

## « Nos études de stockage du CO<sub>2</sub> devraient limiter la micro-séismicité »

En marge de l'atelier intitulé « Géomécanique et énergie – La Terre comme source d'énergie et de stockage », qui aura lieu du 26 au 28 novembre 2013 à Lausanne (EPFL), le Dr Lyesse Laloui explique le rôle du Laboratoire de Mécanique des sols (LMS) de l'EPFL, dont il est le directeur. Les défis posés à ce labo sont tels qu'ils sont non seulement de nature géologique, mais aussi technologique. Les méthodes d'injection du CO<sub>2</sub>, ainsi induites et étudiées, devraient être mieux maîtrisées et la micro-séismicité limitée. Un job qui occupe 20 ingénieurs à l'EPFL.



Lyesse Laloui : « Nous venons de réaliser une importante recherche dans un programme européen sur l'analyse des risques d'instabilité des massifs liés aux changements climatiques (Safeland) ».

### **Monsieur Laloui, sur quels critères le LMS a-t-il été créé ?**

En 1935, le Grand Conseil de l'Etat de Vaud a décidé la création du Laboratoire de géotechnique au sein de l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne. Ceci était motivé par l'inauguration du premier barrage de la Grande Dixence. Cette Ecole d'ingénieurs allait par la suite devenir l'EPUL, puis l'EPFL. En 1979, le laboratoire de géotechnique se scinde formellement en deux laboratoires : celui de mécanique des sols (LMS) et celui de mécanique des roches (LMR). Aujourd'hui, le LMS, ainsi parmi les plus anciens laboratoires de l'EPFL, poursuit sous ma direction des développements dans des domaines pointus et aussi variés que ceux des travaux souterrains, des instabilités des pentes ou du stockage et l'extraction de l'énergie.

### **Quelles sortes de recherches en géomécanique avez-vous déjà entreprises ?**

Les problématiques que nous traitons sont de diverses natures. Tout en conservant un rôle d'expertise dans le domaine de la géotechnique, mon laboratoire s'investit depuis une quinzaine d'années dans les questions environnementales et énergétiques : stockage de la chaleur dans le sol, enfouissement des déchets nucléaires, séquestration de CO<sub>2</sub>, extraction de gaz naturel et de schiste, géothermie. Ainsi, des solutions pour un développement durable des ressources de la planète sont au cœur de notre travail. Des domaines où les compétences et un vaste réseau international constitués au fil du temps forment une base d'expertise très solide de mon équipe.

### **Et quelles en ont été les conclusions ?**

Sans aller dans des détails techniques, je peux citer deux exemples de conclusion de certaines de nos recherches. Nous avons mené des travaux pionniers dans le développement d'outils de dimensionnement des fondations des bâtiments pour l'extraction et l'injection de la chaleur. Ce procédé permet ainsi à titre d'exemple d'assurer 70 %

du chauffage du terminal E de l'aéroport de Zurich. Nous avons aussi montré que cette technologie permettait d'améliorer par un facteur cinq la résistance des fondations contre les séismes.

Un autre exemple est celui de l'utilisation des bactéries pour renforcer les sols. Ainsi, nous sommes en mesure de transformer avec des bactéries un sable en une roche de quelque centaines de KPa (kilopascal) de cohésion. Ce développement permet d'envisager l'utilisation de cette technique biologique, au lieu des techniques actuelles du renforcement des sols par injection de ciment qui peuvent engendrer des conséquences de pollution sur la nappe phréatique.

### **Quels sont vos développements d'outils de pointe pour le dimensionnement géotechnique des ouvrages ?**

Mon groupe accorde une priorité aux conséquences des dangers naturels et industriels sur l'environnement naturel et construit.

Nos moyens expérimentaux et numériques sont mobilisés pour la compréhension, la description et la prédiction des impacts des nouvelles technologies, du type de celles de l'enfouissement souterrain des déchets nucléaires. Le développement d'outils de pointe pour le dimensionnement géotechnique des ouvrages constitue donc un des points forts de nos activités.

Notre expertise se situe dans la considération des aspects multi-physiques dans le comportement des géo-matériaux (sols, schistes et roches). Nous avons ainsi développé des outils expérimentaux qui permettent de caractériser le comportement, et aussi des modèles mécaniques et numériques qui permettent la prédiction du comportement des géo-structures soumises à des sollicitations extrêmes. Des mots clés pour résumer ces développements : non-saturation, thermo-plasticité, thermo-hydro-mécanique, bio-chemo-mécanique. D'autre part, nous développons des logiciels de dimensionnement comme le logiciel Thermo-Pile que nous commercialisons depuis une année, et qui est le seul outil de dimensionnement des pieux énergétiques disponible sur le marché au niveau international, voir : <http://lms.epfl.ch/thermopile>.

