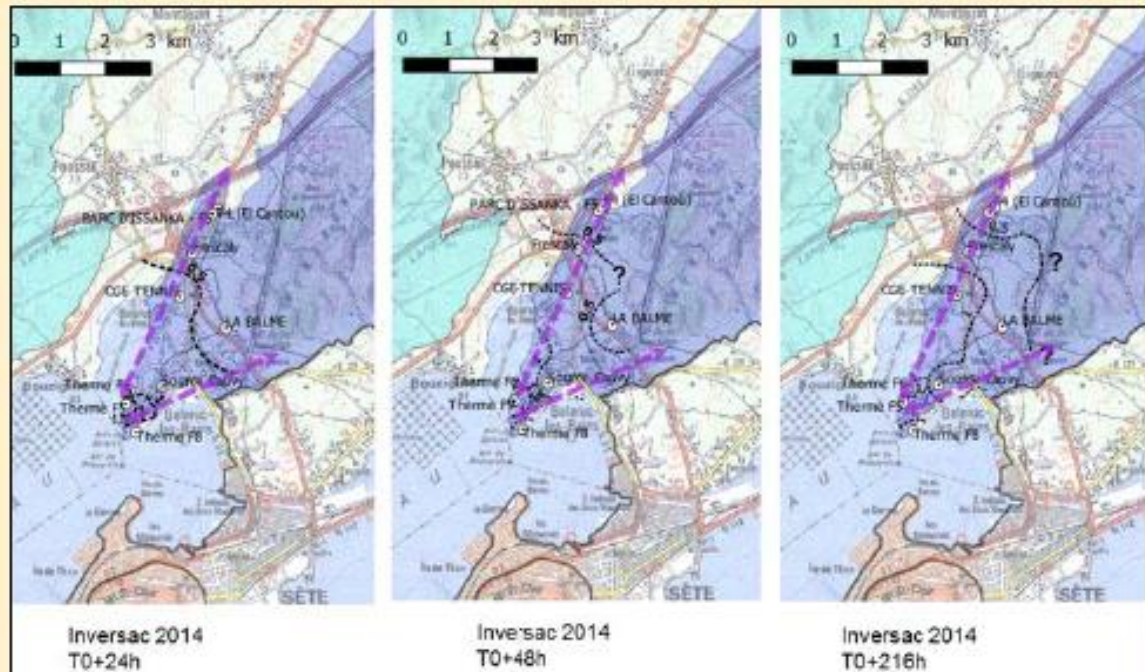
Une plaquette d'information sera réalisée et mise à disposition dans différents lieux autour de la lagune de Thau.

Atelier hydrogéologie: Comment se propage la perturbation causée par l'inversac à l'échelle de l'hydrosystème de Thau ?

Au cours des 50 dernières années, l'aquifère karstique et thermal de la presqu'île de Balaruc a subi 6 phénomènes d'intrusion d'eau saumâtre par l'intermédiaire de la source sous-marine de la Vise située dans l'étang de Thau. Lors de ce phénomène dit « d'inversac », l'écoulement de la source de la Vise dans l'étang s'inverse, et la Vise absorbe l'eau saumâtre de la lagune.

L'intrusion de l'eau saumâtre de l'étang de Thau dans l'aquifère provoque le déplacement des eaux qui s'écoulaient naturellement à la Vise avant le phénomène d'inversac, ce qui se traduit par une augmentation généralisée du niveau piézométrique au sein de la presqu'île de Balaruc.

L'examen détaillé de la dynamique de la perturbation induite par le phénomène d'inversac permet de qualifier les secteurs géographiques en connexion hydraulique avec la Vise et de mettre en évidence les axes préférentiels d'écoulement en examinant les vitesses de propagation de la perturbation piézométrique au sein de l'aquifère. Trois images correspondant à 3 temps différents sont représentées ci-dessous (T0+1j ; T0+2j et T0+9j). On montre que la perturbation piézométrique se propage très rapidement au sein de la presqu'île notamment suivant un axe préférentiel d'écoulement d'orientation NNE-SSO.



