

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.

Equiperment 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'écluserie 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'écluserie. A terre, les différents câbles ont été reliés vers une armoire de mesure (4) installée le long d'un mur de clôture de l'écluserie. 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 **suivis 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'acquérir 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.

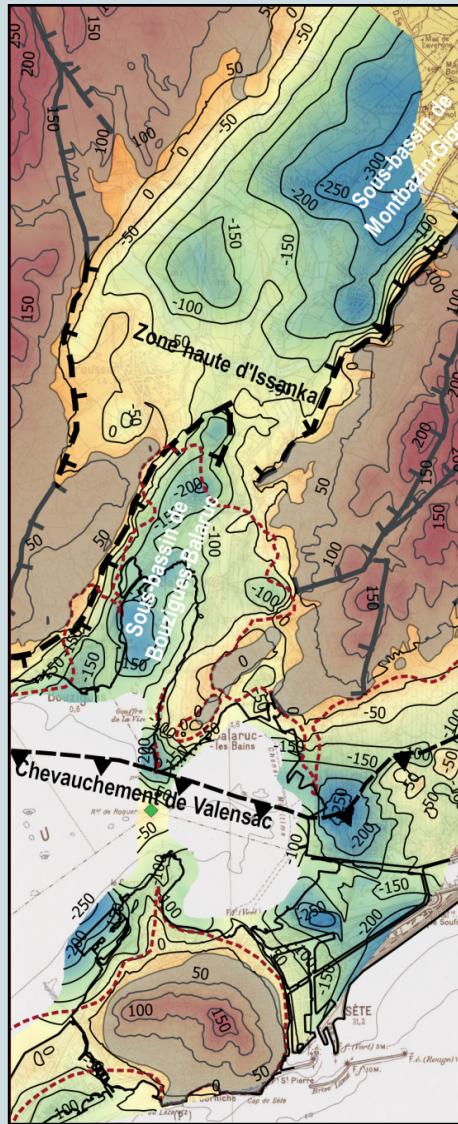


Pose de l'appareil (Tromino®) au sol pour l'enregistrement du bruit sismique ambiant pendant 20 minutes.

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 corréleront 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 Sète-Balaruc-Montbazin.

Atelier Géologie : Construction du modèle géologique 3D

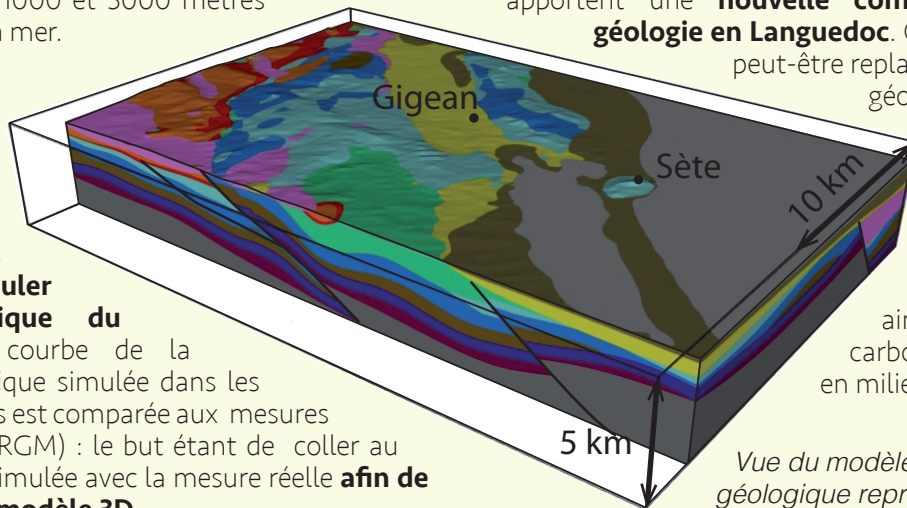
Le modèle géologique 3D est construit à partir de GeoModeller, logiciel développé par le BRGM et Intrepid. Ce logiciel permet de compiler les données de forages et les données en surface (cartes géologiques, orientation des couches affleurant en surface). A partir de la connaissance du sous-sol et du 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 compartimentalisation 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**



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

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.

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.

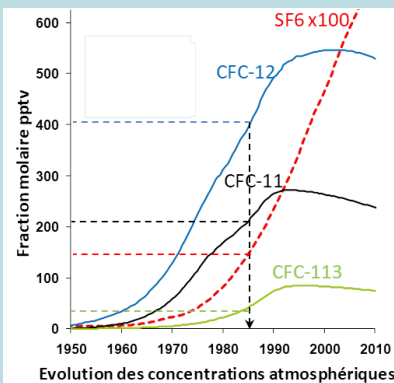


Nous remercions vivement les propriétaires des ouvrages pour leur collaboration, qui a permis le bon déroulement de cette troisième campagne.

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 CFC (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.



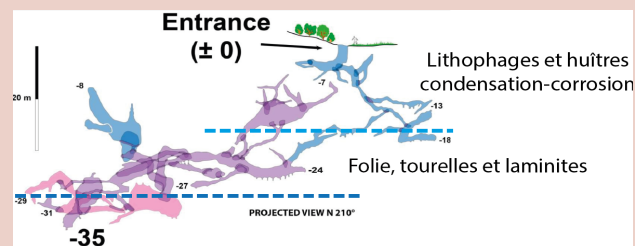
Evolution globale des concentrations de gaz dissous CFC et SF₆ mesurés dans l'atmosphère entre 1950 et 2010. Ces courbes servent de référence pour dater les eaux.

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 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

- **Participation 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.

- **Participation aux réunions OROGEN à Paris** en octobre 2019. Romain Hemelsdaël (post-doctorant Géosciences Montpellier) a présenté ses travaux intitulés : « Structural style of the Languedoc Pyrenean 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.