

SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

L'ambition est d'apporter les connaissances nécessaires pour éclairer les débats scientifiques, techniques, économiques et sociétaux sur les grandes questions relatives à la gestion des ressources naturelles, au rôle que peut jouer le sous-sol dans la transition énergétique, à la protection de l'environnement et au développement durable.



1 CENTRE DE RECHERCHE ET 1 INSTITUT DE FORMATION

■ CENTRE DE GÉOSCIENCES

(Géosciences MINES ParisTech)

Composé de six équipes de recherche couvrant l'essentiel des disciplines des Sciences de la Terre et de l'Environnement, le centre de Géosciences conduit des projets à forts enjeux économiques et sociétaux : approvisionnement en ressources primaires, anthropisation (stockages souterrains, milieux pollués), impact du changement climatique (ressources en eau, risques naturels).

■ INSTITUT SUPÉRIEUR D'INGÉNIERIE ET DE GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

(Isige MINES ParisTech)

L'Isige est le centre de formation dédié à l'environnement et au développement durable de MINES ParisTech. Avec pour maître-mot l'innovation, il forme depuis 20 ans des experts de haut niveau dans ce domaine.

« L'intérêt grandissant pour les questions énergétiques, économiques et environnementales place les géosciences au cœur d'enjeux majeurs ».



Trois questions à

HEDI SELLAMI

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT

SPÉCIALITÉ DOCTORALE

- **Géosciences et géoingénierie**
- Responsable : Michel Tijani

FORMATIONS POST-MASTER MASTÈRES SPÉCIALISÉS

- **MS IGE : Ingénierie et gestion de l'environnement**
- Responsable : Valérie Lenglard
- **MS ENVIM : International Environmental Management**
- Responsable : Cathy Descamps-Large

FORMATION CONTINUE

- **Formation spécialisée en Évaluation économique d'exploitations minières à ciel ouvert et en souterrain**
- Responsable : Jean-Alain Fleurisson
- **Formation spécialisée en Géostatistique**
- Responsable : Gaëlle Le Loch
- **Executive MS RSE-DD : Management Global RSE et Développement durable**
- Responsable : Jasha Oosterbaan

■ QUELLES SONT LES SPÉCIFICITÉS DU DÉPARTEMENT ?

HEDI SELLAMI : Le département comprend l'Institut supérieur en ingénierie et gestion de l'environnement (Isige), dédié à la formation en environnement et développement durable, et le centre de Géosciences, unité de recherche et d'enseignement, dont les activités de recherche sont organisées autour de trois domaines principaux : la gestion des ressources du sous-sol (ressources minérales, énergétiques, chaleur) ; la caractérisation de l'espace souterrain pour promouvoir son utilisation, en particulier pour le stockage d'énergie et de déchets, et l'analyse des milieux anthropisés (pollution des eaux, des sols...). Le département participe à l'enseignement, tant au sein du cycle Ingénieurs civils (géologie de terrain, options, Métiers de l'ingénieur généraliste – MIG, Acte d'entreprendre), qu'à travers des formations continues en gestion des ressources minérales et des Mastères spécialisés dédiés à l'environnement et au développement durable.

■ QUELLES ONT ÉTÉ LES RÉALISATIONS EN 2015 ?

H.S. : Les équipes de recherche du centre de Géosciences ont mis en évidence de nouveaux résultats et font progresser leur domaine. En matière de modélisation de réservoirs pétroliers et géothermiques, deux approches originales ont été mises au point, l'une pour simuler les réservoirs fluviaux méandriformes à l'aide d'une approche génétique-stochastique et l'autre pour réduire les incertitudes dans l'exploitation de la donnée sismique à l'aide d'une approche couplée géophysique-stochastique. Par ailleurs, les travaux menés dans le domaine des techniques d'exploitation minière et pétrolière ont abouti à plusieurs réalisations concrètes. Mentionnons le développement d'un outil numérique de simulation du processus de congélation des mines d'uranium sous régime hydrogéologique actif, l'application, avec succès, de nos outils de simulation de transport réactif à la prévision de la production d'uranium par lixiviation *in situ*, ou encore l'implémentation d'une nouvelle approche de détection des dysfonctionnements en cours de forage pétrolier.