### **Où en sont vos recherches sur la géo-ingénierie et la séquestration du CO<sub>2</sub> ?**

La dernière décennie a vu un regain d'intérêt considérable pour les ressources géologiques à moyenne et grande profondeur. Outre le pétrole et le gaz, la géologie profonde ouvre désormais d'immenses perspectives en matière de stockage de CO<sub>2</sub> et de géothermie pour la production d'électricité. A tel point que, si on y ajoute les réserves en gaz de schistes, se pose désormais dans

certaines régions la problématique d'un aménagement tridimensionnel du territoire profond afin d'éviter les conflits d'exploitation de ces différents espaces. En la matière, le LMS est actif dans le stockage de CO<sub>2</sub> et la géothermie profonde. Nous sommes en pourparlers avancés pour l'étude d'un site de stockage de grande taille en Suisse. Les défis posés sont non seulement de nature géologique, puisque la complexité de la géologie locale est à la fois une difficulté et un atout pour la formation de réservoirs fiables, mais aussi technologique, au sens où les méthodes d'injection de CO<sub>2</sub> sont de mieux en mieux maîtrisées et permettent par exemple de limiter la micro-séismicité induite. Ce type de recherche s'inscrit donc au carrefour de nombreuses disciplines allant des sciences naturelles et techniques à la gestion des risques et à la communication. Nous étendons le concept de CCS (Carbon Capture and Sequestration) à CCSS (Carbon Capture and Secure Sequestration). Nous sommes soutenus dans cette démarche par l'industrie. En effet, Petrosvibri SA est à l'origine de la Chaire de « Gaz Naturel » que j'occupe à l'EPFL.

### **Quels sont les transferts de technologies déjà réalisés vers l'industrie ?**

Nous organisons périodiquement des conférences et des séminaires destinés aux ingénieurs de l'industrie. Nous offrons des logiciels de dimensionnement des géo-structures, et nous proposons notre expertise pour la résolution des problèmes pointus. Les résultats de nos recherches scientifiques au niveau national et européen sont rendus public et permettent ainsi à l'industrie d'y avoir accès. A titre d'exemple, nous venons de réaliser une importante recherche dans un programme européen sur l'analyse des risques d'instabilité des massifs liés aux changements climatiques (Safeland). Le rapport final de ces quatre années d'études a été mis à disposition de l'industrie. D'autre part, le meilleur transfert que nous réalisons vers l'industrie est la formation de docteurs en géomécanique. La plupart de mes doctorants sont financés par l'industrie suisse et la rejoignent à la fin de leur doctorat.

### **Que peut apporter de concret votre laboratoire dans les recherches d'enfouissement des déchets nucléaires ?**

Mes activités sur l'enfouissement souterrain des déchets nucléaires remontent à l'époque de ma thèse de doctorat réalisée il y a bientôt vingt ans. Depuis cinq ans, le LMS est considéré comme un centre d'expertise en la matière. Nous contribuons aux divers stades de la conception du programme d'enfouissement de ces déchets en Suisse. Nous

effectuons des recherches sur les barrières ouvragées, les roches hôtes et les différentes interactions thermo-hydro-mécanique incluant la propagation des gaz induite par la possible corrosion des fûts. Ces différentes recherches font l'objet de plusieurs thèses de doctorat portant sur des matériaux telles que l'argile Opalinus ou la bentonite MX80, et nous intervenons au niveau des deux laboratoires souterrains suisses : le Mont-Terri et le Grimsel. En collaboration avec la CEDRA d'une part, et de l'Office fédéral de la géologie d'autre part, nous développons un savoir-faire suisse unique en la matière. Tout ceci contribue à augmenter l'expertise nationale en vue de la réalisation de sites d'enfouissement sûrs à très long terme en Suisse.

### **Que faut-il faire pour mieux faire à l'avenir afin de sensibiliser les politiciens à la géo-ingénierie ? Vous pouvez intervenir ?**

Nous croyons fermement que l'énergie est l'un des importants défis de ce siècle. Nos activités en géo-ingénierie apportent des réponses à des questions techniques de la gestion des déchets (nucléaires, CO<sub>2</sub>), mais aussi au développement d'énergies fossiles (gaz de schiste) nouvelles et renouvelables (géo-structures énergétiques ou géothermie). Nous pouvons soutenir les politiciens en leur présentant l'état des connaissances en la matière, et en leur fournissant des outils pour leurs prises de décision. ☺

Interview : Roland Keller, rédacteur responsable  
SWISS ENGINEERING RTS

## **regard sur**

### **Lyesse Laloui**

Professeur et directeur du Laboratoire de mécanique des sols (LMS) à l'EPFL, le Dr Lyesse Laloui a développé un grand groupe dans les domaines de la mécanique des sols, la géo-ingénierie et la séquestration du CO<sub>2</sub>. Il est également directeur de la section de génie civil de l'EPFL, ainsi que professeur adjoint à l'Université de Duke, Etats-Unis. Il a publié 6 livres et plus de 230 articles. Il a également été le rédacteur en chef de six numéros spéciaux de revues, y compris le Symposium géotechnique de 2013 sur les processus bio-chimio-mécaniques et en génie géotechnique, ainsi que membre du comité de rédaction de 5 revues internationales.

Il est le récipiendaire du prix Excellente Contributions de l'Association internationale des méthodes informatiques et avancées en géomécanique et le Prix Vardoulakis 2012 (Université de Minneapolis, USA).