

ACTIVITÉS DE VALORISATION

Cet axe transverse a pour objectif d'afficher les activités de recherche du CRPG en prise directe avec les besoins et la demande sociétale. Il s'appuie sur les savoirs faire des différentes équipes et regroupe nos principaux projets en relation avec le monde industriel ou des objectifs industriels (Carnot ICEEL) pour le prochain quadriennal.

CONSORTIUM GOCAD

Chercheurs impliqués : Pauline Collon, Guillaume Caumon, Mary Ford, Jean-Jacques Royer, Pierre Jacquemin.

Doctorants impliqués : Lise Salles, V. Henrion, Pauline Durand-Riard, Thomas Viard, Evelyne Bennewitz, Marc-Olivier Titeux, Luc Buatois.

Collaborations : B. Lévy (LORIA, Nancy); J. Sausse (G2R, Nancy) ; J. Caers (SCRF, Stanford) ; H. Schaeben (Freiberg) ; Consortium Gocad; INRA

Gocad est un logiciel de géomodélisation créé et développé au CRPG et à l'ENSG par le Consortium Gocad à partir de 1989. Fruit d'un travail collectif associant des chercheurs à Nancy et des partenaires industriels et académiques, il a donné lieu en 1997 à la création de la compagnie EarthDecision, qui a racheté le code du logiciel au Consortium Gocad, et travaillé à son industrialisation. EarthDecision a ensuite été absorbée par Paradigm Geophysical en 2006.

Actuellement, le CRPG poursuit une activité de recherche en géomodélisation, qui se traduit notamment par l'animation du Consortium Gocad. Cette recherche partenariale s'effectue en accord avec un comité de pilotage constitué des membres industriels du Consortium (22 membres internationaux en 2007), sur des thématiques de recherche méthodologique liées à la modélisation 3D des ressources naturelles. L'ensemble du budget du consortium est consacré à ces actions de recherche, essentiellement via les salaires de doctorants au CRPG.

Nous souhaitons poursuivre cette recherche partenariale et développer davantage les synergies entre méthodologie et thèmes de recherche en géologie fondamentale (bilans de transferts sédimentaires, sismologie, etc.). La géomodélisation est de fait utilisée par de nombreux laboratoires de par le monde (en 2007, le Consortium Gocad regroupe ainsi 86 organismes de recherche gouvernementaux en 2007, dont quatre seulement sont français).

Pour cette raison, nous proposons de développer un Service National pour l'accueil et la formation de chercheurs souhaitant s'investir dans la modélisation 3D. Nous pourrions fournir localement des licences du logiciel commercial Gocad, les codes de recherche développés au sein du Consortium, ainsi qu'une expertise technique. Les organismes (UMR/UPR) concernés pourraient être exonérés de cotisation au consortium Gocad. Pour soutenir ce Service National, nous souhaitons demander un poste d'IE afin d'assurer le lien entre le logiciel Gocad, les nouveaux développements méthodologiques et leur utilisation par la communauté des géosciences française ainsi qu'à l'échelle nancéienne.

Concernant les thématiques de recherche méthodologiques envisagées au sein du Consortium Gocad, plusieurs axes sont envisagés :

Restauration des structures géologiques

Les codes numériques de restauration des structures plissées et faillées développés dans notre équipe ont un fort potentiel pour valider les modèles géométriques des structures du sous-sol, tester quantifier des scénarii tectoniques, et estimer les déformations subies par les roches. Cependant, de nombreuses questions se posent lors de l'utilisation de ces codes sur des problèmes concrets, par exemple :

- Doit-on mailler les couches de manière conforme pour appliquer une méthode de restauration ?
- Quelle doit être la géométrie de l'état restauré ?

- Quelle mode de retroréformation : préservation de l'épaisseur des couches, déformations ductiles, conservation du volume ?

- Comment peut-on utiliser les déformations entre l'état restauré et la géométrie actuelle pour calculer la vraisemblance d'une interprétation structurale ?

- Peut-on détecter et corriger une géométrie irréaliste à partir des résultats de la restauration ?

- Comment restaurer des formations affectées par du diapirisme ?

- Comment restaurer progressivement les plis et les failles syn-sédimentaires (3D backstripping)?

Les éléments de réponse à ces questions, impliquent une recherche méthodologiques,

mais aussi des applications de ces méthodes (réservoirs pétroliers, chantier des Grès d'Annot).