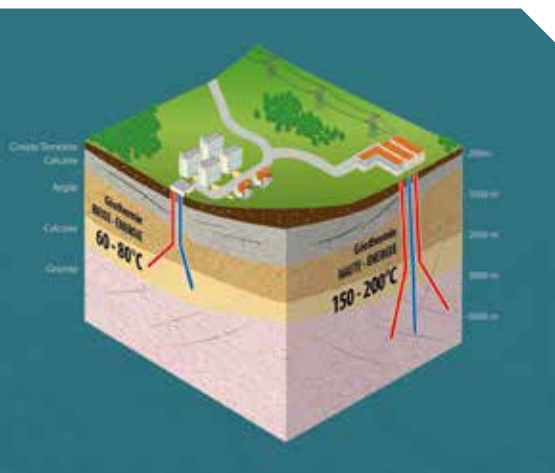
L'Isige a fait évoluer ses formations en ouvrant, au sein du MS IGE, une option « en alternance » et en créant une option Europe pour le MS EnvIM. Pour 2015, signalons le projet franco-chinois sur l'écologie industrielle en zone portuaire ou la simulation de négociations climatiques. Le *webdothon* PSL sur la 6^e extinction a été l'occasion de continuer la collaboration avec l'Institut pratique du journalisme. Enfin, les voyages urbains à Rotterdam et à Bordeaux ont permis de mieux comprendre les stratégies d'adaptation au changement climatique déployées par les villes.

■ QUELS SONT LES PROJETS OU AMBITIONS POUR LE DÉPARTEMENT EN 2016 ?

H.S. : L'intérêt grandissant pour les questions énergétiques, économiques et environnementales place les géosciences au cœur d'enjeux majeurs, comme l'accès aux ressources primaires du sous-sol, l'anthropisation et l'impact des changements climatiques sur la ressource en eau et sur les risques naturels. L'ambition du département est de produire des connaissances pour éclairer les débats techniques, économiques et sociétaux sur ces grands sujets.

Dans les nouveaux projets démarrant en 2016, citons : le développement d'une approche dédiée à la mise en valeur de gisements de lithium de type salar ; deux projets sur l'exploitation de réservoirs géothermiques très profonds ; deux autres sur le stockage massif en cavités salines de l'électricité renouvelable sous forme de gaz de synthèse, et un encore sur l'impact des changements climatiques sur la pollution des systèmes aquifères. Par ailleurs, le centre de Géosciences coordonnera, pour le compte de l'institut Carnot M.I.N.E.S, le projet Carnot-filière « industries extractives et de premières transformations », en collaborations avec trois autres instituts Carnot.

Ces sujets d'actualité, en matière d'environnement et de transition, sont également les moteurs des projets de l'Isige. Valorisation et développement des expertises en économie circulaire, travail sur la raréfaction des ressources et les réponses des entreprises, et réflexion sur les ressources marines et leur exploitation, en France et en Chine, sont au programme pour 2016. Outre le renouvellement du partenariat avec Tsinghua, d'autres partenariats internationaux sont à l'étude.



PROJETS PHARE

LA GÉOTHERMIE HAUTE ÉNERGIE

EXPLOITER LES RESSOURCES PROFONDES GRÂCE AUX DISCONTINUITÉS PRÉ-EXISTANTES EN PLACE DANS LES MILIEUX GÉOLOGIQUES

La géothermie consiste à exploiter la chaleur contenue dans le sous-sol. L'énergie issue de la géothermie est renouvelable et non intermittente, puisque non tributaire des conditions climatiques parfois extrêmes dans les contextes insulaires. Elle permet de chauffer des bâtiments et peut également servir à produire de l'électricité, lorsque des puits géothermiques remontent des fluides à plus de 150°C.

Contribuer au mix énergétique renouvelable

Le Grenelle de l'Environnement, qui prévoit d'augmenter de 20 Mtep la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique français à l'horizon 2020 dont 10 Mtep de chaleur renouvelable, a également fixé la contribution de la géothermie à hauteur de 80 MW dans la production d'électricité (en particulier outre-mer) d'ici 2020.

Pour ce faire, des outils spécifiques ont été mis en place par l'État, opérés par l'Ademe, l'Agence Nationale de la Recherche (Institut pour la transition énergétique), et GéoDeep, un fonds de partage du risque de forage.

Un projet transversal et pluridisciplinaire

Les expériences passées ont prouvé que l'exploitation de ces ressources profondes ne pouvait pas s'envisager sans tirer parti des discontinuités pré-existantes en place dans les milieux géologiques. Les compétences de divers acteurs du centre de Géosciences MINES ParisTech

sont donc combinées pour promouvoir un projet transversal.