La perturbation se propage à plus de 3 km en 24h. En moins de 2 jours, les effets sur la piézométrie du champ captant d'Issanka sont également visibles (d'ampleur décimétrique), ce qui constitue un résultat majeur de ce début de projet qui démontre sans ambiguïté la connexion hydraulique entre la Vise et Issanka.

Un autre axe préférentiel d'écoulement semble également se manifester suivant un axe globalement Est-Ouest en direction de la source de Cauby et d'Ambressac.

DEM'EAUX THAU présenté lors de conférences scientifiques

Les résultats préliminaires des ateliers géologie et géochimie ont fait l'objet de deux communications scientifiques lors de la conférence Eurokarst en juillet 2018 (Besançon) et lors de la 26ème RST en octobre 2018 (Lille). Les titres respectifs des communications sont les suivants : « Hydrochemical characterization of a complex Mediterranean karstic system to improve the regional management of the groundwater resources (Thau lagoon area, Montpellier, France) » présenté par M.-A. Pétré (HydroSciences Montpellier) ainsi que « Construction d'un modèle géologique des réservoirs karstiques profonds du Bassin de Thau (sud de la France) : un outil innovant pour la gestion de la ressource en eau », présenté par R. Hemelsdaël (Géosciences Montpellier).

Réalisation de la 2^{ème} campagne d'échantillonnage

Une seconde campagne régionale d'échantillonnage a été réalisée du 28 août au 4 septembre 2018. Des échantillons d'eau ont été prélevés dans toute la zone d'étude sur des forages thermaux, des forages et des sources karstiques, soit un total de 17 points de prélèvement.

Cette campagne estivale s'inscrit dans un contexte de basses eaux (les niveaux d'eau dans l'aquifère karstique sont bas) qui contraste avec le contexte de la première campagne du mois de mars 2018 (hautes eaux). Les prélèvements sont en cours d'analyse au laboratoire HydroSciences Montpellier.

Nous remercions vivement les propriétaires des ouvrages de leur collaboration, qui a permis le bon déroulement de cette nouvelle campagne.



Prélèvement au forage
F4 hôtel à Balaruc-les-Bains



Matériel de prélèvement

Publication du rapport public de valorisation des données existantes

Un premier rapport de synthèse et de valorisation des données historiques sur l'hydrosystème de Thau est en cours de réalisation (BRGM RP-68483-FR). L'objectif de ce rapport est d'intégrer l'ensemble des données historiques géologiques, hydrogéologiques et géochimiques disponibles sur le bassin de Thau.

Il présente l'évolution de la compréhension du système depuis les années 1960 et constitue une véritable synthèse des connaissances historiques de l'hydrosystème. De plus, ce rapport met en évidence les questions scientifiques qui restent à résoudre dans le cadre du projet.

La rédaction de ce premier livrable est réalisée conjointement par les équipes du BRGM, d'HydroSciences Montpellier et de Géosciences Montpellier. Il sera disponible en ligne sur le site infoterre.brgm.fr

Opérations de traçages artificiels

Deux expériences de traçage artificiel ont été réalisées en Juillet et Septembre 2018 depuis le Causse d'Aumelas vers la source d'Issanka. L'objectif de ces traçages est de déterminer les modalités de transfert des écoulements souterrains sous le bassin de Montbazin-Gigean selon différentes conditions hydrologiques, et d'évaluer la part d'eau souterraine profonde qui s'écoule en aval d'Issanka.

Les premiers résultats de ces deux traçages réalisés en conditions de basses et très basses eaux indiquent que la vitesse de transfert du traceur est plus rapide en juillet. Les taux de restitution du traceur à la source d'Issanka sont en cours d'évaluation.