Modélisation de réservoirs fracturés

Caractériser la position et les attributs de réseaux de fractures dans le sous-sol ainsi que leur impact sur des problèmes de transfert de fluides est une tâche difficile. Nous souhaitons pour cela nous intéresser à :

- La combinaison d'indicateurs structuraux, d'observations de puits et d'indicateurs sismiques (attributs AVO et multi-azimut) pour caractériser les milieux fracturés.
- L'utilisation pratique de ces résultats dans des simulations de transferts de fluides

Visualisation du sous-sol : processus dynamiques et incertitudes

Les principes de visualisation 3D du sous-sol sont relativement bien établis, et ont déjà fait l'objet de travaux dans notre équipe. Cependant, il convient de franchir une nouvelle étape pour considérer deux dimensions supplémentaires :

- La visualisation de processus dynamiques tels que la propagation de fluides dans le sous-sol, qui passe par un meilleur couplage entre modélisation statique du sous-sol et la simulation

des transferts en milieux poreux ;

- La visualisation d'incertitudes quant à la position des interfaces géologiques et des propriétés pétrophysiques des roches.

Ces deux problématiques soulèvent d'importants problèmes en termes de traitement de gros volumes de données, de perception humaine, et de modèles mathématiques de représentation des incertitudes.

Concepts géologiques et méthodes géostatistiques

Actuellement, seules les méthodes géostatistiques assurent un remplissage pétrophysique du sous-sol honorant les données d'observation. Cependant, le réalisme des modèles obtenu reste limité par l'hypothèse de stationnarité, et la modélisation géostatistique dans l'espace de dépôt. Nous souhaitons nous affranchir autant que possible de ces limites par l'intégration de concepts et d'interprétations géologiques dans les modèles géostatistiques.

Cette recherche implique trois volets :

- La prise en compte d'informations directionnelles lors de la simulation géostatistique

- La conception de méthodes stochastiques de corrélations de diagraphies aux puits, permettant de générer plusieurs interprétations chronostratigraphiques reflétant les incertitudes.

- Le calcul probabiliste de transformations pétrophysiques entre le dépôt et l'Actuel (diagenèse, dolomitisation, karstification).

Transferts réactifs dans le sous-sol

La demande croissante d'outils d'aide à la gestion des ressources de la part des décideurs, mais aussi de certains industriels nécessite le développement de nouveaux modèles de transferts réactifs dans le sous-sol. La difficulté est de combiner une approche suffisamment globale pour prendre en compte la multiplicité des processus qui influencent la ressource considérée, tout en conservant une représentation suffisamment spatialisée pour

répondre aux questions de gestion du territoire. C'est dans cet objectif que nous souhaitons développer de nouveaux modèles conceptuels pour représenter des transferts réactifs dans le sous-sol. En liaison avec le géomodeleur Gocad, on pourra ainsi réaliser des analyses fonctionnelles tridimensionnelles (définition de corps géologiques « homogènes »), puis intégrer les processus géochimiques dans un simulateur d'écoulement monophasique.

L'ÂGE DU PÉTROLE

Chercheurs : L. Reisberg, R. Michels (G2R)

Collaborations : J-P. Houzay, G. Sermondadaz (TOTAL)

Financement : Contrat TOTAL, géré par le Cregu

Dans le cadre de l'exploration et de l'exploitation pétrolière, la connaissance de l'histoire d'un système pétrolier est stratégique pour prédire l'existence et la composition des fluides pétroliers en réservoir.

Les événements constitutifs de cette histoire sont majoritairement datés de façon relative. Ce qui manque cruellement est un moyen de dater de façon absolue les événements affectant le fluide pétrolier lui-même. Des études récentes (e.g.,

Selby and Creaser, 2005) ont suggéré que le système radiogénique Re-Os pourrait être utilisé pour dater la migration des fluides pétroliers. Cependant, des questions essentielles restent sans réponse. Est-ce que les alignements de ces

fluides dans des diagrammes du type isochrone représentent vraiment des événements bien définis, ou est-ce qu'il s'agit simplement de lignes de mélange? S'ils datent des événements, quelle est la nature de ces événements (la genèse de l'huile, sa dernière migration, son temps de résidences en réservoir, une altération), en bref, quel est le processus qui fractionne le couple Re-Os ?