Celui-ci allie : la géologie, pour l'analyse et la conceptualisation de modèles types de réservoir fracturés en zone de graben ; la géomécanique, pour la compréhension des mécanismes couplés thermo-hydro-mécaniques de déformation, éventuellement propagation de fractures et génération de l'activité micro-sismique ; la géophysique, pour le dimensionnement optimal des réseaux d'écoutes, puis l'analyse et la localisation des microséismes, naturels et/ou induits avec une incertitude maîtrisée sur la localisation, et enfin l'hydrogéologie, pour la détermination des trajectoires de forages, la conceptualisation des réservoirs formés de réseaux de fractures multi-échelles identifiés par la géophysique dans le cadre fixé par la géologie, puis la modélisation des mécanismes de transferts de fluide et de chaleur dans ces réservoirs complexes.

Deux projets concrets

Ces actions de recherche et développement sont engagées depuis 2014 pour une période de 5 ans au travers de deux projets bénéficiant du Programme des investissements d'avenir (PIA) :

- GéoTref, porté par la société Teranov SAS – *Geothermal Energy*, est une plateforme logicielle pluridisciplinaire d'innovation et de démonstration pour l'exploration et le développement de la Géothermie haute énergie dans les REservoirs Fracturés. Les connaissances provenant du secteur pétrolier seront utilisées et adaptées pour produire cette plateforme logicielle unique qui servira à modéliser un réservoir géothermique et construire un démonstrateur. Budget : 43 M€ dont 10 M€ au titre du PIA. Objectifs : identifier les ressources géothermiques des territoires insulaires (Caraïbes), et apporter la connaissance technologique nécessaire à d'autres projets.
- FonGéosec, piloté par Fonroche Géothermie, est opérationnel depuis 2015. Le centre de Géosciences effectuera ses travaux en partie en collaboration avec le Cemef, comme sous-traitant de l'un des partenaires de ce projet qui vise à concevoir et réaliser à Lons, sur le permis de Pau-Tarbes, un démonstrateur fondé sur l'architecture de puits innovante d'une centrale géothermique haute enthalpie. Budget : 82 M€ dont 27 M€ au titre du PIA.

Cet axe de recherche bénéficiera aussi de l'élan donné par le Groupement d'Intérêt Scientifique Géodénergies. Deux actions, Reflet et Temperer, concernent le centre de Géosciences et ont pour objectif de réduire les incertitudes géologiques afin de faciliter la prise de décision des acteurs industriels.

> **Contact**
Dominique Bruel

RETROUVEZ
LE PROJET EN VIDÉO SUR
MINES-PARISTECH.FR



www.mines-paristech.fr/WebTV/



ECO-PARCS INDUSTRIELS ET ECO-SYSTÈMES PORTUAIRES LES ÉTUDIANTS ENVIM ENTRE TIANJIN ET LE HAVRE

Comment développer l'économie circulaire au sein des écosystèmes portuaires et de leurs zones industrielles ? Quels sont les obstacles et facteurs de succès ? Pour répondre à ces questions, les étudiants du Mastère spécialisé EnVim « *International Environmental Management* » ont mené l'enquête pendant 8 mois entre la Chine et la France.

À 120 km de Beijing, l'Eco-parc industriel de TEDA bénéficie de la proximité stratégique du port de Tianjin et de son hinterland vers tout le Nord et l'Ouest de la Chine. Créée en 1984, cette zone en très forte croissance a attiré une large variété d'industries nationales et étrangères : télécommunications, micro-électronique, automobile, aéronautique, pétrochimie (Motorola, Samsung, Toyota, Novo Nordisk, Coca-Cola, Veolia). TEDA est aujourd'hui, en Chine, un modèle d'Eco-parc Industriel.

Les étudiants ont analysé l'approche chinoise. Très organisée, fortement influencée par le gouvernement central, très « verticale », elle permet d'effectuer des

investissements fléchés, d'imposer une coordination, un investissement, ou de structurer de nouvelles interactions. *A contrario*, une approche « horizontale » incitera naturellement et plus librement à la coopération entre acteurs industriels et aux développements de symbioses industrielles et territoriales. Elle pourra néanmoins manquer de structuration et d'appui institutionnel pour se développer.

Les étudiants mettent en avant la nécessité d'une gouvernance locale facilitatrice, permettant d'offrir une infrastructure accueillante et de promouvoir des rencontres d'acteurs, des caractérisations de flux, puis des échanges et des synergies. En présence de la Directrice de l'Eco-parc, ils ont animé, en Chine, un *workshop* sur TEDA et sa gouvernance. Avec le soutien du Grand Port Maritime du Havre, une conférence-débat sur ces questions s'est ensuite déroulée en France, en présence des acteurs locaux du Port.