Courbes de débits massiques (juillet en rouge, septembre en vert) en fonction de la durée depuis l'injection



Atelier géologie : Focus sur la méthode de « sismique réflexion »

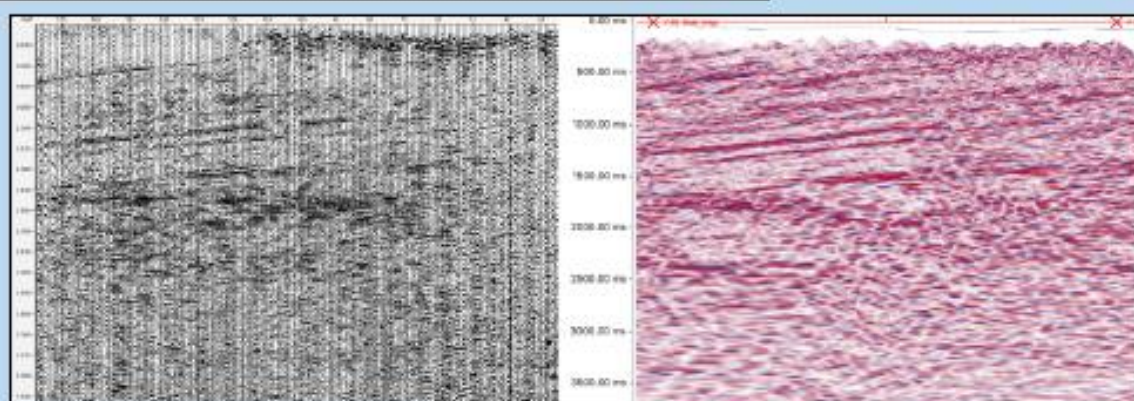
Les données du sous-sol sont indispensables à la construction en cours du modèle géologique 3D du Bassin de Thau. Plusieurs centaines de forages dans le secteur (forages pétroliers et banque du sous-sol du BRGM) sont utilisés pour identifier et délimiter les unités géologiques en profondeur. Une autre méthode, très populaire parmi les géologues pour imaginer les structures du sous-sol, est la « sismique réflexion ». On se déplace le long de profils de plusieurs kilomètres de long en envoyant des ondes dans le sous-sol (vibrations émises par des camions spéciaux – voir photo ci-contre) et on enregistre les échos de ces ondes réfléchies sur les différentes couches de sédiments : le délai (de quelques millisecondes à plusieurs secondes) entre la vibration et le retour en surface de l'onde dépend de la profondeur de la couche « miroir ». Grâce à de lourds traitements informatiques, on obtient ainsi une sorte de échographie des couches du sous-sol et des failles éventuelles qui les décalent. Cette méthode est également utilisable en mer, les données sont alors acquises par des bateaux naviguant le long des profils.



Dans le cadre du projet DEM'EAUX THAU, deux nouveaux profils sismiques ont été acquis en novembre 2017 dans la zone de Balaruc (DEM1 ET DEM2).

Pour compléter cette information, plusieurs anciens profils acquis dans les années 60 et 80 ont été retraités par le BRGM (en 2017 et 2018) afin d'améliorer la qualité du signal en profitant des progrès des méthodes de traitements réalisés depuis lors.

Toutes les données sismiques disponibles sont répertoriées sur la carte ci-contre.



Concernant les profils de 1963 (F02, F05, F06, F10, F11, F12), qui donnaient initialement une image de mauvaise qualité et très faible résolution, nous avons eu la très bonne surprise d'obtenir une image très riche d'informations comme le montre la figure ci-contre : 1963 (à gauche), 2017-2018 (à droite).

L'interprétation des profils sismiques sera couplée aux mesures de terrain et aux autres données géophysiques récemment acquises (électromagnétisme et gravimétrie). *In fine*, ces données permettront de prolonger en profondeur les massifs karstiques visibles en surface et de réaliser un modèle géologique en trois dimensions du Bassin du Thau.

