

Géosciences et Environnement Cergy (EA 4506)

Stratégie et perspectives scientifiques pour le contrat 2015-2019

Dans la période à venir (2015-2019), les domaines scientifiques du laboratoire GEC resteront : tectonique - géodynamique, physique des roches - géomécanique, avec de vastes intersections dans les domaines d'application : roches réservoirs (comme ressources ou comme stockage) dans leur environnement tectonique et dans leurs propriétés physiques et mécaniques ; tectonomécanique et géodynamique du rifting à l'orogénèse ; environnement (protection des pierres du patrimoine, bétons innovants). Toutes nos actions ont une portée de recherche fondamentale, avec des résultats intéressant l'industrie (énergie, stockage, géomatériaux) et/ou la société (patrimoine bâti). Elles reçoivent toutes des financements dédiés, majoritairement industriels.

On notera des évolutions sur les sources de financement, le personnel et les thématiques scientifiques.

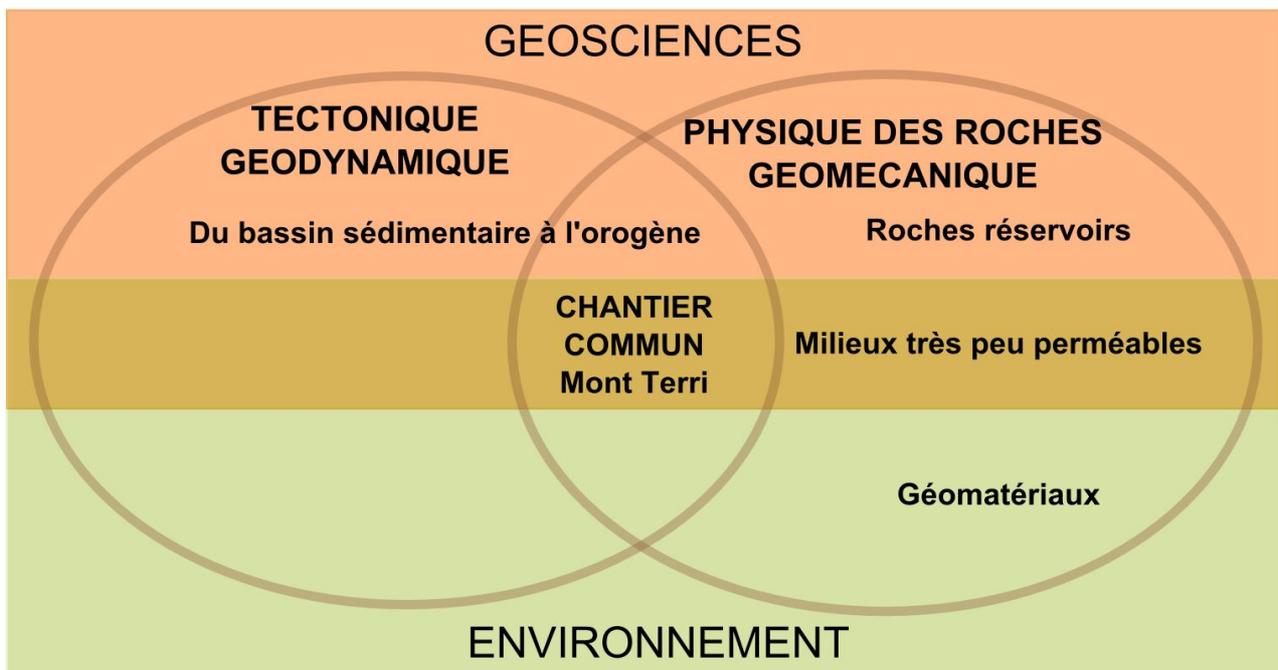
Le financement public récurrent du laboratoire devient mineur dans le budget global. Il est en partie transféré sur des actions ciblées du Labex PATRIMA. Nous sommes confiants sur la stabilité de nos relations industrielles, qui constituent l'essentiel de nos ressources.

Deux maîtres de conférences ont quitté le laboratoire en 2010. Ils ont été remplacés par un MC en méthodes numériques et mécanique, un MC en tectonique spécialisé dans le rifting. Un ingénieur de recherche a également rejoint le laboratoire en 2010 et remplace l'IGR CNRS qui a pris sa retraite fin 2007. Nous veillons à ce que nos nouveaux projets encouragent les collaborations avec ces arrivants (ANR Pyramid, chantier commun du Mont Terri, projet d'ANR sur la croûte amincie dans les Alpes). Celles-ci, en effet, fondent l'identité et constituent la force du GEC. La dernière évaluation de l'AERES soulignait la bonne gouvernance de notre laboratoire. C'est un aspect que nous ne pouvons pas négliger.