Pour répondre à ces questions, nous entamons une série d'expériences censée déterminer le comportement du couple Re-Os lors des événements affectant un fluide pétrolier, de sa formation à son séjour en réservoir. À partir d'une huile naturelle, nous réalisons des expériences de précipitations fractionnées des asphaltènes

et résines ainsi que des séparations par classes de masses molaires et déterminons celles susceptibles de concentrer soit le Re, soit l'Os, soit les deux. Nous performons également des expériences d'équilibration entre huiles et eaux pour comprendre le comportement géochimique de Re/Os dans les huiles en contact avec des eaux de bassin et de gisement. Nous projetons également d'étudier le fractionnement éventuel du couple Re-Os lors de la genèse d'un fluide pétrolier, en chauffant des schistes noirs dans des réacteurs à haute température. Ces expériences ont débuté pendant le post-doc de Y. Hautevelle à G2R. Nous espérons de les continuer dans le contexte d'une thèse.

STOCKAGE DES DÉCHETS NUCLÉAIRES

Collaboration : ANDRA, MNHN (Paris)

Postdoc ANDRA : Andréas Morlok (2 ans)

Financement : ANDRA

Dans la perspective d'un stockage des déchets radioactifs de Haute Activité et à Vie Longue en formation géologique profonde, la connaissance du comportement à long terme (10^4 - 10^5 ans) du système multi-barrières Verre-Fer-Argile passe par l'élaboration d'un modèle phénoménologique fiable et robuste sur les durées mises en jeu.

Altération des météorites chondritiques et implications sur la corrosion des déchets nucléaires en site de stockage profond.

À cette fin, de nombreuses simulations expérimentales ont été entreprises pour préciser les paramètres qui dimensionnent de ces modèles. Malgré l'intérêt de cette approche aux temps courts, de nombreuses études ont montré des limitations quant à l'extrapolation sur des longues durées, i.e., rupture de cinétiques, activation artificielle pour accélérer le vieillissement (courant, temps, etc.). À ce stade, l'étude d'analogues archéologiques et naturels fournit une base de données essentielles et uniques pour i) documenter la diversité des phases et des mécanismes mis en jeu, ii) paramétrer les cinétiques réactionnelles et de transport des éléments, et in fine pour iii) valider les modèles phénoménologiques d'évolution de ce système multibarrières sur le long terme.

À cette fin, nous nous proposons d'étudier les météorites, plus particulièrement l'altération des chondrites carbonées, comme analogues naturels d'un système verre-métal-silicates soumis à une altération aqueuse sur une grande période de

temps dans des conditions réductrices. L'objectif est de dimensionner l'évolution des propriétés de confinement du système multi-barrières Verre-Fer-Argile à long terme.

En effet, les météorites sont soumises à des altérations de longues durées dans les corps-parents (ceinture d'astéroïde) dont les conditions (température, pression, conditions d'oxydation, temps) sont très voisines de celles qu'auront à subir l'association VFA en site de stockage. Si l'on rajoute à cela les pressions d'hydrogène régnant lors de l'altération, les météorites chondritiques (conditions anoxiques) fournissent alors un analogue unique, et encore peu exploité à ce jour, pour appréhender les réactions et paramétrer les transferts élémentaires opérant lors de l'altération d'un système VFA en conditions réductrices. L'autre avantage des météorites réside dans la diversité des signatures isotopiques (Fe, O, D/H, etc) des phases minérales primaires et secondaires permettant ainsi de tracer les échanges élémentaires réels lors des réactions d'oxydation ou d'hydratation affectant le métal ou le verre.

INCINÉRATION DES DÉCHETS MÉNAGERS

Collaboration : HAGANIS (Metz)

Financement : HAGANIS et région Lorraine

La gestion des déchets étant un enjeu sociétal prioritaire, nous poursuivons nos travaux entrepris dans le précédent quadriennal sur l'incinération des déchets ménagers et les sujets connexes.

Suivi des émissions atmosphériques d'un incinérateur en milieu urbain et péri-urbain

La ville de Metz s'est équipée d'un incinérateur d'ordure ménagère ou une usine de valorisation énergétique (UVE) de nouvelle génération en 2001. Nous continuerons nos travaux de suivi de cet incinérateur entrepris depuis 2001 en partenariat avec HAGANIS, la société qui opère l'UVE. Nous nous focaliserons sur l'étude cristalochimique et isotopique (mercure, sélénium, soufre et carbone) des gaz et des

particules PM10, dans le but de suivre l'évolution des retombées atmosphériques en milieu urbain et péri-urbain de cette UVE. L'objectif sera de déterminer les flux d'émissions de l'incinérateur et de les comparer aux retombées atmosphériques totales en différents points de la région étudiée afin d'estimer la contribution relative des émissions de l'UVE à la chimie globale des gaz et des aérosols de la région messine.