Contact : C. Lamotte (BRGM) : 04.67.15.79.80



Projet DEM'EAUX Thau

Newsletter n°3

Novembre 2019

La deuxième année du projet de recherche DEM'EAUX Thau s'achève. Les nombreuses acquisitions de données réalisées depuis le début du projet ont notamment permis l'élaboration d'un modèle géologique 3D qui sera délivré avant la fin de l'année 2019. Les travaux en cours au sein des différents ateliers sont résumés ci-dessous.

Equipement de la source de la Vise (1er semestre 2019)

La source sous-marine de la Vise située dans l'étang de Thau a été équipée d'instruments de mesure. L'objectif est de **mesurer le débit de la source, sa température, ainsi que d'autres paramètres décrivant la qualité de l'eau**. Une réunion publique a été organisée par la mairie de Balaruc-les-Bains en avril dernier afin de présenter le projet.

L'instrumentation mise en œuvre par Antea Group repose sur des systèmes de mesure robustes, d'un entretien aisé, avec en corollaire une conception permettant aux différents utilisateurs du milieu (plongeurs, pêcheurs, etc) de pénétrer à l'intérieur pour vérifier par eux-mêmes l'innocuité du dispositif vis-à-vis du flux d'eau tiède venant réchauffer cette partie de l'étang. Pour ce faire, l'ancienne buse métallique coiffant le griffon (1) a été déposée et un nouveau dispositif de collecte des eaux de la source a été mis en place afin de recevoir les différents équipements de mesure (2). L'ensemble des opérations subaquatiques a été réalisé par une équipe de trois scaphandriers professionnels assistée d'un pilote.



Différents instruments (sondes, débitmètre (3), système pour échantillonner de l'eau de la source) ont



été mis en place par des plongeurs professionnels. Les câbles et flexibles entre la source et la rive au droit de l'écloserie des Poissons du Soleil ont été fixés sur des plots en béton pour assurer leur lestage puis enfouis sous 50 cm de sédiments à proximité de la canalisation existante assurant la prise d'eau à la source pour l'écloserie. A terre, les différents câbles ont été reliés vers une armoire de mesure (4) installée le long d'un mur de clôture de l'écloserie. Une pompe a été installée pour **assurer des prélèvements à la demande de l'eau de la Vise** afin de pouvoir procéder à des échantillonnages d'eau ou à des **suisvis de traçages** par la pose d'un fluorimètre de terrain (Rapport BRGM RP-69163-FR). La station de mesure (4) est opérationnelle depuis le mois de juin 2019. Le débitmètre est en cours de test par l'entreprise KROHNE.

L'instrumentation au fond du gouffre restera en place pendant plusieurs années, le temps d'acquiescer des données essentielles au projet. Les différents **instruments de mesure seront vérifiés et entretenus tous les 6 mois par des plongeurs professionnels** sur la durée du projet (2021). Il est demandé à tous de respecter cet équipement qui n'entravera pas l'écoulement naturel de la source.

Atelier Géologie : Caractériser l'aquifère karstique masqué sous les sédiments «récents» par l'enregistrement du bruit sismique ambiant

Un des principaux objectifs de l'atelier Géologie du projet DEM'EAUX Thau est de **comprendre la géométrie et les connectivités du réservoir karstique**. Celui-ci, composé par les calcaires du

Jurassique supérieur, affleure sur une large zone (Massif de la Gardiole, Montagne de la Moure, Mont Saint-Clair) mais se trouve recouvert par des sédiments plus récents dans le bassin de Montbazin-Gigean et dans

l'étang de Thau. Dans ces zones, il est nécessaire de mettre en œuvre une **méthode d'imagerie du toit du Jurassique**, avec une résolution bien meilleure que celle dont on dispose avec les quelques forages disponibles.