> Contact
Cathy Descamps-Large



APPROVISIONNEMENT EN GRANULATS AGREGA, UN OUTIL D'AIDE À LA PLANIFICATION

Le projet national de recherche Agrega a pour objet de conceptualiser un outil d'aide à la planification des différentes options pour l'approvisionnement en granulats de la région Île-de-France dans un environnement de plus en plus contraint (taux de dépendance envers les autres régions de 45 %, augmentation de la demande, limitation des accès et problématique du transport, essentiellement routier). Les enjeux pour les différentes parties prenantes sont considérables et difficiles à quantifier. Le consortium réunit les acteurs principaux de la filière (Unicem, IAURF, VNF) avec des acteurs méthodologiques (BRGM, MINES ParisTech, UVSQ, Andrei-Games).

Les travaux du centre de Géosciences s'inscrivent dans la conception, le développement et une

exploitation initiale d'un simulateur de cet approvisionnement, dans le temps (prospectif de 25 à 30 ans) et dans l'espace (différents maillages : SCOT, communal...), afin de pouvoir vérifier les effets des scénarios (demande et substitution, productions et recyclage, transport alternatif), imaginés par, ou pour, les acteurs. Ce travail s'inspire du précédent projet, Antag. Le simulateur s'appuie sur la technique SMA avec une élaboration participative (jeu de rôles) des comportements des différents acteurs de la chaîne. Une synthèse des résultats, fondée sur une matrice de délibération, permettra de quantifier le « succès » de chaque scénario pour chaque enjeu et chaque acteur.

Contact
Jacques Schleifer

	Environnement	Économie	Social
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> Préserver les milieux naturels Protéger la ressource en eau Limiter la contribution au changement climatique, à la pollution 		
Économie	<ul style="list-style-type: none"> Préserver les ressources Livrer la ressource là où on en a besoin 	<ul style="list-style-type: none"> Assurer une rentabilité sur le long terme 	
Social		<ul style="list-style-type: none"> Répondre à la demande en granulats Maintenir des emplois 	<ul style="list-style-type: none"> Limiter les nuisances, les désagréments pour les riverains Garantir une sécurité et une qualité des ouvrages
Gouvernance		<ul style="list-style-type: none"> Maintenir le taux d'indépendance actuel de la région Île-de-France 	

GISEMENTS DE TYPE SALAR VALORISATION DU LITHIUM

La demande croissante de stockage mobile d'électricité, liée en particulier au développement des véhicules électriques, induit un fort potentiel d'utilisation du lithium, composant essentiel des batteries. La société Eramet, groupe minier et métallurgique français, est présente sur ce secteur. Sa filiale, Eramine Sudamerica, implantée en Argentine, explore les salars de Centenario et Ratonos, dans la province de Salta, dans l'objectif de valoriser ce gisement de taille suffisante pour développer un projet industriel majeur.

Les gisements de type salar ne sont pas des gisements conventionnels au sens minier du terme et la méthodologie pour estimer ce type de ressource est encore à développer.

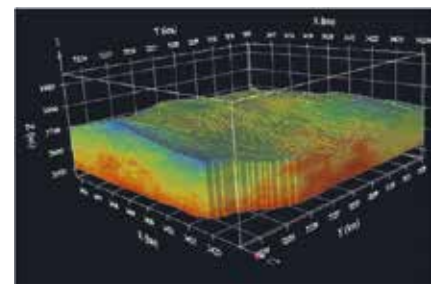
MINES ParisTech accompagne scientifiquement ce projet, en aidant la compagnie à évaluer les ressources exploitables de ce type de gisement et en intégrant les données de production dans ces évaluations. La démarche comprend deux volets :

- un volet géostatistique, consistant à estimer la ressource à partir des mesures issues des campagnes d'exploration et à chiffrer la marge de confiance associée ;
- un volet hydrogéologique, consistant à simuler l'exploitation du réservoir, défini par les modèles géostatistiques, et à optimiser le champ de production. Avec pour double objectif de répondre aux critères de rentabilité du projet et de respecter les enjeux environnementaux (région de stress hydrique).

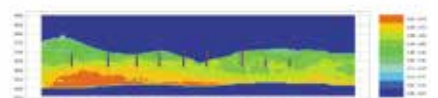
Contacts
Serge Séguret
Patrick Goblet



Sondage sur le salar de Ratonos. © Emiliano Gomez / Hidrotec



Simulation géostatistique des teneurs en lithium.



Modélisation hydrogéologique de l'exploitation (teneur en g/litre).