Carbonatation ex-situ des résidus d'incinération des déchets ménagers

Outre ce suivi, nous nous intéresserons tout particulièrement pour ce quadriennal à tester, à l'échelle du laboratoire et du pilote industriel, la faisabilité et le rendement i) de minéralisation du CO₂ par carbonatation de résidus ultimes issus de l'incinération des ordures ménagères, et ii) de leur transformation en un produit valorisable en génie civil (graves, remblais, techniques routières, etc). On envisage ici de convertir, certains déchets minéraux en carbonates, pour immobiliser le CO₂ de façon pérenne.

Les REFIOM (Résidus d'Épurations des Fumées d'Incinération des Ordures Ménagères) et les MIOM (Mâchefers d'Incinération des Ordures Ménagères), sont des matières anthropiques dont la forte réactivité peut résulter de leur finesse, mais plus généralement du fait qu'ils ont issus d'un enchaînement réactionnel (fusion, évaporation, hydratation, condensation, précipitation, oxydation, réduction, etc...) figé

dans un état hors équilibre. Leur minéralogie est complexe et les paragenèses échappent aux règles habituelles d'associations minérales. Riche en Ca, Fe, Mg, Na et K, ces résidus ultimes sont dotés de propriétés texturales, minéralogiques et chimiques, telles qu'ils pourraient très efficacement piéger le CO₂ sous forme de carbonates, la vapeur d'eau servant de catalyseur. Outre la stabilisation des résidus ultimes par carbonatation (diminution de la porosité, de la perméabilité et de l'alcalinité avec augmentation de la résistance mécanique), cette voie de piégeage ex-situ du CO₂ offre l'avantage d'immobiliser dans divers composés carbonatés la plupart des éléments polluants, notamment les métaux amphotères (Pb, Zn, etc...). La carbonatation a donc en plus, un rôle bénéfique sur le comportement à long terme de ces déchets ultimes en diminuant considérablement leur impact environnemental, et en offrant la possibilité de les valoriser.

VERRE ET CRISTAL

Collaboration : Cristalleries de St Louis, Baccarat, Daum

Financement : Cristallerie de St Louis, REVELOR

Fleurons industriels de la région lorraine, verre et cristal n'en sont pas moins des matériaux complexes. Nous appliquons ici à des fins industrielles nos connaissances fondamentales sur les réactions d'oxydo-réduction acquises à haute température dans les silicates fondus.

Traitement et valorisation des rebuts de cristal

Les cristalliers lorrains, fabricant d'articles en cristal (verres, brocs, carafes, lustres...), produisent chaque année des rebuts en quantité importante. De par la législation actuelle, ces verres, contenant du plomb en quantité importante (près de 27 pds% PbO), ne peuvent être rebuté en l'état mais nécessitent un stockage en site de stockage créant un surcoût onéreux pour les entreprises. Outre le plomb, ces verres contiennent également d'autres éléments en abondance variable et utilisés comme éléments colorants. Sans que la liste soit exhaustive, il s'agit du cobalt, du cuivre, du chrome, du nickel, de l'antimoine, du fer, de l'uranium, du sélénium et de l'arsenic. Ces éléments pouvant être eux aussi

des polluants potentiels, l'entreprise cherche également à les valoriser.

Dans le cadre d'un partenariat avec ces entreprises et sous l'égide de REVELOR, nous nous proposons d'extraire le plomb du cristal (verre au plomb) en vue de sa réutilisation ultérieure et de recycler le verre résiduel en un verre «propre» sans plomb. La méthode que nous proposons consiste à effectuer une réduction du cristal à une température légèrement supérieure à celle de la température de transition vitreuse (T_g) et une ségrégation gravitaire de la fonte de plomb métal ainsi formé. Ce procédé de retraitement, qui permettra à terme de valoriser les rebuts de verre en calcin propre et le plomb sous forme métallique, est à moindre coût financier et sans risque de pollution pour l'environnement.