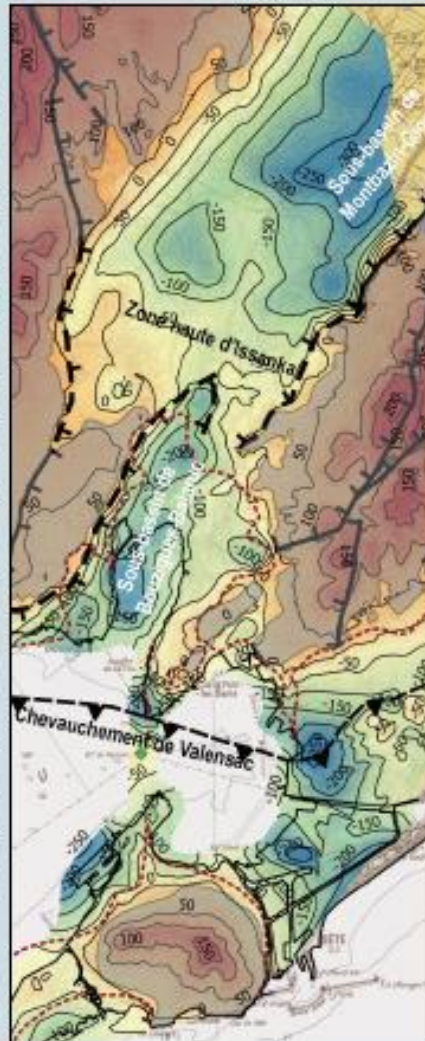


Pose de l'appareil (Tromino®) au sol pour l'enregistrement du bruit sismique ambiant pendant 20 minutes.

Dans cette optique, le laboratoire Géosciences Montpellier a lancé une **campagne d'acquisition de sismique passive**. Ce travail correspond au stage de recherche Master 2 de Théo Bourgeois (photo ci-dessus). La méthode consiste à enregistrer, grâce à un petit sismomètre posé sur le sol, le bruit sismique ambiant naturel ou anthropique transmis à travers le sous-sol, et réfléchi sur l'interface entre le calcaire Jurassique très compétent et les sédiments moins denses sus-jacents. Pour convertir l'information enregistrée en profondeur, il faut connaître la vitesse de propagation des ondes sismiques (V_s), très variable sur ces terrains. Pour **déterminer les vitesses de propagation des ondes**, des mesures ont été effectuées à **l'aplomb des forages atteignant les calcaires du Jurassique**. Connaissant la profondeur donnée par le forage, il était possible de déterminer la vitesse V_s au niveau de ces points et de les extrapoler à leurs périphéries.

Au cours de la campagne, **plus 400 points de mesure** (distants de 100 à 500 m) ont permis la détermination

de la profondeur du toit du Jurassique. Ces points ont permis de réaliser une **carte d'élévation du toit du Jurassique** (ci-dessous). La carte montre la **présence de deux sous-bassins distincts** : 1) Montbazin-Gigean, limité contre la Gardiole par une zone à fort gradient interprétée comme une faille, 2) Bouzigues-Balaruc, également limité à l'ouest par une faille. Les deux sous-bassins sont séparés par une zone haute entre Issanka et Poussan. Vers le sud, les résultats confirment le **tracé d'une faille** (chevauchement pyrénéen) séparant le Mont Saint Clair de la Gardiole, et initialement reconnu plus à l'ouest dans le forage de Valensac (vallée de l'Hérault).



On s'est également intéressé aux **variations spatiales des valeurs de vitesse de propagation des ondes sismiques (V_s)** dans le Jurassique. Celles-ci varient fortement de 750 à 2800 m/s. La comparaison avec des résultats de sismique réflexion acquis en 2005 suggère que les faibles vitesses de propagation mesurées dans la partie nord de la presqu'île de Balaruc corrélerent avec la faible profondeur et la forte altération des calcaires. Par contre, les valeurs élevées mises en évidence dans la partie sud de la presqu'île, dans un bloc enfoui plus profondément se corrèleraient avec un massif calcaire peu ou moins altéré. Ces derniers résultats doivent être confirmés, cependant s'ils se vérifient, nous disposerions d'un nouveau moyen pour **évaluer l'altération des réservoirs karstiques sous couverture**. Un article scientifique est en cours de rédaction pour valoriser l'ensemble de ces résultats.