Un PAST (C. Barnes) vient de créer une entreprise (GIM-labs) spécialisée dans l'imagerie sismique. Il continuera à nous faire bénéficier de son savoir-faire dans les problèmes inverses, l'imagerie sismique et la caractérisation des propriétés physiques.

Les évolutions scientifiques résultent de logiques internes de développement, et de réponses à l'évolution industrielle et sociétale. En Tectonique-Géodynamique, on verra une inflexion vers les processus de rifting à l'échelle régionale ou même globale. Nos méthodes mécaniques (numériques et expérimentales) vont permettre une analyse de plus en plus fine des structures tectoniques réelles en abordant une description 3D et en s'ouvrant aux mécanismes d'extension (thèmes rifts et chantier commun du Mont Terri). Nos actions en Physique des roches - Géomécanique traditionnellement centrées sur les roches silico-clastiques s'ouvrent aux roches carbonatées et s'intensifient sur les argilites, avec de nouveaux thèmes sur les milieux très peu perméables (couverture des réservoirs pétroliers et stockage : ce thème constituant l'un des aspects essentiels du chantier commun du Mont Terri), ou encore le rifting. Nos actions en environnement sont en continuité du contrat précédent et appuyées sur les Labex/Equipex PATRIMA, la fédération matériaux (i-Mat) de l'UCP, la chaire éco-quartier de l'UCP, et des collaborations avec le L2MGC (Génie civil, UCP) et le LPPI (Chimie, UCP). Le Labex Patrima a pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance des patrimoines matériels, leur conservation, restauration et mise en valeur.

Cette nouvelle distribution des actions du laboratoire est synthétisée dans la figure suivante, les actions sont détaillées dans l'Annexe 10.



Synthèse graphique des grands thèmes scientifiques du laboratoire. Chaque thème est développé en Annexe 10.

Une analyse SWOT tente de justifier ces évolutions :

1. Forces : Grande capacité expérimentale et d'analyse de roches, adossée à la Fédération i-Mat, avec deux ingénieurs, et des laboratoires spacieux. Liens forts avec Total et l'IFPEN. Attractivité industrielle et académique (Total, IFPEN, CSIRO), nombreux laboratoires universitaires français et étrangers)
2. Faiblesses : peu de financements publics (par ex. ANR) malgré plusieurs demandes, mais est-ce une faiblesse ? Offre de formation en Master insuffisamment connectée aux activités de recherche. Charges élevées d'administration et d'enseignement (taux d'encadrement tombé à 40 %, développement de nouveaux diplômes professionnalisants, manque de stabilité du système universitaire empêchant toute vision même à court terme).
3. Possibilités : Thématiques très porteuses sur stockage et ressources. Changement de locaux vers la Maison Internationale de la Recherche en 2016 : intégration laboratoires - bureaux dans un bâtiment neuf, regroupement des quatre laboratoires de la fédération i-Mat sur le site de Neuville.
4. Menaces : Dynamisme et renouvellement scientifique menacés par des ressources humaines gelées et une mobilité difficile ; financements publics récurrents en baisse.

Thèmes scientifiques du laboratoire pour la période 2015-2019

Les items scientifiques s'organisent en trois grands thèmes :

1. Du bassin sédimentaire à l'orogène

Mots-clés : héritage structural, mécanique de la déformation, approche multi-échelle

Participants : Dominique Frizon de Lamotte, Pascale Leturmy, Siegfried Lallemand, Bertrand Maillot, Geoffroy Mohn, Philippe Robion, Pauline Souloumiac

Rifts et chaînes de montagnes dans l'espace Méditerranéen

Dans le cadre de conventions de recherche avec la société Total, nous avons centré nos travaux sur la marge sud-téthysienne (voir le bilan de l'équipe), en accord avec le même partenaire, nous allons nous focaliser à présent sur l'espace Méditerranéen au sens large. Ceci va permettre d'intégrer davantage les chantiers Alpes et Pyrénées développés par l'équipe dans d'autres cadres. On notera aussi une inflexion de nos thématiques des mécanismes des chaînes de chevauchement-plissement vers ceux du rifting. Les deux thèmes ne sont pas disjoints puisque dans le contexte étudié les rifts sont souvent inversés et/ou développés sur un substratum montagneux. Par ailleurs, ce même contexte nous donne accès à de très beaux exemples de multi-rifts (plusieurs épisodes de rifting superposés) dont les modalités restent mal comprises. D'ores et déjà, plusieurs chantiers sont ouverts et seront poursuivis au cours du contrat quinquennal :