Carte d'altitude du toit des calcaires jurassiques (en mètres NGF) et interprétation des failles masquées en profondeur (en pointillés) dans le secteur de Gête-Balaruc-Montbazin.

Atelier Géologie : Construction du modèle géologique 3D

Le modèle géologique 3D est construit à partir de GeoModeller, logiciel développé par le BRGM et Intrepid. Ce logiciel permet de compiler les données de forages et les données en surface (cartes géologiques, orientation des couches affleurant en surface). A partir de la connaissance du sous-sol et du terrain en surface, **les géologues dessinent des coupes structurales** dans un premier temps. Ces coupes sont ensuite importées dans le **logiciel GeoModeller** pour contraindre la géométrie des couches en profondeur. Pendant la construction du modèle, les coupes sont

modifiées jusqu'à l'obtention d'une **cohérence 3D**, et plus particulièrement **des unités géologiques et des failles**. L'histoire géologique de la région est ici résumée en 12 unités depuis le socle paléozoïque jusqu'à l'actuel, soit plus de 250 millions d'années. Ces différentes unités ont été déformées et faillées au cours des différentes phases tectoniques (formation des Pyrénées, ouverture du Golf du Lion, etc). Les 23 failles majeures du géomodèle caractérisent la complexité du contexte géologique, ainsi que la **compartmentalisation des réservoirs carbonatés en Languedoc**.

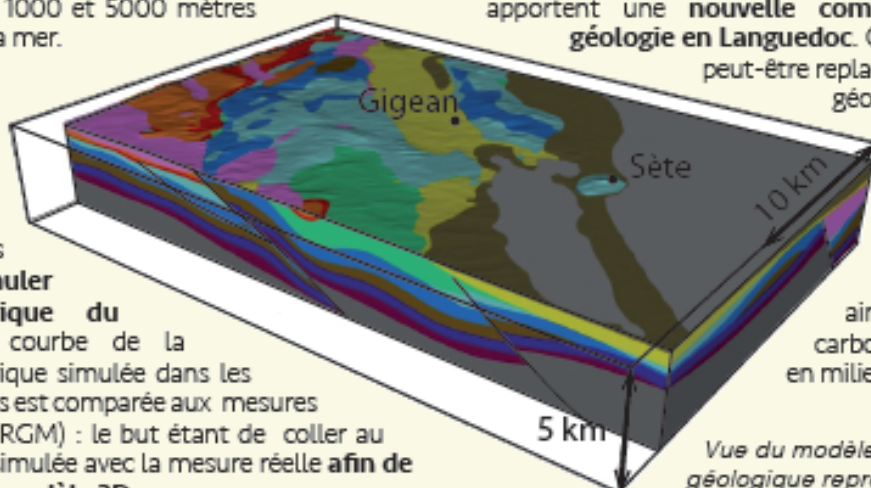
La gravimétrie permet d'imager des **anomalies de densité en profondeur**. Ici, elle est surtout utilisée pour caler la profondeur du toit du socle paléozoïque sous la pile sédimentaire (ères géologiques secondaires et tertiaires) entre 1000 et 5000 mètres sous le niveau de la mer.

Les mesures de densité à partir d'échantillons de roches dans chacune des unités géologiques permet de **simuler l'effet gravimétrique du géomodèle**. La courbe de la réponse gravimétrique simulée dans les coupes structurales est comparée aux mesures réelles (données BRGM) : le but étant de coller au mieux la réponse simulée avec la mesure réelle afin de **valider notre géomodèle 3D**.