- Méditerranée Orientale (Cyrénaïque, bassin de Sirt, connections avec le bassin ionien)

Ce travail a été engagé dans le cadre de la thèse de Stavros Arsenikos (financement Total, collaboration avec l'ENS, Nicolas Chamot-Rooke) et sera complété par un post-doc (financement Total). Il s'agit de comprendre le développement d'un système de rifts d'âge Jurassique Supérieur-Crétacé Inférieur sur la marge proximale (la Cyrénaïque) d'un bassin profond préexistant (le bassin ionien) puis le développement d'un nouveau système de rifts obliques avec importante subsidence au Crétacé Supérieur-Paléocène (le bassin de Sirt) alors même que la Cyrénaïque est inversée. Cette question est cruciale pour comprendre la géodynamique de la Méditerranée Orientale.

- Méditerranée Occidentale (Golfe de Valence, connections avec les chaînes catalane, ibérique et bétique)

Ce travail vient de débiter dans le cadre de la thèse de Nathalie Ethève (financement Total). La thèse à dominante structurale de Nathalie Ethève est couplée avec celle de Romain Pellen (Univ. Brest/Ifremer, direction D. Aslanian et Marina Rabineau) qui est elle centrée sur le post-rift néogène et les aspects sédimentologiques. Ici aussi il s'agit de démêler un écheveau extraordinairement complexe avec des multi-rifts (au Trias, au Crétacé Inférieur, au Néogène) entrecoupés par des inversions à la fin du Paléocène (chaînes ibérique et catalane) et au Miocène (chaîne bétique). En parallèle, nous souhaitons contribuer à une meilleure caractérisation de la cinématique de la plaque Ibérique durant le Jurassique supérieur-Crétacé inférieur. Les très nombreuses études paléomagnétiques ont ciblé majoritairement le domaine pyrénéen. Ces données ont été prises sur des bassins qui présentent généralement des ré-aimantations régionales ne permettant pas d'étudier aisément la cinématique complète et précise du bloc Ibérique. Elles sont généralement attribuées (ce qui reste à vérifier) à l'épisode extensif qui précède la rotation de l'Ibérie vers l'Est. Nous proposons d'étudier la problématique des ré-aimantations et du mouvement de l'Ibérie pendant le Mésozoïque en se focalisant sur les bassins Ibériques (notamment le bassin de Maestrage). Ces bassins intra-plaques ont subi des épisodes extensifs et compressifs de plus faible ampleur que ceux plus proche de la frontière de plaque c'est-à-dire le domaine pyrénéen.

- Pyrénées

Nos études s'intègrent dans l'ANR PYRAMID pour laquelle l'UCP intervient dans la tâche 4-3 (J. Pironon et N. Bellahsen) : fracturation, de l'extension à la compression. L'objectif est de faire la part de la déformation enregistrée lors de l'épisode extensif dans la zone nord pyrénéenne au Crétacé Moyen et la phase compressive qui fait suite au Crétacé Supérieur-Paléocène. Les Chainons Béarnais ont été choisis comme un analogue de réservoir dans lequel on s'intéresse aux relations entre les fluides et la déformation avec trois objectifs: (1) faire la part entre la déformation interne et la déformation localisée acquises précocement et l'influence de cet héritage sur la déformation pyrénéenne plus tardive, (2)

étudier la cinématique du plissement des Chaînons, (3) faire le lien entre la structuration des Chaînons, les circulations de fluides et les épisodes thermiques. Nous réalisons dans cette étude la partie magnétisme en collaboration avec Charles Aubourg (Université de Pau).

- Alpes.

Dans la chaîne des Alpes, nous nous intéressons à l'histoire précoce de formation des marges téthysiennes et leurs imbrications dans l'orogène Alpine. En particulier, nous nous focalisons sur les zones d'étranglement (ou « necking zone »). En effet, cette zone, dont l'origine reste mal comprise, enregistre l'amincissement brutal de la croûte continentale passant de 30 km à <10 km d'épaisseur sur une distance de 50 à 60 km dans les marges actuelles.

Nos travaux précédents établissant la présence de reliques des zones d'étranglement de la marge Adriatique, nous souhaitons les étendre à présent à la marge Européenne (le Massif du Mont Blanc, en particulier) pour contraindre l'architecture des dépôts sédimentaires en relation avec la zone d'étranglement lors de l'épisode extensif du Jurassique Moyen. Ces résultats seront comparés et complétés avec des observations sur les marges actuelles en partenariat avec TOTAL.

Dans un deuxième temps, l'accent sera mis sur l'importance de l'héritage structural issu des processus de rifting pour la formation de l'orogène Alpine. Encore une fois, le rôle clé des zones étranglement sera au centre du projet. En complément des études de terrain, il est proposé une modélisation analogique et numérique de l'impact de la structuration héritée du rifting lors de l'inversion des bassins sédimentaires.

Ces thématiques seront également abordées dans le cadre **d'une** proposition de projet ANR jeune chercheur porté par Geoffroy Mohn et Pauline Souloumiac.

A l'issue de ces quatre chantiers nous devrions être armés pour une intégration globale des résultats visant à proposer une reconstruction paléo-géographique permettant de « réconcilier » le système Ibéro-Bétique et plus largement la Méditerranée Occidentale avec le système Alpin.

Méthodes mécaniques pour la géologie structurale

Les méthodes numériques et expérimentales développées au cours du contrat précédent sont arrivées à maturité suffisante pour aborder l'analyse de structures géologiques réelles en compression (chaînes d'avant-pays, prismes d'accrétion). Nous avons l'ambition pour le contrat à venir d'analyser des structures géologiques réelles, notamment en extension et en 3D. Plusieurs projets avec des partenaires industriels ou institutionnels nous portent déjà dans ce sens : Grande boîte expérimentale financée par Total (thèse de Vivien Bailly [ENS, 2009]) ; Projet de modélisation physique de la fracturation à Kharyaga, Russie, financé par Total, 2013 ; Projet simulation numérique du Mont Terri et plus généralement du Jura (stage M2 et thèse 2013-2016 de Typhaine Caer financés en partie par Swisstopo). Par ailleurs, nous continuerons les développements de méthodes numériques vers les milieux hétérogènes (Projet Bolivie, Post-Doc Baptiste Mary, 2013, Total), l'extension gravitaire (Thèse Xiaoping Yuan, dir. ENS-UCP, financement Chine, 2012-2016), les structures en 3D, et enfin l'intégration de la pression de pore. Ce thème est aussi un thème fédérateur dans le laboratoire, par sa présence dans le projet sur les Alpes (ci-dessus) et dans le projet Mont Terri.

Tectonique grande échelle : grands systèmes de rifts et événements globaux

Il est connu que les grands systèmes de rifts se développent préférentiellement à certaines époques de l'histoire de la Terre pour des raisons qui ne sont pas encore complètement comprises mais qui traduisent probablement une activité particulière du manteau en liaison ou non avec des mécanismes orogéniques. L'objectif du projet est de mieux comprendre le développement de ces systèmes au cours de l'histoire de la Terre. Nous appuyant sur notre expertise de la cartographie grande échelle (voir le bilan de l'équipe), nous avons commencé des synthèses cartographiques à l'échelle mondiale (en position actuelle et restaurée) en se focalisant dans un premier temps sur quatre périodes-clés : Dévonien Supérieur ; Trias Supérieur ; Crétacé Inférieur ; Oligocène. Nous pensons, en effet, que les rifts d'une période donnée présentent des caractéristiques communes reflétant le contexte « global » de l'époque et que donc l'approche par tranches de temps est pertinente. Ce projet a été initié par Dominique Frizon de Lamotte dans le cadre de sa délégation chez Total en collaboration avec Philippe de Clarens et François Leparmentier. Il fera l'objet d'une convention avec cette société. A terme, nous souhaitons fédérer autour de ce programme des spécialistes de l'activité mantellique, du magmatisme et de sédimentologie dans un cadre à définir (ANR ?).