Le modèle géologique 3D servira à la **simulation des**

eaux souterraines au sein du réservoir karstique (à partir de l'année 2020). La construction de ce modèle et les nouvelles données géophysiques (sismique réflexion, sismique passive, gravimétrie notamment) apportent une **nouvelle compréhension de la géologie en Languedoc**. Cette étude régionale

peut-être replacée dans un contexte géologique global pour intéresser la communauté scientifique travaillant sur la chaîne Pyrénéenne, le Golfe du Lion ainsi que les réservoirs carbonatés et karstiques en milieu côtier.



Vue du modèle 3D. L'unité géologique représentée en bleu clair correspond au réservoir karstique d'intérêt (Jurassique Supérieur).

Atelier géochimie : Réalisation de la 3^{ème} campagne d'échantillonnage et zoom sur les gaz dissous

La 3^{ème} campagne régionale d'échantillonnage a été réalisée du 21 au 23 Mai 2019. Des échantillons d'eau ont été prélevés dans les **forages thermaux de Balaruc, des autres forages et des sources karstiques aux alentours**, soit un total de 16 points de prélèvement. Cette campagne s'inscrit comme celle d'Août 2018 dans **un contexte de basses eaux** (les niveaux d'eau dans l'aquifère karstique sont bas) qui contraste avec le contexte de la première campagne du mois de mars 2018 (hautes eaux). Les nouveaux prélèvements sont en cours d'analyse au laboratoire HydroSciences Montpellier.

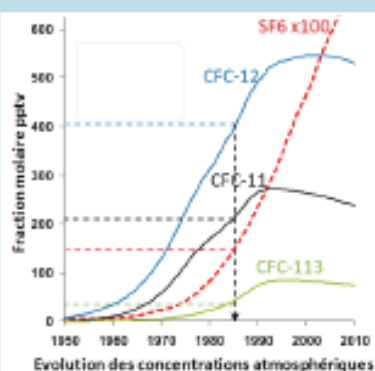


Nous remercions vivement les propriétaires des ouvrages pour leur collaboration, qui a permis le bon déroulement de cette troisième campagne.

Parmi les échantillons récupérés lors de ces campagnes de prélèvement, certains sont destinés à l'analyse des gaz dissous dans l'eau. Deux types de gaz sont recherchés et apportent des informations complémentaires sur les eaux souterraines :

- Les gaz d'origines anthropiques, les CFCs (chlorofluorocarbures) et le SF₆ (hexafluorure) sont utilisés pour **estimer le temps de résidence de l'eau dans le système souterrain**. La comparaison entre les concentrations dans l'eau et les courbes d'évolution des concentrations atmosphériques permet de déterminer l'année de recharge de l'eau souterraine.
- Les gaz rares, néon, argon et azote, sont utilisés pour **déterminer les conditions de pression et de température au moment de la recharge des eaux souterraines**.

Ces deux types de gaz sont prélevés dans des flacons spécifiques qui assurent une parfaite étanchéité vis-à-vis des gaz atmosphériques. Ces échantillons sont en cours d'analyse par la plateforme Condate Eau de l'OSUR de l'Université de Rennes 1.



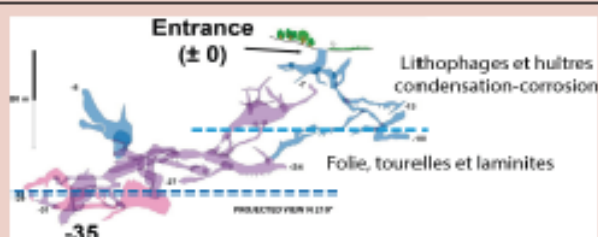
Evolution globale des concentrations de gaz dissous CFC et SF₆ mesurés dans l'atmosphère entre 1950 et 2010. Ces courbes servent de référence pour dater les eaux.