2. Roches réservoirs et milieux très peu perméables

Mots-clés : physique des roches, propriétés de transport, approche multi-échelle

*Participants : **Christophe Barnes**, Jean-Christian Colombier, Christian David, Ronan Hébert, Béatrice Ledéser, Beatriz Menéndez, Philippe Robion, Pauline Souloumiac, Jérôme Wassermann*

Analyse multi-échelle des roches réservoirs

Dans les bassins sédimentaires et en particulier pour les roches carbonatées, la complexité des structures de porosité observées à différentes échelles est le résultat de facteurs qui agissent lors de la mise en place des corps sédimentaires, pendant la diagenèse (chimique et mécanique) et sous l'effet des déformations tectoniques. Une des conséquences est la difficulté d'utiliser les propriétés physiques mesurée sur ce type de roche pour caractériser la distribution des vides (porosité, cracks, fractures, etc..) et comprendre l'endommagement lié à la déformation géologique. Historiquement le laboratoire s'est intéressé à cette problématique sur les roches silicoclastiques et dans des structures plissées qui permettaient d'appréhender les différentes phases de l'histoire tectonique. Nous avons progressivement fait migrer ces compétences acquises vers les roches carbonatées (thèse J.B. Régnet). Actuellement nous portons aussi une attention particulière sur les systèmes extensifs (voir le thème Rifts par exemple).

Du point de vue de la pétrophysique sur la question de l'approche multi-échelle on distinguera trois thèmes faisant chacun le lien **entre** le laboratoire et l'observation à l'échelle du terrain.

- 1) Etude de la déformation à l'échelle de l'échantillon dans les roches carbonatées, son expression, sa caractérisation et son intégration dans les grandes structures géologiques (ANR PYRAMID). On utilise le magnétisme structural (Anisotropie, paléomagnétisme) et les méthodes pétrophysiques.
- 2) Caractérisation des propriétés réservoirs dans les grands corps sédimentaires depuis l'échelle de l'échantillon à l'échelle du puits (FORPRO). Un effort est porté sur la compréhension de la signature pétrophysique des microstructures sédimentaires dans le but d'améliorer l'utilisation des données de puits mais aussi leur intégration dans les données sismiques.
- 3) Etude de l'endommagement des carbonates et des roches silicoclastiques: approche géomécanique et pétrophysique. On étudie ici l'influence des microstructures dans le développement de la déformation à l'échelle de l'assemblage granulaire, comme par exemple dans les calcaires oolithiques de la formation Oolite Blanche du bassin de Paris. Un axe de développement récent concerne l'étude du rôle de l'eau comme agent d'affaiblissement mécanique dans les roches silicoclastiques peu consolidées en continuité de la thèse de Van Hung Nguyen (collaboration CSIRO Perth).

Les outils pour aborder ces problématiques sont nombreux au GEC (arsenal de méthodes pétrophysiques variées dont certains développés en interne), au sein de la fédération i-Mat (microscopie confocale en particulier) et avec nos partenaires industriels (micro-tomographie à l'IFPEN).

Etude des propriétés de roches très peu perméables

Nous sommes impliqués dans un programme de recherche sur les relations entre perméabilité et déformation dans les milieux à très faible perméabilité comme les argilites. Ce programme de recherche est piloté par le CEREGE (Pierre Henry) et comporte deux aspects, avec d'une part une expérience méso-échelle avec sollicitation hydraulique d'une faille pluri-métrique et monitoring géophysique dans le laboratoire souterrain de Tournemire, et d'autre part une caractérisation hydro-mécanique des argilites de Tournemire à l'échelle de l'échantillon de laboratoire. L'étude financée par Total a pour objectif de mieux cerner le rôle des failles dans ces milieux peu perméables qui constituent les couvertures en domaine pétrolier. Notre laboratoire intervient sur l'aspect expérimentation en laboratoire, avec la thèse d'Audrey Bonnelye co-dirigée entre le GEC et l'ENS Paris (Alexandre Schubnel). Ce thème « roches très peu perméables » apparaît également comme un des trois axes prioritaires identifiés par le Pôle Francilien de Géosciences (piloté par François Roure, IFPEN) auquel le GEC participe activement.

Dans le même registre nous avons proposé, en collaboration avec Pierre Adler (UPMC Sisyphe) et Dominique Gibert (IPGP), un projet lors de l'appel d'offre NEEDS. Ce projet vise à étudier (par des

expérimentations analogues en laboratoire, et par des méthodes numériques) les impacts des sollicitations périodiques pérennes – comme les marées terrestres – sur les transferts de fluides dans les roches peu perméables des barrières géologiques d'un stockage de déchets radioactifs. Notre implication actuelle et future dans les laboratoires souterrains (Mont Terri, Bure, Tournemire) montre que cette thématique complétant les analyses de laboratoire sur la caractérisation des milieux à très faible perméabilité va se développer au sein du GEC.

De manière plus ponctuelle nous sommes aussi associés à des travaux sur les roches volcaniques (ANR GIIWS sur l'hydrogéologie des Iles Galapagos) et sur les marges volcaniques (projet VolcaBasin avec l'UBO). En revanche, nos actions sur les failles actives (TCDF, Nantroseize, SAFOD) sont à présent en retrait après le départ des collègues en charge de ces actions.

Géothermie/réservoirs cristallins fracturés

Compte tenu de son expérience sur le projet européen de géothermie en terrain fracturé de Soultz-sous-Forêts, notre laboratoire a été sollicité pour intégrer le consortium du projet GEOTREF (« Plate-forme pluridisciplinaire d'innovation et de démonstration pour l'exploration et le développement de la GEOThermie haute énergie dans les Réservoirs Fracturés »). Ce projet s'inscrit dans la démarche de développement d'une filière française de géothermie haute énergie dans le cadre des Investissements d'Avenir (l'AMI géothermie ADEME). Il concerne les réservoirs fracturés sous l'angle de l'amélioration des connaissances et de la modélisation avec le développement d'outils et de méthodes issus du monde pétrolier et gazier, avec l'objectif de réduire ce que l'on appelle en géothermie « le risque géologique » et d'optimiser les coûts concernant l'exploration. Notre contribution concerne l'évaluation structurale et pétrographique pour le développement d'un échangeur géothermique en contexte volcanique. Le projet, défendu auprès de l'ADEME en juillet 2012, est encore en phase d'évaluation.

3. Durabilité des Géomatériaux

Mots-clés : physique et chimie des roches et des bétons, altération

Participants : Jean-Christian Colombier, Ronan Hébert, Béatrice Ledéser, Beatriz Menéndez, Jérôme Wassermann.

Altération des pierres du patrimoine

Les études menées au GEC sont axées sur les processus d'altération des pierres en œuvre, l'incidence des conditions environnementales sur ces processus et leur évolution avec le changement climatique. Une thèse est en cours sur le rôle des hydrates de sulfates de sodium (Mélanie Denecker, en collaboration avec le LRMH).

L'altération des marbres sera un nouveau thème majeur du prochain quinquennal avec entre autre une nouvelle thèse en collaboration avec le laboratoire SATIE de l'UCP, l'Etablissement Public du Château de Versailles et le LRMH qui commencera à la rentrée 2013 (financement de la fondation PAREIMA). Le but de ce projet est de développer des méthodes non destructives de suivi et de diagnostic quantitatif de l'altération des marbres appliquées à la problématique de la statuaire du château de Versailles.

Un projet ANR sur l'incidence du changement climatique sur la dégradation des marbres, piloté par notre laboratoire, a été déposé en collaboration avec l'Université de Reims-Champagne Ardenne, l'Université d'East Anglia (UK) et le Centre National de Recherches Météorologiques de MétéoFrance.

La thématique « changement climatique » a des aspects théoriques et des aspects expérimentaux. Les expériences en laboratoire nous permettent de mieux cerner les conditions environnementales qui ont une incidence sur l'altération des pierres. Ces études conduiront à définir de nouveaux estimateurs ou de modifier ceux que nous utilisons actuellement pour prédire l'altération future. Le but final de cette étude est d'établir des cartes de risques d'altérabilité future, pour ce faire il est nécessaire de faire appel au traitement statistique des données.

En collaboration avec le laboratoire ERRMECe (fédération i-Mat) nous étudions l'incidence du degré d'altération des pierres sur la colonisation biologique des monuments. Notre participation à cette thématique concerne principalement la dégradation des pierres comme support pour la colonisation. Nous participons à une demande ANR, pilotée par ERRMECe, déposée en collaboration avec le LRMH.