Evidences d'une karstification par d'anciennes remontées de fluides thermaux dans la grotte de la Baume (Gardirole)

Le bureau d'étude CENOTE intervient dans le projet DEM'EAUX Thau pour cartographier et catégoriser les morphologies karstiques dans les massifs calcaires entre Montpellier et Sète. Ce travail permet de mieux contraindre l'histoire du réservoir calcaire et des circulations d'eaux souterraines au cours des différentes périodes géologiques. On s'intéresse notamment à la mise en circulation de l'eau thermale dans le secteur de Balaruc-La Gardirole.

La grotte de la Baume, à Balaruc-le-Vieux, s'ouvre à 44m d'altitude dans les calcaires du Jurassique Supérieur et se développe au sein d'une brèche constituée de blocs calcaires de plusieurs mètres cubes (voir plan de la grotte ci-contre). Dans la partie supérieure et médiane de la cavité, ces blocs sont emballés dans des marnes contenant des huîtres. Le site semble donc correspondre à une ancienne source littorale.

La partie inférieure du réseau est caractérisée par une intense corrosion des calcaires, avec des concrétions sous-marines (de type tourelles ou folia sur la photo ci-contre). Ces objets sont caractéristiques d'un dégazage dans des karsts hypogènes; c'est-à-dire des karst formés par la remontée d'eau souterraine profonde (flux thermal). La partie supérieure montre aussi des indices de condensation-corrosion en milieu gazeux associés à des concrétions, elles-aussi d'origine hypogène.



Ce site représente donc une **ancienne source littorale** comblée par des sédiments marins (d'âge Miocène, environ 20 millions d'années) qui a été ensuite **réactivée par la remontée de fluides thermaux**, probablement durant le Pliocène (environ entre 3 et 5 millions d'années). Cette grotte est un **analogue** des possibles cavités présentes en profondeur sous la presqu'île de Balaruc-les-Bains.



Concrétions de type «folia» dans la grotte de La Baume, typiques du dégazage dans l'eau.

La carte de l'ensemble des morphologies karstiques et des paléosurfaces dans le secteur Montpellier-Sète est en cours de réalisation et sera finalisée en fin d'année 2019.

Valorisation des travaux DEM'EAUX Thau

- **P**articipation au 46^{ème} congrès de l'AIH (Association Internationale des Hydrogéologues) à Malaga (Espagne) en Septembre 2019. Félicitations à Marie-Amélie Pétré, ancienne post-doctorante DEM'EAUX Thau au laboratoire Hydrosiences Montpellier, qui a remporté le prix 2019 du meilleur chercheur sur les recherches en karstologie (photo ci-contre) pour la présentation : «Hydraulic and geochemical impact of occasional saltwater intrusions through a submarine spring in a karstic and thermal aquifer (Thau lagoon



area, Montpellier, France)». Les travaux présentés seront prochainement valoriser sous forme d'un article scientifique.

- **P**articipation aux réunions OROGEN à Paris en octobre 2019. Romain Hemelsdaël (post-doctorant Géosciences Montpellier) a présenté ses travaux intitulés : « Structural style of the Languedoc Pyrenenan thrust belt in relation with inherited Mesozoic structures and rifting of the Gulf of Lion ». Ces réunions avaient pour but de préparer la rédaction d'un article scientifique dans un numéro spécial du Bulletin de la Société Géologique de France (Earth Sciences Bulletin) qui paraîtra en 2020.

Dates importantes à venir...

- **Mardi 17 décembre 2019** : Atelier plateforme expérimentale DEM'EAUX organisée par TERINOV.
- **Vendredi 10 janvier 2020** : Comité de suivi annuel du projet.
- **Mardi 10 mars 2020** : Présentation du projet aux journées OZCAR (Observatoire de la Zone Critique: Applications et Recherche) à Sète.

Cette infolettre a été rédigée par: H. Camus, R. Hemelsdaël, B. Ladouche, C. Lamotte, J.L. Seidel, M. Séranne.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 - 45060 - Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction Régionale Occitanie
1039 rue de Pinville
34000 Montpellier - France
Tél. : 04 67 15 79 80 - www.brgm.fr