Bétons et éco-construction

Les bétons sont des géomatériaux artificiels intégrant des granulats de tailles variées et un liant. Les travaux sur ce matériau sont le fruit, notamment, d'une collaboration avec le laboratoire de génie civil de l'UCP (L2MGC, fédération i-Mat). Dans ce cadre, le GEC apporte ses compétences sur la caractérisation des roches (granulats naturels et roches dans lesquelles sont construits les tunnels) et matériaux granulaires (granulats de béton recyclé). Notre apport concerne également la durabilité des bétons (attaque sulfatique) et les impacts environnementaux des activités humaines (calcul du gain environnemental lié au remplacement de fibres de polypropylène par des fibres végétales). Une nouvelle collaboration avec le laboratoire de l'UCP spécialiste des polymères (LLPI, fédération i-Mat) va permettre la co-direction tripartite d'une thèse sur les bétons intégrant des matériaux à changement de phase afin de permettre le stockage et la restitution d'énergie dans le but de rendre les bâtiments moins énergivores (début à l'automne 2013). Ces travaux sont financés en grande partie par l'industrie (Union Nationale des Producteurs de granulats, UNPG ; Spie Batignolles via la chaire éco-quartiers) ainsi que la Communauté d'Agglomération de Cergy-Pontoise (via la chaire éco-quartiers)

Chantier Commun : MONT TERRI

Pour accroître la cohésion de l'équipe et valoriser la complémentarité des approches, il a été décidé de promouvoir un chantier commun, conçu comme un lieu d'échanges et de partages. Idéalement, tous les membres du GEC sont ou seront, à des degrés divers, impliqués dans le « chantier commun ».

Étude multi-échelle de l'endommagement des roches et transferts de fluides (liquides, gaz) induits.

Ce thème englobe plusieurs projets sur l'étude de l'endommagement des argilites dû à l'excavation de galeries (Excavation Damaged Zone) et à la faille naturelle existante (Fault DZ). On s'intéresse à l'endommagement aux échelles du nanomètre, du centimètre (échantillon de laboratoire), du décimètre (mesures géophysiques in-situ), en mesurant diverses propriétés (élasticité, atténuation, perméabilité, et leurs anisotropies) et phénomènes (émissions acoustiques, mécanismes au foyer). Ces travaux entamés depuis plusieurs années vont se poursuivre avec de nouvelles actions et développements méthodologiques, en collaboration avec de nombreux partenaires : ANDRA, CNRS, CSIRO, IFPEN, ENS, IPGP, GIM-labs, Paris VI (Sisyphé), Univ. Rennes, Univ. Reims, Swisstopo.

Cicatrisation et colmatage des argilites: étude en laboratoire et *in situ*. Développements méthodologiques de suivi de perméabilité des EDZ (projet Forpro MO-A en cours), en collaboration avec Y. Le Gonidec (Géosciences Rennes), D. Gibert (IPGP) et P. Adler (UPMC Sisyphé). Traçage radon des variations de perméabilité. Étude du lien entre endommagement et émanation radon par P. Vazquez (post-doctorat 2011-2012 GEC-UCP). Implication méthodologique nouvelle : analyse de coda.

Analyse sur échantillons de teneur en radium effectif et de calcimétrie pour le traçage actuel et passé des circulations de fluides dans une zone endommagée (EDZ, ou FDZ, ou massif fracturé). Utilisation du compteur à scintillation liquide récemment acquis. Développement en cours d'un manocalcimètre de précision. Sites privilégiés : le Mont Terri. Applications possibles à la thématique géothermie.

Chaîne d'acquisition acoustique large-bande au laboratoire visant à permettre l'analyse de la coda, plus sensible à des petites variations des propriétés du milieu. Application à des milieux particulièrement atténuants comme les argilites ? Application au suivi de l'imbibition.

Étude structurale tectono-mécanique :

Bien que le Jura soit un haut-lieu d'étude des structures en plissement-chevauchements, le Mont Terri a reçu relativement peu d'attention quant à sa structure géologique. En collaboration avec Swisstopo, nous avons entamé une étude couplée géologie structurale - analyse mécanique dans un stage M2, qui sera suivie d'une thèse (Typhaine Caer, 2013-2016). Le but est de (1) construire une série de coupes

équilibrées au sens classique géométrique, et au sens mécanique, i.e., des coupes compatibles avec l'équilibre mécanique et la résistance des roches, et (2) réaliser des simulations numériques en 3D de l'évolution du plis qui intègrent la mécanique et les processus de surface (érosion/sédimentation). Ces deux points constituent en eux-mêmes des avancées fondamentales dans la compréhension quantitative des processus de chevauchements-plissements. En outre, l'évolution du champ de contraintes issu de ces analyses constituera une donnée essentielle pour établir un lien avec les études *in-situ* de l'endommagement.